



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMIA
MENCIÓN EN PROTECCIÓN VEGETAL**

PROYECTO FINAL DE TESIS

TEMA:

**NIVELES DE TOLERANCIA Y/O RESISTENCIA EN
POBLACIONES DE *Echinochloa crusgalli* A PENOX SULAM EN DOS
ZONAS ARROCERAS DEL GUAYAS.**

AUTOR:

ING. MACAS GUAMÁN LIDIA PATRICIA.

TUTOR:

ING. PEÑAHERRERA COLINA LUIS ANTONIO. Ph.D.

BABAHOYO, LOS RÍOS - ECUADOR

2023

Dedicatoria

A Dios en primer lugar por la sabiduría y fortaleza que me da en cada uno de mis proyectos.

A mis queridos padres Jorge Macas y María Guamán, por ser las personas que siempre han estado apoyándome e inculcándome valores y con sus consejos me permito completar otra meta en mi vida.

A mi esposo Marcos Siavichay, por ser un compañero incondicional en cada día del desarrollo de esta tesis.

A mis hermanos Jorge y Carmen por sus consejos que me ayudaron a ser mejor cada día.

A mis sobrinos Jorge Emilio, Tito Adrián y Valentina.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecirme en cada paso que doy en mi vida personal y profesional, a mis padres por sus consejos y a toda mi familia por su apoyo incondicional.

Especial agradecimiento al Ing. Agr. Luis Peñaherrera Colina, Ph.D., por su orientación y conocimientos brindados a lo largo de estos años; lo que me ha permitido crecer en el ámbito laboral y profesional.

A la Universidad Técnica de Babahoyo, que me acogió para desarrollar mis estudios de cuarto nivel en la Maestría en Agronomía mención Protección Vegetal.

A la Ing. Margot Vera, por su amistad incondicional y apoyo en todo momento a lo largo de esta meta.

A los miembros del Tribunal, Ing. Agr. Dalton Cadena Piedrahita, Ph.D.; Ing. Luis Enrique Sánchez Jaime, M.Sc.; e Ing. David Mayorga Arias, M.Sc., por contribuir con sus aportes y sugerencias para mejorar este trabajo de investigación.

A mi esposo Marcos Siavichay, por su apoyo moral e incondicional para la culminación del presente trabajo.

A todas las personas que me brindaron su apoyo en cada proceso del desarrollo de este trabajo.

La responsabilidad del contenido de este trabajo le corresponde exclusivamente a su autor; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Babahoyo.

LIDIA MACAS GUAMÁN.

UNIVERSIDAD TÉCNICA BABAHOYO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Babahoyo, 28 de Febrero de 2023

Sr. Ing. José Sandoya Villafuerte, MAE.

DIRECTOR DEL CENTRO DE POSGRADO UTB

Presente,

De mi consideración:

El suscrito, en mi calidad de Tutor, certifico que el Trabajo de Titulación denominado: **“NIVELES DE TOLERANCIA Y/O RESISTENCIA EN POBLACIONES DE *Echinochloa crus-galli* A PENOX SULAM EN DOS ZONAS ARROCERAS DEL GUAYAS”**, elaborado y presentado por la Ingeniera **Lidia Patricia Macas Guamán**, ha sido revisado periódicamente y cumple los requisitos académicos, científicos y formales que establece el Reglamento para tal efecto.

Esperando una acogida favorable, reitero mis agradecimientos.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
LUIS ANTONIO
PENAHERRERA COLINA

ING. AGR. LUIS PEÑAHERRERA COLINA, Ph.D.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CC: Maestrante, Vicerrectorado de Investigación y Posgrado.



Tesis Lidia Patricia Macas Guamán

7% Similitudes
0% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas
0% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis Lidia Patricia Macas Guamán.pdf
ID del documento: 8d8dc1bd4fab8bb589924d82f5721836fde1e29
Tamaño del documento original: 7,49 Mo

Depositante: LUIS ANTONIO PEÑAHERRERA COLINA
Fecha de depósito: 28/2/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 28/2/2023

Número de palabras: 23.762
Número de caracteres: 155.913

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.utb.edu.ec Evolución de la resistencia de malezas al control químico en arr... http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/10241/3/E-UTB-FACIAG-ING_AGRON-000163.pdf.txt 4 fuentes similares	2%		Palabras idénticas : 2% (443 palabras)
2	dspace.utb.edu.ec *Control químico de malezas en el cultivo de Sorgo (Sorghum sp... http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/11310/3/E-UTB-FACIAG-ING_AGRON-000357.pdf.txt 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas : 1% (286 palabras)
3	doi.org Plant, Soil and Environment: Barnyardgrass (Echinochloa crus-galli (L.) P. Be... https://doi.org/10.17221/92/2020-PSE	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (165 palabras)
4	repositorio.esпам.edu.ec Presencia de malezas resistentes a herbicidas en el culti... http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1099/4/TTA17.pdf.txt 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (190 palabras)
5	www.scielo.org.mx Efectividad biológica de herbicidas inhibidores de la acetil coe... https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000500713 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (106 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	hdl.handle.net Sistemas aeróbicos y anaeróbicos del cultivo del arroz con aplicació... http://hdl.handle.net/10662/11928	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (38 palabras)
2	dspace.utb.edu.ec Respuesta de seis líneas F6 de arroz (Oryza sp.), ante los patóge... http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/10071/3/C-UTB-CEPOS-MPV-000002.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (39 palabras)
3	www.scielo.br https://www.scielo.br/j/pd/a/hSSn7ZCczfYyFHnc84Q7gQz/?format=pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (36 palabras)
4	hdl.handle.net Resistencia de malas hierbas a herbicidas en el cultivo del arroz y e... http://hdl.handle.net/10662/9998	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (29 palabras)
5	hdl.handle.net Trigo Clearfield y gramíneas (L. rigidum) resistentes a imidazolinona... http://hdl.handle.net/10396/17215	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (30 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <http://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos>
- <https://cgspace.cgiar.org/>
- <https://inta.gob.ar/saenzpena>
- <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20002301280>
- <http://www.weedscience.com/summary/home.aspx>



Validado por:
LUIS ANTONIO
PENAHERRERA COLINA

Avalado por:

Luis Peñaherrera Colina, PhD.
Director de Trabajo de Titulación.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos.....	III
Certificación de autoría intelectual.....	IV
Certificación del tutor.....	V
Informe de análisis de coincidencias aplicando el Sistema COMPILATION..	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
<i>RESUMEN</i>	1
<i>SUMMARY</i>	2
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	3
<i>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	6
2.1. Formulación del problema.....	6
2.2. Justificación.....	7
2.3. Objetivos.....	8
2.3.1. Objetivo general.....	8
2.3.2. Objetivos específicos.....	8
<i>III. MARCO TEÓRICO</i>	9
3.1. Cultivo de arroz.....	9
3.2. Problemática de Malezas.....	10
3.3. Estrategias de Control.....	12
3.4. Resistencia y tolerancia a herbicidas.....	14
3.4.1. Resistencia.....	14

3.4.2. Tolerancia a herbicidas.....	19
3.5. Ensayos Dosis-Respuesta.....	20
IV. METODOLOGÍA.....	23
4.1. Ubicación del experimento.....	23
4.2. Materiales y Equipos.....	23
4.2.1. Oficina.....	23
4.2.2. Invernadero.....	24
4.2.3. Laboratorio.....	24
4.3. Material Vegetal.....	24
4.4. Factores en estudio.....	24
4.5. Unidad experimental.....	26
4.5.1. Screening.....	26
4.5.2. Dosis-Respuesta.....	26
4.6. Tratamientos.....	26
4.6.1. Screening.....	26
4.6.2. Dosis-Respuesta.....	26
4.7. Diseño experimental y análisis de datos.....	26
4.7.1. Screening.....	26
4.7.2. Dosis-Respuesta.....	26
4.8. Variables a evaluar.....	27
4.8.1. Toxicidad después de la aplicación (dda).....	27
4.8.2. Altura de planta.....	27
4.8.3. Peso foliar fresco.....	28
4.8.4. Peso foliar seco.....	28
4.8.5. Índice de resistencia.....	28

4.9. Manejo del experimento.....	28
4.9.1. Preparación de sustrato a utilizarse.....	28
4.9.2. Siembra.....	29
4.9.3. Trasplante a maceteros.....	29
4.9.4. Riego.....	29
4.9.5. Aplicación de herbicida.....	29
4.9.6. Evaluación.....	30
4.9.7. Colecta.....	30
V. RESULTADOS.....	31
5.1. Fase de screening zona de Daule.....	31
5.1.1. Índice de toxicidad.....	31
5.1.2. Altura de planta.....	31
5.1.3. Peso foliar.....	32
5.1.4. Supervivencia.....	32
5.2. Fase de screening zona de Yaguachi.....	34
5.2.1. Índice de toxicidad.....	34
5.2.2. Altura de planta.....	34
5.2.3. Peso foliar.....	34
5.2.4. Supervivencia.....	35
5.3. Fase de Dosis-Respuesta zona de Daule.....	37
5.3.1. Índice de toxicidad.....	37
5.3.2. Efecto sobre altura de planta de la aplicación de penoxsulam de la zona de Daule.....	39
5.3.3. Representación gráfica del peso foliar fresco en la zona de Daule.....	48

5.3.4. Representación gráfica del peso foliar seco en la zona de Daule.....	51
5.4. Fase de Dosis-Respuesta zona de Yaguachi.....	55
5.4.1. Índice de toxicidad.....	55
5.4.2. Efecto sobre altura de planta de la aplicación de penoxsulam de la zona de Yaguachi.....	58
VI. DISCUSIÓN.....	71
VII. CONCLUSIONES.....	75
VIII. RECOMENDACIONES.....	76
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	85
ANEXOS 1: COLABORADORES.....	86
ANEXOS 2: CRONOGRAMA.....	86
ANEXOS 3: PRESUPUESTO.....	86
ANEXOS 4: FOTOGRAFÍAS.....	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos meteorológicos de la Estación Experimental Litoral Sur... ..	23
Cuadro 2. Identificación geo-referenciada de las poblaciones de <i>Echinochloa crus-galli</i> , con posible resistencia a los herbicidas inhibidores de la enzima acetolactato sintetasa (ALS), en las localidades de Daule y Yaguachi, Provincia del Guayas-Ecuador	25
Cuadro 3. Detalle de los tratamientos en el ensayo: Niveles de tolerancia y/o resistencia en poblaciones de <i>Echinochloa crus-galli</i> a penoxsulam en dos zonas arroceras del Guayas... ..	27
Cuadro 4. Escala visual de daño en las plantas... ..	28
Cuadro 5. Susceptibilidad, altura, peso foliar fresco, seco y sobrevivencia de diferentes poblaciones de <i>E. crus-galli</i> de la zona de Daule tratadas con penoxsulam... ..	33
Cuadro 6. Susceptibilidad, altura, producción de peso foliar fresco y seco y sobrevivencia de diferentes poblaciones de <i>Echinochloa crus-galli</i> de la zona de Yaguachi tratadas con penoxsulam... ..	36
Cuadro 7. Toxicidad a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación de penoxsulam a las poblaciones de <i>Echinochloa crus-galli</i> de la zona de Daule... ..	38
Cuadro 8. Parámetros de la ecuación de regresión $[y=A_2 + (A_1-A_2)/(1 + (x/x_0)^p)]$ utilizada para estimar la dosis de penoxsulam requerida para reducir al 50% la biomasa de plantas de <i>Echinochloa crus-galli</i> resistentes a este herbicida de las poblaciones de Daule.....	54
Cuadro 9. Toxicidad a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación de penoxsulam a las poblaciones de <i>Echinochloa crus-galli</i> de la zona de Yaguachi	57
Cuadro 10. Parámetros de la ecuación de regresión $[y=A_2 + (A_1-A_2)/(1 + (x/x_0)^p)]$ utilizada para estimar la dosis de penoxsulam requerida para reducir al 50% la biomasa de	

plantas de *Echinochloa crus-galli* resistentes a este herbicida de las poblaciones de Yaguachi.....70

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: (A) PD2 (R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8... 40
- Figura 2.** Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8... 41
- Figura 3.** Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14 dda: (A) PD2 (R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8... 43
- Figura 4.** Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14 dda: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8... 44
- Figura 5.** Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21 dda: (A) PD2 (R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y

desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.....46

Figura 6. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21 dda: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.....47

Figura 7. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (A) PD2 (R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 849

Figura 8. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 850

Figura 9. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (A) PD2 (R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 852

Figura 10. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 853

Figura 11. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a

los 7 dda: (A) PY1 (R) y PY11 (S); (B) PY4 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10..... 59

Figura 12. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: (C) PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.60

Figura 13. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14 dda: (A) PY1 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10...61

Figura 14. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14 dda: (B) PY4 (R) y PY11 (S); (C) PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10..... 62

Figura 15. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21 dda: (A) PY1 (R) y PY11 (S); (B) PY4 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10..... 64

Figura 16. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21 dda: (C) PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.65

Figura 17. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(A)** PY1 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10...66

Figura 18. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(B)** PY4 (R) y PY11 (S); **(C)** PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.67

Figura 19. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(A)** PY1 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10...68

Figura 20. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(B)** PY4 (R) y PY11 (S); **(C)** PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.69

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Litoral Sur (EELS), ubicada en la Prov. del Guayas, cantón Yaguachi, parroquia Virgen de Fátima, en el Km. 26 de la vía Durán-Tambo. Como material vegetal se emplearon 29 poblaciones de maleza *Echinochloa crus-galli* que fueron colectadas en áreas arroceras de Yaguachi (17 poblaciones) y Daule (12 poblaciones), las cuales fueron sometidas a dos fases de estudio en condiciones controladas. La primera fase fue de tipo exploratorio (screening) con 6 repeticiones y la segunda fase con 10 repeticiones para la cual se seleccionaron poblaciones de la primera fase, en la que se ejecutó en experimento en la modalidad dosis-respuesta. Como resultado del screening, se seleccionaron 4 poblaciones por cada localidad (Yaguachi y Daule) que mostraron comportamiento de resistencia y/o tolerancia y susceptibilidad, con las cuales se realizó el experimento de dosis-respuesta. Así, los tratamientos fueron 40 por cada localidad, que corresponden a 4 poblaciones de Daule (PD2, PD6, PD7 y PD12) y a 4 poblaciones de Yaguachi (PY1, PY4, PY11 y PY13) con 10 dosis diferentes del herbicida penoxsulam (640, 320, 160, 80, 40, 20, 10, 5, 2.5 g i.a. ha⁻¹ y 0 que es el testigo), distribuidas en un Diseño Completamente al Azar (DCA), empleando laprueba de Tukey al 95% de probabilidad. Como conclusión importante se determinó que el índice de toxicidad en la fase dosis-respuesta en la zona de Daule, a los 7 y 14 días, la población PD6 presentó daño moderado, incrementando a los 21 días a daño fuerte; mientras que, desde los 7 hasta los 21 días, en la fase dosis-respuesta en la zona de Yaguachi, la población PY11 presentó mayor daño. La zona de Yaguachi presenta *E. crus-galli* con tolerancia y/o resistencia al herbicida penoxsulam.

Palabras claves: herbicidas, arroz, resistencia, susceptibilidad, malezas.

SUMMARY

This research was carried out at the facilities of the National Agricultural Research Institute (INIAP), Litoral Sur Experimental Station (EELS), located in the Guayas province, Yaguachi canton, Virgen de Fátima parish, at Km 26 of the Duran-Tambo road. As plant material, 29 weed populations of *Echinochloa crus-galli* were used, which were collected in the Yaguachi (17 populations) and Daule (12 populations) which were subjected to two study phases under controlled conditions. The first phase was exploratory (screening) with 6 repetitions and the second phase with 10 repetitions for which populations of the first phase were selected, in which the experiment was executed in the dose-response mode. As a result of the screening, 4 populations were selected for each locality (Yaguachi and Daule) that showed resistance and/or tolerance and susceptibility behavior, with which the dose-response experiment was carried out. Thus, the treatments were 40 for each zones, corresponding to 4 populations of Daule (PD2, PD6, PD7 and PD12) and 4 populations of Yaguachi (PY1, PY4, PY11 and PY13) with 10 different doses of the herbicide penoxsulam (640, 320, 160, 80, 40, 20, 10, 5, 2.5 g i.a. ha⁻¹ and 0 which is the control), distributed in a Completely Random Design (DCA), using the Tukey test at 95% probability. As an important conclusion, it was determined that the toxicity index in the dose-response phase in the Daule zone, at 7 and 14 days, the PD6 population showed moderate damage, increasing at 21 days to strong damage, while from 7 up to 21 days, in the dose-response phase in the Yaguachi zone, the PY11 population showed greater damage. The Yaguachi zone presents *E. crusgalli* with tolerance and / or resistance to the herbicide penoxsulam.

Key words: herbicides, rice, resistance, susceptibility, weeds.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más antiguos, situándose su origen en el continente asiático y es considerado el segundo cereal más consumido a nivel mundial. En Ecuador, se cultiva aproximadamente una extensión de 340.281 ha, lo cual representa una producción de 1,5 millones de toneladas. El arroz es de gran importancia socioeconómica en el país y está localizado en mayor porcentaje de producción (90,5 %) en las provincias del Guayas y de Los Ríos (Ministerio de Agricultura, 2021).

El cultivo de arroz es una especie que se desarrolla en condiciones de alta humedad y temperatura; las cuales son propicias para la aparición de un sin número de plagas que afectan su producción. Entre estas plagas, las malezas son de mayor importancia, debido a que por presentarse condiciones favorables para su desarrollo interfieren de manera continua al cultivo; compitiendo por agua, luz, nutrientes y espacio (INIAP, 2007).

La incidencia de las malas hierbas es uno de los principales problemas durante el desarrollo vegetativo del cultivo que, de no ser controladas, afectaría su desempeño reduciendo los rendimientos hasta en un 60 %; y, en ciertos casos, si el periodo vegetativo se alarga se puede manifestar en pérdida total de la cosecha. Una de las principales labores de manejo es el control mediante el uso apropiado de herbicidas (Peñaherrera, 2009).

Sin embargo, la dependencia de estos productos o su mala aplicación pueden provocar diversos problemas como contaminación de fuentes de agua, acumulación de residuos en alimentos y, en especial, el surgimiento de biotipos de malezas resistentes a herbicidas. Ante los continuos reportes a nivel de campo por falta de eficacia o pérdida de sensibilidad hacia los herbicidas usados en el cultivo de arroz en ciertas especies de malezas, es necesario determinar la presencia de poblaciones con características de resistencia.

La resistencia es la capacidad adquirida de las malezas para soportar la dosis comercial de un herbicida, completar su ciclo de vida y reproducirse en un sistema agrícola. América Latina no es la excepción del desarrollo de la resistencia de las malezas, pues se han reportado 21 malezas gramíneas con resistencia a herbicidas en los cultivos: arroz, soya, trigo y frutales. Por ejemplo; en el cultivo de arroz en Venezuela, se ha encontrado 19 poblaciones de *Echinochloa colona* L., procedentes de Calabozo, en el estado de Portuguesa, con biotipos que presentan resistencia a propanil y fenoxaprop; en la especie *Ischaemum rugosum*, se detectaron poblaciones resistentes al bispiribac sodio; y poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis* en campos de maíz con resistencia a nicosulfuron (Delgado *et al.*, 2008).

En Brasil los casos más frecuentes de resistencia de las malezas a los herbicidas están relacionados con inhibidores de la Aceto Lactato Sintetasa (ALS) y Acetil Coenzima Carboxilasa (ACCase). Sin embargo; hay la posibilidad de que ya existan biotipos resistentes de *Lolium multiflorum* que no sean controlados con glifosato debido a la intensidad de su uso (Román *et al.*, 2004).

En Ecuador, la provincia de Guayas goza de suelos muy productivos e intensivamente cultivados, y actualmente se desconoce el grado de afectación y las pérdidas que ocasionan las malezas existentes. Sin embargo, algunos productores y dueños de fincas mencionan que las malezas perturban y desplazan sus cultivos en mayor o menor grado. En este sector las malezas se conocen muy bien por el nombre común, y el control de las mismas se realiza de forma generalizada con glifosato y dicloruro de paraquat antes de la siembra del cultivo, no obstante, éste tipo de control no elimina de forma permanente la aparición de nuevos individuos, ni el banco de semillas del suelo, por lo que en la siguiente cosecha tienen que aplicar nuevamente herbicidas, causando resistencia (Amaya *et al.*, 2018).

Penoxsulam es un herbicida que se aplica de forma generalizada en los arrozales al resultar eficaz frente a *Echinochloa spp.*, y tener cierto control frente a ciperáceas, pero tiene el inconveniente de pertenecer a un grupo de herbicidas vulnerable a la aparición de resistencias (Pardo *et al.*, 2015).

Por lo antes expuesto, la presente investigación se desarrolló con la finalidad de estudiar los niveles de tolerancia y/o resistencia en poblaciones de *Echinochloa crus-galli* a penoxsulam en dos zonas arroceras del Guayas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Formulación del problema

Los productores arroceros enfrentan numerosos problemas que causa pérdidas en sus cosechas, especialmente por la afectación de diversas malezas que se presentan durante el desarrollo de los cultivares.

Las malezas o también consideradas “malas hierbas” son plantas indeseables o “fuera de lugar” que compiten con el cultivo por agua, luz, nutrimentos; siendo de vital importancia efectuar controles adecuados que erradiquen y/o disminuyan el nivel de infestación, cuya afectación se debe al uso continuo de fórmulas químicas hacia el mismo cultivo o dosis elevadas que causa lo llamado “resistencia”.

En el Ecuador son escasos los catálogos de malezas o arvenses en cultivos, algunos son parte de trabajos de titulación no publicados o informes técnicos de difícil acceso a productores, estudiantes e investigadores, y los que existen son de zonas específicas. Por esta razón la aplicación de herbicidas es generalizada, sin tomar en cuenta la biología de la planta mal llamada maleza (Amaya *et al.*, 2008); además, a pesar de haber reportes de campo que hablan de baja eficiencia, no existen investigaciones y publicaciones sobre malezas resistentes a herbicidas. Actualmente existen dudas entre los productores del cultivo de arroz sobre el control eficaz de los herbicidas inhibidores de ALS en la especie *Echinochloa crus-galli*.

Con el transcurso del tiempo se ha observado que esta maleza ha ido generando biotipos que resisten a las aplicaciones, debido al abuso de productos altamente selectivos. La presente investigación buscó confirmar la presencia de estos biotipos y de tal forma descartar errores durante la aplicación tomando en cuenta factores importantes como la calidad de agua y sub-dosificación.

2.2. Justificación

Desde el punto de vista agronómico las malezas fueron definidas como aquellas plantas, exóticas o nativas, que interfieren negativamente en cultivos importantes para el humano. Conocer la composición de especies de malezas en un lugar es el primer paso para conocer el grado de afectación y el posterior manejo de las mismas. En este sentido, el manejo integrado de malezas (MIM) plantea tomar en consideración la taxonomía, biología, fenología, tipo de reproducción y el nivel de infestación de las plantas introducidas en los cultivos para sugerir y ejecutar un manejo eficiente y sostenible, garantizando así el equilibrio ecológico de los agro-ecosistemas (Amaya *et al.*, 2018).

En una población de malezas, la aplicación de un herbicida es un evento catastrófico que, normalmente debería causar más de un 90% de mortalidad. Es posible imaginar un escenario donde ocurran variantes dentro de la población que logren sobrevivir a esa aplicación. Si esta presión de selección se mantiene en el tiempo, es de esperar que la frecuencia de dichos individuos aumente, dificultando entonces el control de las malas hierbas (De la Vega, 2013).

El presente trabajo de investigación se basa en reportes a nivel de campo de la existencia de biotipos de maleza *Echinochloa crus-galli*, con pérdida de sensibilidad a los herbicidas inhibidores de ALS (penoxsulam), debido a su uso continuo y a su mecanismo de acción. En nuestro país, el incremento de malezas resistentes a herbicidas está obligando a productores y técnicos a replantear el sistema agrícola vigente desde mediados de la década de 1990, poniendo en práctica estrategias de manejo sustentables que eviten el uso indiscriminado de agroquímicos (El Productor, 2014).

Debido a esto, la investigación se basa en identificar zonas con problemas de tolerancia y/o resistencia y, dependiendo de los resultados, poder generar recomendaciones integradas para disminuir su incidencia y por ende aumentar la rentabilidad en el cultivo de arroz.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Determinar los niveles de resistencia o tolerancia al herbicida penoxsulam presente en biotipos de *Echinochloa crus-galli* en zonas arroceras de Yaguachi y Daule.

2.3.2. Objetivos específicos

a. Determinar la presencia de biotipos de *E. crus-galli* con tolerancia o resistencia a penoxsulam.

b. Identificar la zona donde se manifiesta *E. crus-galli* con tolerancia y/o resistencia al herbicida.

c. Determinar el índice de resistencia (IR) en estos biotipos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Cultivo de arroz

En Ecuador, uno de los principales productos de la canasta básica es el arroz; con la mayor superficie sembrada (junto con maíz), la cual se la realiza durante todo el año de manera escalonada y en ciertas zonas se siembra hasta tres ciclos en el año. Durante el año 2021, la superficie sembrada a nivel nacional fue de 340.281 hectáreas y un rendimiento promedio de 1,5 millones de toneladas; donde del 90,5 % de la producción a nivel nacional proviene de la provincia del Guayas con el 73 % y de Los Ríos con 22 %, (Ministerio de Agricultura, 2021).

El arroz es uno de los principales productos de consumo para la alimentación a nivel global; por lo tanto, es necesario buscar alternativas que incrementen la producción, el cual es afectado principalmente por las malas hierbas, donde se dice que *Echinochloa spp.*, es la principal maleza del arroz, tiene que ser bien controlada con el fin de obtener buenos rendimientos. Para ello se utilizan varios herbicidas en secuencias pre y post emergencia y mezclas. Actualmente, el número de aplicaciones y/o la cantidad de productos en mezclas y/o las dosis de herbicidas se han ido aumentando con el fin de obtener buenos controles, lo cual puede estar indicando que estamos teniendo problemas para controlar las malezas

Un alto porcentaje de arroz del área sembrada en el mundo es bajo el sistema de monocultivo, debido a esto hay problemas con malezas que interfieren en su productividad, donde se observa la necesidad de intensificar el control químico de malezas (Fisher y Valverde, 2005).

A nivel mundial los sistemas de producción de arroz se han caracterizado por incluir pasturas en rotación, el uso moderado de insumos y muy altos rendimientos. Sin embargo, cambios en el uso del suelo han dado lugar a rotaciones más intensas con la inclusión de otros cultivos, reduciendo la fase de pasturas en la mayoría del área. Se

conoce que la intensificación de la producción y la reducción de las rotaciones conlleva a un aumento en el uso de herbicidas, siendo éste el principal motor de la evolución de malezas resistentes (Marchesi, 2015).

3.2. Problemática de Malezas

En los agro ecosistemas, la presencia de malezas interfiere dificultando las tareas de siembra, cosecha y generando pérdidas de rendimiento por competencia con los cultivos. La magnitud de estas pérdidas varía en función de la interacción de numerosos factores tales como la composición de la comunidad de malezas, la abundancia relativa de cada una de las especies que la integran, las condiciones ambientales, la modalidad de la conducción del cultivo, entre otros. Los niveles de pérdida causados por las malezas pueden oscilar entre 0 y 30 % para especies poco agresivas con bajos niveles de infestación hasta un 80% para malezas más competitivas, en densidades muy altas y frecuentemente coexistiendo con el cultivo durante todo su ciclo (Tuesca *et al.*, 2010).

En arroz, el principal problema de tipo biótico que enfrenta la producción de esta gramínea es la incidencia de malezas. El combate de malezas en cultivos anuales y extensivos como el arroz es una labor obligada que busca evitar sus daños por interferencia y obtener altos rendimientos. A diferencia del sistema de riego, en secano las malas hierbas crecen continuamente interfiriendo de forma directa y significativa con el cultivo (INIAP, 2012).

Según Montenegro y Parada (2015), el control de malezas es un factor muy importante en la agricultura ya que su omisión conlleva a perjuicios en los cultivos como la calidad, ganancias, productividad entre otras, ya que pueden presentarse en la zona agrícola que no cuenta con la adecuada tecnificación de las fincas y los suelos.

Las malas hierbas son responsables de las mermas de rendimiento en arroz en mayor medida que las plagas o enfermedades. A nivel mundial, se estima en un 37% la reducción de rendimiento en el arroz como consecuencia de ellas, suponiendo una producción media mundial de 3,9 t/ha (Pardo *et al.*, 2015).

La incidencia de malezas durante los primeros días de desarrollo del cultivo reduce los rendimientos hasta en un 60%; en caso de alargarse el período de control de malezas puede hasta presentarse la pérdida total de la cosecha (Peñaherrera, 2009).

Un porcentaje elevado del área sembrada con arroz en el mundo está bajo el sistema de monocultivo, y por ello se han asociado al arroz malezas que comprometen seriamente su productividad. El arroz, en todas sus modalidades de siembra directa, es un cultivo altamente dependiente de los herbicidas. Aún en las zonas arroceras, donde ha predominado el sistema de trasplante, la expansión registrada en el área de siembra directa lleva implícita la necesidad de intensificar el control químico de malezas (Fisher y Valverde, 2010).

Echinochloa crus-galli o pasto corral es una maleza gramínea anual, que se reproduce a través de semillas y puede crecer hasta 150 cm de altura (Bagavathiannan *et al.*, 2012). Es una especie de maleza ampliamente distribuida y es reconocida como la maleza de arroz más grave del mundo que afecta hasta 36 cultivos en 61 países (Riar *et al.*, 2012, Chen *et al.*, 2016).

Puede proliferar en regiones templadas, tropicales y subtropicales, y una sola planta de pasto de corral puede producir hasta 39 000 semillas (Bagavathiannan *et al.*, 2012, Miller *et al.*, 2018). Debido a su amplia tolerancia ecológica, alta adaptabilidad, rápida germinación, abundante producción de semillas y fuerte capacidad competitiva, las pérdidas económicas por su proliferación continúan aumentando (Bajwa *et al.*, 2015).

Echinochloa spp., es la principal maleza del arroz, tiene que ser bien controlada con el fin de obtener buenos rendimientos. Para ello, se utilizan varios herbicidas en secuencias pre y post emergencia y mezclas de tanque. Actualmente, el número de aplicaciones y/o la cantidad de productos en mezclas y/o la dosis de herbicidas se han ido aumentando con el fin de obtener buenos controles, lo cual puede ser un indicativo de que hay problemas para controlar las malezas. Por otro lado, un estudio reciente realizado con *E. crus-galli* (L.) Beauv detectó varios biotipos resistentes a quinclorac y a propanil (Marchesi, 2015).

La resistencia del pasto de corral a los herbicidas comunes con diferentes modos de acción se detectó por primera vez en campos de maíz canadiense (*Zea mays* L.) en 1990

(Stephenson *et al.*, 1990). En el mundo hay 159 especies de malezas resistentes a los herbicidas inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS), entre ellas especies del género *Echinochloa*; de éstas, 19 biotipos han desarrollado resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS, de entre las cuales *E. crus-galli* es considerada la sexta maleza más resistente a herbicidas (Heap, 2016).

El método más efectivo para controlar el pasto de corral es el uso de herbicidas sintéticos, pero los biotipos resistentes han evolucionado debido al uso repetido y excesivo del mismo (un) herbicida o diferentes herbicidas con el mismo modo de acción con el tiempo, lo que lleva a una reducción de la eficacia de los herbicidas y graves pérdidas de productividad (Datta *et al.*, 2017, Song *et al.*, 2017, Fang *et al.*, 2019). Por lo tanto, los métodos químicos actuales para el control de malezas se han vuelto insuficientes (Chauhan y Abugho, 2013, Kaya Altop *et al.*, 2014, Guo *et al.*, 2017).

Diez De Ulzurum y Leaden (2012), manifiestan que, a pesar de los avances realizados para el control de malezas, la problemática no mejoró; por el contrario, aparecieron nuevos desafíos, como la dominancia de las malezas tolerantes y la aparición de resistencia a los herbicidas de uso predominante.

3.3. Estrategias de Control

Una alternativa para solucionar el problema de las malezas consiste en el control químico utilizando herbicidas. La elección de estrategias de reducción o de erradicación de malezas en reemplazo de estrategias de prevención y contención se vio favorecida no solo por factores tecnológicos, como la eficacia de los principios activos y la tecnología de aplicación, sino también por económicos y socioculturales como la disminución de los costos relativos, el aumento de la escala productiva y las características de los actores involucrados en el proceso de producción. A pesar de la continua generación y sustitución de varios herbicidas en las últimas dos décadas no ha sido posible erradicar las malezas, sino que, por el contrario, se seleccionaron biotipos tolerantes y/o resistentes a algunos ingredientes activos (Tuesca *et al.*, 2010).

Aunque existen un número de herbicidas generales o totales que resultan activos frente a cualquier tipo de planta, no cabe duda que, los más importantes tanto cualitativa como cuantitativamente, son los herbicidas específicos o productos capaces de controlar un

amplio espectro de malas hierbas sin afectar a los cultivos sobre los que se aplican. La selectividad puede deberse a causas físicas o, más frecuentemente, bioquímicas, siendo en este último caso, consecuencia de las diferencias genéticas existentes entre distintas especies vegetales (Cruz, 2017).

Para evitar pérdidas en la producción de los cultivos, muchos productores realizan el control de malezas exclusivamente con herbicidas sin contar con otros métodos de manejo (Peñaherrera, 2007).

De entre los distintos métodos de manejo de malezas, el control químico se caracteriza por ser práctico, eficiente y relativamente económico; aunque el uso reiterado, selecciona poblaciones de malezas resistentes (Powles y Yu, 2010).

En cuanto al control químico, los herbicidas constituyen una herramienta fundamental en el manejo de las malas hierbas del cultivo en conjunto con las prácticas agronómicas. En España, el arroz es un cultivo que posee escasas materias activas registradas para el control de malas hierbas, perteneciendo la mayoría de los herbicidas a dos mecanismos de acción diferentes: inhibidores de las enzimas acetolactato sintetasa (ALS) e inhibidores del acetil coenzima-A carboxilasa (ACCase) (Coria, 2017) por lo que deben ser integrados con otras prácticas control

Según Heap (2012), el uso de herbicidas de acción selectiva supone que determinadas especies cultivadas y no cultivadas son capaces de desarrollarse a las dosis recomendadas de aplicación agrícola de esos herbicidas, aunque puedan ser controladas a dosis superiores. Un grupo importante de herbicidas son los que corresponden a los inhibidores de la enzima Aceto-Lactato Sintasa (ALS), que está involucrada en la síntesis de algunos aminoácidos. Se caracterizan, debido a la baja dosis de uso, baja toxicidad y bajo riesgo ambiental.

Guevara y Burdyn (2016) mencionan que los herbicidas Inhibidores de Acetolactato sintetasa (ALS), bloquean la enzima responsable de la formación de los aminoácidos esenciales como son: valina, leucina e isoleucina en las plantas y, por ende, la planta muere lentamente. Son absorbidos por las raíces y hojas, se mueven por toda la planta; por lo que, las lesiones se observan con mayor frecuencia en los brotes, zona de

más activo crecimiento. La manifestación de señales de daño es lenta, puede presentarse a las dos semanas o más dependiendo de las condiciones climáticas y la tasa de crecimiento de las plantas tratadas.

El uso de herbicidas altamente selectivos, que son también muy específicos, ha dado origen a poblaciones de diferentes especies de gramíneas; las cuales, según reportes de campo, muestran tolerancia a los herbicidas de uso común como los inhibidores de ACCasa y ALS (AHAS). Esto es el resultado del abuso sobre la utilización de las mismas moléculas químicas (Peñaherrera, 2007). Uno de los medios para reducir su incidencia es la aplicación integrada de distintos métodos de forma simultánea, entre ellos densidades de siembra y uso de cultivares competitivos, de tal forma que el cultivo se desarrolle de forma vigorosa en los periodos iniciales y aventaje a las malezas e inhiba su aparición y crecimiento.

Kogan *et al.*, (2011) manifiestan que con la aplicación de penoxsulam (inhibidor de ALS), fue suficiente para lograr un control de amplio espectro; se obtuvo un control del 100% de *E. crus-galli* y los rendimientos fueron de 30 a 56% más altos que en los demás tratamientos y que, además, este herbicida controló malezas acuáticas resistentes al metsulfuron y al bensulfuron.

Según Pardo *et al.*, (2015), penoxsulam es un herbicida que se aplica en los arrozales y el control de *Echinochloa spp.*, resulta ser eficaz; pero el inconveniente es que pertenece a un grupo de herbicidas vulnerable a la aparición de resistencias y en donde fueron probados otros tratamientos que son a base de mezclas de otros herbicidas y que también son eficaces sobre la maleza y al alternar varios grupos químicos ayuda a prevenir la aparición de resistencia a los herbicidas.

A diferencia de Bonow *et al.*, (2018) que resaltan que los herbicidas inhibidores de ALS, no controlan las poblaciones resistentes de *E. crus-galli*, por lo que recomiendan un manejo integrado de malezas y la utilización de mecanismos de acción alternativos como son los herbicidas de los grupos ACCasa y EPSPS.

3.4. Resistencia y tolerancia a herbicidas

3.4.1. Resistencia

Resistencia es la capacidad natural y heredable de un biotipo dentro de la población de una especie de no ser controlada por un herbicida que con anterioridad le afectaba intensamente. Se admite que la resistencia se genera como consecuencia de la eliminación o severa reducción de los biotipos susceptibles de la maleza por acción reiterada del herbicida lo que determina un aumento en la frecuencia de los biotipos resistentes preexistentes en la población, aunque con muy baja frecuencia (Papa, 2002).

Por lo tanto, la resistencia es la capacidad hereditaria natural que tienen algunos individuos de una población de malezas para sobrevivir y reproducirse después de ser aplicados con un herbicida (Fisher y Valverde, 2005).

En este sentido, entendemos por biotipo a un grupo de individuos con un bagaje genético semejante y poco diferenciado del resto de los individuos de la misma población. En este caso, este grupo de individuos presenta un cambio en su genoma que les permite sobrevivir a la presión de selección impuesta por la continua aplicación del herbicida (De la Vega, 2013).

Según Claerhout *et al.*, (2015), la resistencia está influenciada por factores biológicos y genéticos que son inherentes a malezas específicas (por ejemplo, flujo génico, heredabilidad y características de resistencia genes), así como por la presión de selección que puede ser manipulado por la elección del sistema de cultivo y prácticas de manejo de malezas (Powles & Yu, 2010; Harker y O' Donovan, 2013). Prácticas agrícolas repetitivas simples como monocultivo, promover malezas estrechamente relacionadas con el cultivo (Murphy & Lemerle, 2006) y el entorno estable permite que las malezas se adapten a las estrategias de control (Harker y O' Donovan, 2013).

Las características de las malas hierbas y del herbicida influyen en la tasa de evolución de la resistencia. En el caso de la mala hierba, las características más importantes son la frecuencia de genes, el tamaño y la viabilidad del banco de semillas del suelo y la adaptabilidad al medio. En el herbicida se deben considerar factores como eficacia, dosis, frecuencia de aplicación y persistencia en el suelo. La importancia relativa

de estos factores se ha tratado de determinar mediante el uso de modelos. Estos modelos y la experiencia práctica indican que el factor principal en la evolución de la resistencia es la presión de selección impuesta por el herbicida (Cruz, 2017).

La resistencia debe considerarse como un proceso evolutivo porque implica un cambio en las frecuencias génicas de una población, que proviene de la selección a favor de ciertos genotipos. El uso repetido de un mismo tipo de herbicida conduce al incremento de la frecuencia de los alelos de resistencia en la maleza y, por lo tanto, al aumento de individuos resistentes en una población. Un pre-requisito de esta evolución hacia la resistencia es la existencia de variabilidad genética sobre la cual pueda actuar la selección. Esta variabilidad existe porque los genotipos resistentes resultan de mutaciones al azar y pueden estar presentes en una población aún antes de que ésta haya sido expuesta a la acción del herbicida (Fisher y Valverde, 2010).

Dentro de una población de malezas hay variabilidad genética para numerosos caracteres, entre ellos la capacidad de resistir a un compuesto químico o principio activo con distinto modo de acción. Al aplicar este compuesto herbicida sobre la población, dichos individuos (mutantes) sobreviven dada su capacidad de resistir, y serán privilegiados en su producción de descendencia -también resistente- respecto de los individuos susceptibles, quienes en su gran mayoría serán eliminados. En la nueva generación de malezas, la proporción de mutantes será mayor (Marchesi y Saldain, 2012).

De acuerdo a las investigaciones de Gimenez *et al.*, (2011), la resistencia de las malezas, como podemos observar, es a nivel de todos los países, por lo que se busca realizar trabajos con nuevas recomendaciones para su control y tratando de conservar el medio ambiente, y que la aparición de la resistencia a los herbicidas inhibidores de la ALS, se debe a su continua aplicación.

En el caso de las malezas la aparición de biotipos resistentes presentó una demora; esto se debió principalmente a la presencia del banco de semillas en el suelo, donde cada año germinan individuos provenientes de distintas generaciones permitiendo entonces la concurrencia de individuos susceptibles y resistentes. En este sentido, es importante destacar que en general, el fenómeno de resistencia se hace visible cuando los biotipos resistentes alcanzan por lo menos un 30% de los individuos dentro de la población. Para

ese entonces, es posible que el banco de semillas susceptibles haya cambiado a un banco de semillas resistentes. Es así como, la detección es más lenta, pero el manejo será mucho más difícil (De la Vega, 2013).

Sin embargo, con el pasar de los años y tras muchas investigaciones se ha determinado que los mecanismos de resistencia en las malezas se basan en que las enzimas donde actúan los herbicidas se vuelven menos sensibles a los mismos, o algunas enzimas degradan más rápidamente a los herbicidas antes de que actúen, o los inactivan con reacciones con otros compuestos, o le impiden ingresar en la cantidad necesaria a la maleza o al sitio de acción (Marchesi y Saldain, 2012). El aumento rápido de la resistencia a los herbicidas inhibidores de la ALS, se atribuye en parte a la frecuencia alta de mutación natural en el centro de acción de la enzima (Devine y Preston, 2000).

En la práctica, la presión de selección depende de la dosis de herbicida utilizada, su eficacia y la frecuencia de aplicación. Por lo tanto, se puede disminuir la presión de selección mediante la aplicación de mezclas de herbicidas con distintos mecanismos de acción y degradación, que sean eficaces contra el mismo espectro de malas hierbas. La rotación de herbicidas basados en estos mismos criterios también atenúa la presión de selección. Los herbicidas persistentes imponen una mayor presión de selección que los no persistentes. La disminución de la dosis de herbicida puede agravar los problemas en vez de disminuirlos porque puede propiciar la selección de resistencia poligénica, es decir la resistencia que depende de más de un gen y se manifiesta como un incremento progresivo en el grado de resistencia de la planta de una generación a la siguiente (Cruz, 2017).

Características de la resistencia:

- La resistencia a uno o varios herbicidas es una característica hereditaria de la maleza, cuya transmisión a las generaciones sucesivas depende de la naturaleza del gen o de los genes involucrados (por dominancia, pseudo-dominancia o recesividad).
- La aparición de la resistencia se relaciona con la presión de selección impuesta por el uso repetido de un mismo herbicida o su ingrediente activo.

La especie de maleza, como tal, es afectada por el herbicida cuando este se aplica en la dosis recomendada, pero que por un proceso evolutivo (por selección de individuos

resistentes) un grupo de biotipos de la especie sobrevive y completa su ciclo reproductivo, a pesar de la aplicación del herbicida (Fisher y Valverde, 2010).

La frecuencia de individuos resistentes depende de la especie de la maleza y del sitio de acción del herbicida. Para algunos herbicidas, como los inhibidores de ALS, la frecuencia de individuos resistentes antes de la aplicación de herbicida puede llegar de 1 a 10000, por lo que tienden a desarrollar resistencia rápidamente (Heap, 2017).

Valverde y Heap, (2010) manifiestan que el herbicida, en virtud de su eficacia biológica, ejerce presión de selección sobre las poblaciones de malezas de modo que los individuos que naturalmente poseen un mecanismo que les permite soportar el efecto del producto sobreviven y se reproducen. También, indican que la resistencia a inhibidores de ALS ha ocurrido en cereales, rotaciones de maíz/soya, arroz, bordes de carretera y plantaciones forestales.

Heap, (2017) reporta que existen 360 biotipos de malezas que han desarrollado resistencia en 59 países; los mismos que están compuestos de 197 especies de malezas que se dividen en 115 dicotiledóneas y 82 monocotiledóneas. La especie más problemática en todo el mundo es *Lolium rigidum*, que muestra resistencia en 12 países; *Conyza canadensis*, *Avena fatua*, *Amaranthus tuberculatus*, *Chenopodium album* y *E. crus-galli* son las segundas malezas resistentes a herbicidas en orden de importancia mundial.

Se ha informado resistencia a herbicidas en 70 países y 92 cultivos. A nivel mundial, se han registrado 164 casos (especies × país × lugar de acción) de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas y 35 casos (país × lugar de acción) de poblaciones de pastode corral (*E. crus-galli* (L.) P. Beauv.) resistentes a herbicidas reportado en arroz. Además, se informó que las malas hierbas monocotiledóneas son generalmente resistentes a los herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS en el arroz en varios países (Heap, 2020).

Existen distintos factores que afectan la evolución de la resistencia de malezas a herbicidas. Dentro de los principales factores genéticos podemos mencionar la frecuencia en que los alelos resistentes se encuentran en la naturaleza. Esta frecuencia es variable según el herbicida que se trate, en el caso de los fenociacéticos esa frecuencia es mucho menor siendo muy alta en el caso de los inhibidores de la ALS. Bajo presión de selección

del herbicida, en el caso de los inhibidores de la enzima ALS en cuatro años se pueden encontrar poblaciones resistentes. Para los inhibidores de la ACCasa, entre seis y ocho, para los inhibidores de la fotosíntesis en el fotosistema II entre 10 y 15, mientras que para las auxinas sintéticas aproximadamente 20 años (De la Vega, 2013).

3.4.2. Tolerancia a herbicidas

Tolerancia es la capacidad natural y heredable que tienen todos los individuos de una especie de soportar la dosis de uso de un herbicida debido a características morfológicas y/o fisiológicas que le son propias; por lo tanto, nunca antes fueron susceptibles (Papa, 2002).

Cuando ciertos individuos son capaces de sobrevivir a la aplicación del herbicida, se determina que la especie es tolerante. Se entiende entonces por tolerancia a la habilidad inherente de una especie de sobrevivir y reproducirse después de ser expuesta a un tratamiento herbicida (De la Vega, 2013).

Características de la tolerancia:

- La tolerancia no resulta de un proceso de selección debido al uso convencional de los herbicidas.
- La selectividad fisiológica, es decir, la propiedad de un herbicida de afectar las malezas sin producir daño al cultivo, está asociada justamente con la tolerancia del cultivo comercial a ese producto (Fisher y Valverde, 2010).

En el manejo de malezas en cultivos se han diferenciado dos conceptos que se relacionan con la capacidad que tienen algunas plantas de sobrevivir a los tratamientos con herbicidas. Así, el término tolerancia se emplea para definir la capacidad natural heredable de una especie para sobrevivir y reproducirse luego de un tratamiento (herbicida), mientras que la resistencia a herbicidas se define como la capacidad heredable de una población o biotipo para sobrevivir y reproducirse después de la aplicación de una dosis de herbicida que era letal para la población original (Tuesca *et al.*, 2010).

Si bien ambos términos muchas veces se usan como sinónimos, no lo son y es importante entender las diferencias entre ambos cuando se trata de analizar fallas en el

manejo de las malezas en un determinado cultivo. En el caso de resistencia, los individuos que sobreviven son atípicos, normalmente están en baja frecuencia, y surgen luego de que una mutación (cambio en el genoma) les confiere esa capacidad de sobrevivir. Es importante aclarar también que el origen de esa mutación no está ligado al herbicida (De la Vega, 2013).

3.5. Ensayos Dosis-Respuesta

Gaines *et al.*, (2017) fundamentan que para determinar la resistencia de *Echinochloa spp.*, fueron tomadas muestras de diferentes puntos de la región y a las cuales las somete a la aplicación de diferentes tratamientos (herbicidas), y como resultado se observó que existen muchos problemas de resistencia de varias especies de malezas, por lo que recomendaron mejorar las prácticas de manejo de los productos.

Vidal *et al.*, (2006) nos indican que el diagnóstico de la resistencia de las malezas a los herbicidas se puede realizar partir de dos formas: in vivo o in vitro. Las pruebas in vivo se pueden realizar directamente en el campo o en un invernadero; aunque la desventaja en el campo es de no tener un testigo susceptible y de no ser prudente al usar dosis más allá de las indicadas en la etiqueta. Para los ensayos en un invernadero, tanto las semillas de malezas sospechosas de resistencia como las susceptibles se recolectan en el campo.

Diez *et al.*, (2014), mencionan que, en Uruguay uno de los factores que afectan la productividad, sostenibilidad y la calidad de la producción arroceras es la presencia de malezas resistentes a los herbicidas; siendo *E. crus-galli* uno de los mayores problemas. Por lo que, se desarrolló la evaluación de la tolerancia al quinclorac de la maleza, trabajo que fue desarrollado a nivel de laboratorio mediante ensayos de dosis-respuesta de *Echinochloa sp.*, mediante el uso de cajas petri con quinclorac. La técnica utilizada fue efectiva para determinar los niveles de tolerancia en los diferentes biotipos analizados y en donde los resultados fueron positivos para su control.

Según Vidal *et al.*, (2010), nos manifiestan que, para ensayos de investigación de resistencia de malezas, trasplantaban 3 plantas en una maceta de plástico de 300 mL de capacidad, la cual contenía un sustrato formado por suelo Latosolo rojo-amarillo y tierra de vivero en proporción 1:1, donde posteriormente, cuando las malezas tenían el tamaño

adecuado, fueron pulverizadas con los diferentes productos y dosis. En todo el experimento las plántulas fueron regadas a diario con agua potable.

En otro ensayo de resistencia se sembraron 60 semillas de *Amaranthus quitensis*, cuatro biotipos resistentes y cuatro biotipos susceptibles en recipientes plásticos y usando una mezcla de tierra, arena y perlita; al momento que las plantas tenían de 4 a 6 hojas verdaderas se realizó la pulverización de los herbicidas imazetapir, clorimurón-etil y flumetsulam, en concentraciones que representan 10 veces más la dosis de uso recomendado por casas comerciales (Romagnoli *et al.*, 2013).

Bolaños-Jiménez *et al.*, (2018) en una investigación de resistencia de *E. crus-galli* hacia los herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS, indicaron que en las variables a evaluar, se valoraron porcentajes de daño a los 10, 20, 30 días después de la aplicación; posterior a esto, obtuvieron la producción de biomasa seca, al cortar la parte aérea de la maleza al nivel del suelo y después colocarlo en una estufa de secado a 70°C por 72 horas, para finalmente después proceder a tomar el peso seco con una balanza digital. En los resultados los herbicidas inhibidores de ACCasa que fueron aplicados en los biotipos mostró un control de 99% y el peso de biomasa seca fue menor; mientras que la aplicación de inhibidores de ALS controló solo un 42%, excepto un biotipo que controló el 77% y se consideró susceptible, el peso seco en ciertos casos fue similar al testigo.

Marchesi y Saldaín, (2018) manifiestan que en un experimento de resistencia de capines utilizaron el diseño experimental de bloques completamente al azar con 4 repeticiones, repitiéndose el ensayo dos veces. Las dosis de los herbicidas incluyeron un testigo 0, así como 0,125; 0,25; 0,50; 1, 2, 4 y 8 veces a dosis recomendada en la etiqueta del producto. Posterior a esto a los 21 días de crecimiento se cortó la parte foliar procediendo a colocar en una estufa para tomar el peso seco por maceta.

Según Marchesi, (2015) se realizaron ensayos de dosis-respuesta con los herbicidas quinclorac, propanil, imidazolinonas y penoxulam; en donde se empleó 40 biotipos de *Echinochloa spp.*, en cada uno fue sometido a ocho dosis de cada herbicida con cuatro repeticiones, siendo la dosis “X” equivalente a la recomendada en el campo; 1/8X, 1/4X, 1/2X, 2X, 4X y 8X, así como una dosis 0 que representa al testigo, se cultivaron en macetas cinco plantas cada una durante 21 días y posterior se procedió a cortar la parte

aérea y se analizó el peso fresco, calculando la dosis letal media (ED_{50}) de cada biotipo vs la más susceptible; donde con quinclorac todos los biotipos probados fueron resistentes, con propanil y penoxulam no se detectó resistencia, a diferencia de las imidazolinonas que presentó solo un biotipo con resistencia.

Según Ortiz *et al.*, (2017) para determinar la resistencia de *Fimbristylis littoralis* a imazapir + imazetapir y su control con otros herbicidas en el cultivo de arroz, se realizó un experimento de respuesta a dosis; en que se emplearon cantidades crecientes del herbicida para estimar la dosis del efecto medio (ED_{50} , dosis en la cual se reduce el crecimiento de las plantas tratadas a un 50% respecto a las no tratadas) y mediante ese resultado calcularon el índice de resistencia (ED_{50R}/ED_{50S}); donde los resultados evidenciaron la evolución de resistencia a la mezcla de estos ingredientes activos.

En un experimento de mecanismos de resistencia de *Ischaemum rugosum* al herbicida bispiribac sodio se realizó una selección de biotipos resistentes y susceptibles y posteriormente ensayos de dosis-respuesta. Se utilizó el diseño experimental bloques completamente al azar con 5 repeticiones y con los datos de peso fresco, expresados como porcentaje de crecimiento respecto al promedio del testigo sin herbicida, se calculó la dosis efecto medio y el correspondiente índice de resistencia; como resultados obtuvieron que los biotipos presentan resistencia al herbicida (Torres y Ortiz, 2017).

La población de *E. crus-galli* se determinó calculando el índice de resistencia según lo descrito por Beckie y Tardif (2012), Yang *et al.*, (2013) y Chen *et al.*, (2016). Se calculó dividiendo el valor de GR50 de cada población sospechosa de resistencia por el valor de GR50 de una muestra sospechosa de susceptibilidad. Utilizando los mismos métodos descritos por Beckie y Tardif (2012), la susceptibilidad a los herbicidas se clasificó en cinco grupos: sin resistencia ($RI < 2$); baja resistencia ($RI = 2-5$); resistencia moderada ($RI = 6-10$); alta resistencia ($RI = 11-100$) y muy alta resistencia ($RI > 100$).

La lucha química contra *Echinochloa spp.*, se basa en tratamientos de pos emergencia y con muy pocos herbicidas. El penoxsulam es el herbicida más utilizado en los últimos 10 años. Pertenece al grupo de las triazolopirimidina, de acción sistémica y selectivo, de aplicación postemergente que controla malas hierbas gramíneas, latifoliadas y ciperáceas del cultivo de arroz. Es absorbido por hojas, tallos y raíces, y en *Echinochloa*

spp., se recomienda su aplicación desde 2 hojas hasta el primer hijo. Su uso en los arrozales está muy generalizado, lo cual conlleva a una alta presión de selección. El mecanismo de acción del penoxsulam consiste en inhibir la enzima acetolactato sintetasa ALS. La inhibición de esta enzima evita la síntesis de los aminoácidos: valina, leucina e isoleucina, que son componentes de las proteínas. El desarrollo de síntomas es lento y se presenta principalmente en los tejidos meristemáticos donde se lleva a cabo la biosíntesis de aminoácidos (Coria, 2017).

IV. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Litoral Sur (EELS), ubicada en la Prov. Del Guayas, cantón Yaguachi, parroquia Virgen de Fátima, en el km. 26 de la vía Durán –Tambo a nivel de invernadero; los parámetros de las condiciones meteorológicas están detallados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Datos meteorológicos de la Estación Experimental Litoral Sur.

Parámetros	Promedios
Zona climática	: Bosque seco pre montano tropical
Latitud	: 2° 15' 15"
Longitud	: 73° 38' 40"
Altitud	: 17 msnm
Temperatura	: 27° C
Precipitación anual	: 1057 mm
Humedad relativa	: 85 %

FUENTE: INAMHI, 2018.

4.2. Materiales y Equipos

4.2.1. Oficina

Computadora, calculadora, bolígrafos, lápices, regla, borrador, papel bond, impresora, cámara fotográfica, etc.

4.2.2. Invernadero

Libro de campo, maceteros con capacidad de 1 L., fundas plásticas, etiquetas, letreros, herbicida (Penoxsulam), pulverizador de espalda presurizado a CO₂, bandejas de germinación, sustrato de germinación, boquillas.

4.2.3. Laboratorio

Libro de campo, estufa, balanza analítica, vasos de precipitación, embudo, agitador, fundas de papel.

4.3. Material Vegetal

En la presente investigación se colectaron 29 poblaciones de malezas de *Echinochloa crus-galli* (Cuadro 2), que fueron obtenidas en las zonas de Yaguachi (17 poblaciones) y Daule (12 poblaciones); las cuales fueron sometidas a dos fases en condiciones controladas.

La primera fase de tipo exploratorio; que consistió en realizar un proceso de selección (screening) para discriminar poblaciones susceptibles de aquellas putativamente resistentes. En la segunda fase, luego de seleccionadas las poblaciones de la primera fase, se aplicaron pruebas de dosis-respuesta para obtener los diferentes niveles de tolerancia y/o resistencia de las malezas (Vidal *et al.*, 2006).

4.4. Factores en estudio

Los factores estudiados fueron los siguientes:

- Poblaciones de *E. crus-galli* que fueron colectadas en campos arroceros procedentes de las localidades de Yaguachi y Daule.
- Evaluación de la aplicación del herbicida penoxsulam en diferentes dosis.

Cuadro 2. Identificación geo-referenciada de las poblaciones de *Echinochloa crus-galli*, con posible resistencia a los herbicidas inhibidores de la enzima acetatolactato sintetasa (ALS), en las localidades de Daule y Yaguachi, Provincia del Guayas- Ecuador.

LOCALIDAD	POBLACIÓN	UBICACIÓN (GPS)	
		S	W
Daule	PD1	1°52'28.0"	80°01'02.6"
Daule	PD2	1°50'57.0"	80°01'45.6"
Daule	PD3	1°54'12.9"	79°53'47.1"
Daule	PD4	1°59'32.5"	79°51'50.2"
Daule	PD5	1°57'19.7"	79°59'50.2"
Daule	PD6	1°58'03.9"	79°55'38.3"
Daule	PD7	1°42'30.8"	80°00'35.0"
Daule	PD8	1°53'08.9"	79°55'38.4"
Daule	PD9	1°52'16.1"	79°52'16.8"
Daule	PD10	1°52'12.7"	79°57'56.3"
Daule	PD11	1°50'54.6"	79°58'06.9"
Daule	PD12	1°56'30.8"	80°01'52.0"
Yaguachi	PY1	2°04'31.9"	79°44'59.9"
Yaguachi	PY2	2°02'40.9"	79°46'04.3"
Yaguachi	PY3	2°06'10.2"	79°42'03.7"
Yaguachi	PY4	2°07'23.2"	79°44'45.1"
Yaguachi	PY5	2°07'12.7"	79°49'35.9"
Yaguachi	PY6	2°08'28.5"	79°43'18.9"
Yaguachi	PY7	2°09'31.5"	79°41'34.0"
Yaguachi	PY8	2°02'37.8"	79°38'23.3"
Yaguachi	PY9	2°01'52.1"	79°38'06.7"
Yaguachi	PY10	1°58'43.0"	79°38'18.8"
Yaguachi	PY11	1°58'55.1"	79°36'48.0"
Yaguachi	PY12	2°29'36.4"	79°37'38.9"
Yaguachi	PY13	2°16'14.1"	79°43'09.2"
Yaguachi	PY14	2°28'16.4"	79°37'38.4"
Yaguachi	PY15	2°19'58.9"	79°46'29.1"
Yaguachi	PY16	2°17'00.5"	79°31'03.9"
Yaguachi	PY17	2°20'01.6"	79°42'50.5"

4.5. Unidad experimental

4.5.1. Screening

En esta primera fase se utilizó un macetero con capacidad de 1 L, que fue considerado como unidad experimental, en los que se realizó el debido trasplante de 4 plántulas con 6 repeticiones (Vidal *et al.*, 2010).

4.5.2. Dosis-Respuesta

En la segunda fase también se utilizó un macetero con capacidad de 1 L, como unidad experimental, en donde se colocaron 4 plántulas con 10 repeticiones (Vidal *et al.*, 2010).

4.6. Tratamientos

4.6.1. Screening

Como resultado del screening, se seleccionaron 4 poblaciones por cada localidad (Yaguachi y Daule) que mostraron comportamiento de resistencia y/o tolerancia y susceptibilidad (Romagnoli *et al.*, 2013).

4.6.2. Dosis-Respuesta

En esta fase los tratamientos fueron 40 (Cuadro 3), que corresponden a 4 poblaciones y 10 dosis diferentes del herbicida (Romagnoli *et al.*, 2013).

4.7. Diseño experimental y análisis de datos.

4.7.1. Screening

En este trabajo de investigación se evaluaron 29 poblaciones de *E. crus-galli* en total colectadas en las localidades de Yaguachi y Daule, las mismas que para su análisis se distribuyeron en un Diseño Completamente al Azar (DCA), en dosis normal de etiqueta.

4.7.2. Dosis-Respuesta

Esta segunda fase del experimento se distribuyó en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con diez repeticiones y con dosis crecientes del herbicida.: Una vez que las

variables indicaron significancia estadística se evaluaron mediante regresión (Marchesi y Saldaín, 2018).

Todas las fases fueron sometidas al análisis de varianza, donde se empleó la prueba de Tukey al 95% de probabilidad para determinar la diferencia estadística entre las medias de los tratamientos; donde, se utilizó el software AgroEstat y para la evaluación de las variables: altura de planta, materia fresca y seca se elaboraron las curvas de dosis-respuesta empleando el modelo de regresión no lineal logístico utilizando el software estadístico Origin. Los parámetros de la ecuación de regresión son:

$$[y=A2 + (A1-A2)/(1 + (x/x0)^p)]$$

Donde;

- y : es la respuesta, la variable dependiente (altura de planta y peso foliar fresco y seco).
- x : dosis del herbicida o variable independiente.
- A1 : límite superior
- A2: límite inferior
- x0 : Dosis que proporciona el 50% de la respuesta a la variable evaluada
- p : pendiente de la curva

Cuadro 3. Detalle de los tratamientos en el ensayo: Niveles de tolerancia y/o resistencia en poblaciones de *Echinochloa crus-galli* a penoxsulam en dos zonas arroceras del Guayas.

POBLACIONES	DOSIS
	16 x (640 g i.a. ha ⁻¹)
	8 x (320 g i.a. ha ⁻¹)
	4 x (160 g i.a. ha ⁻¹)
P1	2 x (80 g i.a. ha ⁻¹)
P2	x (40 g i.a. ha ⁻¹)
P3	1/2 x (20 g i.a. ha ⁻¹)
P4	1/4 x (10 g i.a. ha ⁻¹)
	1/8 x (5 g i.a. ha ⁻¹)
	1/16 x (2,5 g i.a. ha ⁻¹)
	0 (Testigo)

4.8. Variables a evaluar

4.8.1. Toxicidad después de la aplicación (dda)

Se realizó la evaluación a los 7, 14 y 21 días mediante observaciones de índices tóxicos; considerando señales de daño como falta de crecimiento, baja población, enroscamiento de las hojas, clorosis y necrosis; aplicando la escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas ALAM., como se detalla en el Cuadro 4.

4.8.2. Altura de la planta

Se evaluó al momento de la aplicación la altura inicial y después de esta a los 7, 14 y 21 días, desde el cuello de la planta hasta la base de la hoja totalmente abierta, lo cual es expresado en cm.

Cuadro 4. Escala visual de daño en las plantas.

Nivel de daño	Denominación
0	: Ningún daño
1 – 3	: Daño ligero
4 – 6	: Daño moderado
7 – 9	: Daño fuerte
10	: Muerte de la planta

Fuente: Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM)

4.8.3. Peso foliar fresco

Se evaluó a los 21 días en las plantas aplicadas, se procedió a pesar la materia fresca de la parte foliar que se cortó al nivel del suelo y fue expresada en gramos (Marchesi, 2015).

4.8.4. Peso foliar seco

Inmediatamente una vez terminado de tomar el peso fresco se procedió a colocar en fundas de papel con su identificación y se las colocó en la estufa para secarlas a 70°C, durante 72 horas y posteriormente se tomó los datos expresados en gramos (Bolaños- Jiménez *et al.*, 2018).

4.8.5. Índice de resistencia

Se calculó utilizando los datos de supervivencia y de producción de biomasa; mediante la siguiente ecuación, de acuerdo a la dosis media efectiva de las poblaciones sospechosas tanto resistentes y susceptibles (Bolaños-Jiménez *et al.*, 2018).

$$IR = ED_{50R}/ED_{50S}$$

4.9. Manejo del experimento

4.9.1. Preparación de sustrato a utilizarse

Para la instalación de los semilleros se procedió a preparar una mezcla de suelo, arena y sustrato BM2-MX con una proporción de 2-1-1; el mismo que se usó para el llenado de los maceteros. Esta labor se efectuó para las dos fases (screening y dosis- respuesta).

4.9.2. Siembra

En la fase screening, una vez colectadas las 29 poblaciones de *E. crus-galli* (12 poblaciones de Daule y 17 poblaciones de Yaguachi), se procedió al llenado de las bandejas de germinación con sustrato para posteriormente sembrar cada población de malezas, diferenciándolas con su debida etiqueta y luego proceder al trasplante.

En la fase de dosis-respuesta, para poder realizar la siembra en las bandejas de germinación, se procedió a seleccionar 4 poblaciones de *E. crus-galli* de la localidad de Daule y 4 poblaciones de la localidad de Yaguachi que presentaron mayor porcentaje de resistencia y susceptibilidad; las cuales tenían su respectiva identificación; para posteriormente ser trasplantadas.

4.9.3. Trasplante a maceteros

En las dos fases estudiadas, cuando las plántulas tenían una a dos hojas verdaderas se trasplantaron a los maceteros con capacidad de 1 L, colocando cuatro plántulas por unidad experimental.

4.9.4. Riego

Las plantas fueron mantenidas en condiciones de invernadero y regadas diariamente evitando que se estresen por falta de agua y causar una posterior variabilidad estadística en el experimento; dicha labor se realizó en ambas fases.

4.9.5. Aplicación de herbicida

Cuando las plantas presentaron de 3 a 4 hojas totalmente abiertas se aplicó el herbicida penoxsulam, para lo cual se utilizó un equipo pulverizador de espalda presurizado con CO₂ a 30 PSI, equipado con boquillas de abanico Teejet 8002, la cual fue calibrada para un gasto de agua de 200 L ha⁻¹.

En la fase de screening, solo se aplicó la dosis recomendada en la etiqueta; a diferencia de la fase de dosis-respuesta, que se procedió a la aplicación de 4 dosis mayor y 4 dosis menor a la que indica la etiqueta.

4.9.6. Evaluación

En la fase screening se procedió a evaluar a los 7 y 14 días después de la aplicación del herbicida (dda), las variables de toxicidad, altura, sobrevivencia, peso foliar fresco y seco.

En la segunda fase (dosis-respuesta); se evaluó a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación del herbicida las variables toxicidad, altura, peso foliar fresco y seco.

4.9.7. Colecta

En la fase de screening, terminada la evaluación a los 14 días, se procedió a retirar las plantas del macetero para realizar la respectiva toma de peso foliar fresco. Posteriormente, se efectuó el análisis estadístico de las 29 poblaciones, seleccionando las que presentaban mayor porcentaje de resistencia y/o tolerancia y susceptibilidad.

En la fase de dosis-respuesta, en la evaluación a los 21 días se retiró las plantas de los maceteros y se tomó el peso foliar fresco y posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio para colocarlas en la estufa durante 72 horas a 70°C de temperatura para finalmente proceder a tomar el peso foliar seco.

V. RESULTADOS

5.1. Fase de screening zona de Daule

5.1.1. Índice de toxicidad

En la evaluación de toxicidad a los 7 días después de la aplicación (dda) del herbicida penoxsulam (Cuadro 5), se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas, donde el mayor daño fue observado en la población PD1 con 8,12 que fue estadísticamente igual a las poblaciones PD2, PD6, PD7 y PD10; comparadas al resto de los tratamientos y donde se observaron señales de daño como clorosis foliar. Estos efectos se acentuaron a los 14 dda en que también se observó diferencia significativa y solamente la población PD6 con 10 presentó muerte de la planta, y siendo estadísticamente igual a las poblaciones PD1, PD4, PD7, PD9, PD12, pero superiores significativamente a las demás poblaciones; donde se verificó la presencia de plantas de tamaño pequeño, con retorcimiento y puntas necrosadas, con coeficientes de variación (CV) de 1,5 % y 7,9 % a los 7 y 14 días, respectivamente.

5.1.2. Altura de planta

En esta variable, tanto en la evaluación a los 7 dda como a los 14 dda se observó diferencias altamente significativas y en donde los coeficientes de variación fueron de 7,1 y 8,9 % en cada una de las evaluaciones realizadas.

A los 7 dda, la población PD4 presentó mayor altura con 6,73 cm, estadísticamente igual a las poblaciones PD3, PD5, PD12 y superior significativamente a la población PD6 con 3,51 cm. A los 14 días, alcanzó mayor promedio la población PD4 con 7,15 cm, siendo estadísticamente igual a las poblaciones PD2, PD3, PD5, PD8, PD11, PD12 y superior estadísticamente al resto de tratamientos, especialmente a la población PD6 con 3,36 cm con el menor promedio (Cuadro 5).

5.1.3. Peso Foliar

En esta variable hubo diferencias altamente significativas en las variables masa fresca y seca (Cuadro 5); los coeficientes de variación fueron 10,2 y 2,3 % en cada una de las evaluaciones.

El mayor peso foliar fresco lo obtuvo la población PD5 (0,523 g), siendo estadísticamente igual a las poblaciones PD2 (0,435 g) y PD3 (0,413 g) que mostraron alta significancia frente a los demás tratamientos; el de menor promedio fue para la población PD6 con 0,059 g.

En el peso foliar seco se observaron tendencias similares a las presentadas en la variable anterior en que las poblaciones PD5 y PD3 alcanzaron mayor promedio, ambas con 0,072 g; siendo estadísticamente igual a la población PD4, pero superiores a las restantes, en que la población PD6 con 0,015g obtuvo el menor peso.

5.1.4. Supervivencia

El porcentaje de supervivencia muestra diferencia altamente significativa y las poblaciones PD3 y PD7 reportan el 100 %, estadísticamente iguales a la población PD2, PD5 y PD11, pero superiores a las restantes, entre las que el menor promedio fue para PD6 con 0 % o muerte total de las plantas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Susceptibilidad, altura, peso foliar fresco, seco y sobrevivencia de diferentes poblaciones de *E. crus-galli* de la zona de Daule tratadas con penoxsulam.

Tratamientos	Dosis g ha ⁻¹ i.a.	Toxicidad (dda)		Altura (dda)	
		7	14	7	14
1. PD1		8,13 a**	8,88 ab	3,78 def	3,90 cd
2. PD2		7,88 ab	7,00 cd	5,25 bc	6,36 ab
3. PD3		7,00 c	6,13 cde	6,43 ab	6,71 ab
4. PD4		7,00 c	9,50 ab	6,74 a	7,15 a
5. PD5		7,63 b	4,50 e	5,48 abc	6,54 ab
6. PD6	40	8,00 ab	10,00 a	3,51 f	3,36 d
7. PD7		8,00 ab	9,00 ab	3,71 ef	3,63 cd
8. PD8		7,13 c	5,38 de	5,16 bc	5,81 ab
9. PD9		7,00 c	9,13 ab	5,05 cd	5,11 bcd
10. PD10		8,00 ab	7,75 bc	4,99 cde	5,35 bc
11. PD11		7,00 c	6,25 cde	5,40 bc	6,58 ab
12. PD12		7,00 c	9,25 ab	5,46 abc	5,39 abc
X		7,5	7,7	5,1	5,5
C.V. (%)		1,5	7,9	7,1	8,9

Tratamientos	Dosis g ha ⁻¹ i.a.	Peso Foliar		Sobrevivencia (%)
		Fresco	Seco	
1. PD1		0,109 de	0,023 de	28 def
2. PD2		0,435 ab	0,049 bc	88 ab
3. PD3		0,413 abc	0,072 a	100 a
4. PD4		0,266 bcd	0,061 ab	25 def
5. PD5		0,523 a	0,072 a	88 ab
6. PD6	40	0,059 e	0,015 e	0 f
7. PD7		0,088 de	0,022 de	100 a
8. PD8		0,262 bcd	0,042 bcd	54 bcd
9. PD9		0,151 de	0,035 cde	21 def
10. PD10		0,139 de	0,032 cde	42 cde
11. PD11		0,242 cde	0,045 bcd	71 abc
12. PD12		0,158 de	0,035 cde	17 ef
X		0,2	0,04	53
C.V. (%)		10,2	2,3	35

**Valores seguidos de la misma letra, minúscula en la columna, son iguales estadísticamente, según Tukey (P=0,05)

5.2. Fase de screening zona de Yaguachi

5.2.1. Índice de toxicidad

Los promedios de índice de toxicidad de 7 y 14 días después de la aplicación (dda) del herbicida penoxsulam en poblaciones de la maleza *E. crus-galli* extraídas de la zona de Yaguachi se reportan en el Cuadro 6. El análisis de varianza mostró diferencia significativa y los coeficientes de variación fueron 1,5 y 9,3 %, respectivamente.

A los 7 dda, la población PY11 con 8,12 presentó daños fuertes manifestados como clorosis y falta de crecimiento, siendo estadísticamente igual a las poblaciones PY1, PY6, PY7, PY8, PY10, PY12, PY17, los cuales fueron superiores estadísticamente al resto de tratamientos; mientras que, la población PY4 es la que menor daño presentó en esta evaluación.

A los 14 dda, se incrementaron los niveles de daño especialmente en las poblaciones PY11 y PY14 causando la muerte de las plantas, y siendo estadísticamente iguales a las poblaciones PY7 y PY10; a diferencia de las poblaciones PY4 y PY13 que solo presentaron un daño ligero caracterizado por una leve clorosis en las puntas de ciertas plantas y por ende siendo los menores promedios.

5.2.2. Altura de planta

En la evaluación de la variable altura de planta a los 7 dda (Cuadro 6), se presentaron diferencias altamente significativas y la población PY4 con 7,26 cm, obtuvo el mayor valor que fue estadísticamente igual a las poblaciones PY1 (6,20 cm) y PY3(6,12cm); mientras que, la que menor altura obtuvo fue la población PY14 con 4,23 cm. A los 14 dda se observó resultados con tendencia similar a la evaluación de los 7dda con las mismas poblaciones excepto PY3. En esta variable los coeficientes de variación fueron de 7,2 % a los 7 dda y de 8,9 % a los 14 dda.

5.2.3. Peso foliar

En el peso foliar fresco y seco (Cuadro 6), los tratamientos presentaron diferencia significativa ($P < 0.01$). Los coeficientes de variación fueron 9,7 % para la masa fresca y de 2,9 % para la masa seca.

En el peso foliar fresco, la población PY4 reportó 0,74 g, y fue estadísticamente superior a los demás tratamientos; mientras que, el menor promedio fue para la población PY11 con 0,055g.

El peso foliar seco alcanzó mayor peso en la población PY4 con 0,076 g y que fue estadísticamente superior a las poblaciones PY2, PY7, PY10, PY11 y PY14, de entre las cuales la población PY11 con 0,016 g, obtuvo el menor promedio.

5.2.4. Supervivencia

El porcentaje de supervivencia (Cuadro 6), demostró diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación fue 14,0 %.

Las poblaciones PY1, PY2, PY4, PY13, PY15, PY17 reportaron 100 % de supervivencia y también son estadísticamente iguales a las poblaciones PY3, PY5, PY6, PY8, PY9, PY12; resultando ser superiores estadísticamente a los demás tratamientos, en el que sobresale la población PY11 con el 0 % de supervivencia o muerte total de individuos.

Cuadro 6. Susceptibilidad, altura, producción de peso foliar fresco y seco y sobrevivencia de diferentes poblaciones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi tratadas con penoxsulam.

Tratamientos	Dosis g ha ⁻¹ i.a.	Toxicidad		Altura (dda)	
		7	14	7	14
1. PY1		8,00 a**	4,25 cde	6,20 ab	8,73 ab
2. PY2		5,75 d	3,88 def	5,31 bcd	6,61 bcd
3. PY3		7,25 b	5,63 bc	6,13 ab	7,28 bc
4. PY4		5,00 e	2,00 g	7,26 a	10,09 a
5. PY5		7,00 bc	5,13 bcd	5,69 bc	6,54 cd
6. PY6		8,00 a	6,38 b	5,60 bcd	5,71 cde
7. PY7		8,00 a	9,13 a	4,95 bcd	5,05 de
8. PY8		8,00 a	5,88 b	5,21 bcd	5,95 cde
9. PY9	40	7,00 bc	4,25 cde	5,30 bcd	7,03 bcd
10. PY10		8,00 a	9,50 a	5,30 bcd	5,30 cde
11. PY11		8,13 a	9,75 a	4,59 cd	4,90 de
12. PY12		8,00 a	5,63 bc	5,18 bcd	6,38 cd
13. PY13		7,00 bc	2,00 g	5,45 bcd	6,60 bcd
14. PY14		6,63 c	9,75 a	4,24 d	4,04 e
15. PY15		6,00 d	2,63 fg	5,13 bcd	7,01 bcd
16. PY16		7,00 bc	5,25 bcd	5,63 bcd	6,03 cde
17. PY17		8,00 a	3,25 efg	5,44 bcd	7,31 bc
\bar{x}		7,2	5,5	5,4	6,5
C.V. (%)		1,5	9,3	7,2	8,9

Tratamientos	Dosis g ha ⁻¹ i.a.	Peso Foliar		Sobrevivencia (%)
		Fresco	Seco	
1. PY1		0,448 bc	0,050 abcd	100 a
2. PY2		0,227 cdef	0,036 bcde	100 a
3. PY3		0,317 bcde	0,053 abc	79 ab
4. PY4		0,742 a	0,076 a	100 a
5. PY5		0,355 bcd	0,069 a	92 ab
6. PY6		0,248 cdef	0,054 abc	96 a
7. PY7		0,131 def	0,029 cde	17 c
8. PY8		0,311 bcde	0,051 abcd	92 ab
9. PY9	40	0,434 bc	0,073 a	92 ab
10. PY10		0,119 ef	0,030 cde	8 c
11. PY11		0,055 f	0,016 e	0 c
12. PY12		0,354 bcd	0,050 abcd	83 ab
13. PY13		0,497 b	0,068 a	100 a
14. PY14		0,081 f	0,021 de	0 c
15. PY15		0,502 b	0,066 ab	100 a
16. PY16		0,260 cdef	0,051 abcd	71 b
17. PY17		0,319 bcde	0,045 abcde	100 a
\bar{x}		0,31	0,05	72
C.V. (%)		9,7	2,9	14

**Valores seguidos de la misma letra, minúscula en la columna, son iguales estadísticamente, según Tukey (P=0,05)

5.3. Fase de Dosis-Respuesta zona de Daule

5.3.1. Índice de toxicidad

En los resultados de la evaluación del índice de toxicidad a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación del herbicida (dda), se observó el análisis de varianza con diferencias altamente significativas y los coeficientes de variación fueron de 8,1 % (7 dda), 9,3 % (14 dda) y 0,9 % (21 dda), detallado en el Cuadro 7.

A los 7 dda, para la población PD6 se obtuvo como resultado un índice de daño de 6,5; lo que representa nivel moderado de las plantas con síntomas de clorosis, señal de daño típica para este tipo de ingrediente activo, el cual fue estadísticamente superior a las demás poblaciones; mientras que, se observó un daño leve, con pequeñas manchas cloróticas en las puntas de las hojas en la población PD7 con 3,6 %; siendo el menor promedio dentro de las poblaciones.

Para las diferentes dosis; cuando se aplicaron 640 g i.a. ha⁻¹ se observó un daño fuerte en las plantas con señales de clorosis y con puntas ligeramente necrosadas y el cual fue estadísticamente igual a las dosis 320 y 160 g i.a. ha⁻¹ con señales de daños menos intensos; mientras que, en las dosis 5,0 y 2,5 g i.a. ha⁻¹ se presentó solo un daño ligero de menor crecimiento en ciertas plantas, en comparación con el testigo (dosis 0).

En las interacciones, el mayor daño con síntomas de clorosis y plantas necrosadas se obtuvo en la población PD6 para las dosis 640, 320, 160 g i.a. ha⁻¹, mientras que para las demás dosis de la misma población se observaron daños leves como torcimiento y falta de crecimiento (Cuadro 7); en cambio, en la población PD7 para todas las dosis se observó daños ligeros con síntomas leves de manchas cloróticas en ciertas hojas.

A los 14 días, en la evaluación para las poblaciones los resultados fueron similares a la evaluación de los 7 dda (Cuadro 7). Para las dosis; se observó que en la de 640 g i.a. ha⁻¹ fue el de mayor daño en comparación de los demás tratamientos y de menor daño se presentó en las dosis menores (5 y 2,5 g i.a. ha⁻¹).

También se realizó la evaluación de la interacción poblaciones vs dosis. Para las dosis (40, 20, 10, 5 y 2,5 g i.a. ha⁻¹) se observó que a población PD6 mostró mayor daño

con síntomas de plantas cloróticas, falta de crecimiento y puntas necrosadas; mientras que, para las dosis más altas (640, 320, 160 y 80 g i.a. ha⁻¹) se observó plantas necrosadas. La población que menor daño presentó fue a población PD7 para todas las dosis.

A los 21 dda (Cuadro 7), la población PD6 presentó un daño fuerte, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos y, a su vez, el menor promedio fue para la población PD7 con 0,6 que nos indica ningún daño. Para las dosis; se observó que en la de 640 g i.a. ha⁻¹ fue el de mayor daño en comparación de los demás tratamientos y el de menor daño se mostró en la dosis 2,5 g i.a. ha⁻¹. También se realizó la evaluación de la interacción poblaciones vs dosis; donde se observó resultados semejantes a los presentados a los 14 días.

Cuadro 7. Toxicidad a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación de penoxsulam a las poblaciones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule.

Poblaciones	Toxicidad 7 dda*										\bar{x}
	Dosis g ha ⁻¹ i.a.										
	640	320	160	80	40	20	10	5	2,5	0	
PD2	8,0 b**	7,7 b	7,7 b	7,3 a	3,1 d	6,6 ab	4,4 b	2,2 c	5,9 a	0,0 a	5,3 b
PD6	9,0 a	8,7 a	9,0 a	7,9 a	7,8 a	7,3 a	5,8 a	5,1 a	4,2 b	0,0 a	6,5 a
PD7	5,9 c	5,2 d	5,7 c	4,3 c	4,4 c	3,6 c	2,1 c	3,6 b	1,6 c	0,0 a	3,6 c
PD12	7,1 b	6,4 c	6,3 c	5,9 b	6,2 b	5,8 b	5,7 a	4,6 a	2,4 c	0,0 a	5,0 b
\bar{x}	7,5 A	7,0 A	7,2 A	6,4 B	5,4 C	5,8 BC	4,5 D	3,9 E	3,5 E	0,0 F	5,11
CV (%)											8,1

Poblaciones	Toxicidad 14 dda*										\bar{x}
	Dosis g ha ⁻¹ i.a.										
	640	320	160	80	40	20	10	5	2,5	0	
PD2	8,0 b	7,0 b	7,0 b	6,8 b	1,8 c	5,6 b	4,2 c	0,2 c	5,4 a	0,0 a	4,6 b
PD6	9,1 a	9,0 a	9,0 a	9,0 a	8,0 a	7,0 a	7,0 a	5,9 a	5,0 a	0,0 a	6,9 a
PD7	4,9 c	3,1 c	4,0 c	2,1 c	2,9 b	2,1 c	0,0 d	1,8 b	0,0 b	0,0 a	2,1 c
PD12	7,2 b	8,2 a	6,6 b	6,7 b	7,2 a	5,6 b	5,2 b	2,0 b	0,2 b	0,0 a	4,9 b
\bar{x}	7,30 A	6,80 AB	6,60 BC	6,10 C	4,90 D	5,10 D	4,10 E	2,50 F	2,70 F	0,00 G	4,6
CV (%)											9,3

Poblaciones	Toxicidad 21 dda*										\bar{x}
	Dosis g ha ⁻¹ i.a.										
	640	320	160	80	40	20	10	5	2,5	0	
PD2	8,0 c	7,0 c	7,0 c	6,0 c	1,0 c	5,0 b	3,0 c	0,0 c	3,0 b	0,0 a	4,0 c
PD6	10,0 a	10,0 a	10,0 a	10,0 a	10,0 a	9,0 a	8,0 a	7,0 a	4,0 a	0,0 a	7,8 a
PD7	2,0 d	1,0 d	2,0 d	0,0 d	1,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 c	0,0 c	0,0 a	0,6 d
PD12	8,9 b	8,1 b	7,9 b	7,9 b	6,0 b	4,0 c	6,0 b	2,0 b	0,0 c	0,0 a	5,1 b
\bar{x}	7,2 A	6,5 C	6,7 B	5,9 D	4,5 E	4,5 E	4,3 F	2,3 G	1,8 H	0,0 I	4,4
CV (%)											0,9

*Días después de la aplicación

**Valores seguidos de la misma letra, minúscula en la columna y mayúscula en la línea, son iguales estadísticamente, según Tukey (P=0,05)

5.3.2. Efecto sobre altura de planta de la aplicación de penoxsulam de la zona de Daule.

5.3.2.1. Evaluación a los 7 días después de la aplicación.

En la Figura 1A, se presentan los valores de altura de planta en relación al testigo susceptible (PY11). Se determinó que aplicaciones de penoxsulam en todas las dosis evaluadas no afectan el desarrollo de PD2, y que no alcanza a reducir el 50 % ni en la dosis alta (640 g i.a. ha⁻¹), lo que indica baja respuesta al producto en comparación con PY11, que a la dosis 10 g i.a. ha⁻¹ ya presenta pérdidas superiores al 55 %.

En la siguiente Figura 1B, se realizó la comparación entre las poblaciones resultantes del screening de las dos localidades PD6 (S) y PY11(S); en donde, se estableció que para la población PY11, las aplicaciones de penoxsulam en las diferentes dosis muestran muy alta sensibilidad al herbicida desde dosis inferiores a la dosis media en comparación con PD6, que se mostró menos sensible.

De acuerdo al análisis de la Figura 2C, se establece que la población PD7 muestra una disminución sostenida en las diferentes dosis de aplicación del herbicida; donde se observa una reducción del 53 % en la dosis más alta (640 g i.a. ha⁻¹); y donde la población susceptible (PY11) logra disminuir el 50 %.

Conforme a las observaciones de la Figura 2D, los valores de la altura de las plantas PD12 (R) y PY11 (S); indican baja respuesta de la población resistente en todas las dosis de aplicación del herbicida pues no logra disminuir ni el 50 % en la dosis más alta (640 g i.a. ha⁻¹), en comparación con el testigo PY 11.

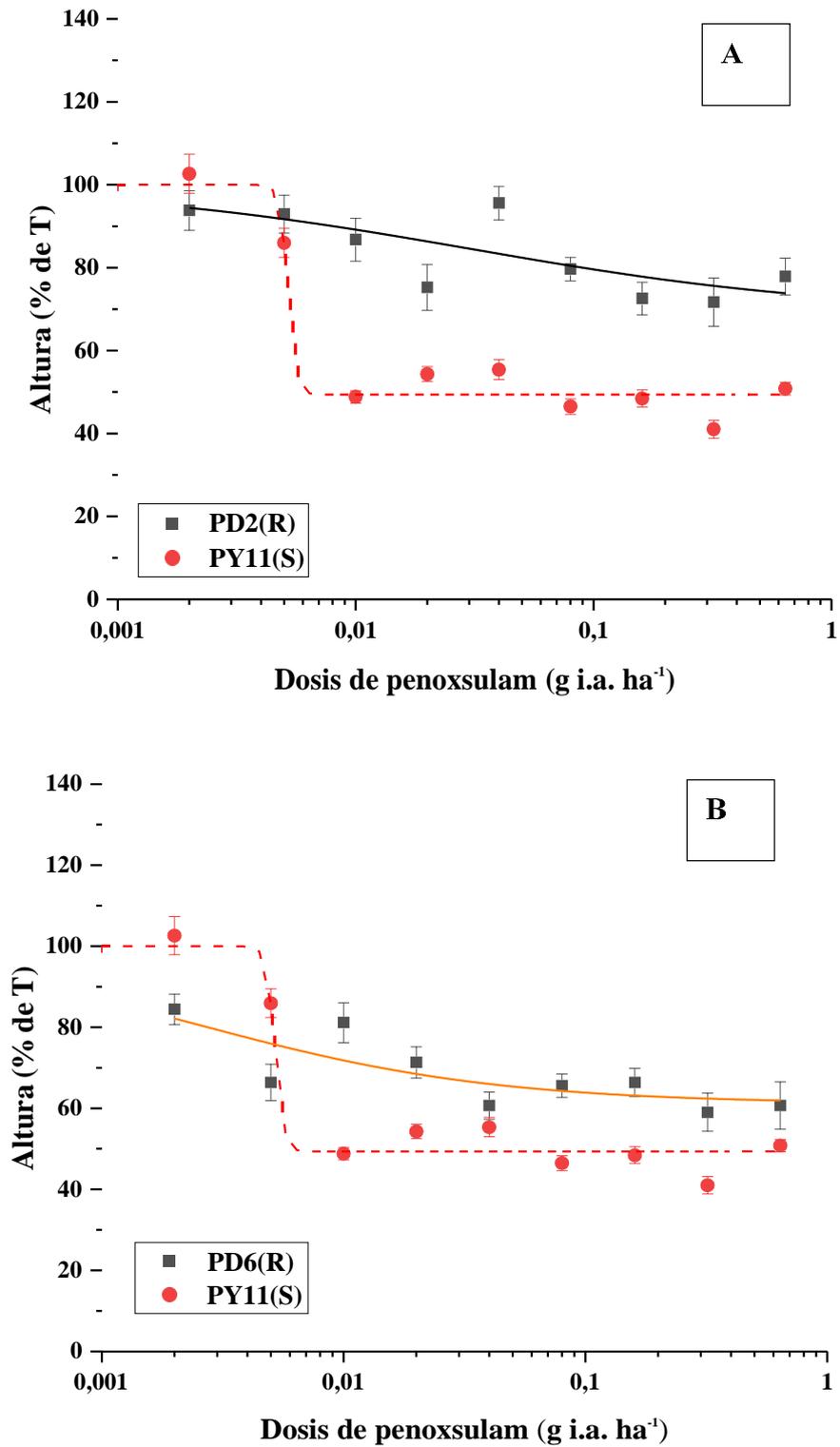


Figura 1. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: **(A)** PD2(R) y PY11 (S); **(B)** PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

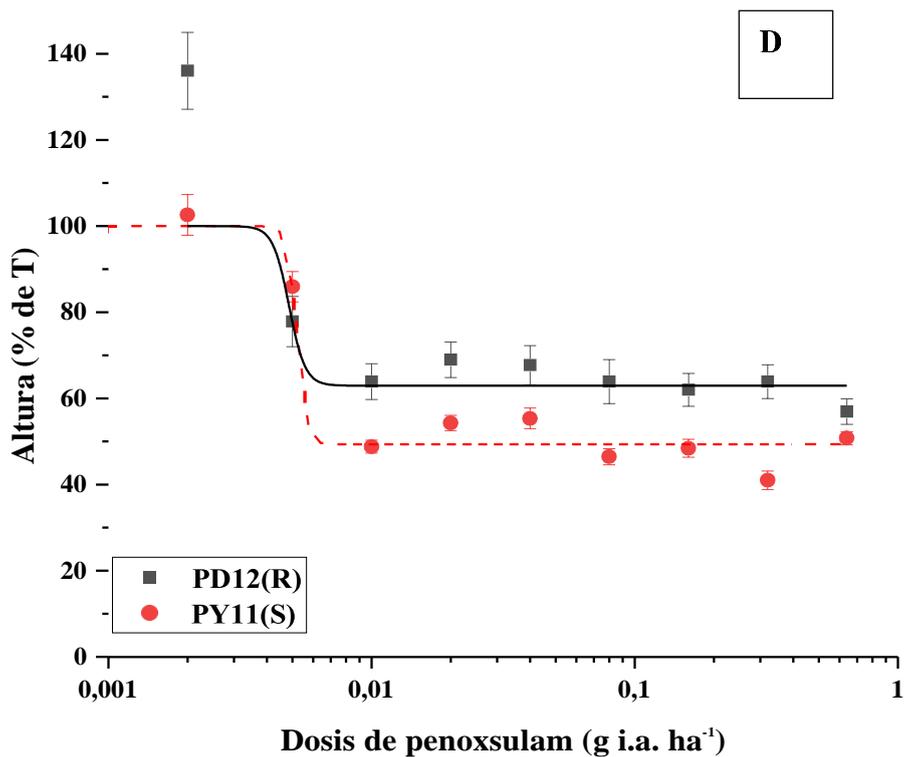
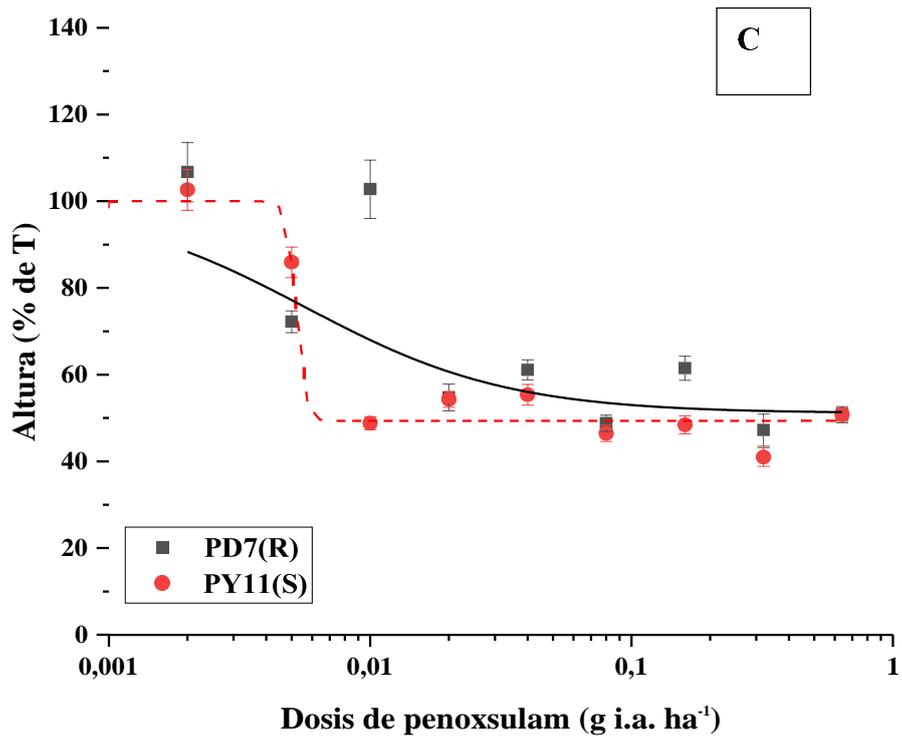


Figura 2. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

5.3.2.2. Evaluación a los 14 días después de la aplicación.

De acuerdo al análisis de la Figura 3A, se registra en la población resistente (PD2) una disminución en las diferentes dosis, la misma que no llega a superar el 50 % respecto a la dosis 0; que, aunque fue observada a partir de la dosis de 20 g i.a. ha⁻¹, no mejora con la dosis más alta; mientras que, el testigo (PY11) muestra la misma tendencia con diferente magnitud, y que a partir de la dosis de 10 g i.a. ha⁻¹, ya presenta pérdidas superiores al 50 %, superando el 70 % con la dosis normal.

En la Figura 3B, se evaluó las dos poblaciones susceptibles PD6 y PY11 provenientes de screening; sin embargo, se observó que las dos poblaciones presentan una notable disminución a medida que van aumentando las dosis de la aplicación de penoxsulam. En la población PD6 se presenta disminución, pero sin llegar a superar ni el 50 % en la dosis de 640 g i.a. ha⁻¹; donde nos muestra presunta resistencia en comparación con el testigo PY11 que nos muestra pérdidas en un 75 % en la dosis más alta.

En la evaluación de las dos poblaciones: resistente (PD7) y susceptible (PY11) (Figura 4C), se observa el efecto sobre la altura de las plantas en que la población PD7 va disminuyendo a medida que aumentan las dosis de aplicación del herbicida, pero sin llegar al 60 % cuando se trató con la mayor dosis (640 g i.a. ha⁻¹); mientras que, el testigo con la misma dosis tiene una pérdida del 75 % de altura.

En la figura 4D, el porcentaje de los valores presentados en estas dos poblaciones PD12 (resistente) y PY11 (susceptible) disminuyen notablemente según el aumento de las dosis de penoxsulam con tendencia semejante, pero de diferente magnitud; en que, la PD12 a los catorce días decae hasta tener un 50 % de altura de las plantas en la dosis más alta (640 g i.a. ha⁻¹), mientras que la población testigo PY11 se evidencia que en la misma dosis presenta una pérdida del 75 %.

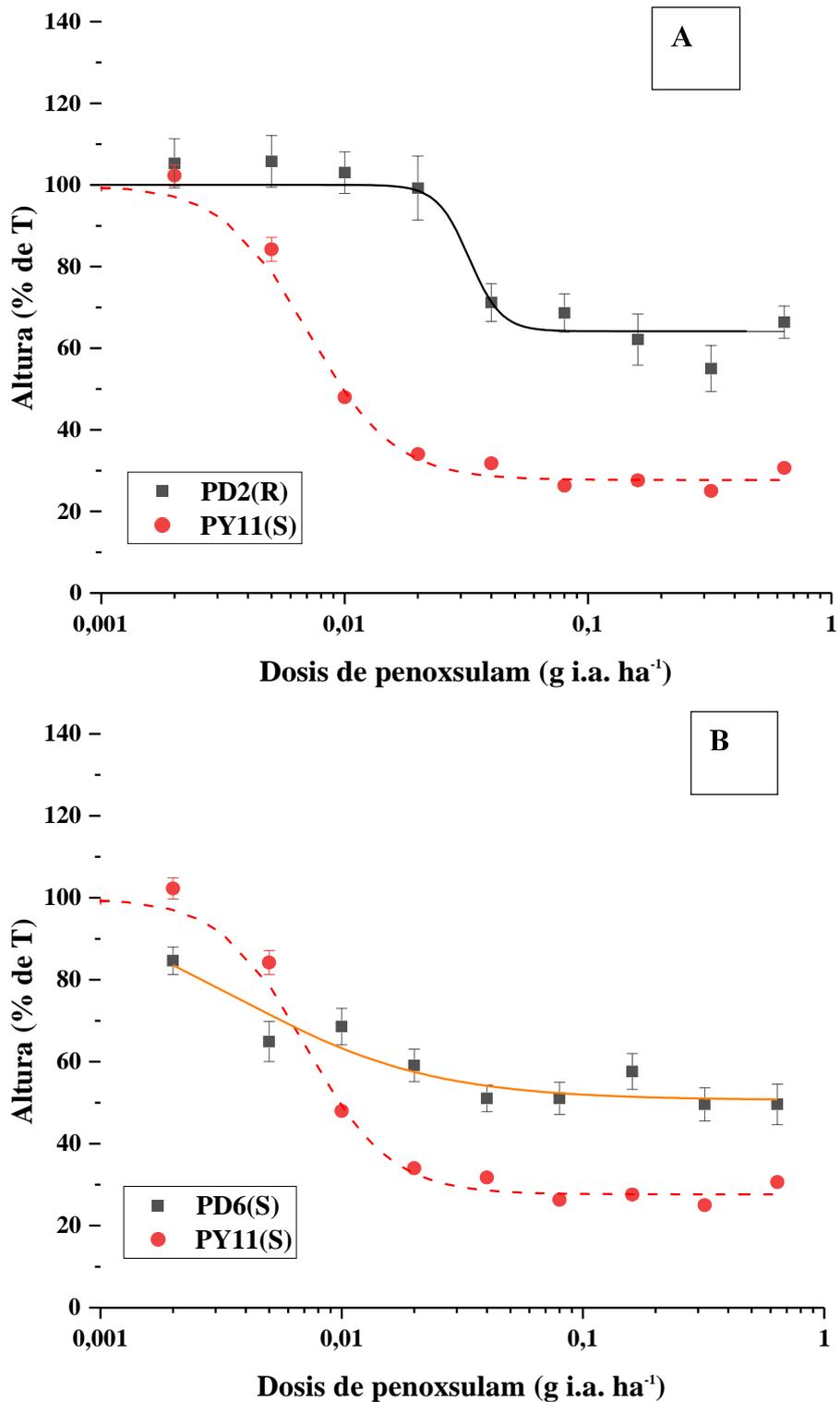


Figura 3. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14dda: **(A)** PD2(R) y PY11 (S); **(B)** PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

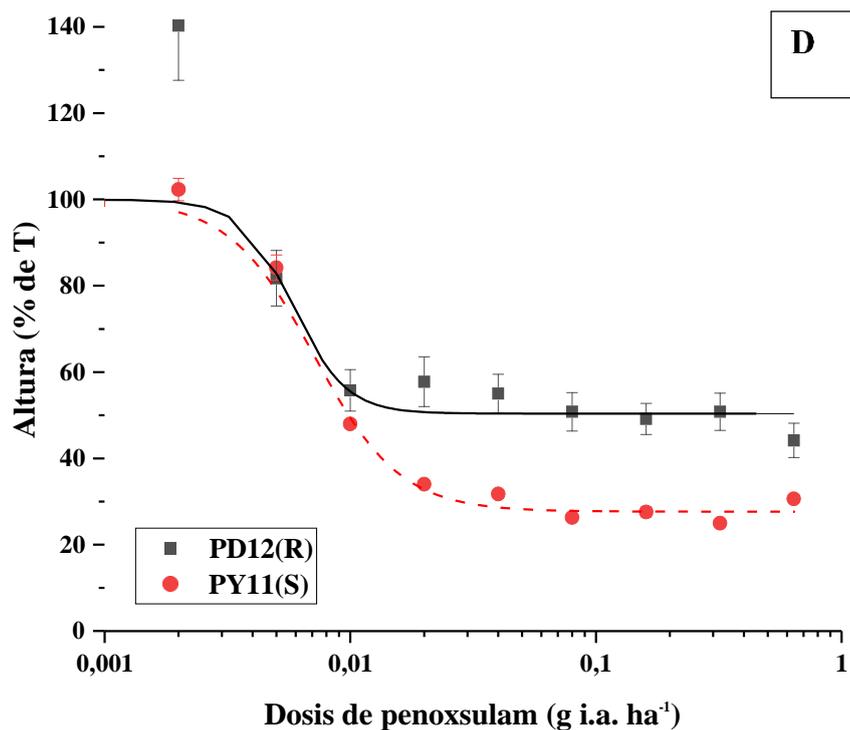
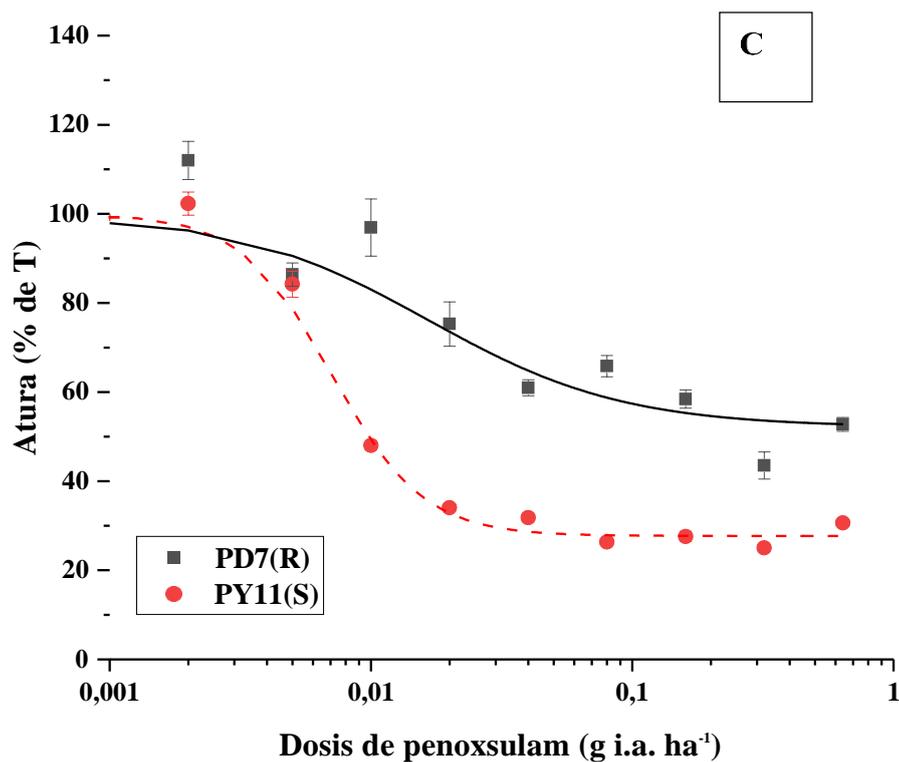


Figura 4. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14dda: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11(S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

5.3.2.3. Evaluación a los 21 días después de la aplicación.

En la Figura 5A, se registran los valores de la altura de las plantas de las poblaciones PD2(R) y PY11 (S) a los 21 días después de la aplicación de penoxsulam y donde se evidencia que ni en la mayor dosis ($640 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) se logra reducir su crecimiento sobre el 50 %; mientras que, la población susceptible baja hasta un 22 %.

En la comparación entre las poblaciones dos poblaciones susceptibles PD6 y PY11 se observa que los valores disminuyen de una manera simultánea; sin embargo, a medida que la dosis de aplicación es más alta la población PD6 que, aunque responde inicialmente más rápido, se mantiene sobre el 36 % de altura, a diferencia de la PY11 que decae sobre el 22 % (Figura 5B).

En la Figura 6C, se analiza los valores obtenidos por la población PD7(R) Se determinó una disminución leve debido a su posible resistencia al herbicida y a pesar de mostrar reducción a partir de la dosis $20 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ en la altura, esta no supera el 48 % en la mayor dosis de aplicación ($640 \text{ g i.a. ha}^{-1}$); mientras que la población PY11(S) se observa una disminución notable teniendo así un 22 % en la máxima dosis.

En el análisis de la regresión de la Figura 6D, se mostró mayor efecto del herbicida sobre la población PY11 con el 30 % cuando fue expuesta a una dosis de $20 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ y va disminuyendo progresivamente con incremento de dosis de penoxsulam, llegando así en la dosis mayor de $640 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ al 22 %. En cambio, para la población PD12 en la dosis $2,5 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ se evidenció un crecimiento superior al testigo; fenómeno llamado hormesis, con el 140 %, y posteriormente, según se aumentaban las dosis, disminuyó su porcentaje llegando a tener un 41 % en la dosis $640 \text{ g i.a. ha}^{-1}$.

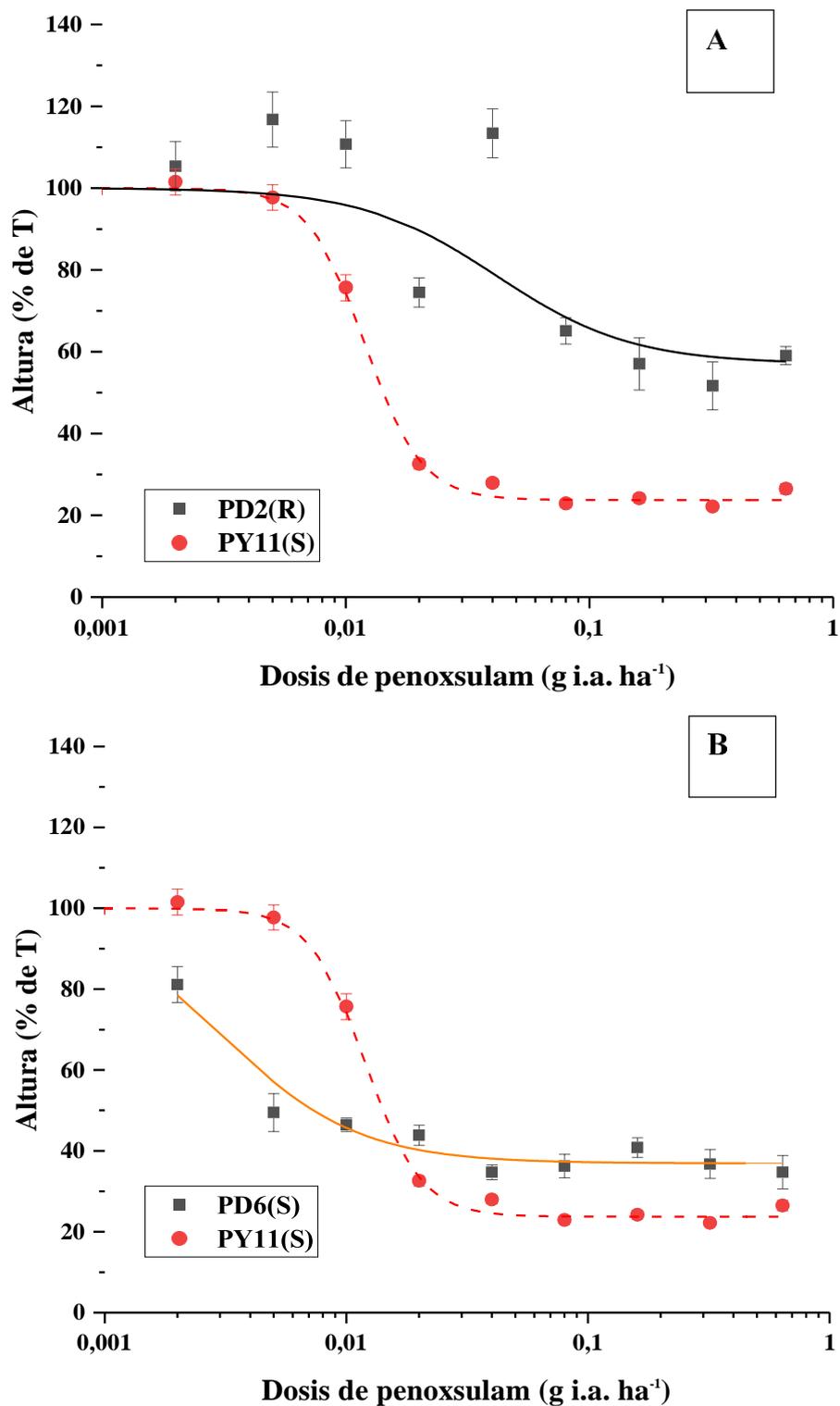


Figura 5. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21dda: **(A)** PD2(R) y PY11 (S); **(B)** PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

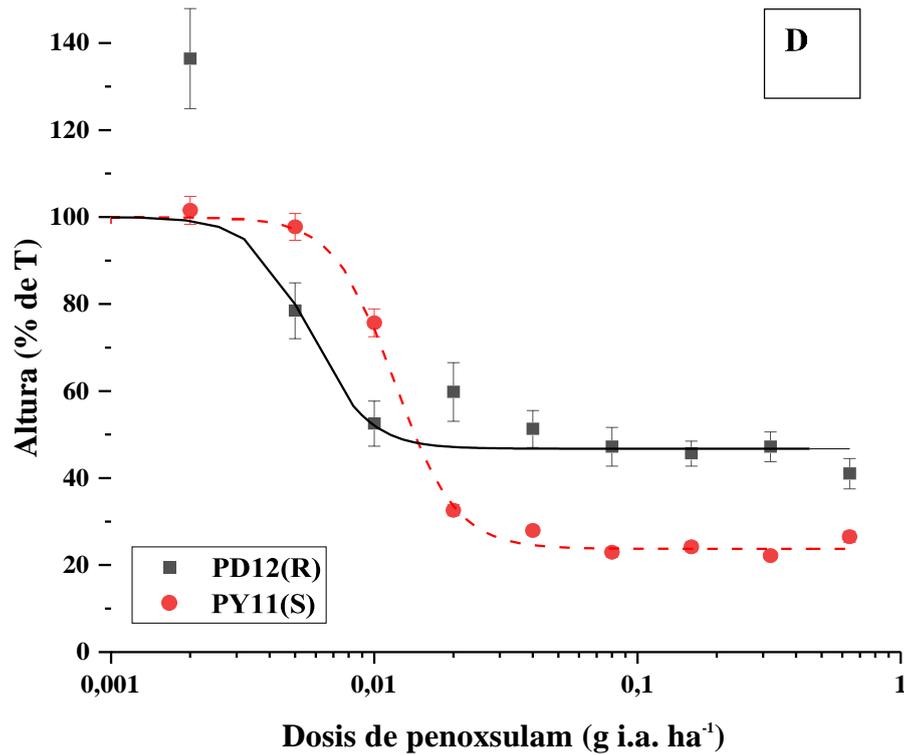
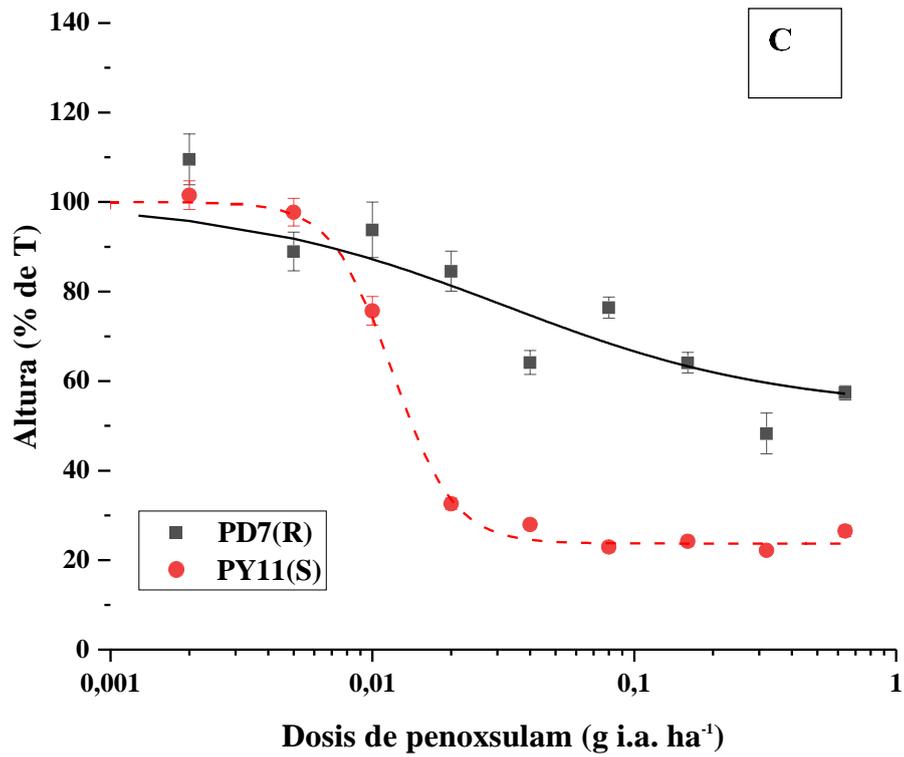


Figura 6. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21dda: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11(S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

5.3.3. Representación gráfica del peso foliar fresco en la zona de Daule

Según reporte de la Figura 7A, en el análisis de regresión de peso fresco de la población resistente PD2 y de la población susceptible PY11; se obtuvo que a medida que la dosis de aplicación de penoxsulam aumenta, el peso fresco de las plantas tiene un menor porcentaje como muestra la gráfica. Para la población susceptible se observó un 99 % de disminución del peso a partir de la dosis 20 g i.a. ha⁻¹, mientras que en la población resistente se evidenció que en las 5 dosis más bajas hubo un crecimiento superior al testigo (hormesis) y a partir de la dosis 80 g i.a. ha⁻¹ empieza a decaer el peso hasta la mayor dosis de 640 g i.a. ha⁻¹.

De acuerdo al análisis de la Figura 7B, donde se reflejan los datos de las poblaciones PD6 y PY11, se observa que la primera de éstas muestra un súbito incremento de peso, aunque luego decae a medida que se incrementa la dosis, similar respuesta a la presentada por el testigo.

Según la evaluación de la Figura 8C, que reflejan los valores la población resistente (PD7) donde mantiene su peso de masa fresca sobre el 43 % en la mayor dosis de aplicación del herbicida (640 g i.a. ha⁻¹); mientras que la población susceptible (PY11) va disminuyendo notablemente de acuerdo aumentan las dosis de aplicación del herbicida manteniéndose sobre el 1 % desde la dosis 80 g i.a. ha⁻¹.

En la Figura 8D, donde se analiza los valores de las poblaciones: resistente (PD12) y la susceptible (PY11), se observa que paulatinamente disminuyen sus porcentajes a medida que va aumentando la dosis de aplicación de penoxsulam. La PD12 está sobre el 3 % en la mayor dosis 640 g i.a. ha⁻¹, mientras que la PY11 sobre el 1 %.

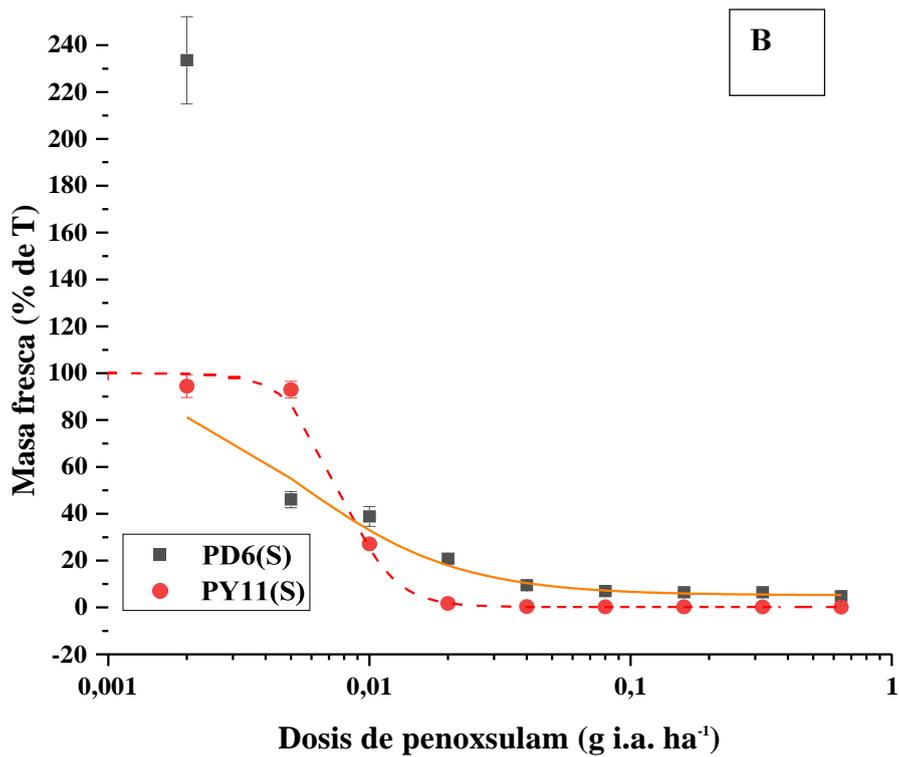
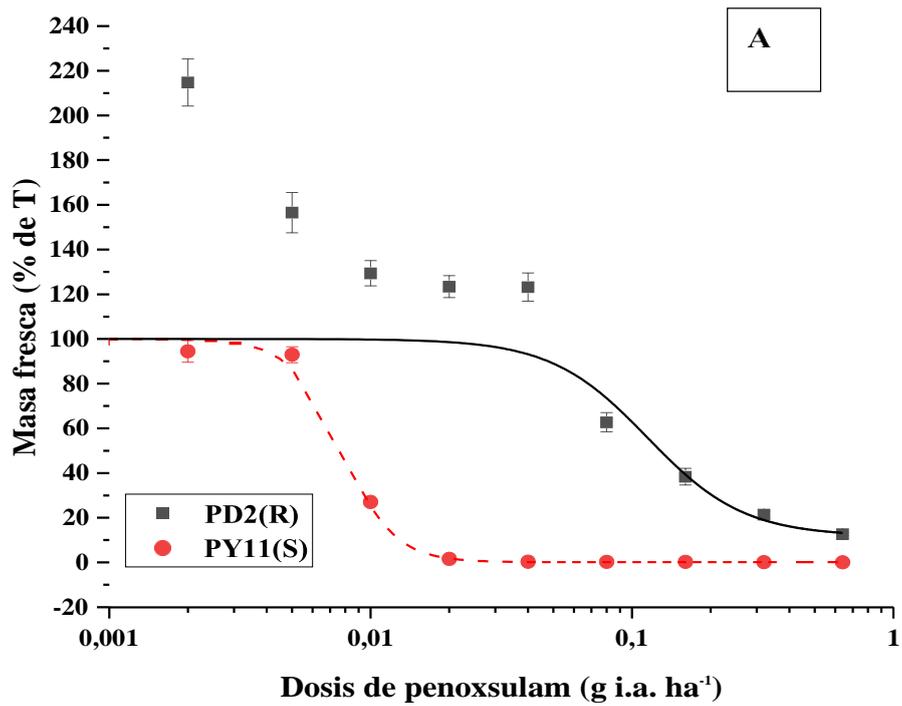


Figura 7. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (A) PD2(R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

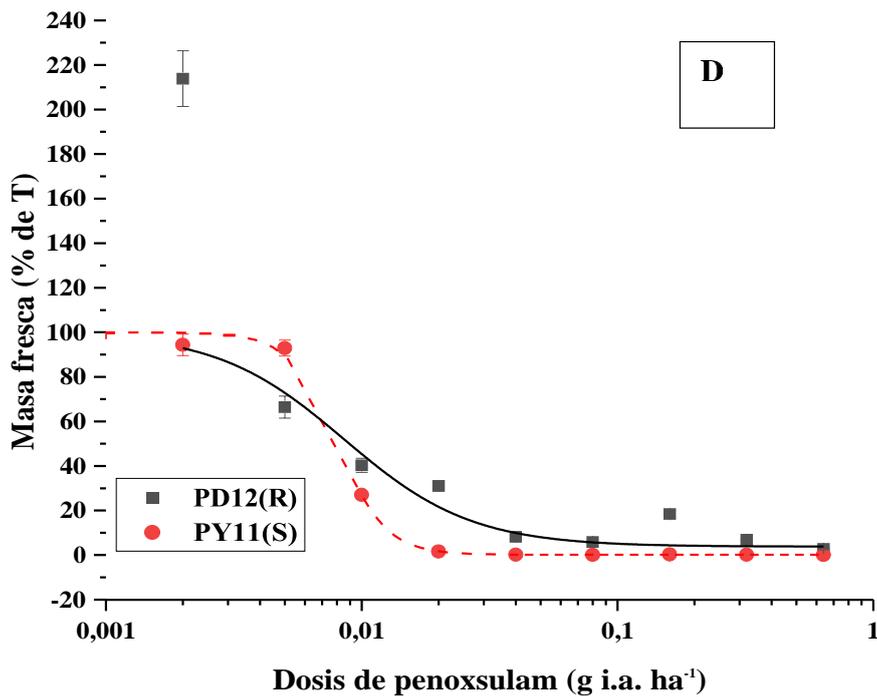
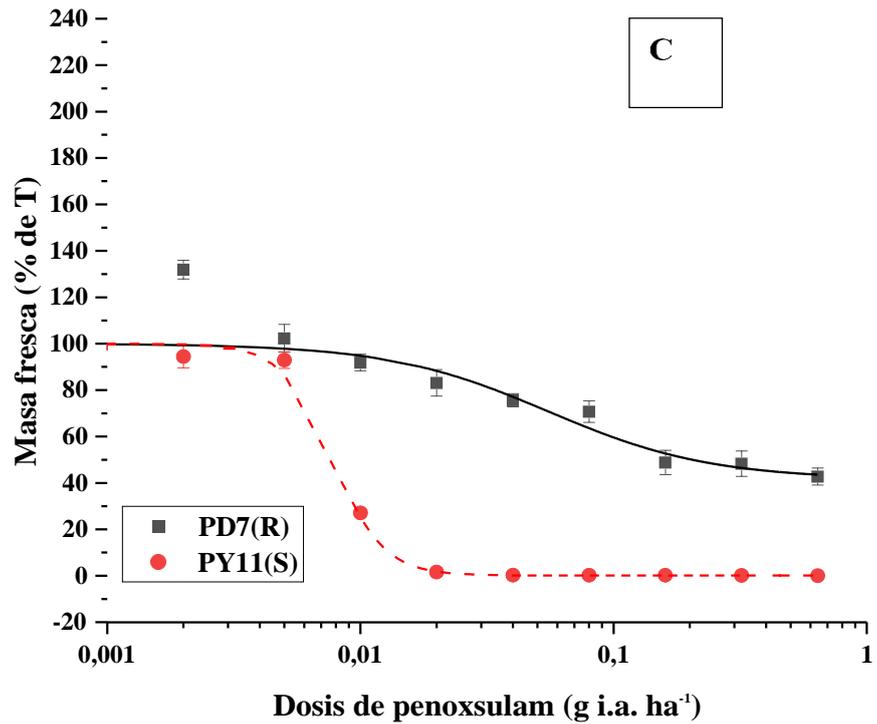


Figura 8. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (C) PD7 (R) y PY11 (S); (D) PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

5.3.4. Representación gráfica del peso foliar seco en la zona de Daule

De acuerdo al reporte de la Figura 9A, en la que se reflejan los valores de la población resistente PD2 y susceptible PY11; en que la población resistente alcanza un 20 % de peso de masa seca a diferencia de la población susceptible la cual reduce por completo en la dosis media (40 gr i.a. ha⁻¹), lo que demuestra respuesta diferente a la aplicación del producto en estudio.

En la Figura 9B, se pueden observar los valores de las dos poblaciones susceptibles (PD6 y PY11); en donde observamos que la PY11 disminuye notoriamente de peso foliar seco en relación a la población PD6, la cual en la dosis media recomendada mantiene su masa sobre el 20 % en el presente estudio.

La evaluación de los valores de la población resistente (PD7) y la población testigo (PY11), nos evidencia que la población susceptible disminuye notablemente su producción según aumentan las diferentes dosis, obteniendo un peso de masa seca del 0 %; mientras que la población resistente disminuye, pero en menor porcentaje con un 40 %, tal como se detalla en la Figura 10C.

En la Figura 10D, se presentan los valores entre la población resistente (PD12) y la población susceptible (PY11). En ella se observa comportamiento semejante en tendencia, aunque con diferencia en la magnitud de ellas en que se percibe pérdida de producción para PD12 con dosis hasta cuatro veces superiores a la población sensible para detener su crecimiento en niveles semejantes.

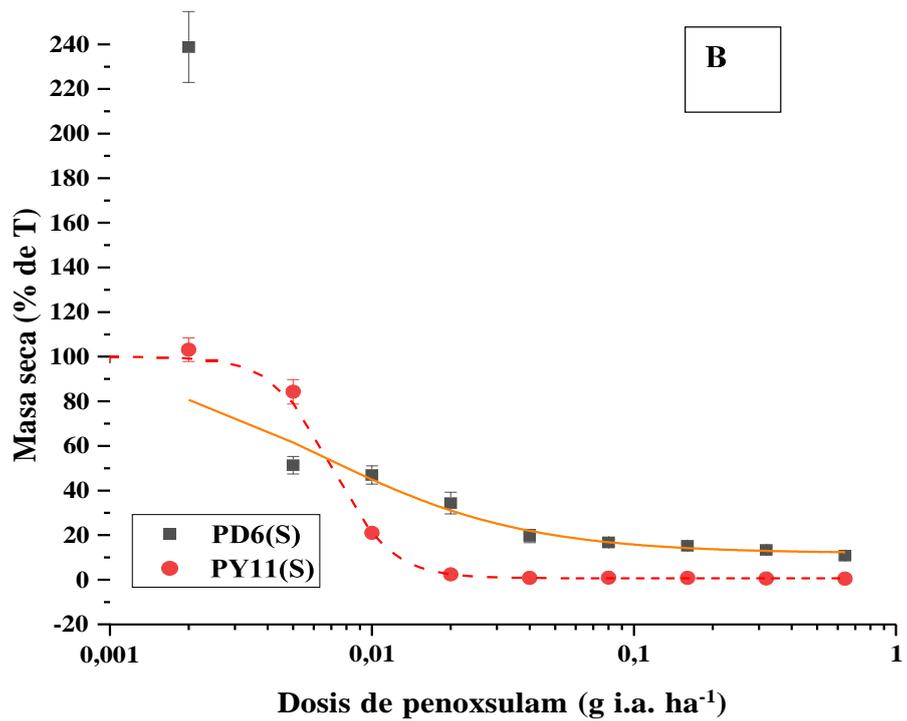
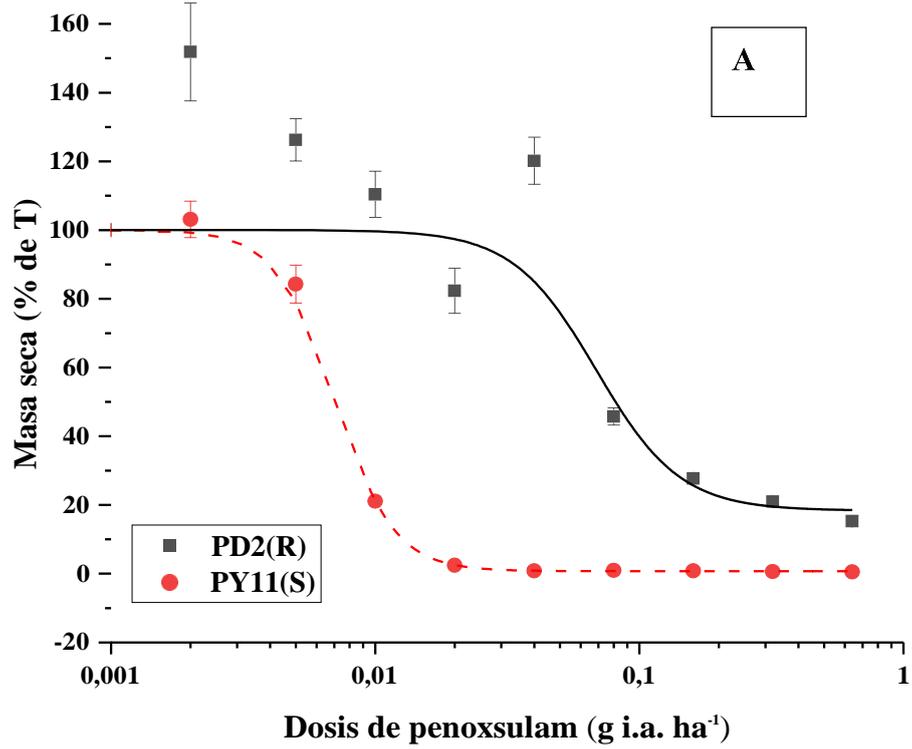


Figura 9. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (A) PD2(R) y PY11 (S); (B) PD6 (S) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

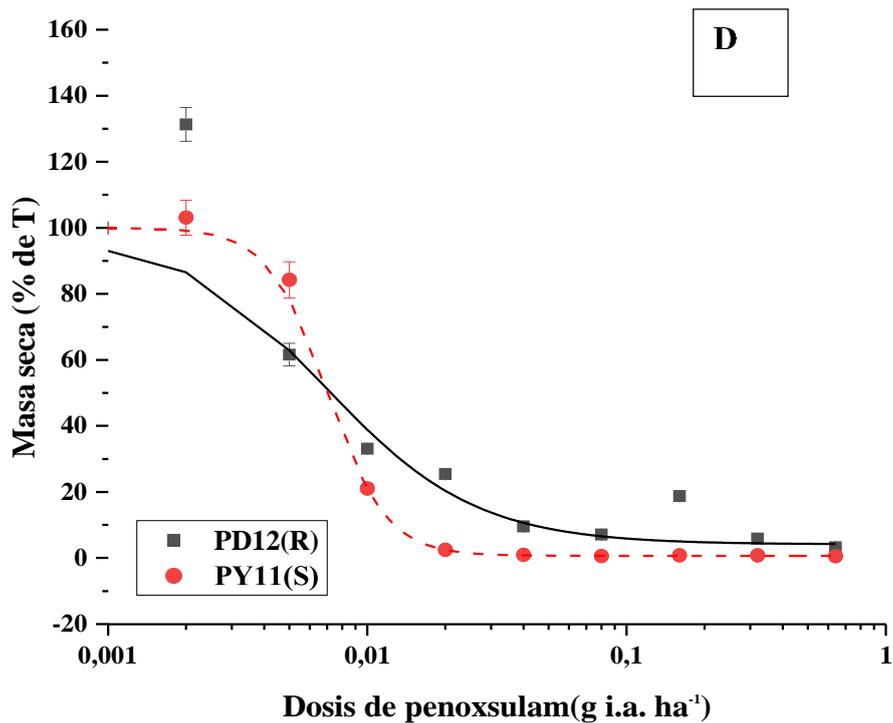
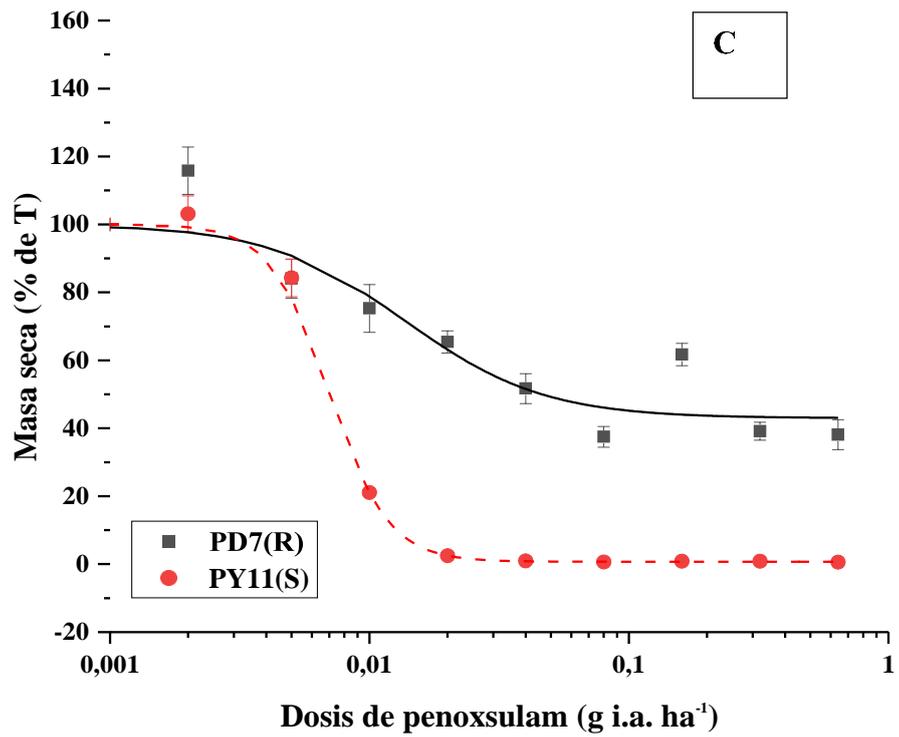


Figura 10. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Daule a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(C)** PD7 (R) y PY11 (S); **(D)** PD12 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 8.

5.3.5. Índice de resistencia, zona de Daule

Los índices de resistencia en las poblaciones de la zona de Daule, obtenida considerando las variables altura de planta a los 21 días y producción de masa fresca y seca fue superior a 2 en las poblaciones PD2 y PD7, es decir que, se necesita de 3 a 10 y de 2 a 3 veces, respectivamente, la dosis de penoxsulam para inhibir el 50 % del crecimiento de estas poblaciones, con respecto al biotipo susceptible; tal cual se lo detalla en el Cuadro 8,

Se puede acotar que a los 21 días después de la aplicación del producto, sus valores demuestran que las dosis aplicadas inhiben el crecimiento de *Echinochloa crus-galli*.

Cuadro 8. Parámetros de la ecuación de regresión [$y=A2 + (A1-A2)/(1 + (x/x0)^p)$] utilizada para estimar la dosis de penoxsulam requerida para reducir al 50% la biomasa de plantas de *Echinochloa crus-galli* resistentes a este herbicida de las poblaciones de Daule.

Días	Poblaciones	Parámetros de la regresión					P	IR
		A1	A2	P	x0	R ²		
7 dda	PY11 (S)	100,00	49,37	24,65	0,0052	0,99	P<0,0001	
7 dda	PD2 (R)	100,00	68,99	0,56	0,0306	0,91	P<0,0001	6
7 dda	PD6 (S)	100,00	61,19	0,70	0,0025	0,98	P<0,0009	1
7 dda	PD7 (R)	100,00	51,13	1,12	0,0056	0,97	P<0,0001	1
7 dda	PD12 (R)	100,00	62,95	14,16	0,0049	0,96	P<0,0005	1
14 dda	PY11 (S)	100,00	27,67	2,48	0,0071	0,99	P<0,0006	
14 dda	PD2 (R)	100,00	64,13	6,58	0,0324	0,98	P<0,0008	5
14 dda	PD6 (S)	100,00	50,64	1,09	0,0038	0,99	P<0,0001	1
14 dda	PD7 (R)	100,00	52,09	1,17	0,0166	0,98	P<0,0004	2
14 dda	PD12 (R)	100,00	50,42	4,04	0,0059	0,98	P<0,0001	1
21 dda	PY11 (S)	100,00	23,71	3,73	0,0119	0,99	P<0,0005	
21 dda	PD2 (R)	100,00	57,02	1,56	0,0416	0,89	P<0,0001	3
21 dda	PD6 (S)	100,00	36,91	1,54	0,0031	0,99	P<0,0006	0
21 dda	PD7 (R)	100,00	53,57	0,83	0,0322	0,97	P<0,0002	3
21 dda	PD12 (R)	100,00	46,73	3,91	0,0057	0,99	P<0,0002	0
Materia fresca	PY11 (S)	100,00	0,16	4,29	0,0040	1	P<0,0003	
Materia fresca	PD2 (R)	100,00	11,71	2,35	0,1146	0,98	P<0,0005	15
Materia fresca	PD6 (S)	100,00	5,16	1,42	0,0053	0,99	P<0,0002	1
Materia fresca	PD7 (R)	100,00	41,54	1,36	0,0553	0,89	P<0,0001	7
Materia fresca	PD12 (R)	100,00	3,80	1,74	0,0085	0,99	P<0,0003	1
Materia seca	PY11 (S)	100,00	0,70	3,85	0,0070	1	P<0,0006	
Materia seca	PD2 (R)	100,00	18,32	2,74	0,0687	0,99	P<0,0001	10
Materia seca	PD6 (S)	100,00	11,80	1,11	0,0063	0,99	P<0,0005	1
Materia seca	PD7 (R)	100,00	42,93	1,62	0,0138	0,97	P<0,0004	2
Materia seca	PD12 (R)	100,00	4,12	1,48	0,0068	0,99	P<0,0001	1

5.4. Fase de Dosis-Respuesta zona de Yaguachi

5.4.1. Índice de toxicidad

La evaluación de índice de toxicidad a los 7, 14 y 21 dda del herbicida penoxsulam en poblaciones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi se reportan en el Cuadro 9. El análisis de varianza alcanzó diferencias altamente significativas para las poblaciones, en dosis e interacciones en cada una de las variables y los coeficientes de variación fueron 6,2 % (7dda), 2,2 % (14 dda) y 1,2 % (21 dda), respectivamente.

A los 7 dda, la población PY11 registró un promedio de 4,0 en el índice de daño, siendo este de nivel moderado, donde las señales de daño predominantes fueron plantas pequeñas y con ciertas hojas cloróticas y, a su vez, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, el menor promedio fue para la población PY1 con 2,4 en el que se determinó un daño ligero donde las plantas tienen bajo crecimiento.

En las diferentes dosis; con la aplicación de 640 g i.a. ha⁻¹ se observó un daño fuerte en las plantas con un índice de 6,8 y los síntomas fueron plantas con manchas clorótica y pequeñas, siendo estadísticamente superior a las demás dosis y el menor promedio sin ningún daño se observó en la dosis 2,5 g i.a. ha⁻¹ al igual que en el testigo (Cuadro 9).

En las interacciones, el promedio más alto correspondió a la población PY1 con la dosis de 640 g i.a. ha⁻¹ y la población PY11 con la dosis 160 g i.a. ha⁻¹; ambas con 7,2 daño fuerte y su sintomatología fue de plantas pequeñas, cloróticas e incluso con ciertas puntas necrosadas. Además, estadísticamente igual a los promedios de la población PY4 en la dosis de 640 g i.a. ha⁻¹; PY11 en las dosis 640 y 320 g i.a. ha⁻¹ y superiores estadísticamente al resto de tratamientos. El menor promedio fue para las cuatro poblaciones (PY1, PY4, PY11 y PY13) en la dosis de 2,5 g i.a. ha⁻¹ y al tratamiento testigo (sin aplicación) sin presentar ningún daño en las plantas.

En la evaluación a los 14 dda detallado en el Cuadro 9, para las poblaciones; la PY11 alcanzó un daño moderado con 5,9 y donde sus síntomas fueron de plantas pequeñas y cloróticas, siendo estadísticamente superior a las demás. El menor promedio se observó en la población PY13 con 1,3 en el que predominó un daño ligero de puntas torcidas de

ciertas plantas. Para las dosis, el uso de 640 g i.a. ha⁻¹, reportó un daño fuerte con índice de 7,2, estadísticamente superior a las demás dosis y con señales de daño en plantas de bajo crecimiento, torcimiento, cloróticas e incluso ciertas plantas con puntas necrosadas.

En las interacciones; el promedio más alto se observó en la población PY11; donde causó el mayor daño en relación a las demás poblaciones, presentando señales de daño con plantas con tamaño pequeño, cloróticas, torcidas e incluso con puntas necrosadas; siendo estadísticamente superior al resto de interacciones. Los resultados de menores promedios fueron similares a los obtenidos a los 7 días después de la aplicación del herbicida.

A los 21 dda (Cuadro 9), la población PY11 mostró daño moderado con índices de 6,0 % con plantas pequeñas, cloróticas y con hojas torcidas; siendo estadísticamente superior al resto de tratamientos y el menor promedio para la población PY1 con ningún daño y con índices inferiores a 1. En las dosis, el empleo de 640 g i.a. ha⁻¹ obtuvo mayor daño con índice de 5,8 y provocó daño moderado con plantas cloróticas y torcidas; siendo estadísticamente superior al resto de dosis. En las interacciones poblaciones vs dosis, se observó resultados semejantes a los presentados a los 14 días.

Cuadro 9. Toxicidad a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación de penoxsulam a las poblaciones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi.

Poblaciones	Toxicidad 7 dda*										
	Dosis g ha ⁻¹ i.a.										\bar{x}
	640	320	160	80	40	20	10	5	2,5	0	
PY1	7,2 a**	5,8 b	4,8 b	3,2 c	2,0 c	1,2 c	0,0 c	0,0 b	0,0 a	0,0 a	2,4 d
PY4	6,8 a	5,8 b	4,8 b	4,8 b	2,9 b	3,9 a	1,1 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a	3,0 b
PY11	7,1 a	6,9 a	7,2 a	5,4 a	5,4 a	4,2 a	2,2 a	1,2 a	0,0 a	0,0 a	4,0 a
PY13	6,1 b	6,1 b	4,8 b	3,7 c	2,8 b	1,9 b	1,8 a	0,0 b	0,0 a	0,0 a	2,7 c
\bar{x}	6,8 A	6,1 B	5,4 C	4,3 D	3,3 E	2,8 F	1,3 G	0,3 H	0,0 I	0,0 I	3,0
CV (%)											6,2

Poblaciones	Toxicidad 14 dda*										
	Dosis g ha ⁻¹ i.a.										\bar{x}
	640	320	160	80	40	20	10	5	2,5	0	
PY1	8,0 b	8,0 b	7,0 b	5,0 b	3,0 b	1,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a	3,2 b
PY4	7,0 c	7,0 c	6,0 c	5,0 b	1,0 c	3,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a	2,9 c
PY11	8,9 a	9,1 a	9,2 a	9,6 a	9,0 a	6,9 a	5,6 a	1,1 a	0,0 a	0,0 a	5,9 a
PY13	5,0 d	4,0 d	3,0 d	1,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a	1,3 d
\bar{x}	7,2 A	7,0 B	6,3 C	5,1 D	3,3 E	2,7 F	1,4 G	0,3 H	0,0 I	0,0 I	3,3
CV (%)											2,2

Poblaciones	Toxicidad 21 dda*										
	Dosis g ha ⁻¹ i.a.										\bar{x}
	640	320	160	80	40	20	10	5	2,5	0	
PY1	3,0 c	1,0 d	1,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,5 d
PY4	7,0 b	7,0 b	5,0 b	4,0 b	0,0 b	2,0 b	0,0 b	0,0 a	0,0 a	0,0 a	2,5 b
PY11	10,0 a	10,0 a	10,0 a	10,0 a	10,0 a	7,6 a	2,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	6,0 a
PY13	3,0 c	2,0 c	1,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,6 c
\bar{x}	5,8 A	5,0 B	4,3 C	3,5 D	2,5 E	2,4 F	0,5 G	0,0 H	0,0 H	0,0 H	2,4
CV (%)											1,2

*Días después de la aplicación

**Valores seguidos de la misma letra, minúscula en la columna y mayúscula en la línea, son iguales estadísticamente, según Tukey (P=0,05)

5.4.2. Efecto sobre altura de planta de la aplicación de penoxsulam de la zona de Yaguachi.

5.4.2.1. Evaluación a los 7 días después de la aplicación.

De acuerdo al análisis de la Figura 11A, donde se evalúa los valores de las poblaciones PY1 y PY11; se observa que en las dos poblaciones muestran disminución presenta tendencia semejante, pero a diferente magnitud, en que la población susceptible (PY11) disminuye a partir de la dosis de 5 g i.a ha⁻¹, alcanzando una reducción del 50 % en la dosis más alta; mientras que, la población resistente presentó niveles cercanos con dosis cuatro veces mayores.

En esta misma época, la población resistente (PY4) y la población susceptible (PY11), presentaron comportamiento similar a las poblaciones anteriormente estudiadas, pero con magnitud menor entre ellas. Se observa una disminución a partir de la dosis de 2,5 g i.a. ha⁻¹ en PY4; aunque, a medida que sube la dosis su pérdida en altura es más lenta que en PY11 y, esta a su vez, presenta fuertes disminuciones en altura aun en dosis menores a 10 g i.a. ha⁻¹ de penoxsulam, sin caer por debajo del 40 % para la población resistente; mientras que la población susceptible alcanzó una reducción del 50 %. (Figura 11B).

En la Figura 12C, se puede analizar los valores de la población resistente (PY13), la misma que se mantiene constante sobre el 100 % de altura hasta la dosis de 5 g i.a. ha⁻¹ y progresivamente va disminuyendo en las diferentes dosis hasta llegar al 60 % de altura en la mayor dosis 640 g i.a. ha⁻¹; mientras que la población susceptible se observa que a partir de la dosis de 2,5 g i.a. ha⁻¹ decae la curva en las diferentes dosis llegando a una altura sobre el 50 %.

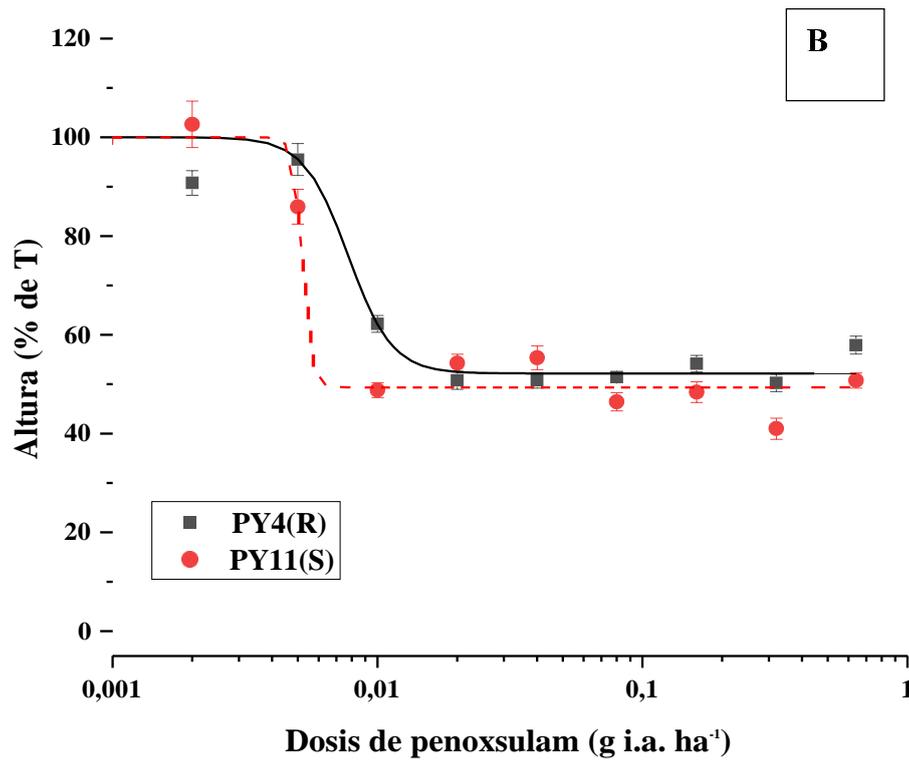
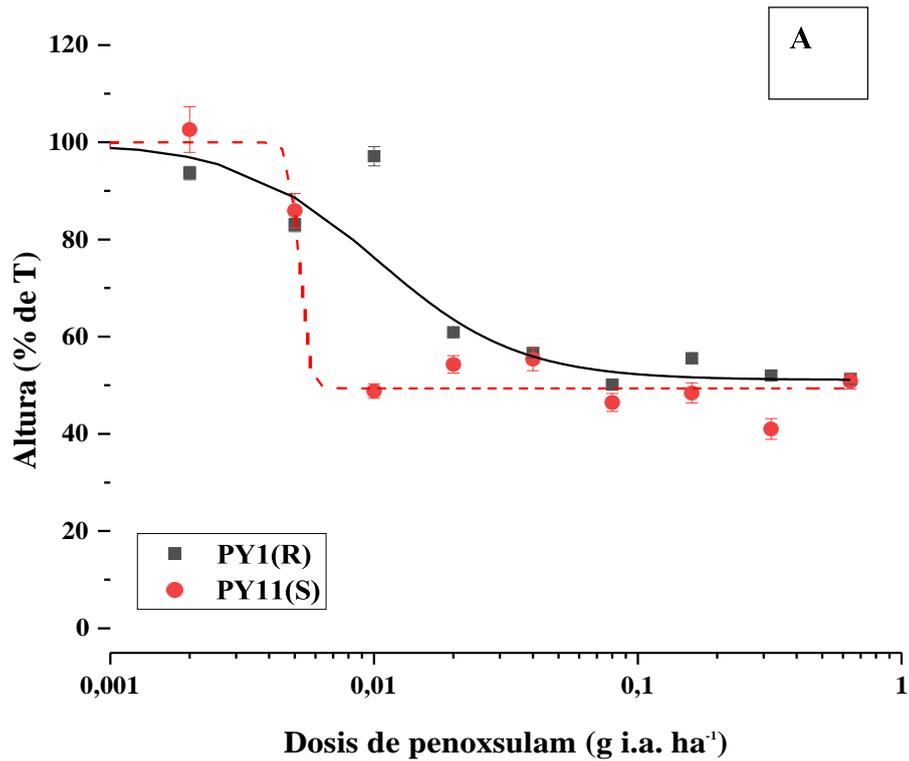


Figura 11. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: **(A)** PY1(R) y PY11 (S); **(B)** PY4 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el cuadro 10.

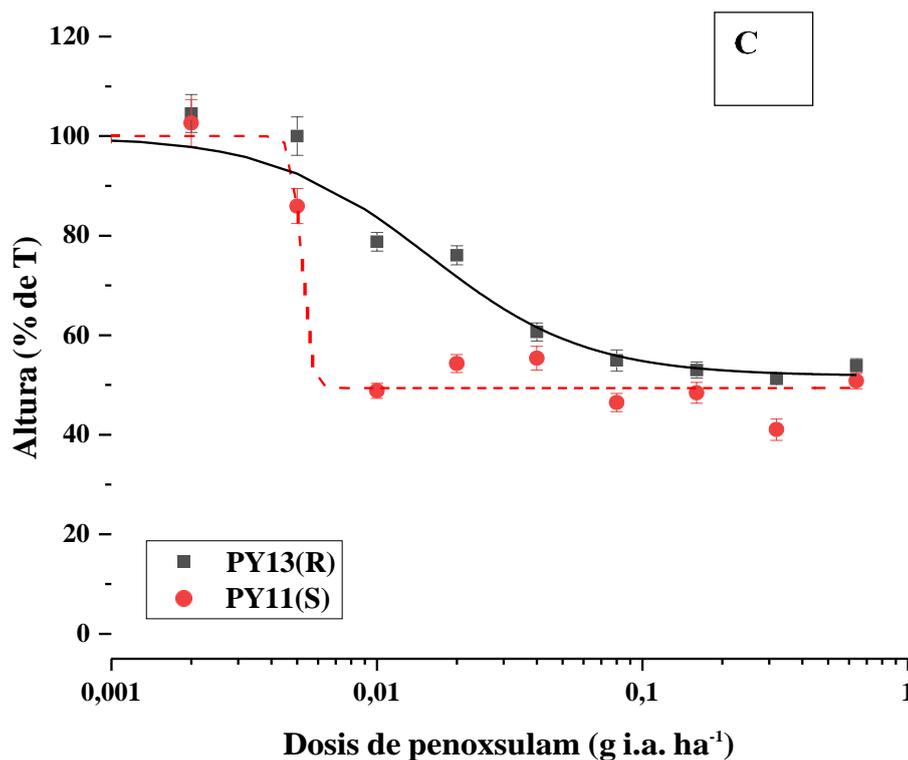


Figura 12. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 7 dda: (C) PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el cuadro 10.

5.4.2.2. Evaluación a los 14 días después de la aplicación.

A los 14 dda las líneas de tendencia muestran comportamiento semejante, pero de diferente magnitud. En la Figura 13A se observa los valores de la población resistente (PY1) que se mantiene sobre el 100 % de altura en dosis iguales o inferiores a 10 g i.a. ha⁻¹ a partir de la cual muestra sensibilidad hasta llegar a tener una altura referencial del 40 %, incluso en la dosis alta (640 g i.a. ha⁻¹); mientras que, para la población susceptible se registra disminución desde la dosis de 5,0 g i.a. ha⁻¹ hasta la dosis de mayor aplicación, en la que no supera el 30 %.

En el análisis de la Figura 14B; se observa la comparación entre la población resistente (PY4) y la susceptible (PY11) y, según los valores obtenidos, se verifica que las curvas de las poblaciones van simultáneamente disminuyendo según van aumentando las

diferentes dosis de aplicación; la población susceptible disminuye por debajo de 30 %, mientras que la población resistente se mantiene sobre el 40 %.

Según la evaluación de la Figura 14C, podemos observar que los valores de la población resistente (PY13) en las tres primeras dosis (2.5, 5 y 10 g i.a. ha⁻¹) se encuentra sobre el 100 % de altura; sin embargo, desde la dosis de 20 g i.a. ha⁻¹ muestra pérdida de altura hasta llegar a la mayor dosis de 640 g i.a. ha⁻¹ aunque con valores semejantes al 50 %; a su vez, la población susceptible desde la dosis de 2,5 g i.a. ha⁻¹ disminuye su altura en las diferentes dosis hasta llegar a la mayor dosis con una altura sobre el 30 %.

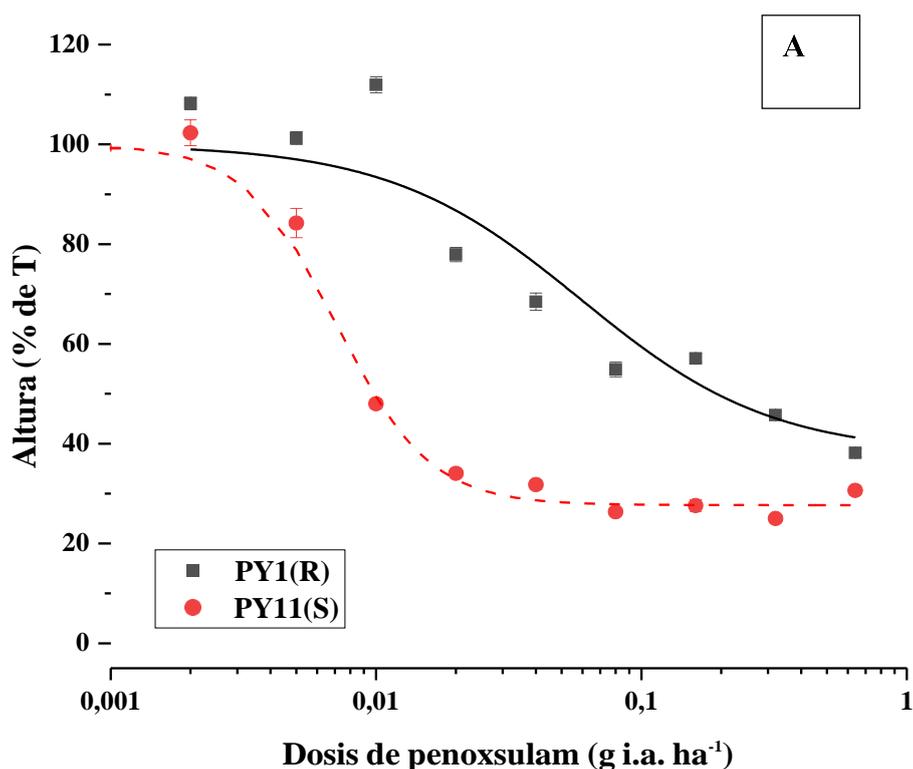


Figura 13. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14 dda: (A) PY1(R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

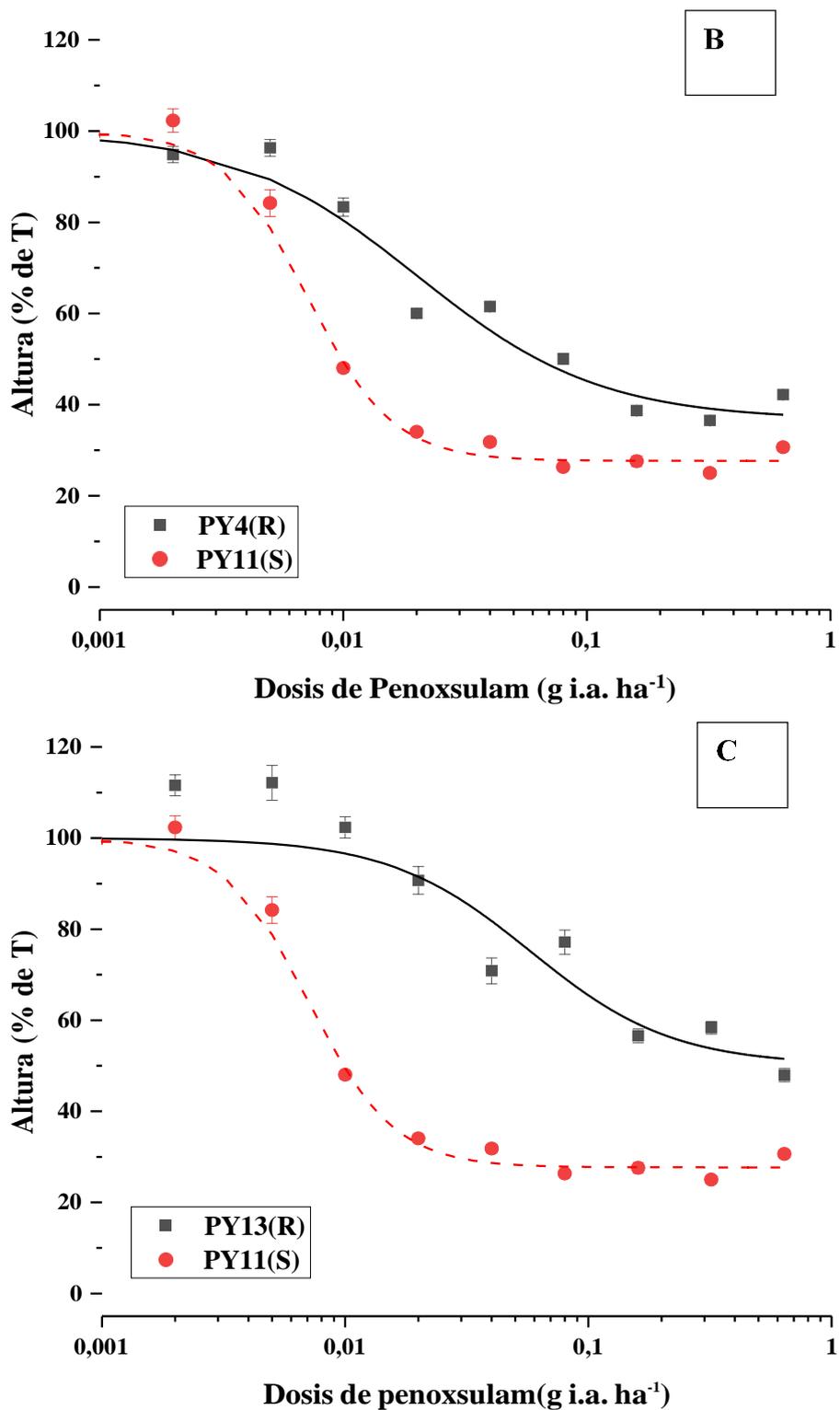


Figura 14. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 14 dda: **(B)** PY4 (R) y PY11 (S); **(C)** PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

5.4.2.3. Evaluación a los 21 días después de la aplicación.

Según los valores representados en la Figura 15A, se registran los valores de altura de planta entre la población resistente (PY1) y la población susceptible (PY11). La población PY1 no muestra efectos ante la aplicación de 40 g i.a. ha⁻¹ y, a partir de la cual comienza a disminuir paulatinamente hasta llegar a la última dosis de 640 g i.a. ha⁻¹ en la que alcanza una altura referencial sobre el 40 %. A su vez, en la población susceptible, comienza a disminuir desde la dosis de 5 g i.a. ha⁻¹ y llega en la dosis alta al 30 % del testigo de referencia.

En la Figura 15B se presenta el comportamiento de las poblaciones PY4 (R) y PY11 (S) y en la que se puede observar comportamiento semejante, pero de diferente magnitud. La población PY4 (R) a partir de la dosis de 10 g i.a. ha⁻¹ comienza a disminuir hasta llegar a la última dosis con una altura sobre el 40 %; mientras que, la PY11 (S) comienza a disminuir a partir de la dosis de 5 g i.a. ha⁻¹ en las diferentes dosis hasta que llega a una altura referencial menor al 30 %.

Así mismo, en la Figura 16C en la misma época se pueden observar resultados similares a las otras poblaciones anteriormente analizadas y, en este caso se evaluó la población resistente (PY13) la cual mostró pérdidas a partir de 40 g i.a. ha⁻¹ y llegó a superar el 40 % referencial en la mayor dosis evaluada y la población susceptible (PY11) no superó el 30 %.

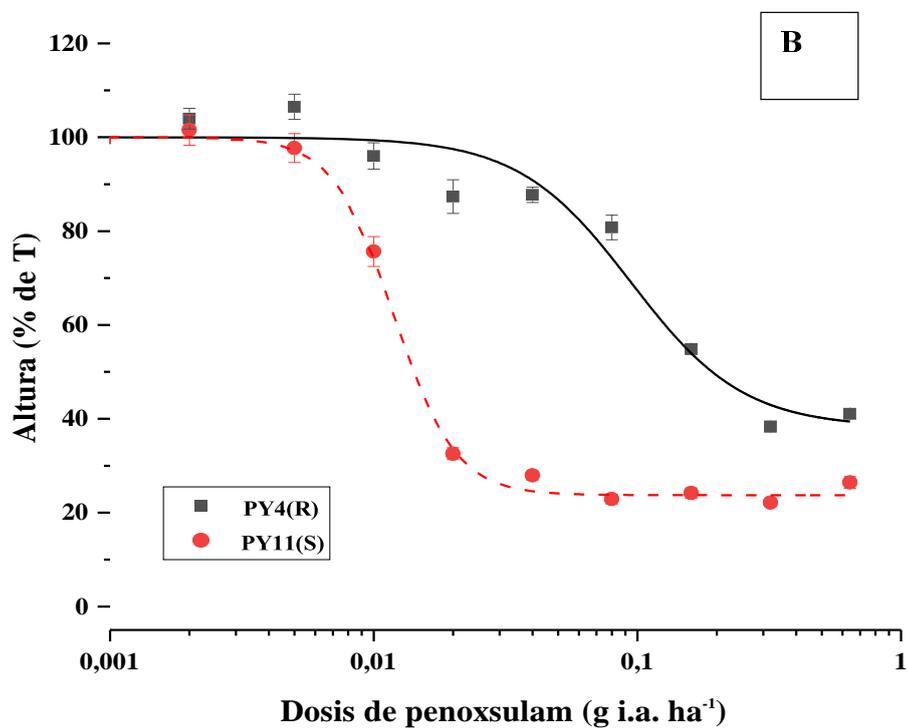
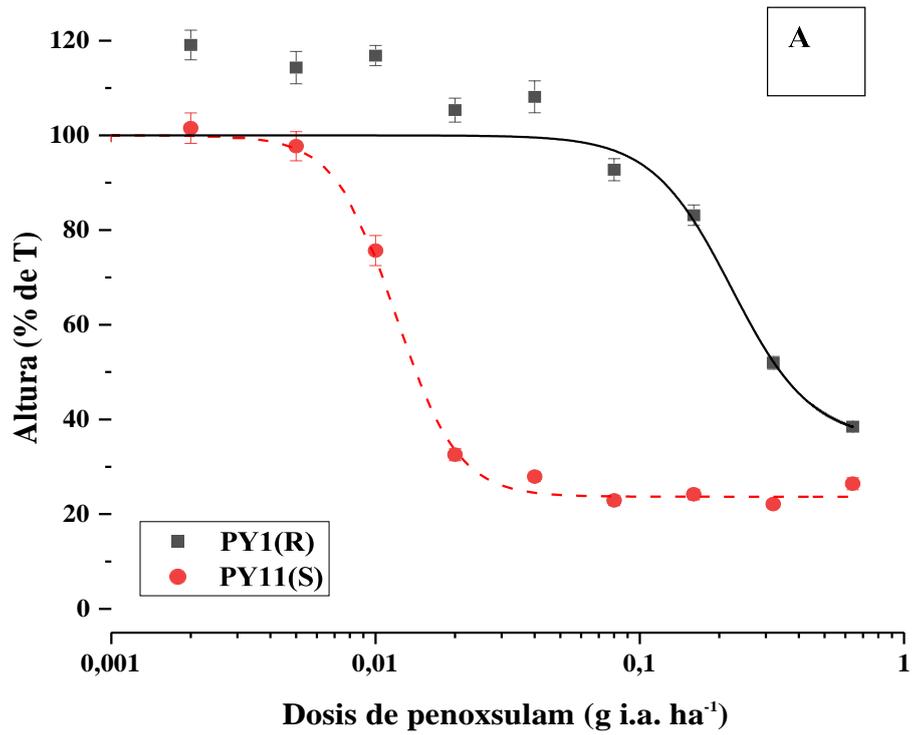


Figura 15. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21 dda: (A) PY1(R) y PY11 (S); (B) PY4 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

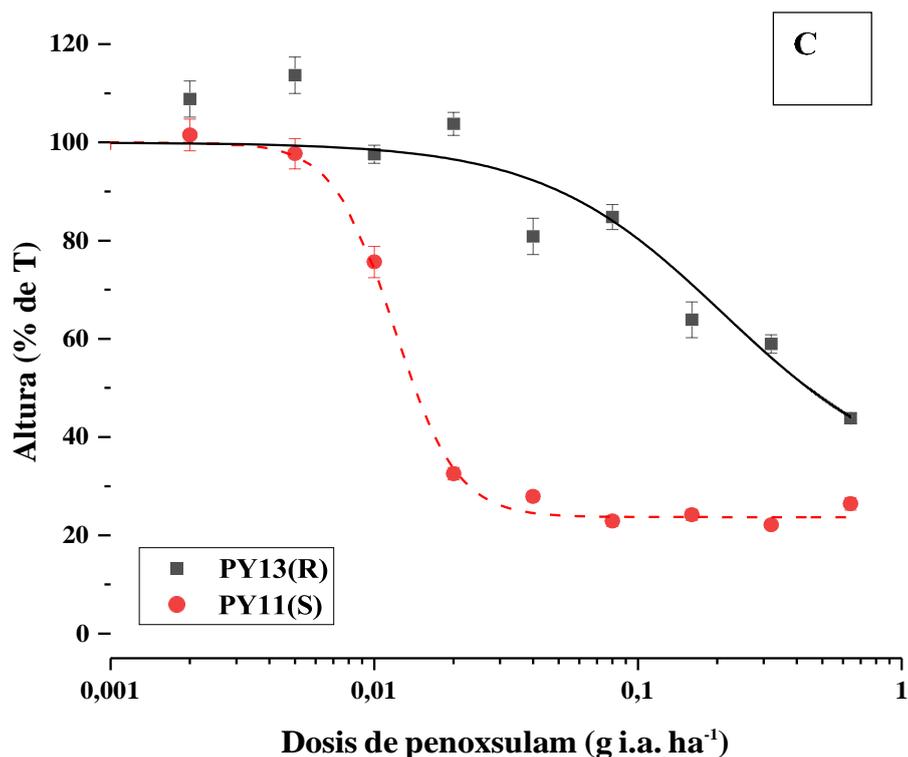


Figura 16. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam en la evaluación de la altura a los 21 dda: (C) PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

5.4.3. Representación gráfica del peso foliar fresco en la zona de Yaguachi

De acuerdo al análisis de la Figura 17A, se presentan los valores entre la población PY1(R) y la población PY11(S); donde, la población susceptible es decreciente a partir de la dosis de 5 g i.a. ha⁻¹ en relación a la población resistente, la cual se mantiene elevada hasta la dosis de 80 g i.a. ha⁻¹ para posteriormente empezar a disminuir sobre el 20 % de peso de materia fresca; mientras que la población testigo está sobre el 0 %.

En la evaluación del peso foliar fresco de la población resistente PY4 y la población susceptible PY11 (Figura 18B); se observó que la población resistente empezó a disminuir en el transcurso de las diferentes dosis hasta llegar a un peso de masa fresca sobre el 20 % en la mayor dosis (640 g i.a. ha⁻¹). Por su parte, la población susceptible disminuyó

completamente a partir de la dosis de 10g i.a. ha⁻¹ en adelante y no produjo masa a partir de la dosis 20 g i.a. ha⁻¹.

En la Figura 18C; donde se evaluaron las poblaciones PY13(R) y PY11(S), se presentó disminución de masa fresca en la población resistente la cual empieza a partir de la dosis de 5 g i.a. ha⁻¹ y llega a tener un peso de masa fresca referencial sobre el 30 %; mientras que, la población susceptible disminuye completamente en las diferentes dosis crecientes de aplicación del herbicida con 0 % a partir de 20 g i.a. ha⁻¹.

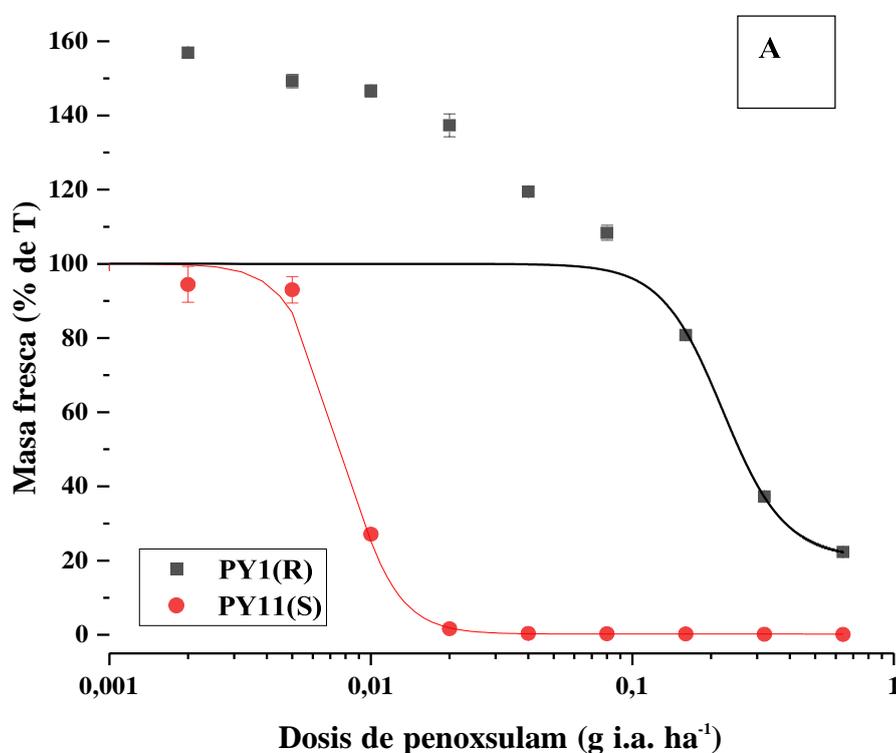


Figura 17. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (A) PY1(R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

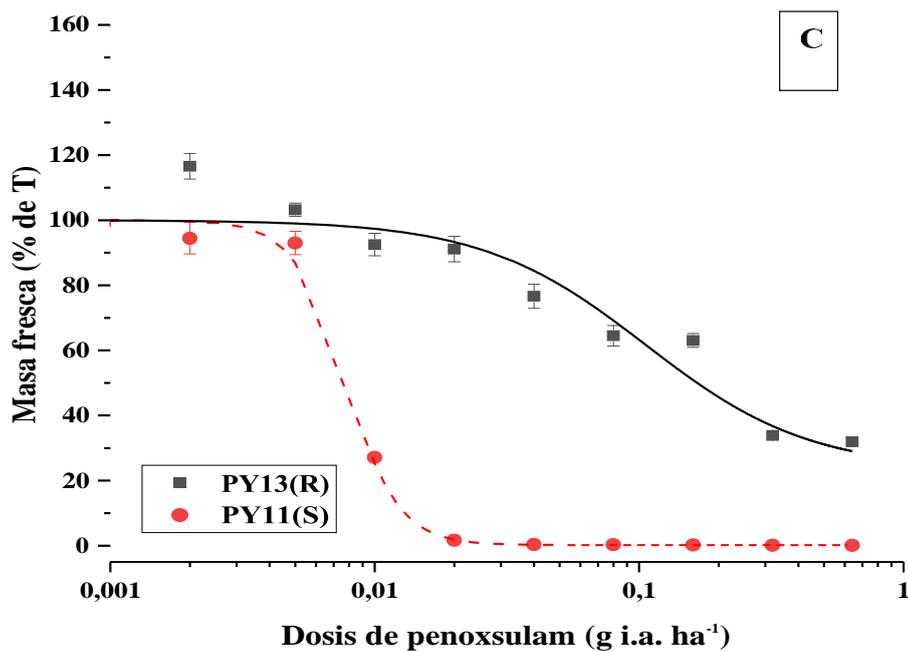
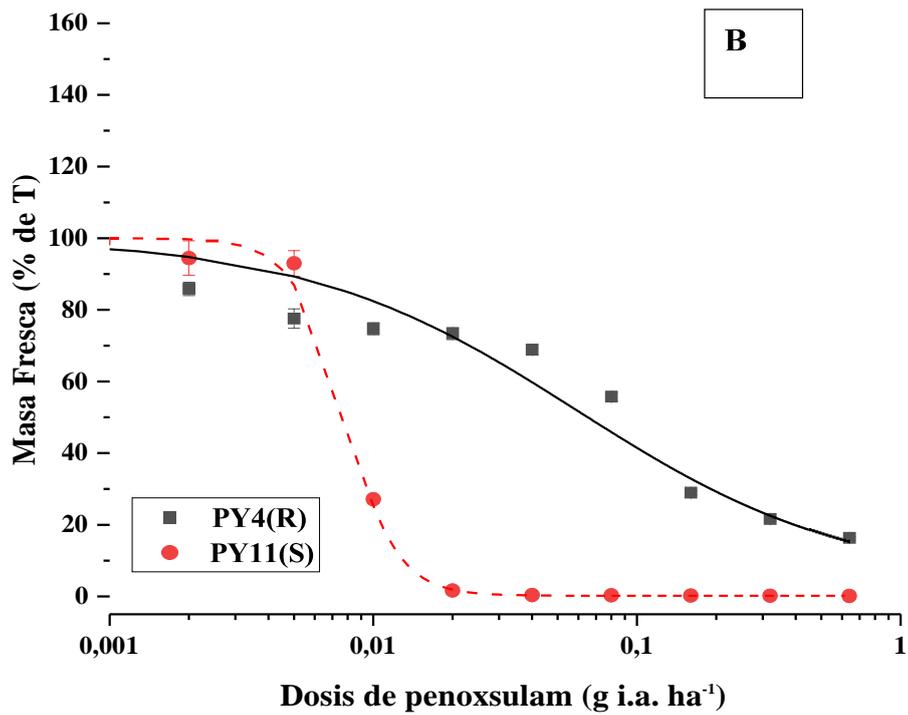


Figura 18. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(B)** PY4 (R) y PY11 (S); **(C)** PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

5.4.4. Representación gráfica del peso foliar seco en la zona de Yaguachi.

En el análisis del peso de masa seca (Figura 19A), se puede observar la disminución a partir de la dosis de 10 g i.a. ha⁻¹ en la población PY1, la cual llega a menos del 10 % referencial, mientras que la población susceptible PY11 inicia las pérdidas en dosis menores (5 g i.a. ha⁻¹) con referenciales de 0 % a partir de 20 g i.a. ha⁻¹.

De acuerdo al análisis de los valores de las poblaciones resistente PY4 y susceptible PY11 de la Figura 20B; se estableció que para la población PY4, las aplicaciones de penoxsulam en las diferentes dosis presentan similares resultados a la PY1 en que alcanza a reducir el 10 %, contrario a lo obtenido por PY11 población susceptible que disminuye completamente y llegó al 0 % de referencia.

En la Figura 20C, se ingresaron los valores de la población PY13 (resistente) y de la población PY11 (susceptible), las cuales expresan comportamiento similar al anterior; aunque, en la población PY13 su porcentaje apenas superó el 20 % en su máxima dosis de 640 g i.a. ha⁻¹; mientras que la población susceptible decae completamente sobre el 0 %.

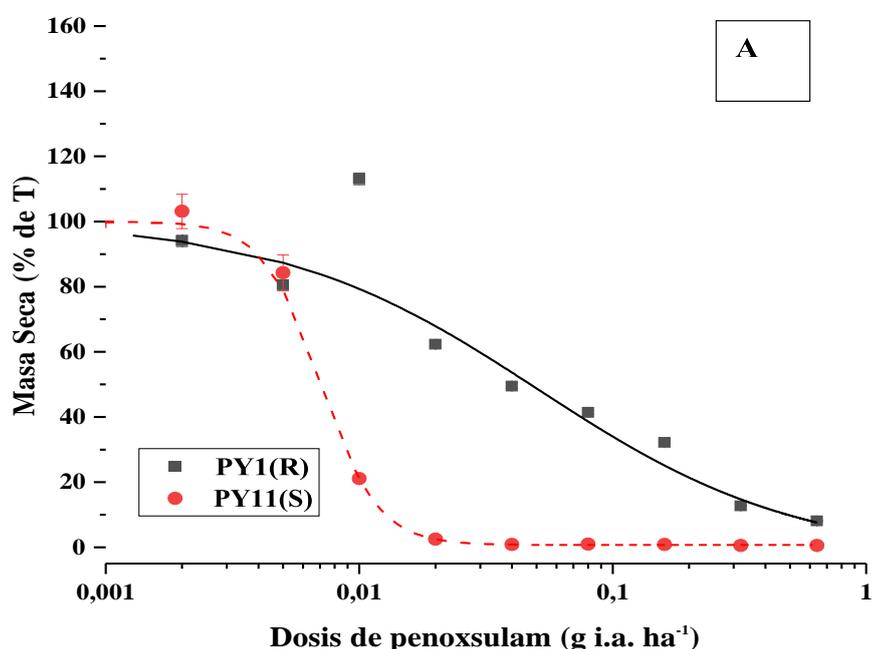


Figura 19. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: (A) PY1(R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

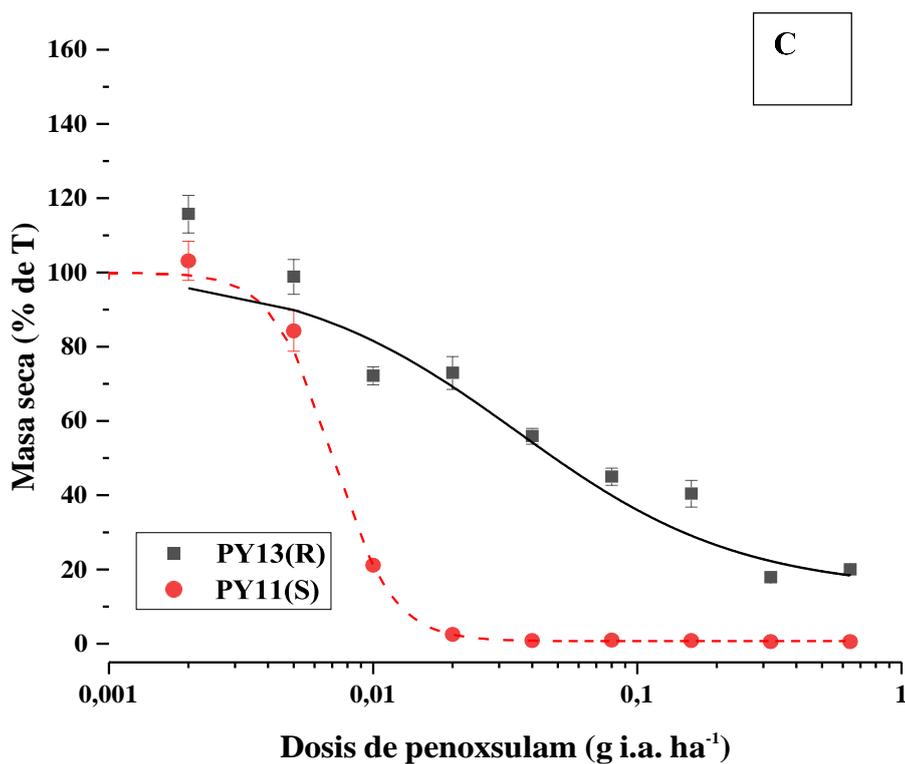
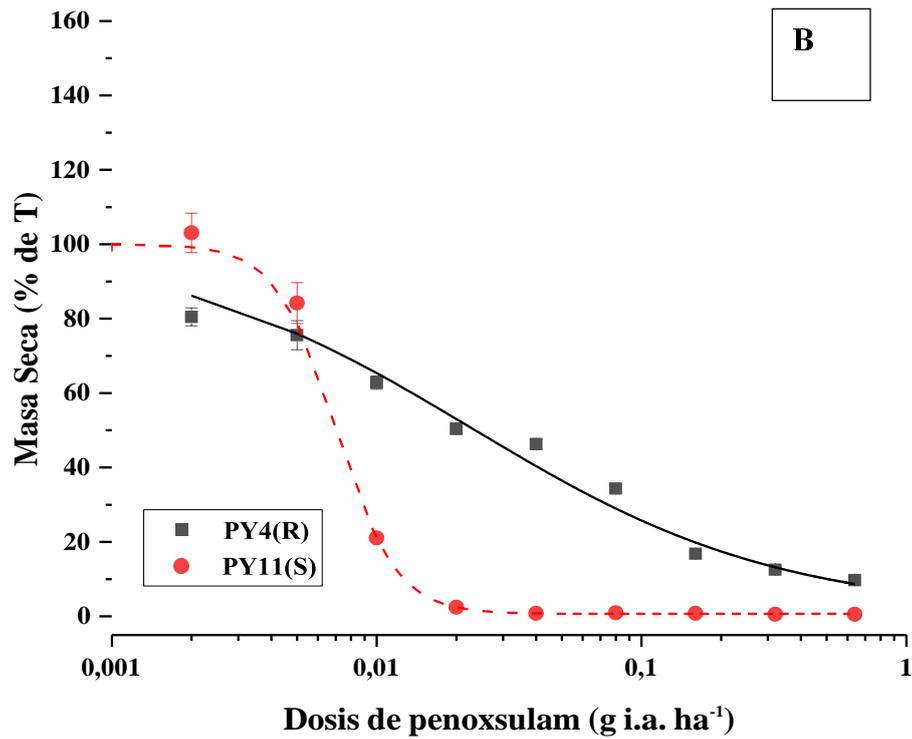


Figura 20. Respuestas de las accesiones de *Echinochloa crus-galli* de la zona de Yaguachi a dosis crecientes del herbicida penoxsulam: **(B)** PY4 (R) y PY11 (S); **(C)** PY13 (R) y PY11 (S). Cada punto indica la media y desviación estándar. Los parámetros de regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 10.

5.4.5. Índice de resistencia, zona de Yaguachi

Los datos de índice de resistencia en las poblaciones de la zona de Yaguachi se demuestran en el Cuadro 10. Se consideró las variables altura de planta a los 21 días y la producción de masa foliar fresca y seca; donde se establece que fue superior a 2 en las tres poblaciones en estudio; es decir, se necesita de 7 a 19 veces para la población PY1, de 3 a 8 veces para PY4 y de 5 a 18 veces para PY13 la dosis de penoxsulam para inhibir el 50 % del crecimiento de las poblaciones, con respecto al biotipo susceptible.

Cuadro 10. Parámetros de la ecuación de regresión [$y=A2 + (A1-A2)/(1 + (x/x0)^p)$] utilizada para estimar la dosis de penoxsulam requerida para reducir al 50% la biomasa de plantas de *Echinochloa crus-galli* resistentes a este herbicida de las poblaciones de Yaguachi

Días	Poblaciones	Parámetros de la regresión					P	IR
		A1	A2	P	x0	R ²		
7 dda	PY11 (S)	100,00	49,37	24,65	0,0052	0,99	P<0,0001	
7 dda	PY1 (R)	99,99	51,09	1,64	0,0104	0,99	P<0,0001	2
7 dda	PY4 (R)	99,99	52,18	5,23	0,0077	0,99	P<0,0009	1
7 dda	PY13 (R)	100,00	51,79	1,47	0,0157	0,99	P<0,0004	3
14 dda	PY11 (S)	100,00	27,67	2,49	0,0071	0,99	P<0,0006	
14 dda	PY1 (R)	100,00	37,89	1,20	0,0589	0,98	P<0,0001	8
14 dda	PY4 (R)	100,00	36,64	1,16	0,0200	0,99	P<0,0001	0,3
14 dda	PY13 (R)	100,00	50,17	1,49	0,0579	0,97	P<0,0002	3
21 dda	PY11 (S)	100,00	23,71	3,73	0,0119	0,99	P<0,0005	
21 dda	PY1 (R)	100,00	35,54	2,89	0,2221	0,98	P<0,0009	19
21 dda	PY4 (R)	100,00	38,19	2,03	0,0945	0,99	P<0,0005	8
21 dda	PY13 (R)	100,00	30,36	1,26	0,2104	0,99	P<0,0004	18
Materia fresca	PY11 (S)	100,00	0,16	4,29	0,0078	1	P<0,0003	
Materia fresca	PY1 (R)	100,00	20,95	3,69	0,2216	0,93	P<0,0003	28
Materia fresca	PY4 (R)	99,99	3,78	0,84	0,0593	0,99	P<0,0004	8
Materia fresca	PY13 (R)	100,00	23,31	1,40	0,1059	0,99	P<0,0002	14
Materia seca	PY11 (S)	100,00	0,70	3,85	0,0070	1	P<0,0009	
Materia seca	PY1 (R)	99,99	-3,13	0,85	0,0508	0,99	P<0,0005	7
Materia seca	PY4 (R)	99,99	1,11	0,75	0,0228	0,99	P<0,0005	3
Materia seca	PY13 (R)	100,00	14,30	1,03	0,0350	0,99	P<0,0001	5

VI. DISCUSIÓN

El arroz es uno de los principales cultivos por ser parte de la dieta alimentaria a nivel mundial y nacional; por lo que, es necesario realizar investigaciones de control de malezas con la finalidad de incrementar la producción del cultivo. En zonas intensivas de producción de esta gramínea en nuestro país, la utilización de herbicidas es de uso obligatorio y se realiza de forma continua ciclo tras ciclo, lo cual se convierte en un escenario propicio para la aparición de poblaciones resistentes de malezas. De tal forma que es necesario continuar con investigaciones para el control de las malas hierbas con el uso de herbicidas solos o en mezclas y ya sean pre o post emergentes

En la presente investigación se colectaron en total 29 poblaciones de *Echinochloa crus-galli* provenientes de áreas arroceras de Yaguachi y Daule presumiblemente resistentes o susceptibles y a las cuales se procedió a someter a un screening que sirvió en condiciones controladas de dosis, humedad de suelo, tamaño de malezas y calidad de agua para desestimar factores relacionados a inadecuada aplicación y, a partir de esos resultados se aplicaron evaluaciones de dosis–respuesta. Esto concuerda con los trabajos realizados por (Ortiz *et al.*, 2017, Torres y Ortiz 2107 y Kacan *et al.*, 2020), donde indican que trabajos de este tipo parten con un proceso de colecta de semillas de *Ischaemum rugosum*, *Fimbristylis littoralis* y *Echinochloa crus-galli* en varias fincas con un historial de más de diez años de aplicación de herbicidas para realizar el screening y posteriormente el ensayo dosis–respuesta que resultó en confirmación de casos de resistencia.

En lo referente al índice de toxicidad, en la fase de screening en la zona de Daule, apenas la población PD6 presentó alta sensibilidad a la aplicación de penoxsulam; mientras que, en la zona de Yaguachi también se encontró una población con mayor porcentaje de sensibilidad en la PY11 que presentó daños fuertes y se seleccionó como testigo general para la segunda fase de Dosis-Respuesta en las dos zonas. Estos resultados sustentan la afirmación sobre la alta probabilidad de que determinadas poblaciones de malas hierbas sometidas a aplicaciones continuas de productos específicos y altamente selectivos desarrollen resistencia contra herbicidas inhibidores de ALS (Riar, *et al.* 2013).

En esta investigación se aplicó como tratamientos nueve dosis crecientes y el testigo (0) en la etapa de dosis-respuesta como herramienta para la detección de poblaciones resistentes a herbicidas, lo que coincide con la investigación de Resistencia de Capines realizada por (Marchesi y Saldain 2017 y Kacan *et al.*, 2020), en donde utilizaron dosis de herbicidas similares a las realizadas en este trabajo.

Un estudio realizado con *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv detectó varios biotipos resistentes a quinclorac y a propanil (Marchesi, 2015) en lugares en los llevan muchos años utilizándolos, algo similar a lo que está ocurriendo tanto en Yaguachi como en Daule con penoxsulam, ya que se han determinado poblaciones que toleran aplicaciones extremadamente altas sin obtener buenos niveles de control.

La mayoría de las poblaciones de *Echinochloa crus-galli* estudiadas fueron tolerantes y/o resistentes a penoxsulam en la zona arroceras de Yaguachi, lo que podría atribuirse a la presencia del banco de semillas en el suelo, donde cada año germinan individuos provenientes de plantas en distintos ciclos que no fueron removidas oportunamente. Esto permite entonces la coocurrencia de individuos susceptibles y resistentes. En este sentido, es importante destacar que en general, el fenómeno de resistencia se hace visible a nivel de campo cuando los biotipos resistentes alcanzan por lo menos un 30 % de los individuos dentro de la población. Para ese entonces, es posible que el banco de semillas susceptibles haya cambiado a un banco de semillas resistentes. Es así como, la detección es más lenta, pero el manejo será mucho más difícil (De la Vega 2013).

La zona de Daule presentó mayor resistencia hacia el herbicida penoxsulam, que es un herbicida que se aplica de forma generalizada en los arrozales para el control de *Echinochloa spp.*, y cierto control frente a ciperáceas, pero tiene el inconveniente de pertenecer a un grupo de herbicidas vulnerable a la aparición de resistencias (Pardo *et al.* 2015).

La metodología que se empleó para evaluar las poblaciones resistentes vs. susceptible coinciden con otros autores; donde se evaluaron tres poblaciones con mayor sintomatología de resistencia con una población resistente tanto de la zona de Daule como de la de Yaguachi; lo que concuerda con la investigación de Resistencia múltiple de Chen. *et al.* (2016) y Yang *et al.* (2013); donde, evaluó la sensibilidad de seis poblaciones

resistentes a penoxsulam y una población sensible, quien empleó un diseño completamente al azar y, como resultado, obtuvo una población con mayor porcentaje de resistencia a penoxsulam en China; situación que alarma porque penoxsulam es uno de los más importantes herbicidas que se utilizan de forma generalizada en los campos de arroz de ese país.

En lo que respecta a la altura de las plantas; se pudo observar que para las poblaciones de Daule y Yaguachi se incrementaron los valores en ciertas poblaciones con posible resistencia a penoxsulam; ya que ninguna de las dosis aplicadas sobre la recomendación comercial inhibió el crecimiento de la maleza; lo que coincide con lo mencionado por Yang, *et al.* (2017), quienes no encontraron inhibición del crecimiento y mortalidad de las plantas ni con la dosis 8 veces mayor de la dosis recomendada en el campo sobre las poblaciones en estudio y tampoco presentó mortalidad de ninguna planta incluso con una concentración de 32 veces de la dosis recomendada. Además, Asaduzzaman, *et al.* (2021), encontraron en una investigación donde se evaluaba resistencia a glifosato plantas con un crecimiento vigoroso e incluso produjeron mayor porcentaje de biomasa en las plantas; de hecho, este fenómeno del aumento de la biomasa se analizó como el efecto de hormesis, en el que las dosis más bajas de los herbicidas podrían ayudar a sobrevivir a las malezas.

En la producción de masa fresca de las poblaciones de la zona de Daule; el valor de GR50 de *E. crus-galli* resistentes PD2 y PD7 es a partir de los 80 g i.a. ha⁻¹ y para las poblaciones también resistentes PD6 y PD12 el valor de GR50 es a partir de 20 g i.a. ha⁻¹; valores que fueron mucho más altos que el de la población susceptible PY11 que es de 5 g i.a. ha⁻¹. Para la zona de Yaguachi en cambio, se determinó que el valor de GR50 en las poblaciones resistentes PY1 y PY13 (>160 g i.a. ha⁻¹) y PY4 (>80 g i.a. ha⁻¹) valores superiores en comparación con la población susceptible PY11; donde su GR50 es a partir de 5 g i.a. ha⁻¹. El peso seco en las curvas dosis-respuesta presentó similares resultados; lo que coincide con Yang, *et al.* 2017.

En lo que respecta al índice de resistencia en la zona de Daule, se puede acotar que en las poblaciones resistentes a los 7, 14 y 21 días fueron superiores a 1; es decir, que se necesita mayor cantidad de penoxsulam para inhibir el 50% del crecimiento de estas poblaciones, con respecto al biotipo susceptible; para la zona de Yaguachi se obtuvo

similar comportamiento. Estos resultados son consistentes con otros estudios que muestran que las poblaciones de pasto de corral resistentes al penoxsulam eran de 2 a 53 veces más resistentes a otros herbicidas de uso frecuente en el arroz en comparación con las poblaciones susceptibles al penoxsulam (Chen *et al.* 2016).

En la presente investigación se confirmó la resistencia de *Echinochloa crus-galli* al herbicida penoxsulam en la zona de Daule y Yaguachi debido a su uso indiscriminado, a la falta de concientización de realizar otras labores culturales que ayuden a mantener en armonía la sensibilidad en las variaciones genéticas de la maleza; lo que concuerda con (Kacan *et al.*, 2020), y manifiesta que la diversidad genética entre especies de malezas está influenciada por las condiciones climáticas y geográficas y debido a esto son de mejor capacidad de adaptación y por ende recomiendan una selección efectiva de los herbicidas a usarse, rotaciones de herbicidas, dosis adecuadas, un control del agua de riego, las herramientas de labranza del suelo previamente desinfectados para evitar la dispersión de semillas de los campos infestados a otros (Powels y Yu 2010, Bajwa *et al.* 2015).

VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en la ejecución de la presente investigación, se concluye:

1. Se identificaron 3 poblaciones con características de resistencia en 17 muestras obtenidas en Yaguachi y 4 poblaciones con características de resistencia en 12 muestras obtenidas en Daule.
2. Los Índices de Resistencia (IR) presentados en las poblaciones identificadas como resistentes variaron según la localidad; Daule: PD2 y PD7 necesita de 2 a 3 veces más la dosis y en Yaguachi: PY1 necesita de 7 a 19 veces más dosis, PY4 de 3 a 8 veces más dosis y PY13 de 5 a 18 veces más la dosis del herbicida, lo que confirma la presencia de este fenómeno en los campos arroceros de las zonas muestreadas.
3. La presencia de hormesis en algunas poblaciones estudiadas denotan la capacidad de metabolismo parcial de penoxsulam, lo que podría dar lugar a la aparición de nuevas poblaciones con esta característica.

VIII. RECOMENDACIONES

En función de las conclusiones se puede recomendar lo siguiente:

- Limitar el uso y ajustar las dosis del producto para mejorar el control de la maleza *Echinochloa crus-galli*, especialmente en áreas en las que el fenómeno aún no está presente.
- Incorporar y evaluar mezclas con otros ingredientes activos en épocas de aplicación para extender el período de control y así evitar tener la presencia de especies resistentes.
- Realizar investigaciones similares en otras zonas arroceras del país y con otros ingredientes activos.
- Validar la presente investigación, a fin de comparar los resultados obtenidos en la misma.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, A., Santos, M., Morán, I., Vargas, P., Comboza, W., & Lara, E. (2018). Malezas Presentes en Cultivos del Cantón Naranjal, Provincia Guayas, Ecuador. *INVESTIGATIVO*, (11), 1-16.
- Asaduzzaman, Md., Koetz, E., Wu, H., Hopwood, M., & Shephard, A. (2021) Fate and adaptive plasticity of heterogeneous resistant population of *Echinochloa colona* in response to glyphosate *Scientific Reports* 11:14858. Recuperado el 5 de febrero de 2022 de <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94370-7>.
- Bagavathiannan M.V., Norsworthy J.K., Smith K.L., Neve P. (2012). Seed production of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in response to time of emergence in cotton and rice. *Journal of Agricultural Science*, 150: 717–724.
- Bajwa A.A., Jabran K., Shahid M., Ali H.H., Chauhan B.S., Ehsanullah (2015). Eco- biology and management of *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection*, 75: 151–162.
- Bolaños-Jiménez, J., Uscanga-Mortera, E., Tafoya-Razo, J. A., Koshashi-Shibata, J., y Torres-García, J. (2018). Efectividad biológica de herbicidas inhibidores de la Acetil Coenzima Carboxilasa y Acetolactato Sintasa y la presencia de resistencia en *Echinochloa cruz-galli* (L.) Beauv. *Agrociencia*, v. 52, p. 713-723.
- Bonow, J.F.L., Lamego, F.P., Andres, A., Avila, L.A., Teló, G.M., & Egewarth, K. (2018). Resistance of *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* to Imazapyr+Imazapic Herbicide and Alternative Control in Irrigated Rice. *Planta Daninha*, v. 36, p.1-11. ISSN: 186-9681.
- Chauhan, B.S., Abugho, S.B. (2013). Effects of water regime, nitrogen fertilization, and rice plant density on growth and reproduction of lowland weed *Echinochloa crus-galli* L. *Crop Protection*, 54: 142–147.

- Chen, G.Q., Wang, Q., Yao, Z.W., Zhu, L.F., Dong, L.Y. (2016). Penoxsulam-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice fields in China. *Weed Biology and Management*, 16: 16–23.
- Claerhout, S., Reheul, D., & De Cauwer, B. (2015). Sensitivity of *Echinochloa crus-galli* populations to maize herbicides: a comparison between cropping systems. *European Weed Research Society* 55, 470–481.
- Coria, S. (2017). Respuesta de diferentes biotipos de *Echinochloa* sp. a los herbicidas clomazona, pendimetalina y penoxsulam. Universidad de Valencia. España.
- Cruz-Hipólito, H., Domínguez-Valenzuela, J. A., De Prado, R. (2017). Mecanismos de resistencia de malezas a herbicidas.
- Datta, A., Ullah, H., Tursun, N., Pornprom, T., Knezevic, S.Z., Chauhan, B.S. (2017). Managing weeds using crop competition in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Crop Protection*, 95: 60–68.
- De la Vega, M. (2013). Resistencia de malezas a herbicidas. *Revista Especial Malezas AAPRESID*, 29-34.
- Delgado, M., Ortiz Domínguez, A., y Zambrano, C. (2008). Poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W. D. Clayton con Resistencia Cruzada al Foramsulfuron + Iodosulfuron. *Agronomía Trop.* 58 (2): 175- 180.
- Devine, M. D., and Preston, C. (2000). The molecular basis of herbicide resistance. Academic Press. Sheffield, Inglaterra. p. 72-104.
- Diez De Ulzurum, P., y Leaden, M. (2012). Análisis de la sensibilidad de biotipos de *Lolium multiflorum* a herbicidas inhibidores de la enzima ALS, ACCasa y Glifosato. *Planta Daninha*, v 30, n 3, p. 667-673.
- Diez, M., Díaz, P., Marchesi, C., Saldain, N. (2014). Manejo de Malezas en Arroz. Evaluación de la tolerancia al quinclorac de biotipos de Capín (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv). Cap. 5. Serie Actividades de Difusión 735.

- El Productor. (2014). Malezas resistentes, el desafío de la agricultura. Recuperado el 18 de Febrero del 2019 de <http://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-agricolas/malezas-resistentes-el-desafio-de-la-agricultura/>
- Fang, J.P., Liu, T.T., Zhang, Y.H., Li, J., Dong, L.Y. (2019). Target site-based penoxsulam resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) from China. *Weed Science*, 67: 281–287.
- Fisher, A., y Valverde, B., (2005). Resistencia a herbicidas en malezas asociadas con arroz. Cap. 24. Recuperado el 16 de Febrero del 2019 de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/82517/resistenciae92a6c5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fischer, A., & Valverde, B. E. (2010). Resistencia a herbicidas en malezas asociadas con arroz. International Center for Tropical Agriculture.
- Gainez, T., Cripps, A., and Powles, S. (2017). Evolved Resistance to Glyphosate in Junglerice (*Echinochloa colona*) from the Tropical Ord River Region in Australia. Recuperado el 20 de Febrero del 2019 de <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00029.1>.
- Gimenez, A., Ruiz, J., De Prado, R. (2011). *Resistencia a herbicidas inhibidores de ALS y ACCasa en malas hierbas en arroz*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España.
- Guevara, G., y Burdyn, B. (2016). Identificación de daños de herbicidas en el cultivo de algodón. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado el 24 de Mayo del 2020 de <https://inta.gob.ar/saenzpena>.
- Guo, L.B., Qiu, J., Ye, C.Y., Jin, G.L., Mao, L.F., Zhang, H.Q., Yang, X.F., Peng, Q., Wang, Y.Y., Jia, L., Lin, Z.X., Li, G.M., Fu, F., Liu, C., Chen, L., Shen, E.H., Wang, W.D., Chu, Q.J., Wu, D.Y., Yu, S.L., Xia, C.Y., Zhang, Y.F., Zhou, X.M., Wang, L.F., Wu, L.M., Song, W.J., Wang, Y.F., Shu, Q.Y., Aoki D., Yumoto, E., Yokota, T., Miyamoto, K., Okada, K., Kim, D.-S., Cai, D.G., Zhang, C.L., Lou, Y.G., Qian, Q., Yamaguchi, L.J., Yamane, H., Kong, C.-H., Timko, M.P., Bai,

- L.Y., Fan, L.J. (2017). Echinochloa crus-galli genome analysis provides insight into its adaptation and invasiveness as a weed. *Nature Communications*, 8: 1031.
- Harker, K., & O'Donovan, J. (2013). Recent weed control, weed management, and integrated weed management. *Weed Technology*, 27(1), 1-11. Recuperado 27 de febrero del 2022 de <https://doi:10.1614/WT-D-12-00109.1>
- Heap, I. M. (2012). International survey of herbicide-resistant weeds. Recuperado el 25 de Mayo del 2022 de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20002301280>
- Heap, I.M. (2016). International survey of herbicide resistant weeds. Recuperado el 25 de febrero del 2022 de <http://www.weedscience.com/summary/home.aspx>.
- Heap, I. M. (2017). Las peores malezas mundiales resistentes a herbicidas. Estudio internacional de malezas resistentes a herbicidas. Recuperado el 26 de Mayo del 2022 de https://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/REMSD_12_001.pdf
- Heap I. (2020). The International Herbicide-Resistant Weed Database. Available at. Recuperado el 12 Febrero del 2022 de <http://www.weedscience.org/Home.aspx>
- INIAP. (2007). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Litoral Sur. Manual de cultivo de arroz. N° 66. p. 5-35.
- INIAP. (2012). *Informe Anual*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Litoral Sur. Departamento Nacional de Protección Vegetal. 2013. p. 65.
- Kacan, K., Tursun, N., Ullah, H., Datta, A., (2020). Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) resistance to acetolactate synthase-inhibiting and other herbicides in rice in Turkey. Recuperado el 4 de Marzo del 2022 de <https://doi.org/10.17221/92/2020-PSE>

- Kaya, A. E., y Mennan H. (2011). Genetic and morphologic diversity of *Echinochloa crus-galli* populations from different origins. *Phytoparasitica*, 39: 93–102. Recuperado el 20 de Febrero del 2022.
- Kissmann, K. G. (2003). Resistência de plantas daninhas a herbicidas. Recuperado el 22 de Mayo del 2022 de https://b73f4c7b-d632-4353-826f-b62eca2c370a.filesusr.com/ugd/48f515_216d841102464d5e8f9f32d19ea07d26.pdf
- Kogan, M., Gómez, P., Fischer, A., & Alister, C. (2011). Using penoxsulam ALS inhibitor as a broad-spectrum herbicide in Chilean rice. *Ciencia e investigación agraria*, 38(1), p. 83-93.
- López-Martínez, N., Marshall, G., y De Prado, R. (1997). Resistance of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) a Atrazina y Quinclorac. *Pestic. Sci*, 51, 171-175. Recuperado el 27 de Febrero del 2021.
- Marchesi, A. C., Saldain, A. N. (2012). Malezas resistentes a los herbicidas: el ejemplo del capín en el arroz. *Revista INIA-Nº*, 30, 24.
- Marchesi, C. (2015). Evaluación de susceptibilidad del capin (*Echinochloa* spp.) a distintos herbicidas. *Manejo de Malezas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria INIA. Uruguay. Cap. V. p. 51-58.*
- Marchesi, C., y Saldaín, N. (2018). Resistencia en capines, una nueva realidad. *Arroz. INIA. p. 46-48.*
- Miller, M.R., Norsworthy, J.K., Scott, R.C. (2018). Evaluation of florpyrauxifen-benzyl on herbicide-resistant and herbicide-susceptible barnyardgrass accessions. *Weed Technology*, 32: 126–134.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). Cifras Agro-productivas. Principales cultivos-2021. Recuperado el 15 de mayo del 2022 de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifrasagroproductivas>

- Montenegro, A.F., y Parada, C. D. (2015). Sistema de Detección de malezas en cultivos. Academia. Recuperado el 18 de Mayo del 2021 de https://www.academia.edu/34404653/SISTEMA_DE_DETECCI%C3%93N_DE_MALEZAS_EN_CULTIVOS_articulo
- Ortiz, A., Pérez, P., Anzalone, A., Zambrano, C., Torres, S., Quintana, Y., López, A., López, L., y Fisher, A. (2017). Resistencia de *Fimbristylis littoralis* Gaudich a imazapir+imazetapir y su control con otros herbicidas en el cultivo de arroz. *Bioagro*, v. 29(1), p. 15-22.
- Papa, J. C. (2002). Malezas tolerantes y resistentes a herbicidas. Actas del Seminario Sustentabilidad de la Producción Agrícola. INTA, JICA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires.
- Pardo, G., Marí, A., Fernández-Cavada, S., García-Floria, C. Hernández, S., Zaragoza, C., y Cirujeda, A. (2015). Alternativas al penoxsulam para control de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz en el nordeste de España. Vol. 111(4), p. 295-309.
- Peñaherrera, L. (2007). Manual del cultivo de arroz: Manejo integrado de malezas en el cultivo de arroz. INIAP. Manual No 66. Guayas. s. e. p. 123 y 124.
- Peñaherrera, L. (2009). Mezclas de herbicidas en arroz: Guía de procedimiento. Recuperado el 26 de Febrero 2020 de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2003>
- Pinto, J.J.O., Galon, L., DAL Magro, T., Procópio, S.O., Concenço, G., Pinho, C.F., & Ferreira, E.A. (2008). Controle de Capim-Arroz (*Echinochloa* spp.) em função de métodos de manejo na cultura do arroz irrigado. *Planta Daninha*, 26(4), 767-777.
- Poveda, G., y Andrade, C. (2018). Producción sostenible de arroz en la provincia del Guayas. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*. ISSN: 1988-7833.
- Powles, S. B., and Yu, Q. (2010). Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 61. p. 317-347.

- Riar, D.S., Norsworthy, J.K., Bond, J.A., Bararpour, M.T., Wilson, M.J., Scott, R.C.(2012). Resistance of *Echinochloa crus-galli* populations to acetolactate synthase- inhibiting herbicides. *International Journal of Agronomy*, 2012: 893953.
- Riar, D.S., Norsworthy, J.K., Srivastava, V., Nandula, V., Bond. J.A., & Scott, R.C.(2013). Physiological and molecular basis of acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, 278–289.
- Romagnoli, M.V., Tuesca, D., & Permingeat, R. (2013). Caracterización de la resistencia de *Amaranthus quitensis* a tres familias de herbicidas. Argentina. *Ecología Austral*, v. 23. P. 119-125.
- Román, E.S., Vargas, L., Rizzardi, M. A., y Mattei, R. W. (2004). Resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.22, n.2, p.301-306.
- Sandín-España, P., Villarroya-Ferruz, M., López-Goti, C., Patiño-Ropero, M., Alonso-Prados, J., Santín-Montanyá, M. (2017). Comportamiento químico del herbicida profoxidim y su formulado AURA. Efecto en *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. p. 299-304.
- Song, J.S., Lim, S.H., Yook, M.J., Kim, J.W., Kim, D.S. (2017). Cross-resistance of *Echinochloa* species to acetolactate synthase inhibitor herbicides. *Weed Biology and Management*, 17: 91–102.
- Stephenson G.R., Dykstra M.D., McLaren R.D., Hamill A.S. (1990). Agronomic practices influencing triazine-resistant weed distribution in Ontario. *Weed Technology*, 4: 199–207.
- Torres, S., y Ortiz, A. (2017). Mecanismos de resistencia de paja rugosa (*Ischaemum rugosum* Salis b.) al herbicida bispiribac-sodio en el cultivo de arroz. *Bioagro*, v. 29(2). p. 95-104.

- Tuesca, D., Nisensohn, L., Sabbatini, M., y Chantre Balacca, G. (2010). Resistencia de malezas a herbicidas: evolución y estrategias de manejo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. p. 619-626.
- Valverde, B. E. y Heap I. M. (2010). El estado actual de la resistencia a herbicidas en el mundo. Recuperado el 20 de Mayo del 2020 de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR36351.pdf>
- Vidal, R.A., Lamego, F.P., y Trezzi, M.M. (2006). Diagnóstico da resistência aos herbicida em plantas daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.24, n.3, p.597-604.
- Yang, X.F., Kong, C.H., Yang, X., Li, Y.F. (2017). Interference of allelopathic rice with penoxsulam-resistant barnyardgrass Research Article. Recuperado el 30 de Mayo del 2022 de <https://doi.org/10.1002/ps.4617>

ANEXOS

ANEXOS 1: COLABORADORES

Los colaboradores para llevarse a efecto esta investigación fueron:

- Docentes de la Universidad Técnica de Babahoyo.
- Ing. Luis Antonio Peñaherrera Colina.
- Funcionarios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Litoral Sur.

ANEXOS 2: CRONOGRAMA

ACTIVIDAD/MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRIMERA FASE										
Colecta de semillas	X									
Screening		X	X							
SEGUNDA FASE										
Siembra					X					
Preparación de sustrato				X	X					
Transplante a maceteros					X					
Riego					X	X	X			
Aplicación de herbicida						X				
Evaluación de variables						X	X			
Colecta muestra foliar							X			
Análisis de datos								X		
Redacción del documento									X	X

ANEXOS 3: PRESUPUESTO

CONCEPTO	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
Materiales de oficina	1	80	80
Materiales de invernadero	1	950	950
Vestuario y equipo de protección	1	120	120
TOTAL			1150

ANEXOS 4: FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Siembra en bandejas de germinación de las 29 poblaciones de *Echinochloa crus-galli* para fase de screening



Foto 2. Preparación de sustrato en proporción 2:1:1



Foto 3. Llenado de maceteros



Foto 4. Trasplante de plántulas de *E. crus-galli* en los maceteros



Foto 5. Ensayo generalizado en la fase de screening



Foto 6. Toma de peso foliar fresco



Foto 7. Llenado de bandejas de germinación con sustrato y siembra de las 8 poblaciones de *E. crus-galli* (Daule y Yaguachi)



Foto 8. Bandeja con poblaciones listas para el trasplante



Foto 9. Trasplante de poblaciones de la fase de Dosis-Respuesta



Foto 10. Fase de Dosis-Respuesta



Foto 11. Aplicación del herbicida penoxsulam



Foto 12. Evaluación de toxicidad de las plantas



Foto 13. Evaluación de altura de las plantas



Foto 14. Vista general de la fase Dosis-Respuesta de las poblaciones de Yaguachi



Foto 15. Población PY1 a los 21 días después de la aplicación del herbicida.



Foto 16. Población PY4 a los 21 días después de la aplicación del herbicida

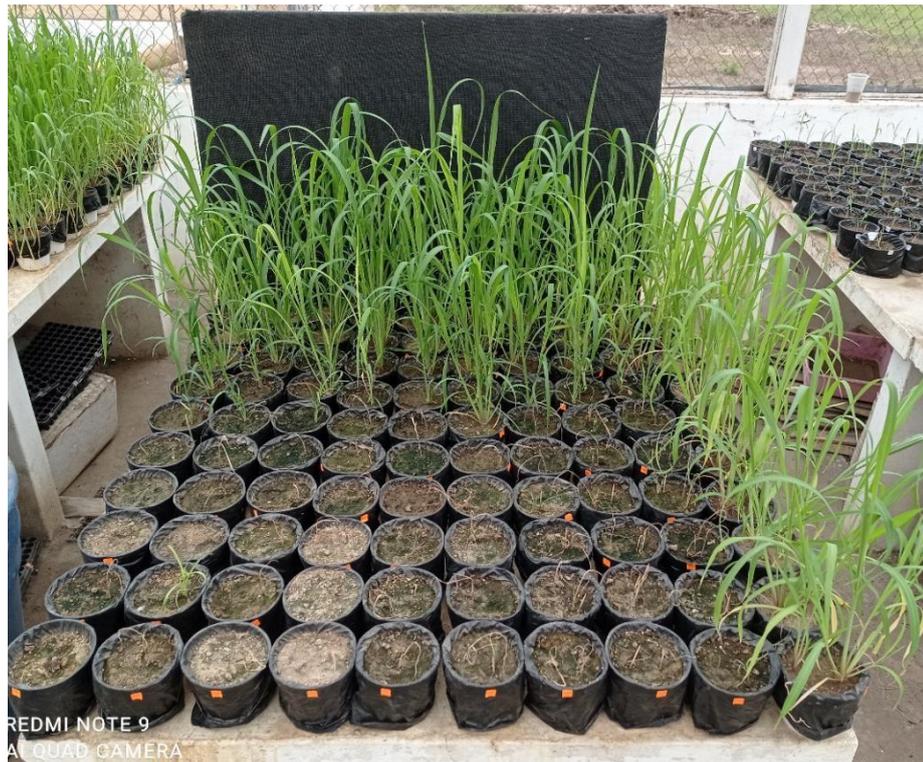


Foto 17. Población PY11 a los 21 días después de la aplicación del herbicida



Foto 18. Población PY13 a los 21 días después de la aplicación del herbicida



Foto 19. Vista general de la fase Dosis-Respuesta de las poblaciones de Daule



Foto 20. Población PD2 a los 21 días después de la aplicación del herbicida



Foto21. Población PD6 a los 21 días después de la aplicación del herbicida



Foto 22. Población PD7 a los 21 días después de la aplicación del herbicida



Foto 23. Población PD12 a los 21 días después de la aplicación del herbicida



Foto 24. Selección y corte de parte foliar de las plantas

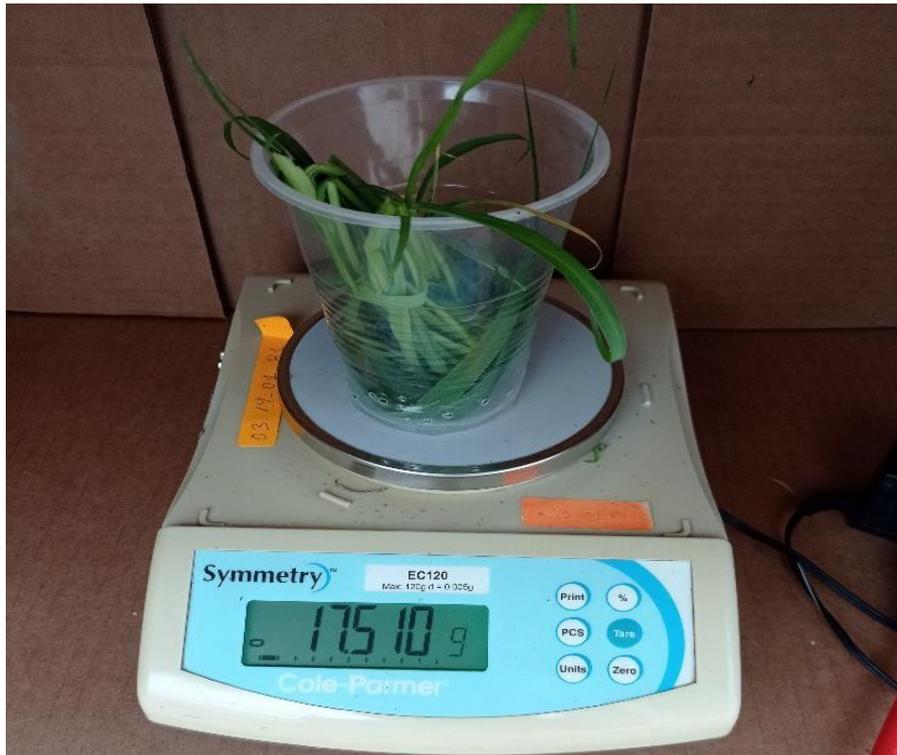


Foto 25. Peso de materia foliar fresca



Foto 26. Muestras de plantas dentro de la estufa



Foto 27. Peso de materia seca