



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo Experimental presentado al H. Consejo Directivo como requisito previo
a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Análisis de la variación hereditaria de líneas F2 de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) resultantes de cruzamientos con un progenitor femenino portador del gen CLEARFIELD”.

AUTOR:

Jean Carlos Santelices Villalta

TUTOR:

Walter Oswaldo Reyes Borja, PhD

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2019

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
II. MARCO TEÓRICO... ..	4
2.1. Cultivo de arroz: Generalidades	4
2.2. Producción.....	6
2.3. Etapas de crecimiento y desarrollo	7
2.4. Mejoramiento genético	9
2.5. Arroz Clearfield.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Ubicación del lote experimental.....	12
3.2. Problema	13
3.3. Campo de acción	13
3.4. Métodos.....	13
3.5. Factores estudiados	13
3.6. Material genético	13
3.7. Tratamientos.....	14
3.8. Diseño experimental	15
3.9. Análisis estadístico	15
3.10. Equipos, pesticidas y materiales	15
3.11. Manejo del ensayo.....	15
3.11.1. Selección y preparación de poblaciones F2 de arroz.....	15
3.11.2. Prueba de germinación del material de siembra.....	15
3.11.3. Pre-germinación de semillas F2 de arroz.....	17
3.11.4. Preparación del terreno	18

3.11.5. Distribución de las parcelas en campo (croquis)	18
3.11.6. Siembra	20
3.11.7. Supervisión y riego del ensayo.....	20
3.11.8. Aplicación del herbicida	21
3.12. Variables evaluadas.....	21
3.12.1. Contenido de clorofila	21
3.12.2. Número de plantas totales.....	22
3.12.3. Número de plantas vivas.....	22
3.12.4. Número de plantas muertas.....	22
3.12.5. Grado de toxicidad del herbicida Imazetapir	22
IV. RESULTADOS	24
4.1. Contenido de clorofila.....	24
4.2. Número de plantas vivas/ muertas	26
4.3. Grado de toxicidad del herbicida Imazetapir (escala de ALAM)	28
V. DISCUSIÓN	37
VI. CONCLUSIONES.....	38
VII. RECOMENDACIONES.....	39
VIII. RESUMEN.....	40
IX. SUMMARY	41
X. BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Movimiento del arroz en el mundo desde su punto de origen (Degiovanni <i>et al.</i> 2010)	4
Figura 2. Producción mundial de arroz en cáscara, millones de toneladas en el año 2018.....	6
Figura 3. Descripción de las etapas de crecimiento y desarrollo de la planta de arroz (counce <i>et al.</i> 2000).....	8
Figura 4. Vista satelital de la ubicación del ensayo experimental (se indica con flecha roja)	12
Figura 5. Selección de semillas F2 de arroz	16
Figura 6. Selección de las semillas F2 de arroz (a); pre-germinación y codificación de las semillas colocadas en fundas plásticas (b)	17
Figura 7. Proceso de fanguero realizado con una maquinaria agrícola (a); pase de tablón para nivelar el terreno (b); proceso de estaquillado, siembra y codificación (c)	18
Figura 8. Elaboración de cama (a), siembra de los tratamientos con ayuda de la cuadrícula (b) y aplicación de capas de ceniza(c).....	20
Figura 9. Supervisión y riego (a); proceso de supervisión (b); riego del semillero	20
Figura 10. Preparación de la bomba de aspersión con el producto (a) y (b); aplicación del herbicida a la parcela (c).....	21
Figura 11. Evaluación de la variable porcentaje de clorofila (a y b); determinador de clorofila (c)	22
Figura 12. Contenido de clorofila evaluado antes (14 días de edad del semillero) y después de la aplicación del herbicida imazetapir (15 días después de la aplicación del herbicida).....	25
Figura 13. Muestra el total de plantas, plantas vivas y plantas muertas.....	27
Figura 14. Muestra el comportamiento del grado de toxicidad que presentan los genotipos evaluados	30
Figura 15. Efecto del herbicida imazetapir en progenies evaluadas antes (fotos del lado izquierdo) a los 14 días de edad del semillero y después de la aplicación (fotos del lado derecho) 29 días de edad del semillero.....	33

Figura 16. Efecto del herbicida imazetapir en 12 parentales antes (fotos del lado izquierdo) a los 14 días de edad del semillero y después de la aplicación (fotos del lado derecho) 29 días de edad del semillero 36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica, distribución geográfica y tipo de genoma de las especies de arroz del mundo.....	5
Tabla 2. Genes de origen vegetal que fueron empleados en la transformación del arroz resistente a insectos plaga.....	9
Tabla 3. Genes de gran importancia que han sido empleados en la transformación del arroz en la resistencia a enfermedades	10
Tabla 4. Genes que han sido empleados en transformación de arroz con resistencia a herbicidas.....	10
Tabla 5. Códigos de las progenies y parentales de arroz.....	14
Tabla 6. Prueba de germinación y peso de semillas de parentales y progenies utilizadas en el experimento	17
Tabla 7. Escala de ALAM donde se detalla el grado de toxicidad de los herbicidas.....	23
Tabla 8. Análisis de la varianza (sc tipo iii) de la variable grado de toxicidad	24
Tabla 9. Resultados del test de Tukey de la variable grado de toxicidad	29

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Probablemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz, debido a que en ella abundan los arroces silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas hasta sus tierras altas; probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujeron los arroces de Asia a otras partes del mundo, los últimos descubrimientos arqueológicos en yacimientos de China han puesto al descubrimiento glumas de arroz que podrían datarse entre el 2.750 y el 3.280 antes de nuestra era, y hasta 3.500 años antes de nuestra era en Tailandia, Pámies (2004).

En lo que respecta al arroz maleza también conocido como arroz rojo, de acuerdo a Vaughan (1989) y FAO (2007) citados por Vásquez (2015), involucra que el color que presenta algunos biotipos en el pericarpio es un conjunto de plantas del género *Oryza* que coexisten y compiten con el arroz cultivado (*Oryza sativa* L.). Se caracterizan por su crecimiento vigoroso, producción abundante de semillas, desgrane fácil y latencia prolongada, lo que les permite una eficiencia dispersión y persistencia en el campo.

Fisher y Ramírez (1993), mencionan que estas malezas son perjudiciales para la producción del arroz cultivado, ya que su control incrementa los costos y su presencia disminuye el rendimiento y el valor comercial del grano.

El arroz ha sido seleccionado como especie modelo para la investigación dentro del grupo de los cereales, debido a sus características genéticas únicas. Como resultado, se han obtenido mapas genéticos, físicos y comparativos, la caracterización de varios genes y la secuencia completa de su genoma. Con estas herramientas se espera apoyar y optimizar, conjuntamente con las otras tecnologías, los procesos de mejoramiento de la especie y de otras relacionadas (Shimamoto & Kyozyuka, 2002).

Vásquez (2015), Por lo que estas variedades han sido empleadas para realizar el control post-emergencia (aplicación del herbicida después de la emergencia o germinación del cultivo) de un amplio espectro de malezas, (Whaley *et al.* 2007) mediante la aplicación de inhibidores enzimáticos que no son tóxicos para el cultivo.

La tecnología Clearfield®, marca registrada de la compañía alemana BASF, combina el uso de herbicidas de la familia química de las Imidazolinonas con cultivares no transgénicos resistentes a estos. Originalmente fue desarrollada para los cultivos de maíz y girasol y luego fue extendiéndose a otros como el trigo y el arroz (BASF, 2015). En lo que respecta al arroz, esta tecnología permite el control químico del arroz rojo y de un amplio espectro de malezas de hoja ancha durante el desarrollo del cultivo (Blanco *et al.*, 2011).

El nacimiento de esta tecnología tuvo su origen en el año 1981, en la Universidad estatal de Louisiana, Estados Unidos, cuando el Dr. en biotecnología vegetal Tim Croughan inicio trabajos de investigación que consistieron en provocar mutaciones a semillas de arroz mediante la técnica de la mutación inducida EMS. La técnica se basaba en exponer a estas semillas a un producto químico llamado etilmetanosulfonato (EMS), para posteriormente ser sembradas en parcelas de ensayo donde se las tratarían con herbicidas esperando obtener individuos resistentes (Pazos, 2007).

En Ecuador, las variedades son comercializadas con un sistema integrado de control de malas hierbas, bajo el nombre Clearfield. Este sistema suministra la semilla resistencia certificada, el herbicida certificado y un programa de custodia, el cual monitorea y asiste en la implementación de esta tecnología, con el objetivo de lograr la limpieza de campos infestados (BASF, 2014).

Hace más de 10 años que el sistema de producción CLEARFIELD en arroz está disponible, en varios países de Sudamérica, Centroamérica, Norteamérica y Europa. De la mano de las nuevas variedades e híbridos CL de alto potencial de rendimiento, desarrolladas por centros de investigación de los principales semilleros de arroz como INIA, LSU, INTA, IRGA, entre tos, se ha ido expandiendo el área de utilización del

sistema, llegando en algunos países a ocupar más de un tercio del área arroceras total (Hernández, 2014).

En este trabajo de investigación que tiene como objetivo general, Identificar la variación hereditaria de líneas F2 de arroz, resultantes de cruzamientos con un progenitor femenino portador del gen CLEARFIELD, que confiere resistencia a herbicidas de la familia química imidazolinonas, se proyecta a determinar la variabilidad hereditaria de las poblaciones segregantes en estudio. Para identificar las líneas que heredaron resistencia o tolerancia, ya que la producción de arroz se ha visto afectada por varios factores, y uno de ellos es la presencia de malezas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Identificar la variación hereditaria de líneas F2 de arroz, resultantes de cruzamientos con un progenitor femenino portador del gen CLEARFIELD, que confiere resistencia a herbicidas de la familia química imidazolinonas (IMI).

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del herbicida imazetapir en plantas F2 de arroz, segregantes de un parental femenino portador del gen CLEARFIELD.
- Determinar la variabilidad hereditaria de las poblaciones segregantes en estudio.
- Seleccionar los segregantes F2 de arroz tolerantes y/o resistencia al herbicida imazetapir.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Cultivo de arroz: Generalidades

El arroz es uno de los cultivos más antiguos de la humanidad, existen hallazgos arqueológicos que testifican la existencia de esta gramínea hace más de 1.000 años (Maqueira *et al.* 2009; Solís *et al.* 2015); convirtiéndose en uno de los granos domesticados más antiguos de la historia (Díaz y Morejón 2017). En la Figura 1, se muestra el movimiento del arroz en el mundo desde su punto de origen.

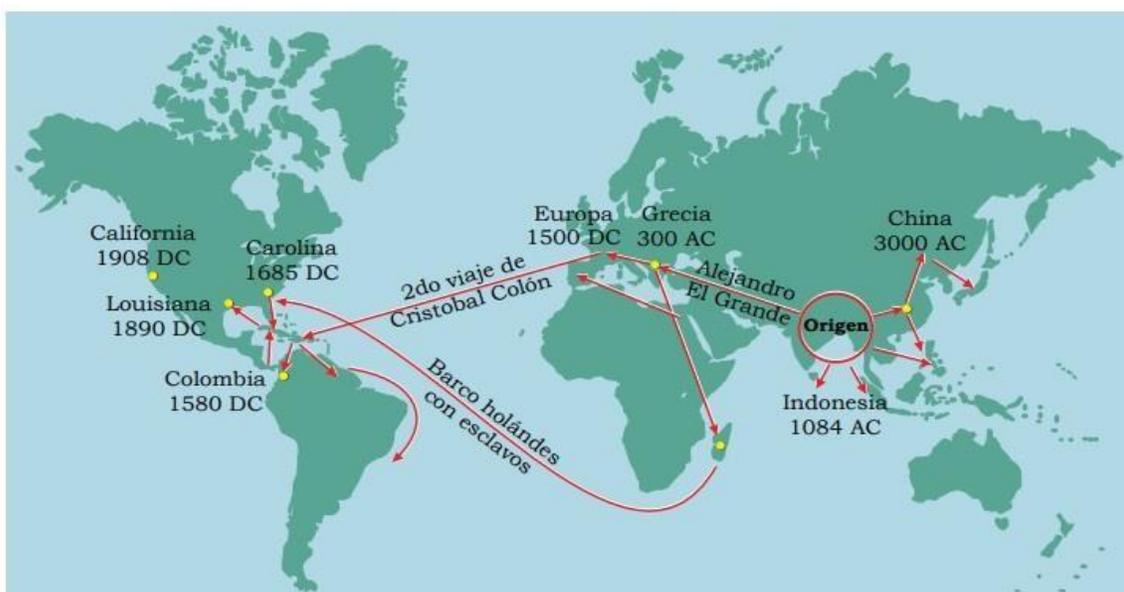


Figura 1. Movimiento del arroz en el mundo desde su punto de origen (Degiovanni *et al.* 2010).

Acevedo *et al.*, (2006) en su trabajo “Origen, evolución y diversidad del arroz”, manifiestan que esta gramínea pertenece a la división Angiospermae, clase Monocotyledonea, orden Glumiflorae, tribu Oryzae, familia Poaceae, atribuyendo que las especies cultivadas son la *Oryza sativa* L. (24 especies silvestres) y *Oryza glaberrima* Steud.

Las especies de *Oryza* por su manejo agronómico y gran aceptación al consumidor, ha recibido un sinnúmero de aplicaciones científicas alrededor del mundo sobre estudios taxonómicos y filogenéticos. Siendo Linnaeus quien dio inicio con este proceso investigativo en el año de 1735, para luego comenzar con nuevos trabajos de los cuales se señalan: Baillion (1894), Prodoehl (1922), Roschevicz (1931), Chevalier (1932), Ghose *et al.* (1956), Morishima & Oka (1960) Tateoka (1964), Sharma & Shastry (1972) Chang (1976), Morishima *et al.* (1984), Sharma (1986), Vaughan (1994), Wtanabe (1997), Lu *et al.* (1998), Oliveira (2004), The Office of the Gene Technology Regulator Australia, como última investigación de la taxonomía de la *Oryza* en el año 2005, todos citados por Acevedo *et al.* (2006).

En la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica, distribución geográfica y tipo de genoma de las especies de arroz que existen alrededor del mundo.

Tabla 1. Clasificación taxonómica, distribución geográfica y tipo de genoma de las especies de arroz del mundo.

Especie <i>Oryza</i>	Tipo de genoma	Continente			
		África	Centro o Sur América	Asia	Oceanía
<i>Complejo O. sativa</i>					
<i>O. sativa</i>	AA	X	X	X	X
<i>O. glaberrima</i>	AA	X			
<i>O. barthil</i>	AA	X			
<i>O. glum aepatula</i>	AA		X		
<i>O. longistainata</i>	AA	X			
<i>O. meridionalis</i>	AA				X
<i>O. nivara</i>	AA			X	
<i>O. rufipogon</i>	AA		X	X	X
<i>Complejo O. officinalis</i>					
<i>O. punctata</i>	BB,BBCC	X			
<i>O. malampuzhaensis</i>	BBCC			X	
<i>O. minuta</i>	BBCC			X	X
<i>O. eichingeri</i>	CC	X		X	X
<i>O. officinalis</i>	CC			X	X
<i>O. rhizomatis</i>	CC			X	
<i>O. alta</i>	CCDD		X		
<i>O. grandiglumis</i>	CCDD		X		
<i>O. latifolia</i>	CCDD		X		

<i>O. australientes</i>	EE		X
<i>O. brachyantha</i>	FF	X	
<i>Complejo O. granulata</i>			
<i>O. granulata</i>	GG		X
<i>O. meyeriana</i>	GG		X
<i>Complejo O. ridleyi</i>			
<i>O. longiglumis</i>	HHJJ		X
<i>O. ridleyi</i>	HHJJ	X	X

Fuente: La biología y ecología del arroz (*Oryza sativa* L.) (Regulator, 2005).

2.2. Producción

El arroz es una gramínea que concierne al segundo alimento básico de la canasta alimentaria y corresponde como el alimento del 50 % de la población mundial; sus cosechas se destinan para todos los continentes a excepción de la Antártida (Monasterio Piñero *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2012; Cristo Valdes *et al.*, 2016).

Para el año 2018 la producción mundial de arroz fue establecida en 774,3 millones de toneladas, correspondiendo a un alza de 1,6 % en comparación al 2017, gracias a las condiciones climáticas que se vieron presentes en el año 2018 (Figura 2) (Méndez del Villar, 2016).

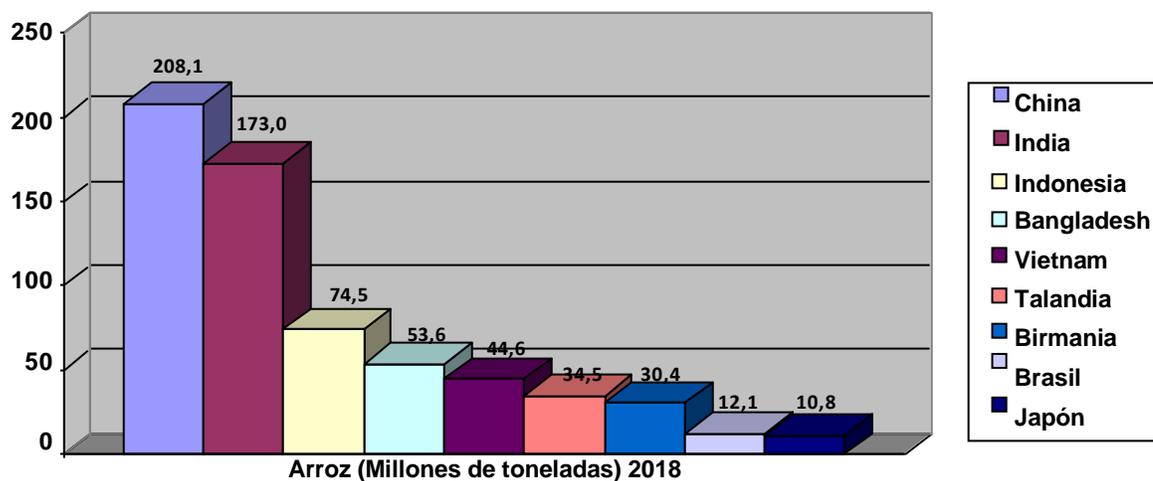


Figura 2. Producción mundial de arroz en cáscara, millones de toneladas en el año 2018.

2.3. Etapas de crecimiento y desarrollo

Los factores climáticos como la temperatura, sea máxima o mínima influyen directamente en las etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos de arroz, ocasionando variaciones en los rendimientos (Nishiyama 1976; Saumell 1980; Yoshida 1981; Streck *et al.* 2003; Velázquez *et al.* 2015).

Olmos (2006) alude que una variedad de arroz de 120 días debe pasar por un periodo de 50-60 días en la fase vegetativa, 30 días en la fase reproductiva y 30 días en la fase de maduración. Atribuyendo las siguientes características por cada fase:

- Fase vegetativa: se activa el macollamiento, un incremento gradual en el crecimiento de la planta, y la emergencia de las hojas a intervalos regulares, en esta fase los macollos que no llegan a ser germinados se los denomina macollos infértiles (Figura 3).
- Fase reproductiva: existe un declinamiento en el número de macollos, luego emerge la hoja bandera o última hoja de la planta, el tallo se engrosa debido al crecimiento interno de la panoja, luego entre 20 a 25 días después de la diferenciación del primordio floral emerge la panoja (un día después ocurre la antesis) y la floración ocurre. El periodo de maduración de la planta tiene una duración entre los 15 – 40 días, dependiendo de la temperatura (Figura 3).

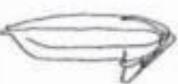
S0	S1	S2	S3	
Semilla seca	Emergencia del coleoptile	Emergencia de la radícula	Emergencia del perfilo desde el coleoptile	
				
V1	V2	V3	V4	V5
Formación del cuello en la primera hoja completa (Hoja 1) en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 2 en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 3 en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 4 en el tallo principal, inicia macolamiento	Formación del cuello en Hoja 5 en el tallo principal
				
V6	V7	V8	V9	V10
Formación del cuello en Hoja 6 en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 7 en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 8 en el tallo principal	Novena hoja desarrollada, inicia diferenciación de primordio	Formación del cuello en Hoja 10 en el tallo principal
				
	V11	V12	V13	
	Formación del cuello en Hoja 11 en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 12 en el tallo principal	Formación del cuello en Hoja 13 (Hoja bandera)	
				
R0	R1	R2	R3	R4
El desarrollo de la panoja se ha iniciado	Ramificaciones de la panoja se han formado	Formación del cuello en hoja bandera, inicio de embuchamiento	Emergencia de la panoja, ápice sobre el cuello de la hoja bandera, exorción de panícula	Una o más flores en la panoja del tallo principal han alcanzado la antesis
				
R5	R6	R7	R8	R9
Al menos un cariopse en la panoja del tallo principal se ha elongado hacia el ápice de la cáscara	Al menos un cariopse en la panoja del tallo principal se ha elongado hasta el ápice de la cáscara	Al menos un grano en la panoja del tallo principal tiene la cáscara amarilla	Al menos un grano en la panoja del tallo principal tiene la cáscara castaña	Todos los granos que alcanzaron R6 tienen cáscara castaña
				

Figura 3. Descripción de las etapas de crecimiento y desarrollo de la planta de arroz (Counce et al. 2000).

2.4. Mejoramiento genético

El aumento a la capacidad productiva es el carácter primordial en el cual los investigadores fitogenetistas se fijan actualmente (Franquet y Borrás, 2004). Los mejoradores han reconocido que existe una estrecha base genética del arroz debido a la reducción de su diversidad genética, producto del mejoramiento de los cultivos modernos, se estima que solo el 25 % de la variabilidad genética que existen están siendo utilizadas en programas de mejoramiento (Borrero *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008; Solís *et al.*, 2015).

Se requieren nuevos modelos de cooperación internacional, regional e interinstitucional y se hacen necesarias nuevas estrategias para el mejoramiento de las especies vegetales. Se deben desarrollar variedades altamente productivas, de excelente calidad, tolerantes a las principales fuentes de estrés bióticos y abióticos y eficientes en el aprovechamiento de los recursos (Martínez *et al.*, 1998).

Varios fines han tenido el trabajo de variaciones genéticas en los cultivos de arroz; varias han sido ejecutadas como ensayos para posteriores manipulaciones. Las características que fueron introducidas al arroz son la tolerancia a las condiciones ambientales de estrés, herbicidas, resistencia a plagas y enfermedades (Tablas 2 y 3), y entre los mayores logros de la biotecnología aplicada al arroz está la implementación del uso del sistema de *Agrobacterium* (Tabla 4), que hasta hace poco se encontraba limitado a dicotiledóneas (Diaz Granados D. y Chaparro-Giraldo 2012).

Tabla 2. Genes de origen vegetal que fueron empleados en la transformación del arroz resistente a insectos plaga.

<i>Gen</i>	<i>Origen</i>	<i>Producto</i>	<i>ssp de arroz</i>
Pin II	Papa	Inhibidor de proteasas	Japónica
CpTi	Caupí	Inhibidor de tripsina	Japónica
CC	Maíz	Cristatina	Japónica
Oc	Arroz	Cristatina	Japónica
GNA	Campanilla de febrero	Lectina	Japónica, índica
OC-IDD86		Inhibidor de proteasas	Índica
ASAL	Ajo	Lectina	Japónica

Sbti	Soya	Inhibidor de proteasas	Japónica
SKTI	Soya	Inhibidor de tripsina	Japónica
BTI-Cme	Cebada	Inhibidor de tripsina	Japónica

Fuente: Adaptado de Babu *et al.* (2003); Chen *et al.* (2009); Deka y Barthakur (2010).

Tabla 3. Genes de gran importancia que han sido empleados en la transformación del arroz en la resistencia a enfermedades.

<i>Gen</i>	<i>Origen</i>	<i>Producto</i>	<i>Resistencia</i>	<i>ssp de arroz</i>
Ceropina	Bombyx mori	Cecropin B	Tizón tardío	Japónica
CHt-2	Arroz	Quitanaasa	Añublo	Japónica
CHt3				
Pib	Arroz	NBS-LRR	Añublo	Japónica
Pi-ta	Arroz	NBS	Añublo	Japónica
Xa21	Oryza longistaminata	Receptor kinasa	Tizón bacteriano	Japónica
IrR72,IR5500	Arroz	D34 (tlp)	Añublo	Japónica
Defensina	Wasabi	Defensina	Tizón bacteriano	Japónica
<i>Continuación...</i>				
<i>Gen</i>	<i>Origen</i>	<i>Producto</i>	<i>Resistencia</i>	<i>ssp de arroz</i>
S5	RDV	Proteína S5	RDV	Japónica
NPR1	Arabidopsis	Resistencia sistémica	Tizón bacteriano	Japónica
AFP	Aspergillus giganteus	Antihongos	Añublo	Japónica
Ch42	Trichidermavirens	Endoquitinasa	Añublo	Indica

Fuente: Adaptado de Repellin *et al.* (2001); Bajaj y Mohanty (2005).

Tabla 4. Genes que han sido empleados en transformación de arroz con resistencia a herbicidas.

<i>Gen</i>	<i>Origen</i>	<i>Producto</i>	<i>Resistencia</i>	<i>ssp de arroz</i>
Bar	<i>S. higoscopocus</i>	Acetiltransferasa	Fosfinotripsina	Japónica
CS	Bacteriano	Citrato sintasa	Glifosato	Japónica
P450	Humano	Monooxigenasa	Herbicidas	Japónica
EPSPS	<i>Agrobacterium</i> CP4	Fosfato sintasa	Glifosato	Japónica
Protox	<i>B. subtilis</i>	Oxidasa	Oxyfluorfen	Japónica

Fuente: Adaptado de Repellin *et al.* (2001); Bajaj y Mohanty (2005) Ignacimuthu y Raveendar (2011).

2.5. Arroz Clearfield

En la actualidad existen tecnologías que son utilizadas en el campo de la biotecnología para inducir la resistencia a herbicidas en el arroz, tales como la resistencia al glifosato y la resistencia a herbicidas de la familia imidazolinonas, conocido comercialmente como Clearfield (campo limpio) comercializado por la empresa BASF (Gárgano 2018).

Clearfield es un sistema de producción agrícola que incluyen variedades seleccionadas, y la utilización de un conjunto de prácticas agrícolas que ayudan a expresar el potencial del sistema de producción de arroz (Paredes y Donoso, 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del lote experimental

El presente ensayo, se efectuó en los predios de la Granja Experimental “San Pablo”, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FACIAG) de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el km. 7,5 de la vía Babahoyo – Montalvo, con coordenadas geográficas 476003,18 de latitud sur y 8829743,10 UTM de longitud oeste. El terreno se encuentra a una altura de 8 msnm, clima tropical húmedo, temperatura promedio anual de 25,7 °C, precipitación media anual de 1845 mm y humedad relativa de 76 % ^{1/}. En la Figura 4, se observa la ubicación de la FACIAG-UTB.



Figura 4. Vista satelital de la ubicación del ensayo experimental (se indica con flecha roja).

1/Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). Estacio Agrometeorología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo.

3.2. Problema

Las malezas en el cultivo de arroz son un conjunto de plantas que pertenecen a diferentes especies y subespecies, siendo perjudiciales para la producción del arroz cultivado, encontrándose en muchas áreas de siembra en el mundo. Las variedades de arroz resistentes al grupo químico de las imidazolinonas, han sido empleadas como método de control, ya que permiten la aplicación de herbicidas que no son tóxicos para el cultivo, pero sí para las plantas arvenses.

3.3. Campo de acción

Mejoramiento genético de arroz.

3.4. Métodos

En el presente trabajo experimental, se emplearon los métodos siguientes:

- Deductivo – inductivo
- Inductivo – deductivo
- Experimental

3.5. Factores estudiados

Variación hereditaria de 11 poblaciones segregantes F2 de arroz resultantes de cruzamientos de un progenitor femenino, que contiene genética CLEARFIELD comparados con 12 progenitores masculinos convencionales.

3.6. Material genético

En este ensayo se utilizaron 11 poblaciones segregantes F2 de arroz tipo índica, derivadas del progenitor Br-101-UTB, utilizado como parental femenino, en combinación con 12 parentales masculinos. El material genético fue provisto por el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica de Babahoyo.

3.7. Tratamientos

Se consideraron 24 tratamientos compuestos de: 11 progenies F2 + 12 parentales + 1 especie silvestre (*O. rufipogon* o también llamado Puyón o arroz rojo). Esta última se consideró en el ensayo, para observar su comportamiento frente al herbicida imazetapir. En la Tabla 5, se observan los códigos de los tratamientos.

Tabla 5. Códigos de las progenies y parentales de arroz.

Tratamiento	Material vegetal	Origen
1	BR-101-UTB/ FI-104-UTB	Progenie
2	BR-101-UTB/ BA-100-UTB	Progenie
3	BR-101-UTB/ G-113-UTB	Progenie
4	BR-101-UTB/ FI-106-UTB	Progenie
5	BR-101-UTB/ SH-108-UTB	Progenie
6	BR-101-UTB/ CA-102-UTB	Progenie
7	BR-101-UTB/ FL-109-UTB	Progenie
8	BR-101-UTB/ G-111-UTB	Progenie
9	BR-101-UTB/ FI-105-UTB	Progenie
10	BR-101-UTB/ G-112-UTB	Progenie
11	BR-101-UTB/ FE-103-UTB	Progenie
12	FI-104-UTB	Parental
13	BA-100-UTB	Parental
14	G-113-UTB	Parental
15	FI-106-UTB	Parental
16	SH-108-UTB	Parental
17	CA-102-UTB	Parental
18	FL-109-UTB	Parental

19	G-111-UTB	Parental
20	FI-105-UTB	Parental
21	G-112-UTB	Parental
22	FE-103-UTB	Parental
23	BR-101-UTB	Parental
24	PUYON-UTB	Control

3.8. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar, con 24 tratamientos y 3 repeticiones.

3.9. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza, se utilizaron gráficos de puntos para identificar los individuos de interés y la prueba de Tukey 0,05 % para comparar los resultados.

3.10. Equipos, pesticidas y materiales

Los equipos utilizados fueron, un Determinador de clorofila marca At Leaf, modelo CHL PLUS y una bomba de aspersion manual. Se utilizó el herbicida imazetapir en dosis de tres L/ha. Así como vitavax 0.5 g/L para el tratamiento de la semilla. Entre los materiales se utilizaron fundas, estaquillas, etiquetas, piolas, marcadores y ceniza.

3.11. Manejo del ensayo

3.11.1. Selección y preparación de poblaciones F2 de arroz

Para el presente trabajo experimental, se llevó a cabo la selección de la semilla del material genético F2 de arroz, seleccionando aquellas que no presentaron ningún tipo de daño producido por insectos o agentes patógenos (Figura 5).

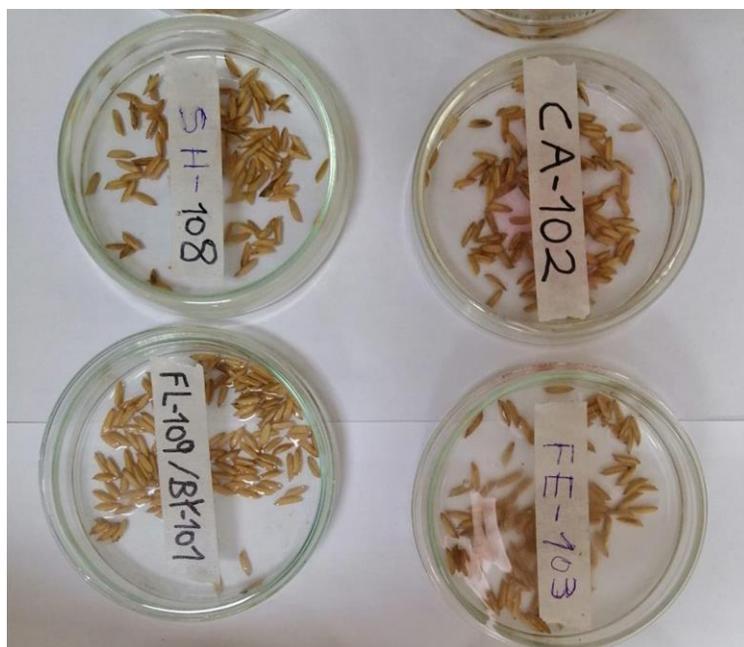


Figura 5. Selección de semillas F2 de arroz.

3.11.2. Prueba de germinación del material de siembra

Se procedió a efectuar la respectiva prueba de germinación de las líneas consideradas en la Tabla 6. Se colocaron un promedio de 100 semillas por caja Petri /línea, con el objetivo de obtener el porcentaje de germinación, las cuales estuvieron en un rango de 50 a 94%.

Tabla 6. Prueba de germinación y peso de semillas de parentales y progenies utilizadas en el experimento.

Material vegetal	# Semillas Germinadas	# Semillas No Germinadas	Total de semillas	% Semillas Germinadas	% Semillas No Germinadas
Br-101/ F1-104	108	27	135	80	20
F1-104	80	41	121	66	34
BA-100	95	25	120	79	21
G-113	56	51	107	52	48
F1-106	109	18	127	86	14
SH-108	70	30	100	70	30
SA-102	85	25	110	77	23
FL-109	59	33	92	64	36
G-111	111	37	148	75	25
F1-105	101	7	108	94	6
G-112	75	36	111	68	32
FE-103	38	38	76	50	50
FL-109/Br-101	113	32	145	78	22
Br-101	51	38	89	57	43

3.11.3. Pre-germinación de semillas F2 de arroz

Después de confirmar la viabilidad de las semillas F2, se procedió a realizar la pre-germinación, colocando 30 gramos de semilla en fundas plásticas con agua, permaneciendo a una temperatura ambiente, durante tres días, siendo dos días en remojo y un día para escurrir (Figura 6).



Figura 6. Selección de las semillas F2 de arroz (A); pre-germinación y codificación de las semillas colocadas en fundas plásticas (B).

3.11.4. Preparación del terreno

Para la preparación del terreno, se realizó el primer pase de fangueado con la ayuda de maquinaria agrícola, posteriormente se realizó el segundo pase para nivelar el terreno con un tablón. Luego se realizó el estaquillado para el semillero, donde fueron sembradas y codificadas las semillas F2, permaneciendo por aproximadamente 29 días (Figura 7).



Figura 7. Preparación del terreno; pase de tablón para nivelar el terreno (A); proceso de estaquillado, siembra y codificación (B).

3.11.5. Distribución de las parcelas en campo (croquis)

Las parcelas/semilleros fueron sembradas colocando 10 g de semilla remojada con dos días de anticipación. El área de cada semillero fue de 50 x 25 cm², realizándose tres repeticiones, en la cual cada una contó con 24 tratamientos, como se observa el siguiente croquis.

R1		R2		R3
T18		T10		T17
FL-109-UTB		Br-101-UTB/ G-112-UTB		CA-102-UTB
T12		T13		T23
F1-104-UTB		BA-100-UTB		Br-101-UTB
T20		T2		T6
F1-105-UTB		Br-101-UTB/ BA-100-UTB		Br-101-UTB/ CA-102-UTB
T23		T19		T11
Br-101-UTB		G-111-UTB		Br-101-UTB/ FE-103-UTB
T3		T4		T16
Br-101-UTB/ G-113-UTB		Br-101-UTB/ F1-106-UTB		SH-108-UTB
T22		T15		T5
FE-103-UTB		F1-106-UTB		Br-101-UTB/ SH-108-UTB
T13		T1		T12
BA-100-UTB		Br-101-UTB/ F1-104-UTB		F1-104-UTB
T10		T8		T19
Br-101-UTB/ G-112-UTB		Br-101-UTB/ G-111-UTB		G-111-UTB
T19		T11		T14
G-111-UTB		Br-101-UTB/ FE-103-UTB		FE-103-UTB
T6		T5		T3
Br-101-UTB/ CA-102-UTB		Br-101-UTB/ SH-108-UTB		Br-101-UTB/ G-113-UTB
T11		T19		T20
Br-101-UTB/ FE-103-UTB		G-111-UTB		F1-105-UTB
T7		T23		T18
Br-101-UTB/ FL-109-UTB		Br-101-UTB		FL-109-UTB
T15		T16		T7
F1-106-UTB		SH-108-UTB		Br-101-UTB/ FL-109-UTB
T1		T21		T13
Br-101-UTB/ F1-104-UTB		G-112-UTB		BA-100-UTB
T21		T17		T15
G-112-UTB		CA-102-UTB		F1-106-UTB
T8		T6		T22
Br-101-UTB/ G-111-UTB		Br-101-UTB/ CA-102-UTB		FE-103-UTB
T9		T20		T1
Br-101-UTB/ F1-105-UTB		F1-105-UTB		Br-101-UTB/ F1-104-UTB
T5		T3		T10
Br-101-UTB/ SH-108-UTB		Br-101-UTB/ G-113-UTB		Br-101-UTB/ G-112-UTB
T14		T7		T2
FE-103-UTB		Br-101-UTB/ FL-109-UTB		Br-101-UTB/ BA-100-UTB
T16		T22		T19
SH-108-UTB		FE-103-UTB		G-111-UTB
T17		T18		T4
CA-102-UTB		FL-109-UTB		Br-101-UTB/ F1-106-UTB
T2		T12		T8
Br-101-UTB/ BA-100-UTB		F1-104-UTB		Br-101-UTB/ G-111-UTB
T4		T14		T21
Br-101-UTB/ F1-106-UTB		FE-103-UTB		G-112-UTB
T24		T24		T24
PUYON-UTB		PUYON-UTB		PUYON-UTB

3.11.6. Siembra

Después de haber preparado el terreno, se procedió con la siembra. Se realizaron las camas para las tres repeticiones, cada repetición contaba con 24 tratamientos. Para realizar la siembra de las parcelas, se tomaron las semillas en la mano y se dispersaron en el área de la parcela/semillero, una vez sembrado se cubrieron las semillas con una capa de 1 cm de ceniza (Figura 8).



Figura 8. Elaboración de cama de siembra (A), Siembra de los tratamientos con ayuda de la cuadrícula (B) y aplicación de capas de ceniza(C).

3.11.7. Supervisión y riego del ensayo

Se realizó constantemente la supervisión del semillero, luego se procedió a emplear el riego por inundación, que consistió en dejar saturado el suelo con una lámina de agua de 4 cm aproximadamente de manera periódica, cada vez que el semillero lo ameritaba (Figura 9).



Figura 9. Supervisión y riego (A); proceso de supervisión (B); riego del semillero.

3.11.8. Aplicación del herbicida

Después de la siembra en el sitio definitivo del cultivo, a los 15 días de edad del semillero, se procedió a la aplicación del herbicida Imazetapir al ensayo, se aplicó 150 cc de producto Imazetapir en 10 litros de agua equivalente a 3 L/ha, colocados en una bomba de aspersión manual (Figura 10).



Figura 10. Preparación de la bomba de aspersión con el producto (A) y (B); aplicación del herbicida a la parcela (C).

3.12. Variables evaluadas

3.12.1. Contenido de clorofila

Como se muestra en la Figura 11, para medir el contenido de clorofila se colocó la hoja de la plántula en el centro del equipo donde se ubica el sensor. Se realizaron dos evaluaciones, para las cuales se seleccionaban 20 plantas al azar dentro de cada parcela. La

primera evaluación se realizó a los 14 días después de la siembra, antes de la aplicación del herbicida Imazetapir. La segunda evaluación se realizó a los 15 días después de la aplicación del herbicida Imazetapir.

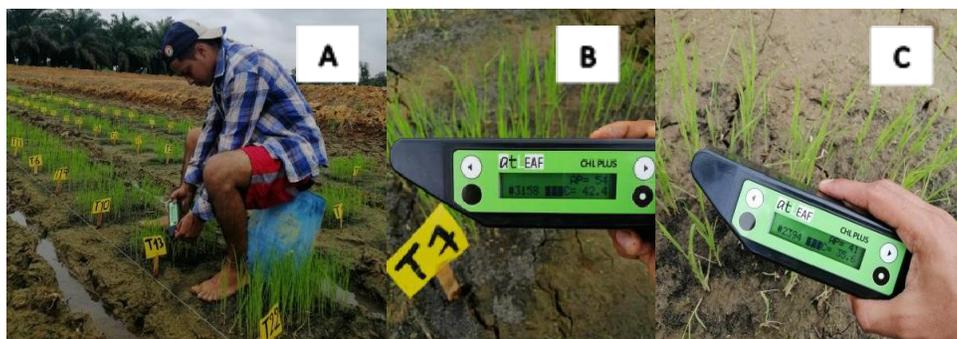


Figura 11. Evaluación de la variable contenido de clorofila (A y B); determinador de clorofila (C).

3.12.2. Número de plantas totales

Se contabilizó el número total de plantas que se tenía en la parcela/semillero, antes de la aplicación del herbicida en las parcelas de todo el experimento.

3.12.3. Número de plantas vivas

Se estableció el número de las plantas vivas en cada parcela del experimento a los 25 días después de la aplicación del herbicida imazetapir.

3.12.4. Número de plantas muertas

Igualmente, se estableció el número de las plantas muertas en cada parcela del experimento a los 25 días después de la aplicación del herbicida imazetapir.

3.12.5. Grado de toxicidad del herbicida Imazetapir (Escala de ALAM)

El porcentaje de toxicidad del herbicida Imazetapir, se obtuvo observando el efecto del herbicida en cada parcela del experimento, aplicando la escala de ALAM (Asociación Latinoamericana de Malezas), como se aprecia a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Escala de ALAM donde se detalla el grado de toxicidad de los herbicidas.

<i>Control</i>	<i>Porcentaje de control</i>
0 – 10%	Todas las plantas vivas, sin ningún daño
10 – 20 %	Todas las plantas vivas, algunas con daño muy leve
20 – 30 %	Todas las plantas vivas, algunas con daño leve
30 – 40 %	Todas las plantas vivas, con daño leve
40 – 50 %	Todas las plantas vivas, con daño muy severo
50 – 60 %	Pocas plantas muertas, las plantas vivas con daño muy severo
60 – 70 %	Algunas plantas muertas, las plantas vivas con daño severo
70 – 80 %	Varias plantas muertas, las plantas vivas con daño muy severo
80 – 90 %	La mayoría de las plantas muertas, las plantas vivas con daño severo
90 – 100 %	Todas las plantas muertas

Fuente: Tomado de ALAM (1974), citado por (Morcote, 2013).

IV. RESULTADOS

4.1. Contenido de clorofila

Según la Figura 12, se observa la diferencia del contenido de clorofila que se obtuvo entre las progenies y parentales evaluados, antes y después del tratamiento aplicado con el herbicida Imazetapir. En lo que respecta a los datos obtenidos antes de la aplicación del herbicida imazetapir, estos datos estuvieron entre 33 a 36%, reportando el menor grado de clorofila en el cultivar Puyón. En cuanto a lo que refiere al comportamiento de los genotipos después que se aplicó el herbicida Imazetapir, se deduce que las 11 progenies donde el parental Br-101-UTB actuó como madre, fueron mínimamente afectadas con el contenido de la clorofila, incluyendo el parental resistente Br-101-UTB, variando sus contenidos desde 31 a 33%. Para el caso del Puyón, se observa en el Figura mencionada que fue altamente afectado, obteniendo un menor valor con 23%.

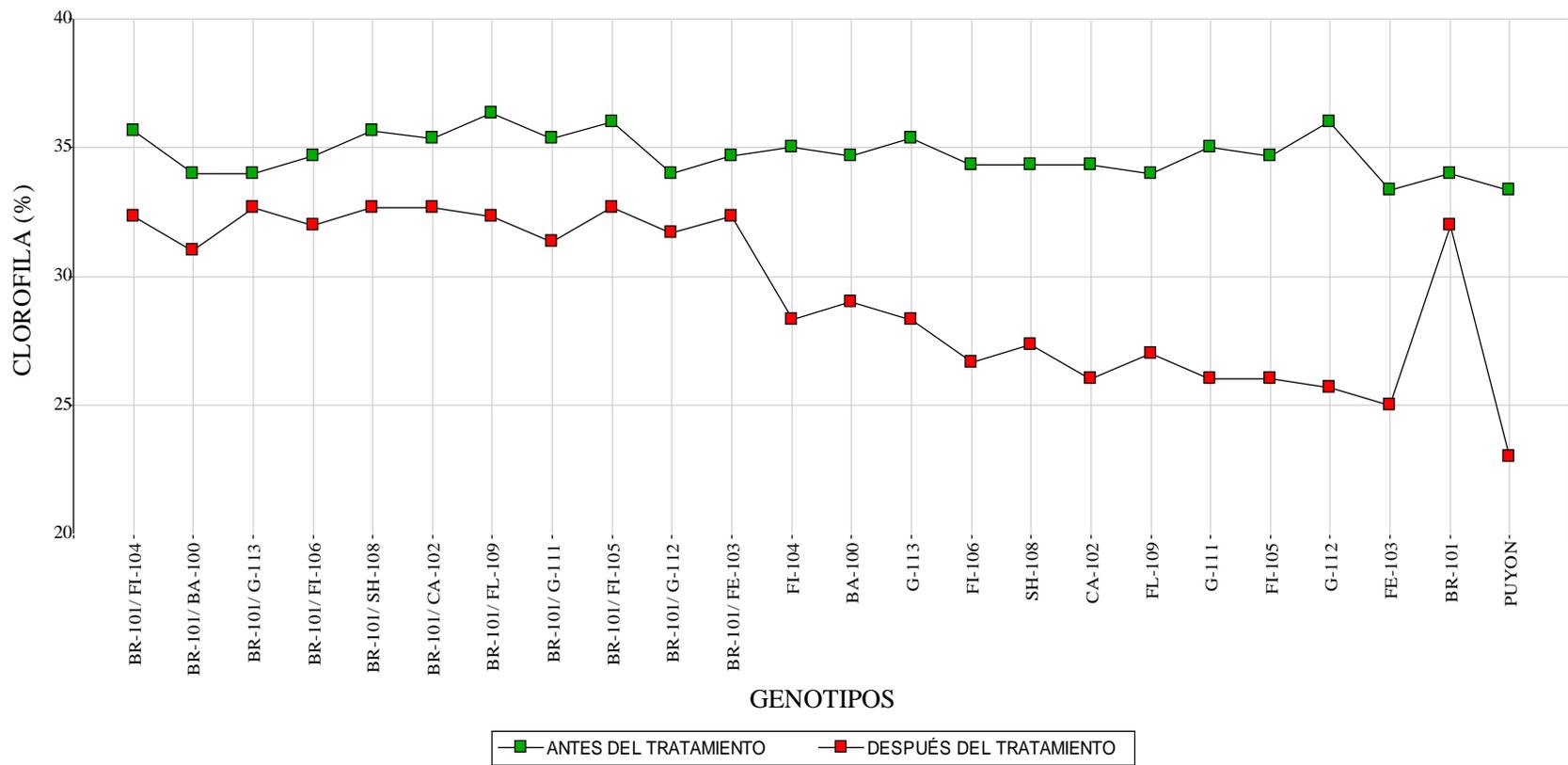


Figura 12. Contenido de clorofila evaluado antes (14 días de edad del semillero) y después de la aplicación del herbicida imazetapir (15 días después de la aplicación del herbicida).

4.2. Número de plantas vivas/muertas

En la Figura 13, se muestra el número de plantas vivas y número plantas muertas. En esta Figura, se observa una diferencia entre las progenies y parentales donde todas las progenies, incluyendo el parental resistente Br-101-UTB, obtuvieron un rango altos de entre 90 a 124 plantas vivas, a diferencia de los parentales, donde se observó un rango menor de 3 a 34 plantas. Para el caso del Puyón fue de 12 plantas vivas. En el caso del número de plantas muertas, las líneas que mostraron un mayor número fueron los parentales, con un rango de 67 a 105 plantas, para el caso del Puyón se obtuvo un de numero 39 plantas.

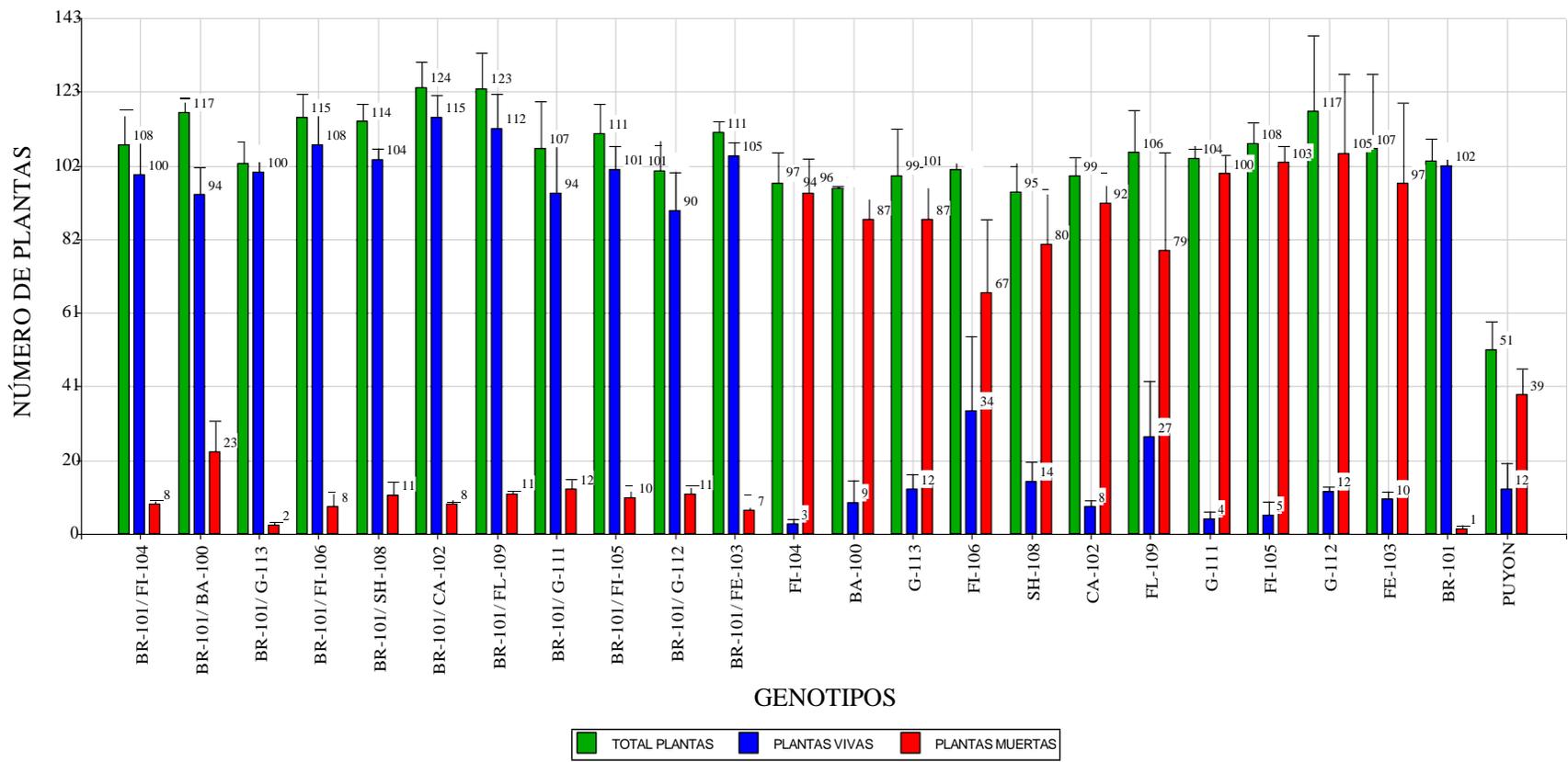


Figura 13. Muestra el total de plantas, plantas vivas y plantas muertas.

4.3. Grado de toxicidad del herbicida Imazetapir (Escala de ALAM)

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza (Tabla 8), en la variable grado de toxicidad (grado en porcentaje), se observó que el análisis fue altamente significativo ($<0,0001$) entre los genotipos estudiados, con un CV de 26,45%.

Tabla 8. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la variable grado de toxicidad.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	113279,60	23	4925,20	31,40	$<0,0001$
GENOTIPOS	113279,60	23	4925,20	31,40	$<0,0001$
Error	7529,47	48	156,86		
<u>Total</u>	<u>120809,07</u>	<u>71</u>			

CV= 26,45

Con respecto al Test de Tukey (Tabla 9), resultó que el genotipo Br-101-UTB, que es el parental con la resistencia al Imazetapir, fue afectado en el menor grado, obteniéndose un valor de 1,15%. Obsérvese también que las 11 progenies donde el parental Br-101-UTB actuó como madre, obtuvieron bajos grados de toxicidad que variaron entre 2,34 a 19,25%, a diferencia del resto de parentales que fueron afectados en altos grados, variando desde 66,67% hasta 97%.

Tabla 9. Resultados del Test de Tukey de la variable grado de toxicidad.

<u>GENOTIPOS</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Comparación</u>
BR-101-UTB	1, 15	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ G-113-UTB	2, 34	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ FE-103-UTB	6, 04	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ CA-102-UTB	6, 67	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ FI-106-UTB	6, 87	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ FI-104-UTB	7, 91	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ FI-105-UTB	8, 90	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ FL-109-UTB	8, 95	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ SH-108-UTB	9, 14	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ G-112-UTB	11, 40	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ G-111-UTB	12, 22	3	7, 23	A
BR-101-UTB/ BA-100-UTB	19, 25	3	7, 23	A
FI-106-UTB	66, 67	3	7, 23	B
FL-109-UTB	70, 12	3	7, 23	B
PUYON-UTB	77, 72	3	7, 23	B
SH-108-UTB	83, 47	3	7, 23	B
G-113-UTB	88, 13	3	7, 23	B
G-112-UTB	88, 91	3	7, 23	B
FE-103-UTB	89, 14	3	7, 23	B
BA-100-UTB	90, 96	3	7, 23	B
CA-102-UTB	92, 28	3	7, 23	B
FI-105-UTB	95, 28	3	7, 23	B
G-111-UTB	96, 10	3	7, 23	B
FI-104-UTB	97, 00	3	7, 23	B

Medias con una letra común no son significativamente

diferentes ($p > 0,05$). Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=39,41645,

Error: 156,8639 gl: 48

Obsérvese también la Figura 14, donde se muestra el comportamiento del grado de toxicidad de las progenies y parentales evaluados.

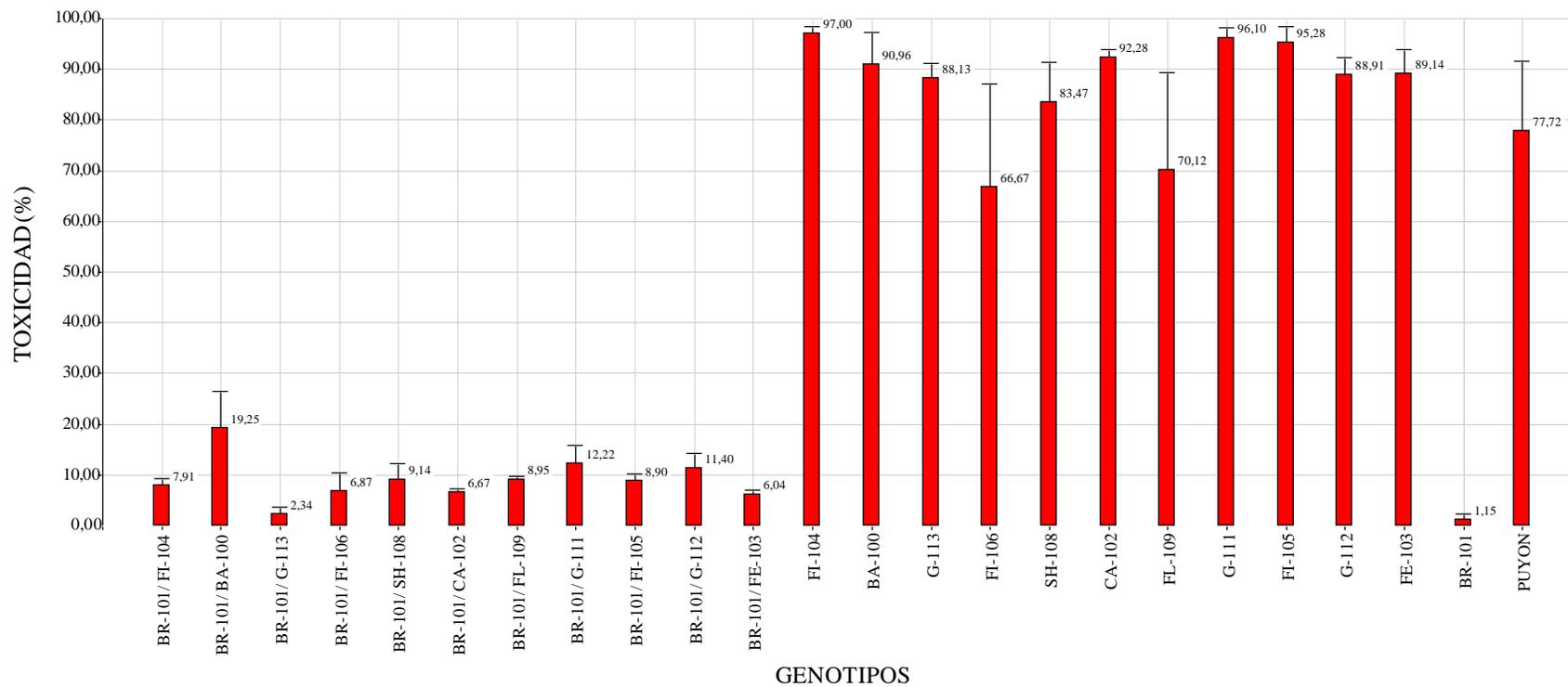
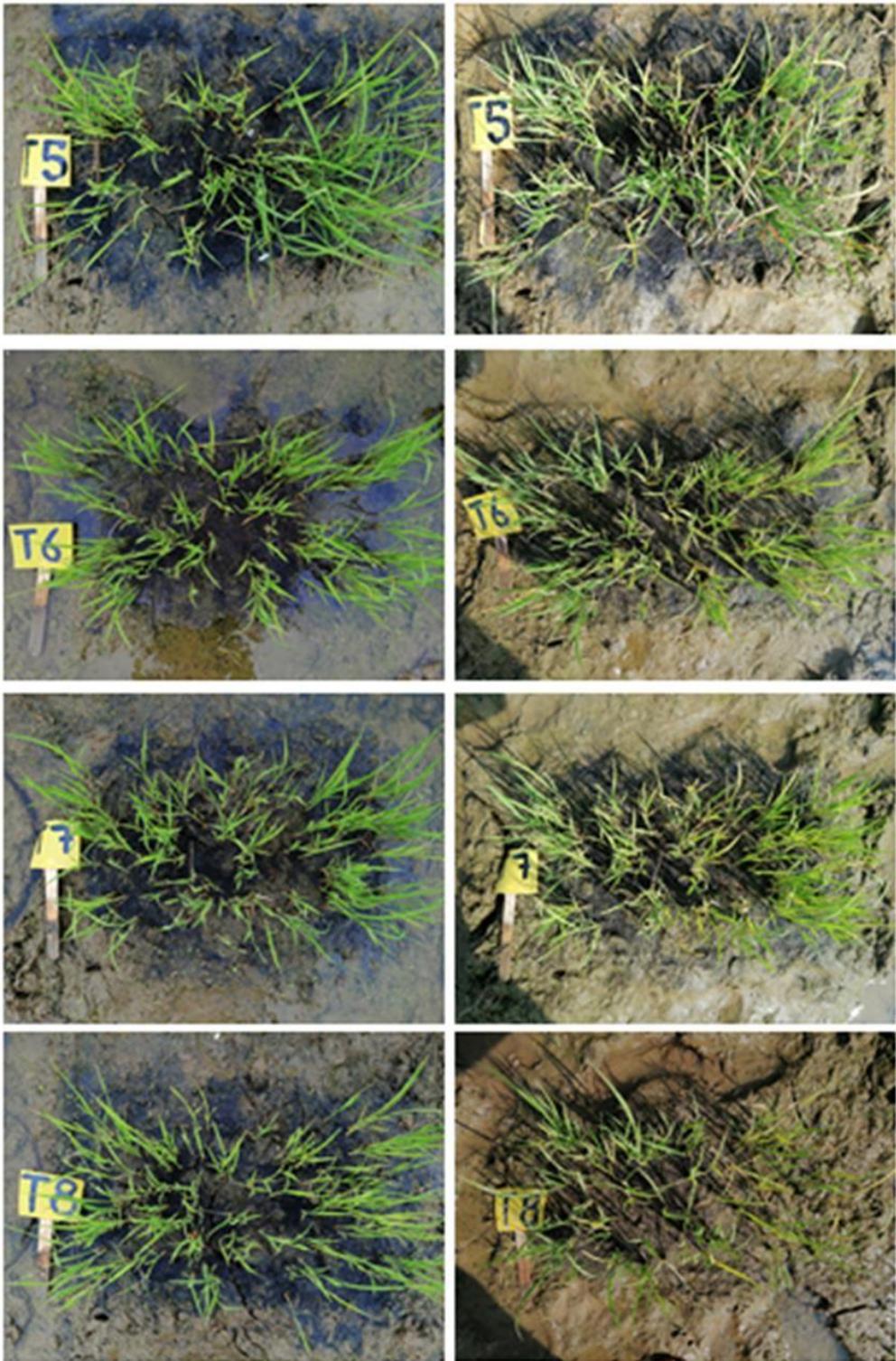


Figura 14. Muestra el comportamiento del grado de toxicidad que presentan los genotipos evaluados.

En las Figuras 15 y 16, se observa el efecto del herbicida Imazetapir en progenies y parentales evaluados, antes y después de la aplicación.





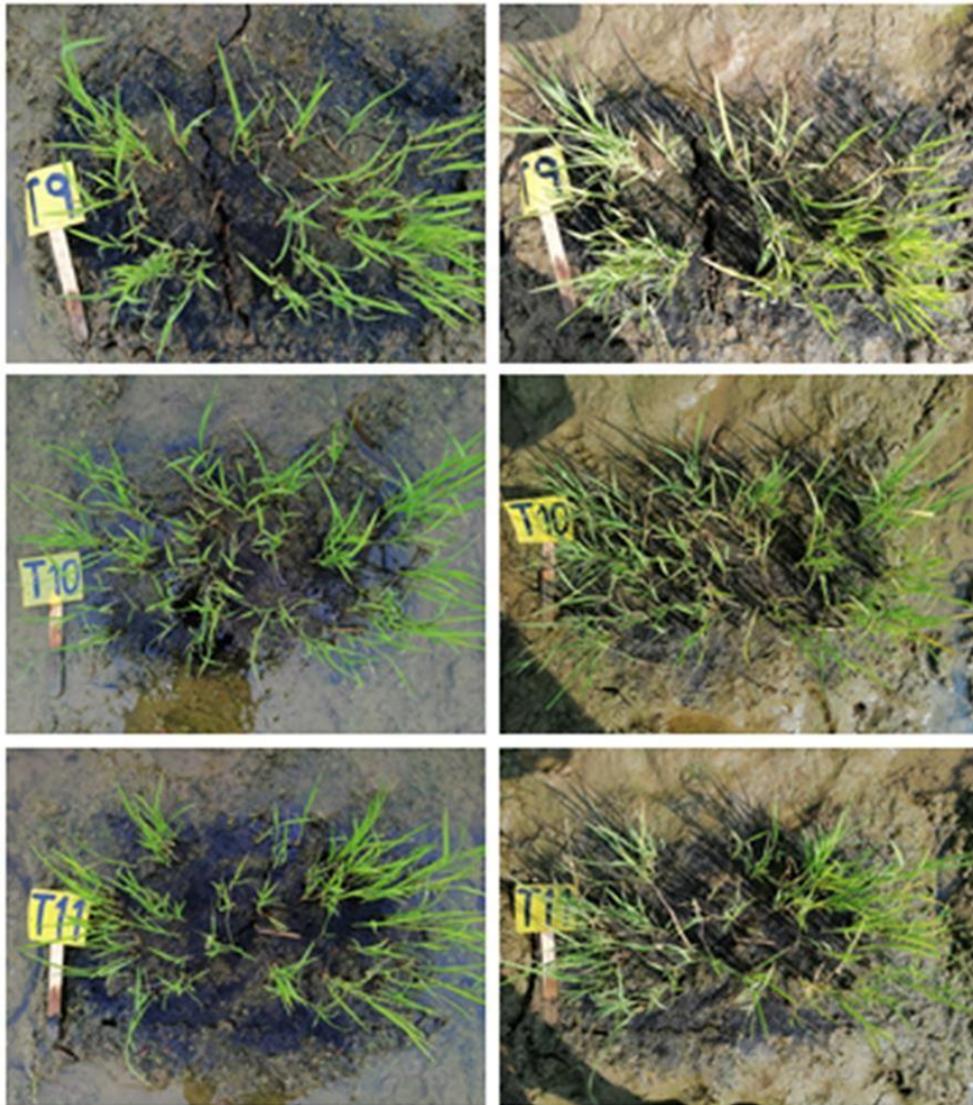


Figura15. Efecto del herbicida Imazetapir en Progenies evaluadas antes (Fotos del lado izquierdo) a los 14 días de edad del semillero y después de la aplicación (Fotos del lado derecho) 29 días de edad del semillero.





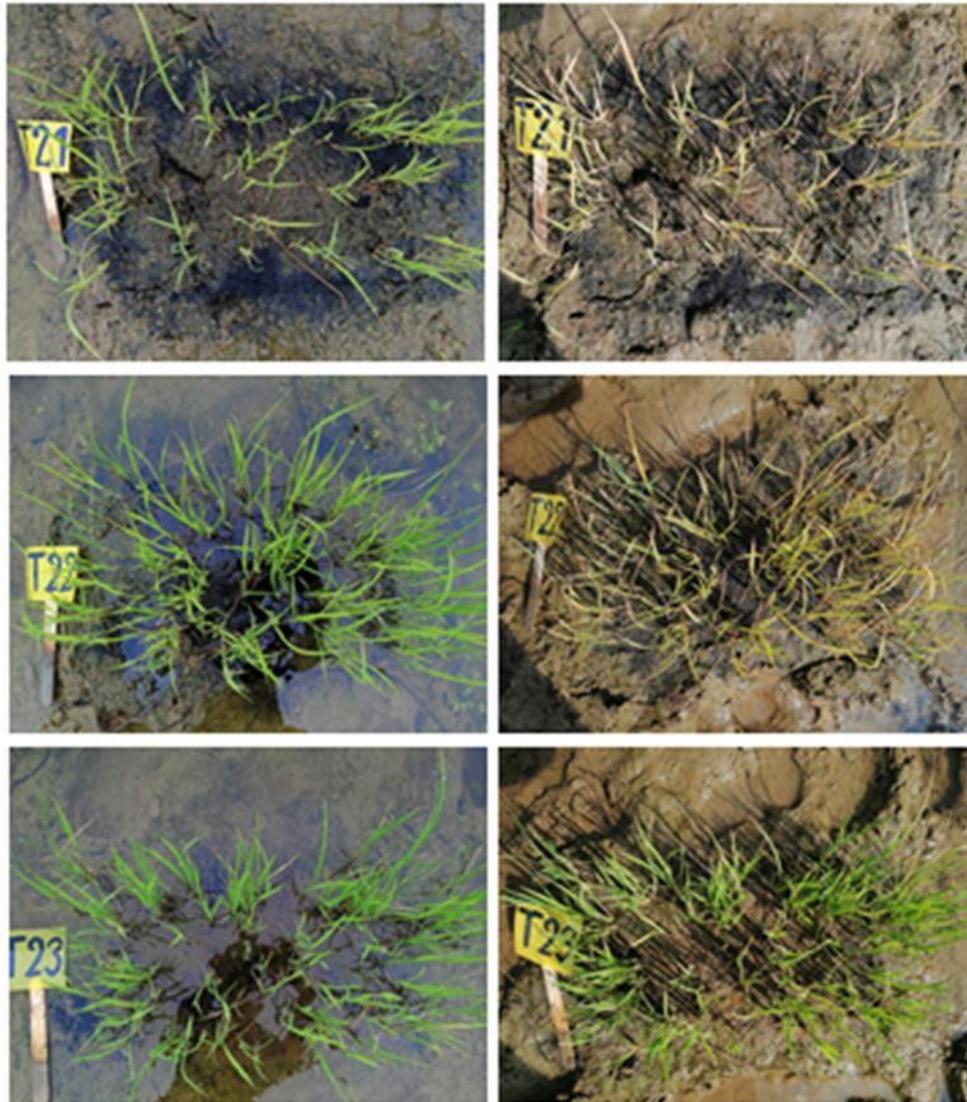


Figura 16. Efecto del herbicida Imazetapir en 12 parentales antes (Fotos del lado izquierdo) a los 14 días de edad del semillero y después de la aplicación (Fotos del lado derecho) 29 días de edad del semillero.

V. DISCUSIÓN

En este estudio fue muy útil aplicar una de las metodologías basadas en la observación. De acuerdo con Tasistro (2000), estos métodos también llamados de “evaluación visual”, se han empleado ampliamente para evaluar el desempeño de herbicidas en campo, debido a su practicidad; no obstante, pueden presentar algunas limitaciones. Sin embargo; en esta investigación, al estudiarse el grado de toxicidad que presentaron las progenies F2 y los parentales de arroz, frente al herbicida Imazetapir, de acuerdo con la Escala de ALAM, fue evidente el comportamiento del parental Br-101-UTB, que es el parental con la resistencia al Imazetapir, fue afectado en menor grado, con un valor de 1,15%. Este porcentaje, de acuerdo con la escala de ALAM, estuvo en el rango de “Todas las plantas vivas, sin ningún daño”. Obsérvese también que, las 11 progenies donde el parental Br-101-UTB actuó como madre, obtuvieron bajos grados de toxicidad, variando entre 2,34 a 19,25%, cayendo en la escala de “Todas las plantas vivas, algunas con daño muy leve”. Estos resultados expresan que el gen de resistencia al imazetapir, es un gen de fácil introgresión, observada en su progenie que adquirió alta resistencia al herbicida; en contraste a los resultados obtenidos en los parentales, que fueron tratados con la misma dosis, en donde todos ellos fueron altamente afectados por el herbicida.

Por otro lado, Hernández & Cousin (2016), en su estudio sobre la evaluación y selección en condiciones de campo de líneas clearfield, para verificar la resistencia al herbicida a nivel de campo, en las líneas experimentales RC3 y RC4, donde aplicaron el herbicida Eurolightning en dosis de 3,0 L ha⁻¹, al estado de 2 a 4 hojas y realizaron la evaluación de la resistencia a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación del herbicida. Los resultados indicaron que todas las líneas evaluadas no presentaron ningún síntoma de fitotoxicidad. Sin embargo, las plantas de Zafiro-INIA presentaron los primeros síntomas de clorosis y necrosis a los 7 días, lo que continuó con la necrosis y muerte total de las plantas entre los 14 y 21 días. Estos resultados indicaron claramente que las líneas experimentales RC3 y RC4, poseían el gen de resistencia.

VI. CONCLUSIONES

- En la determinación del contenido de clorofila, se aprecia la diferencia que se obtuvieron entre las progenies y parentales evaluados antes y después de la aplicación.
- Con respecto a la variable plantas vivas, todas las progenies incluyendo al parental resistente Br-101-UTB, obtuvieron un rango de 90 a 124 plantas, a diferencia de los parentales, que se observaron en un rango menor de 3 a 34 plantas vivas.
- En la variable plantas muertas, los parentales resultaron con el mayor rango afectación.
- Los promedios de la variable grado de toxicidad, según el análisis de varianza, fue altamente significativo entre los genotipos estudiados, con un CV. de 26,45%.
- De acuerdo a la prueba de Test de Tukey, resultó que el genotipo Br-101-UTB, que es el parental con la resistencia al Imazetapir, fue afectado en menor grado, obteniéndose un valor de 1,15%, para el caso de las progenies donde el parental Br-101-UTB actuó con madre, obtuvieron bajos grados de afectación que variaron entre 2,43 a 19,25%, a diferencia del resto de parentales que fueron afectados en altos grados, variando desde 66,67% hasta 97%.
- Los resultados expresan que el gen de resistencia al imazetapir, es un gen de fácil introgresión, respuesta que fue observada en la progenie F2 con alta resistencia al herbicida; a diferencia de los parentales, tratados con la misma dosis, en donde todos ellos fueron altamente afectados por el herbicida.

VII. RECOMENDACIONES

- Prolongar las investigaciones con las líneas que han presentado resistencia al herbicida Imazetapir.
- Continuar con la experimentación en el cultivo de arroz, en diferentes lugares óptimos para su desarrollo.
- Evaluar el comportamiento agronómico de las progenies que han presentado tolerancia al herbicida Imazetapir.

VIII. RESUMEN

Este experimento se realizó a partir de la siembra de líneas F2 de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) resultantes de cruzamientos con un progenitor femenino portador del gen CREALFIELD, que confiere la resistencia al herbicida imazetapir. Este estudio se realizó en los predios de la Granja Experimental “San Pablo”, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo-Ecuador. Los objetivos fueron los siguientes: a) Determinar el efecto del herbicida imazetapir en plantas F2 de arroz, segregantes de un parental femenino portador del gen CLEARFIELD; b) Determinar la variabilidad hereditaria de las poblaciones segregantes en estudio y; c) Seleccionar los segregantes F2 de arroz tolerantes y/o resistencia al herbicida imazetapir. Se utilizó el Diseño Completos al Azar con 24 tratamientos, 11 progenies y 12 parentales. Se realizó un análisis de varianza, se utilizaron gráficos de puntos para identificar los individuos de interés, y sus promedios fueron analizados mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. Este estudio concluye que, con respecto al contenido de clorofila, existe diferencia entre las progenies y los parentales evaluados antes y después de la aplicación del herbicida. En lo que se refiere al grado de toxicidad producido por el herbicida imazetapir, resultó que el genotipo Br-101-UTB, que es el parental con la resistencia al Imazetapir, fue afectado en menor grado, obteniéndose un valor de 1,15%, para el caso de las progenies donde el parental Br-101-UTB actuó con madre, se obtuvieron también bajos grados que fueron desde 2,34 hasta 19,25% (Escala de ALAM), en las progenies y de 66,67 hasta 97% en los parentales, resultando éstos últimos con el mayor rango de afectación por el herbicida. Los promedios de la variable grado de toxicidad, según el análisis de varianza, fueron altamente significativo entre los genotipos estudiados, con un CV. De 26,45%. Los resultados expresan que el gen de resistencia al imazetapir, es un gen de fácil introgresión en las progenies, cuando un progenitor con resistencia al imazetapir, actúa como progenitor femenino, respuesta que fue observada en la progenie F2 con alta resistencia al herbicida, a diferencia de los parentales tratados con la misma dosis, en donde todos ellos fueron altamente afectados por el herbicida, excepto el parental femenino Br-101-UTB.

Palabras claves: Resistencia al herbicida Imazetapir, progenies, progenitores, progenitor femenino, Clearfield.

IX. SUMMARY

This experiment was carried out from the planting of rice F2 lines (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) resulting from crossings with a female parent carrying the CREALFIELD gene, which confers resistance to the herbicide imazetapir. This study was carried out at the Experimental Farm "San Pablo", of the Faculty of Agricultural Sciences of the Technical University of Babahoyo-Ecuador. The objectives were the following: a) To evaluate the effect of the herbicide imazetapir on F2 rice plantlets, segregating from a female parental line carrying the CLEARFIELD gene; b) To determine the hereditary variability of the segregating populations under study and; c) To select F2 segregating rice tolerant and / or resistance to the imazetapir herbicide. Randomized Complete Design with 24 treatments, 11 progenies and 12 parental lines were used. An analysis of variance, graphics were used to identify the individuals of interest, and their averages were analyzed using the Tukey test at 5% probability. This study concludes that, with respect to the chlorophyll content, there is a difference between the progenies and parental lines evaluated before and after the herbicide application. Regarding the degree of toxicity produced by the herbicide imazetapir, it turned out that the Br-101-UTB genotype, which is the parental with Imazetapir resistance, was minimum affected, obtaining a value of 1.15%. In the case of progenies where the parental line was Br-101-UTB acted as feminine parental line, low grades were also obtained that were from 2.34 to 19.25% (ALAM scale), and from 66.67 to 97 % in the parental lines, resulting with the highest range of damage by the herbicide. The averages of the variable degree of toxicity, according to the analysis of variance, were highly significant among the genotypes studied, with a CV. of 26.45%. The results express that the gene of resistance to imazetapir, is a gene of easy introgression in the progeny, when a parent with resistance to imazetapir, acts as a female parent, response that was observed in the progenies F2 with high resistance to imazetapir herbicide, unlike of the parents treated with the same dose, where all of them were highly affected by the herbicide, except the female parent Br-101-UTB.

Keywords: Imazetapir herbicide resistance, progenies, female parent, Clearfield.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Babu, R; Sajeena, A; Seetharaman, K; Reddy, M. 2003. Advances in genetically engineered (transgenic) plants in pest management an overview. *Crop Protection* 22:1071-1086.
- Bajaj, S; Mohanty, A. 2005. Recent advances in rice biotechnology - Towards genetically superior transgenic rice. *Plant Biotechnology Journal* 3(3):275-307. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2005.00130.x>.
- Bernis, B. P. (2004). *Variedades y Mejora del Arroz*. Universidad Internacional de Catalunya: UNED Centro Asociado Tortosa
- Blanco, P.; Molina, F.; Lavecchia, A.; Marchesi, C.; Martínez, S.; Silvera, W.; Casales, L. 2011. Evaluación avanzada de cultivares Clearfield. In: *Arroz; resultados experimentales 2010 – 2011*. Montevideo, INIA. cap. 6, pp. 25-32 (Actividades de Difusión No. 651).
- Borrero, J; Martínez, CP; Carabalí, J; Lorieux, M; Correa, F; Sanabria, Y; Giraldo, O; Duque, MC; Tohme, J. 2008. Mejoramiento del arroz en CIAT y su aporte a la conservación de la biodiversidad ARROZ. Taller Conservación de Aves Playeras Migratorias y cultivos de arroz en el norte de América del Sur :25.
- Céspedes, E. V. (2015). Hibridación entre biotipos de arroz maleza y variedades resistentes a imidazolinonas: análisis morfológico y vigor híbrido. *Repositorio.sibdi*, 50.
- Chen, H; Lin, Y; Zhan, Q. 2009. Review and prospect of transgenic rice research. *Chinese Sci Bull* 54:4049-4068.
- Counce, PA; Keisling, TC; Mitchell, AJ. 2000. A uniform, objectives, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science* 40(2):436-443.
- Cristo Valdes, E; Gonzalez Cepero, MC; Perez Leon, N. 2016. Evaluation of new rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under low water and fertilizer supply conditions in Pinar del Rio province. *Cultivos Tropicales* 37(2):127-133. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4892.8240>.
- Degiovanni, V; Berrio, L; Charry, R. 2010. Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) (en línea). In *Degiovanni, V; Martínez, C; Motta, F (eds.)*. Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p. 35-59. Disponible en https://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-

Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf.

- Deka, S; Barthakur, S. 2010. Overview on current status of biotechnological interventions on yellow stem borer *Scirpophaga incertulas* (Lepidoptera: Crambidae) resistance in rice. *Biotechnology Advances* 28(1):70-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.09.003>.
- Diaz Granados D., C; Chaparro-Giraldo, A. 2012. Methods and agricultural uses of genetic engineering applied to rice crop (en línea). *Revista Colombiana de Biotecnología* 14(2):179-195. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752012000200018&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- Díaz, SH; Morejón, R. 2017. Comportamiento y selección de líneas avanzadas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas por el programa de mejoramiento en los palacios. *Cultivos Tropicales* 38(1):81-88.
- Franquet, B; Borrás, P. 2004. Economía del arroz: variedades y mejora. Josep. Universidad Internacional de Cataluña y Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña .
- Gárgano, C. 2018. Ciencia, Tecnología y Mercado: Investigaciones en Arroz en el INTA Argentino. *Journal of technology management & innovation* 13(1):75-83. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0718-27242018000100075>.
- Ignacimuthu, S; Raveendar, S. 2011. Agrobacterium mediated transformation of indica rice (*Oryza sativa* L.) for insect resistance. *Euphytica* 179:277-286.
- Maqueira, L; Miranda, A; Torres, W. 2009. Crecimiento y rendimiento de dos variedades de arroz de ciclo corto en época poco lluviosa. *Cultivos Tropicales* 30(3):28-31.
- Marco Acevedo; Willian Castillo; Uira Belmonte. 2006. Origen, Evolución y diversidad del arroz (en línea). *Agronomía Tropical* 56(2):17. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262462682_Origen_evolucion_y_diversidad_del_arroz.
- Martínez, C; Borrero, J; James, S; Correa, F; Sanabria, Y; Duque, M. 2008. Aprovechamiento de la variabilidad genética escondida en las especies silvestres de arroz. *Encuentro Internacional del Arroz* :102-103.
- Martínez, CP; Tohme, J; López, J; Borrero, J; McCouch, SR; Roca, W; Chatel, M; Guimarães, E. 1998. Estado actual del mejoramiento del arroz mediante la utilización de especies

- silvestres de arroz en CIAT. *Agronomía Mesoamericana* 9(1):10-17. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v9i1.24609>.
- Méndez del Villar, P. 2016. Informativo mensual del mercado mundial del arroz (en línea). Info@rroz :2. Disponible en <http://www.conarroz.com/UserFiles/File/ia1016es.pdf>.
- Monasterio Piñero, P; Lugo, L; Álvarez, L; López, H. 2012. Development and production of rice (*Oryza sativa* L.) under different levels of water in Calabozo, Guárico State, Venezuela | Desarrollo y producción de arroz (*Oryza sativa* L.) con diferentes profundidades de láminas de agua en Calabozo, estado Guárico, Venezuela (en línea). *Revista Científica UDO Agrícola* 12(1):117-126. Disponible en <http://www.bioline.org.br/pdf?cg12014>.
- Morcote, H. 2013. Eficacia y selectividad de Amicarbazone aplicado en diferentes dosis en caña panelera (*Saccharum officinarum* L.), en Güepsa, Santander Effectiveness and selectivity of Amicarbazone applied in different doses to panelera cane (*Saccharum officinarum* L. *Ciencias y Agricultura* 10(1):47-56.
- Nishiyama, I. 1976. Effects of temperature on the vegetative growth of rice plants. *Climate and Rice* (en línea). Proceedings of the symposium on climate and rice. International Rice Research Institute :159-185. Disponible en www.chilearroz.cl.
- Olmos, S. 2006. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. s.l., s.e. 1-21 p.
- Paredes, C; Donoso, G. 2019. Sistema de Producción de Arroz Clearfield. .
- Pazos, F. 2007. Cultivos no-transgénicos resistentes a herbicidas, una nueva solución de la industria; la tecnología Clearfield. (en línea). Montevideo, s.e. 8 p. Consultado 30 may. 2015. Disponible en http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Prensa/Cultivos_notransgenicos_resistentes_a_herbicidas.pdf
- Pérez, P; Álvarez, C; Sánchez, R; López, M; Lázaro, A; Del, R; Oryza, A; En, L; Variedad, UNA; Medio, DEC; López, AM. 2012. Practices of ratoon crop different height and its influence in the yield of a medium cycle rice (*Oryza sativa* L .) variety Ricardo Polón Pérez ., 33(4):59-62.
- Regulator, TO of the GT. 2005. The biology and ecology of rice (*Oryza sativa* L.) in Australia. Department of health and ageing :30.

- Repellin, A; Bága, M; Jauhar, P; Chibbar, R. 2001. Genetic enrichment of cereal crops via gene transfer. *New challenges Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 64:159-183.
- Saumell, H. 1980. Técnicas actualizadas para su mejoramiento y cultivo (en línea). Editorial Hemisferio Su S.A. :81-83. Disponible en [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/_archivos/000030_Informes/000020_Arroz/000021_Perfil del Arroz - 2017.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/_archivos/000030_Informes/000020_Arroz/000021_Perfil%20del%20Arroz%20-%202017.pdf).
- Shimamoto, K. J. (17 de junio de 2002). *Annual Reviews*. Obtenido de <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.53.092401.134447>
- Solís, SHD; Rivera, RM; Chisholm, O. O; Álvarez, C. 2015. Evaluación de nuevas líneas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas por hibridaciones dentro del programa de mejoramiento genético del cultivo en cuba. Evaluation of new rice (*Oryza sativa* L .) lines obtained by hybridizations inside Genetic Improvement Pr. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana 36(3):115-123.
- Streck, N; Weiss, A; Xue, Q; Baenziger, P. 2003. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified wang and Engel model. *Agricultural and Forest Meteorology* 11(3-4):139-150.
- Tasistro, A. S. 2000. Métodos para evaluar efectividad en el control de malezas. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza*. No. Especial. pp. 25-35. Dirección General de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo.
- Velázquez, J; Rosales, A; Rodríguez, H; Salas, R. 2015. Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz, con el sistema S, V Y R correlacionado con la sumatoria térmica. *Agronomía Costarricense* 39(2):121-129.
- Yoshida, S. 1981. *Fundament of rice crop science*. International Rice Research Institute :296.

ANEXOS



Anexo 1. Toma de datos de plantas muertas y vivas



Anexo 2. A los 14 días de edad del semillero, antes de la aplicación del herbicida Imazetapir.



Anexo 3. A los 29 días de edad del semillero, después de la aplicación del herbicida Imazetapir.