

Determinación de la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras

Ridher Ronaldo Nina Lopez
Dennis Gustavo Toc Mó

Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano
Honduras
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Determinación de la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Ridher Ronaldo Nina Lopez
Dennis Gustavo Toc Mó

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Determinación de la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras

Presentado por:

Ridher Ronaldo Nina Lopez
Dennis Gustavo Toc Mó

Aprobado:

[Rony Muñoz \(Nov 11, 2020 08:43 CST\)](#)

Rony Francisco Muñoz Molina, M.Sc.
Asesor Principal

Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

[Rogelio Trabanino \(Nov 11, 2020 14:36 CST\)](#)

Rogelio Trabanino Young, M.Sc.
Asesor

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

[Raul Ernesto Ulloa Lardizabal \(Nov 11, 2020 14:52 CST\)](#)

Raul Ernesto Ulloa Lardizabal, M.Sc.
Asesor

Determinación de la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras

Ridher Ronaldo Nina Lopez

Dennis Gustavo Toc Mó

Resumen. Las empresas agroexportadoras de vegetales del valle de Comayagua, Honduras, han observado la deficiencia de control de *Parthenium hysterophorus* L. con glifosato, herbicida utilizado para el control de malezas en pre siembra de maíz transgénico y vegetales. Por esta razón, se realizó un experimento para determinar el Índice de Resistencia (IR) de dos biotipos de *P. hysterophorus*. El biotipo que muestra características de resistencia fue colectado en Comayagua (BC) y el biotipo susceptible fue colectado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (BZ). El experimento se desarrolló en una casa malla con plantas de *P. hysterophorus* que presentaban seis a ocho hojas verdaderas trasplantadas en maceteros. Para determinar la respuesta de los biotipos al glifosato se utilizaron las siguientes dosis: 0, 0.34, 0.68, 1.02, 1.36 y 1.70 kg i.a./ha, la dosis de 1.02 kg i.a./ha es la dosis comercial recomendada. Los seis tratamientos se aplicaron a los biotipos Comayagua y Zamorano, cada uno con seis repeticiones con un Diseño de Bloques Completos al Azar. El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre el BC y BZ ($P \leq 0.001$), para las variables sanidad y peso seco. El modelo logístico reflejó un IR de 4.29, lo que indicó que el BC fue 4.29 más resistente al glifosato cuando se comparó con el BZ, en relación con el peso seco de las plantas de *P. hysterophorus*. No se logró estimar el IR para la variable sanidad porque el glifosato solamente provocó 25% de daño en el BC.

Palabras clave: Biotipo, índice de resistencia, modelo logístico.

Abstract. Vegetable agro-export companies in the Comayagua valley, Honduras have observed a deficiency in the control of *Parthenium hysterophorus* L. with the herbicide glyphosate. The herbicide is used to control weeds in the pre-planting of transgenic corn and vegetables. For this reason, an experiment was carried out to determine the Resistance Index (IR) of two biotypes of *P. hysterophorus*. The biotype that shows resistance characteristics was collected in Comayagua (BC) and the susceptible biotype was collected in the Zamorano Pan American Agricultural School (BZ). The experiment was developed in a mesh house with *P. hysterophorus* plants that had six to eight true leaves transplanted in pots. To determine the response of the biotypes to glyphosate, the following doses were used: 0, 0.34, 0.68, 1.02, 1.36 and 1.70 kg i.a./ha, the dose of 1.02 kg i.a./ha is the recommended commercial dose. The six treatments were applied to the Comayagua and Zamorano biotypes, each with six repetitions using a Random Complete Blocks Design. The statistical analysis showed a significant difference between the BC and BZ ($P < 0.001$), for the health and dry weight variables. The logistic model reflected an IR of 4.29, which indicated that BC was 4.29 more resistant to glyphosate when compared to BZ, concerning the dry weight of *P. hysterophorus* plants. It was not possible to estimate the RI for the health variable because glyphosate only caused 25% of damage in the BC.

Key words: Biotype, logistic model, resistance index.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice general	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
4. CONCLUSIONES.....	10
5. RECOMENDACIONES.....	13
6. LITERATURA CITADA.....	14
7. ANEXOS.....	16

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Dosis de glifosato aplicadas a los biotipos colectados en Zamorano y Comayagua de <i>Parthenium hysterophorus</i> L.....	4
2. Parámetros del modelo logístico para desarrollar la curva sigmoïdal de dosis respuesta de los biotipos de <i>Parthenium hysterophorus</i> L. al glifosato.....	5
3. Estimación de los parámetros para modelo logístico derivados de la Ecuación 1 para la variable sanidad y estimación del Índice de Resistencia entre el Biotipo Comayagua (BC) y Biotipo Zamorano (BZ).....	8
4. Estimación de parámetros para el modelo logístico derivados de la Ecuación 1 para la variable peso seco (% en base al control) y estimación del Índice de Resistencia para el Biotipo Comayagua (BC) y Biotipo Zamorano (BZ).....	9
Figuras	Página
1. Porcentaje de población del Biotipo Zamorano con 100% de fitotoxicidad de las dosis de glifosato durante el periodo de muestreo.....	6
2. Plantas de <i>Parthenium hysterophorus</i> L. tratadas con cinco dosis de glifosato (kg i.a./ha) y el control: Biotipo Zamorano (a) y Biotipo Comayagua (b).....	7
3. Curva de respuesta al incremento de la dosis de glifosato y su efecto en el porcentaje de sanidad de los Biotipos Zamorano y Biotipo Comayagua.....	8
4. Curva de respuesta al incremento de la dosis de glifosato y su efecto en el porcentaje de reducción de peso seco con respecto al control en los Biotipos Zamorano (BZ) y Biotipo Comayagua (BC).....	9
Anexos	Página
1. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable Sanidad y Peso Seco.....	15
2. Curva ajustada del modelo logístico de cuatro parámetros para la variable Sanidad.....	19
3. Curva ajustada del modelo logístico de cuatro parámetros para la variable Peso Seco.....	20

1. INTRODUCCIÓN

El glifosato [N-fosfonometilglicina, C₃H₈NO₅P] fue descubierto en 1950 por el Dr. Henri Martin, químico suizo que trabajaba en una compañía farmacéutica. Debido a que no encontró aplicación en este campo, la molécula fue vendida a otras compañías (Nandula 2010). En 1970 el Dr. John Franz, químico de Monsanto, identificó la actividad herbicida del glifosato y posteriormente fue patentada, el glifosato fue comercializado por primera vez en 1974 con el nombre Roundup® (Duke y Powles 2008). Actualmente pertenece a la compañía Bayer, por la adquisición de Monsanto en el año 2018.

Glifosato es uno de los herbicidas más utilizados en Estado Unidos. Los registros del “U.S. Environmental Protection Agency” (EPA) sobre las ventas y uso de plaguicidas en el año 2012, glifosato fue el ingrediente activo que ocupó el primer lugar en comercialización (122-131 millones de kilogramos) para el sector agrícola y el segundo lugar para control de malezas en jardinería después del herbicida 2,4-D (Atwood y Paisley-Jones 2017). Actualmente glifosato es utilizado ampliamente en el mundo en cultivos Tolerantes a Herbicidas (TH) los cuales son Organismos Genéticamente Modificados (OGM) como maíz, soya y algodón. También cumple la función reguladora de crecimiento en cosecha para ciertos granos y legumbres, cuando se aplica como agente de desecación y como madurante en caña de azúcar (Soumis 2018).

La producción de glifosato se concentró en las compañías de Monsanto principalmente en cinco países: Estados Unidos, Bélgica, Malasia, Brasil y Argentina. Durante el período de 1991 a 1997, el precio de glifosato tuvo un declive de USD 33.99 a 20.12. El volumen demandado por región en 1995 fue de 26.4% en Norteamérica, 22.3% en Latinoamérica, 21.1% en Lejano Oriente, 18.1% en Europa Occidental y 12.1% para el resto del mundo (Woodburn 2000). Monsanto conservó los derechos exclusivos de glifosato en Estado Unidos hasta que expiró la patente a finales del año 2000. Por lo tanto, otras empresas empezaron a desarrollar glifosato genérico y su costo se redujo drásticamente. Cerca del 90% de los cultivos genéticamente modificados (GM) son resistentes al glifosato, el cual se caracteriza por su translocación eficiente de carácter sistémico, causando la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS), que limita la producción de los aminoácidos conocidos como aromáticos: triptófano, fenilalanina y tirosina (Duke y Powles 2008). La estructura molecular del glifosato es similar al fosfoenolpiruvato, por tal razón presenta una gran afinidad a la enzima EPSPS, generando una competencia entre el sustrato natural y el herbicida, siendo el glifosato el favorecido en esta competencia.

La efectividad y amplio espectro del glifosato para el control de malezas tanto en cultivos tradicionales y cultivos GM, expandió el uso de glifosato a nivel mundial y no se desarrollaron herbicidas con capacidad de competencia en el mercado. Las malezas se han puesto durante muchos años a una presión de selección, utilizando la misma molécula con sitio de acción específico generando la resistencia. Predominado las malezas menos sensibles a los herbicidas, y el control ya no es efectivo.

“The International Herbicide-Resistant Weed Database” reporta el incremento de la cantidad de especies de malezas resistentes a herbicidas por familia. Entre las cuales están 82 especies de la familia Poaceae, 42 Asteraceae, 22 Brassicaceae, 12 Cyperaceae, 11 Amarantaceae, 9

Scrophulariaceae, 7 Alismataceae, 7 Chenopodiaceae y 6 para la familia Caryophyllaceae. Actualmente se tiene un reporte de 50 especies de malezas resistentes al glifosato (Heap 2020).

En Honduras, la regulación y uso de plantas transgénicas fue aprobada mediante el Reglamento de Bioseguridad emitida por la Secretaria de Agricultura y Ganadería en el Acuerdo 1570-98, principalmente maíz OGM (SAG 1998). Honduras es el único país de Centroamérica que produce y comercializa maíz transgénico, y uno de los siete países de América Latina. El “Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017” menciona la experiencia de Honduras; un país pequeño y con recursos limitados. Logró implementar un programa exitoso de bioseguridad que puede servir como modelo útil y experiencia de aprendizaje para el resto de los países Centroamericanos. Gracias al uso de biotecnología en maíz, Honduras ha mejorado sus ingresos agrícolas con USD 11.5 millones del año 2002 al 2016 y USD 1.1 millones en el año 2016 beneficiando a 7000 agricultores y sus familias (James 2017). Actualmente la producción de maíz OMG se realiza en los departamentos de Olancho, Comayagua, El Paraíso y Francisco Morazán.

El departamento de Comayagua cuenta con empresas agroexportadoras de vegetales como pepino, calabazas, berenjena, entre otros. Estas empresas realizan la producción de estos cultivos entre los meses de noviembre a marzo, siendo esta la ventana de exportación. Después de la cosecha del cultivo principal de exportación, recogen todos los rastrojos vegetales y siembran maíz transgénico. Utilizando la misma cama, acolchado (mulch), sistema de riego y aprovechando la fertilización del cultivo anterior. Logrando producir un maíz transgénico con bajos insumos, que incluye la aplicación de glifosato para el control de malezas. Esta práctica se ha llevado a cabo al menos durante 15 años y ha causado el surgimiento de malezas que se sospecha su resistencia al glifosato. Anteriormente las principales malezas eran coyolillo (*Cyperus rotundus* L.) perteneciente a la familia Cyperaceae y la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis* L.) de la familia Poaceae.

Actualmente una de las malezas predominantes es *Parthenium hysterophorus* L. Esta planta es conocida comúnmente como ajeno silvestre, fifí, escoba amarga y encaje. Perteneciente a la familia Asteraceae, es una planta anual con hojas alternas, crece hasta 2 metros de altura con inflorescencias ramificadas que portan cabezuelas florales blancas y aquenios negros, ovoides y suaves. Las hojas son dentadas o partidas, con borde aovado a oblongo, 1-2 pennadas, partidas en segmentos lineales o lanceolados, o pinatífidas, delgadas y flácidas que pueden medir hasta 10 centímetros de largo y 5 centímetros de ancho. Las flores dimorfas, de 5-6 milímetros de ancho, las marginales son las femeninas, generalmente 3-3 tubulosas tetrámeras, anteras, cortamente sagitada en su base, estilo truncado en su ápice. El fruto es un aquenio, piloso cilíndrico, papus coroniformes con 8-10 aristas desiguales (Spegazzini y Najera 1984).

La floración de *P. hysterophorus* puede retrasarse por condiciones desfavorables como el agua o el estrés por frío, esto como medida de supervivencia y persistencia. A medida que el tallo se alarga, se producen hojas más pequeñas, más estrechas y menos diseccionadas alternativamente en el tallo pubescente, rígido, angular, que se vuelve leñoso con la edad. Tanto las hojas como los tallos están cubiertos de tricomas cortos y blandos (Kohli 1994). Esta especie es considerada nativa de las Américas, la especie figura como originaria del este de México y las Antillas, con una distribución nativa secundaria desde el sur de los Estados Unidos hasta América del Sur (CONABIO 2018). Actualmente la especie está presente en Asia, África, América del Norte, América Central, El Caribe, América del Sur, Europa y Oceanía (Acevedo y Strong 2012).

P. hysterophorus es reportado como una especie importante de maleza en más de 45 países, aumentando las pérdidas en diferentes cultivos, ya que esta maleza crece en cualquier tipo de suelo y se adapta a diferentes tipos de hábitats (Bajwa *et al.* 2016). Las características de esta maleza, como una amplia adaptabilidad a la temperatura, falta de enemigos naturales en regiones no nativas, tolerancia a la sequía, alelopatía, alta capacidad de producción de semillas, longevidad de las semillas en los bancos de semillas del suelo y capacidad de viajar largas distancias a través del viento, el agua, las aves, los vehículos, la maquinaria agrícola, contribuyen a su rápida introducción en todo el mundo, atravesando las fronteras nacionales y las barreras climáticas (Kaur *et al.* 2014).

Las experiencias recientes de los agricultores reportan que frecuentemente el control de *P. hysterophorus* con glifosato ya no es efectivo. Algunos agricultores han realizado aplicaciones aumentando la dosis recomendada, pero sin efecto positivo, aunado los costos en que se incurren para combatir esta maleza. Como se mencionó anteriormente, la familia Asteraceae es la que ocupa el segundo lugar con especies resistentes a herbicidas, a la cual pertenece *P. hysterophorus*.

Debido a los antecedentes se planteó el experimento para evaluar la resistencia de dos biotipos *P. hysterophorus* al glifosato. El biotipo susceptible fue colectado en Zamorano (BZ), de una localidad que no ha sido tratada con glifosato. El biotipo supuestamente resistente fue colectado en Comayagua (BC), expuestas al control con glifosato en cultivares de maíz transgénico. El objetivo del experimento fue determinar la respuesta y el Índice de Resistencia (IR) de los dos biotipos al glifosato.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento fue desarrollado en una casa malla del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré, municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, situada en latitud Norte 14°00'41.6" y longitud Oeste 87°00'10.4", situada a 800 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una temperatura promedio de 23°C.

Antecedentes

Se recolectaron semillas de dos biotipos de *P. hysterophorus*: una susceptible y otra supuestamente resistente. El biotipo susceptible fue colectado en las áreas residenciales del campus de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (BZ), de las cuales no se tiene registro del uso de glifosato, debido a que el control de las malezas se realiza de forma cultural y mecánica. El biotipo supuestamente resistente fue colectado en Comayagua, Honduras (BC) en áreas cultivadas con maíz OGM y vegetales, donde se tiene reportes de aplicaciones de glifosato durante un periodo de 15 años consecutivos. Anualmente se cultivan dos ciclos de maíz OGM, utilizando glifosato para el control de malezas.

Establecimiento del experimento

Las semillas de los biotipos se sembraron en bandejas de germinación, colocando una semilla por postura, utilizando como sustrato un compost que fue esterilizado a una temperatura de 95 °C durante 4 horas en la unidad de Olericultura Intensiva, después de la siembra se realizaron riegos periódicos para propiciar el crecimiento de la planta. La germinación de las semillas ocurrió 8 días después de la siembra, ambos presentaron en promedio 80% de germinación. El trasplante se realizó 12 días después de la germinación en maceteros utilizando el mismo sustrato, es importante mencionar que los biotipos se adaptaron satisfactoriamente.

Tratamientos y diseño experimental

La prueba de respuesta del BZ y del BC al glifosato se realizó con un control (sin aplicación de glifosato), dos subdosis, la dosis recomendada y dos sobredosis (Cuadro 1). El diseño experimental utilizado fue Bloques Completos al Azar (DBCA) bifactorial: biotipo y dosis. Con seis tratamientos y seis repeticiones aplicados al BZ y BC, para tener un total de 72 unidades experimentales. Las plantas fueron redistribuidas de forma aleatorizada en la casa malla correspondiente al diseño experimental.

Cuadro 1. Dosis de glifosato aplicadas a los biotipos colectados en Zamorano y Comayagua de *Parthenium hysterophorus* L.

Tratamientos	kg ingrediente activo/ha
1	0.00
2	0.34
3	0.68
4	1.02
5	1.36
6	1.70

La aplicación de glifosato Roundup® MAX 68 SG se realizó 50 días después del trasplante cuando las plantas presentaban de seis a ocho hojas verdaderas, utilizando una bomba de mochila previamente calibrada para aplicar 250 L/ha, con una boquilla de abanico de rango extendido 8002 XR (80° de aspersión y 0.75 litros por minuto), capaz de mantener un caudal uniforme durante la aspersión.

Monitoreo de sanidad

Se recopiló información sobre la fitotoxicidad de las diferentes dosis de glifosato a los días 7, 8, 9, 12, 14, 15 y 16 después de la aplicación de los tratamientos. La sanidad se evaluó mediante una observación visual en una escala porcentual de 0 a 100. Tomando como referencia las plantas de *P. hysterophorus* utilizadas como control (100% de sanidad) y las que murieron por la fitotoxicidad de glifosato (0% de sanidad).

Secado y pesado

En el día 16 después de la aplicación de los tratamientos, se cortaron todas las plantas en la unión tallo y raíz, posteriormente la parte aérea (tallo y hojas) se cortaron en fragmentos de dos centímetros y se colocaron en bolsas de papel, etiquetadas con el bloque y tratamiento. El secado se efectuó en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos de Zamorano, con un horno (VWR) a una temperatura de 65 °C durante 96 horas para obtener el peso seco. En intervalos de 24 horas se realizaron muestreos al azar de 10 unidades experimentales con el propósito de monitorear la pérdida de humedad y determinar el tiempo óptimo para el pesado final de todas las unidades experimentales.

Análisis estadístico

El Análisis de Varianza (ANDEVA) de los datos del porcentaje de sanidad y peso seco (% en base al control) se realizó en “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.4®), para determinar las interacciones y las diferencias entre los biotipos de *P. hysterophorus* y las dosis de glifosato. Para proyectar las curvas sigmoidales de dosis respuesta de los biotipos, se utilizó JMP® 15 una extensión de SAS® que permite realizar curvas ajustadas con el modelo predictivo logístico con cuatro parámetros (Cuadro 2) como se describe en la Ecuación [1] (Seedfeld *et al.* 1995). Se determinó el I₅₀ (dosis que produce el 50% de inhibición de la actividad de la enzima EPSPS) de los dos biotipos, despejando la Ecuación 1, para el termino Dosis (kg/ha) y sustituyendo la variable respuesta y con el 50% del efecto. Finalmente se calculó el Índice de Resistencia (IR) dividiendo el I₅₀ del biotipo resistente (BC) entre el I₅₀ del biotipo susceptible (BZ).

$$y = C + \frac{(D - C)}{1 + \text{Exp}(-A * (Dosis - B))}$$

Ecuación [1]

Cuadro 2. Parámetros del modelo logístico para desarrollar la curva sigmoideal de dosis respuesta de los biotipos de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato.

Parámetro	Definición	Observaciones
A	Tasa de crecimiento de la curva	
B	Punto de inflexión	Representa la pendiente de la curva en dosis que produce el 50% de inhibición de la actividad de la enzima EPSPS (I_{50})
C	Límite inferior	Corresponde a la respuesta media a la dosis mayor (tomar en cuenta que el valor no siempre será 0)
D	Límite superior	Corresponde a la respuesta media del control (testigo)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Análisis de Varianza (ANDEVA) mostró diferencia significativa entre el Biotipo Comayagua (BC) y el Biotipo Zamorano (BZ) de *P. hysterophorus* al glifosato con respecto a las variables peso seco y sanidad de las plantas ($P < 0.0001$).

Sanidad

La toma de datos de la variable sanidad se realizó durante los días 7 al 16 después de la aplicación de glifosato. En el día 5 las plantas de los BC y BZ presentaron síntomas de fitotoxicidad al glifosato como clorosis y marchitamiento. La curva logística o sigmoideal de la variable sanidad, se realizó con los datos obtenidos de las observaciones comprendidas entre el día 9 al 16 después de la aplicación.

El 17% de la población del BZ tratadas con la sobre dosis de 1.70 kg/ha presentó un 100% de fitotoxicidad en día 9. En el día 12 la subdosis 0.68 kg/ha provocó un 100% de fitotoxicidad en el 50% de la población del BZ al igual que la sobredosis 1.36 kg/ha. Mientras que la dosis comercial 1.02 kg/ha y la sobre dosis 1.70 kg/ha causaron un 100% de fitotoxicidad en el 17% de la población. En el día 14 la subdosis 0.68 kg/ha y la sobredosis 1.36 kg/ha causaron en el 17% de la población el 100% de fitotoxicidad. El 50% de la población del BZ tratada con la dosis comercial presentaron 100% de fitotoxicidad y las sobre dosis 1.70 kg/ha aumento un 33% de la población con 100% de fitotoxicidad. Para el día 16 las sobredosis, dosis comercial y una subdosis presentaron un 33% de la población del BZ con 100% de fitotoxicidad, a diferencia de la subdosis 0.34 kg/ha el 100% de la población del BZ presentaron 100% de fitotoxicidad hasta el día 16 (Figura 1).

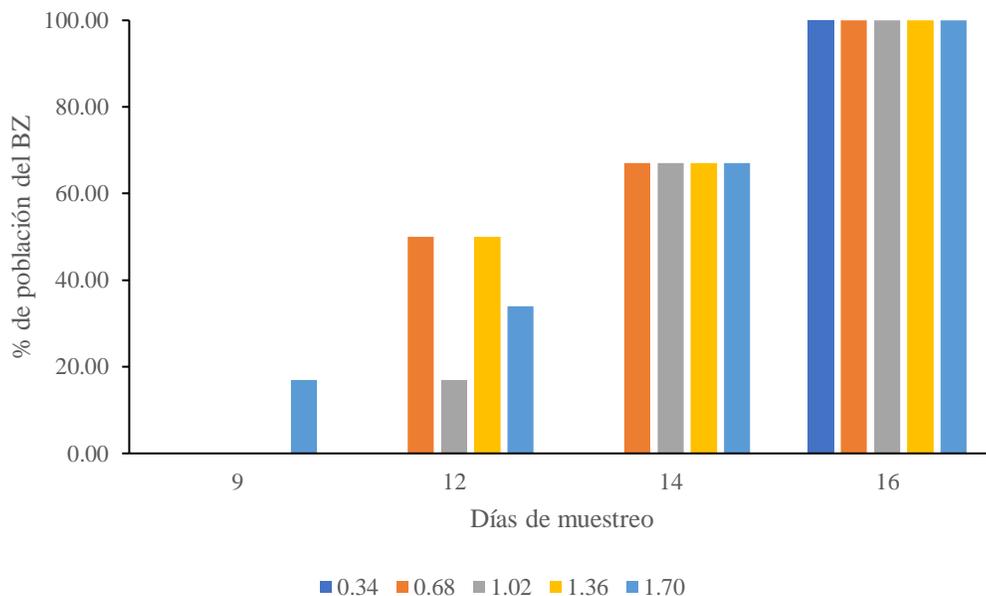


Figura 1. Porcentaje de población del Biotipo Zamorano con 100% de fitotoxicidad de las dosis de glifosato durante el periodo de muestreo.

Todas las plantas del BZ presentaron un 100% de fitotoxicidad en el día 16 con las subdosis, dosis comercial y sobredosis en comparación al control (Figura 2). Las dosis de glifosato aplicadas a BC, únicamente se obtuvieron valores máximos de 25%, lo que muestra es que el BC es menos sensible al glifosato, esto gracias a su evolución adaptativa por el tiempo que ha estado sujeto a la presión de selección por glifosato, las plantas del BC que se mantuvieron vigorosas y continuaron con su ciclo de crecimiento vegetativo y posteriormente a su etapa reproductiva, ninguna de estas plantas murió durante el ensayo a causa de fitotoxicidad de glifosato (Figura 3).

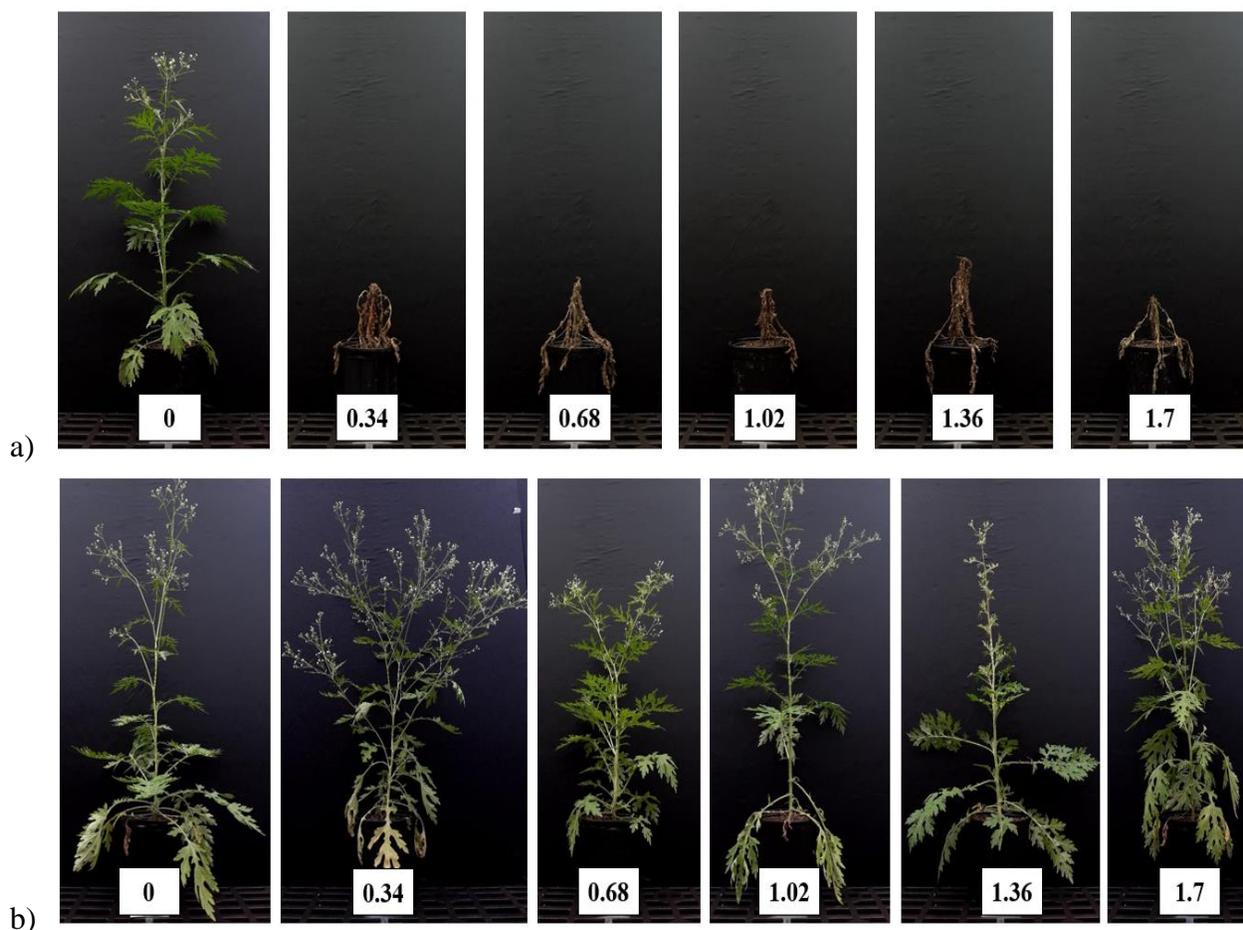


Figura 2. Plantas de *Parthenium hysterophorus* L. tratadas con cinco dosis de glifosato (kg i.a./ha) y el control: Biotipo Zamorano (a) y Biotipo Comayagua (b).

Se estimaron los cuatro parámetros descritos en la Ecuación 1 para la curva logística y el modelo presentó un $R^2 = 0.974$, lo que brindó mayor validez al modelo para explicar la variable respuesta de sanidad. El Biotipo Zamorano (BZ) presentó un $I_{50} = 0.10$ kg/ha y para el Biotipo Comayagua (BC) no fue posible estimar el I_{50} debido a que la curva no decrece hasta el 50% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estimación de los parámetros para modelo logístico derivados de la Ecuación 1 para la variable sanidad y estimación del Índice de Resistencia entre el Biotipo Comayagua (BC) y Biotipo Zamorano (BZ).

Biotipo	A	B	C	D	I ₅₀	IR ^a	P < valor ^b
BC	-0.87	-12.00	72.52	865622.40	-	-	< 0.0001
BZ	-6.94	-1.18	1.97	347323.17	0.10		

^a A, tasa de crecimiento; B, punto de inflección, C, límite inferior; D, límite superior; I₅₀, dosis de glifosato que causa el 50% de inhibición de la enzima EPSPS; IR, Índice de Resistencia (BC I₅₀/ BZ I₅₀).

^b Diferencia de IR de 1 (P<0.05)

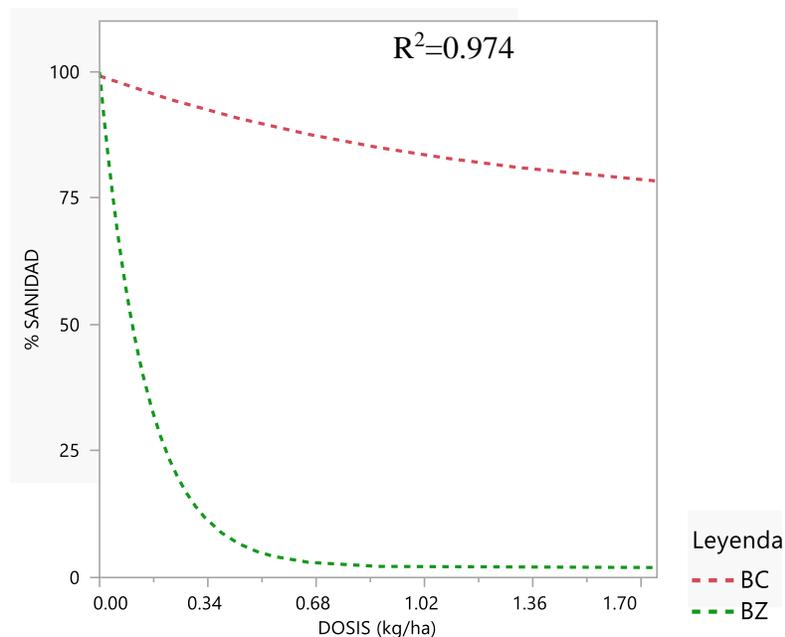


Figura 3. Curva de respuesta al incremento de la dosis de glifosato y su efecto en el porcentaje de sanidad de los Biotipos Zamorano y Biotipo Comayagua.

Peso seco

La curva logística se desarrolló con el peso seco de las plantas de *P. hysterophorus* obtenidas en el día 16 después de la aplicación. La diferencia del peso seco con la variable sanidad es que el peso seco es una metodología cuantitativa y destructiva, y que solamente se puede desarrollar una curva logística mientras que con la sanidad se puede determinar el Índice de Resistencia con los datos de los diferentes días de muestreo.

Los cuatro parámetros estimados para el modelo logístico para la variable respuesta peso seco (porcentaje en base al control) presentó un $R^2 = 0.916$ y es ideal para explicar la respuesta de los biotipos a las diferentes dosis. El I₅₀ para BZ fue de 0.46 kg/ha y el I₅₀ de BC fue de 1.98 kg/ha. El resultado de Índice de Resistencia IR demostró que el BC es 4.29 veces más resistente que el BZ (Cuadro 4). Para causar el 50% de la inhibición de la enzima EPSPS de las plantas de *P.*

hysterophorus provenientes de Comayagua se debería aumentar 4.29 veces la dosis de glifosato en comparación a las plantas de *P. hysterophorus* de Zamorano (Figura 4).

Cuadro 4. Estimación de parámetros para el modelo logístico derivados de la Ecuación 1 para la variable peso seco (% en base al control) y estimación del Índice de Resistencia para el Biotipo Comayagua (BC) y Biotipo Zamorano (BZ).

Biotipo	A	B	C	D	I50	IR ^a	P<valor ^b
BC	-0.63	24.14	-73056808.00	119.85	1.98	4.29	<0.0001
BZ	-2.43	-3.93	26.70	1034121.00	0.46		

^a A, tasa de crecimiento; B, punto de inflección, C, límite inferior (%); D, límite superior (%), I₅₀, dosis de glifosato que causa el 50% de inhibición de la enzima EPSPS; IR, Índice de Resistencia (BC I₅₀/ BZ I₅₀).

^b Diferencia de IR de 1 (P<0.05).

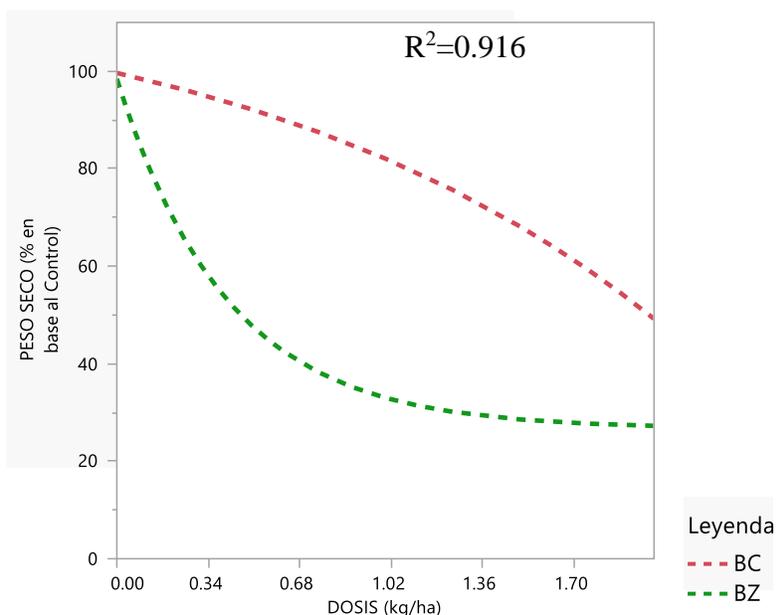


Figura 4. Curva de respuesta al incremento de la dosis de glifosato y su efecto en el porcentaje de reducción de peso seco con respecto al control en los Biotipos Zamorano (BZ) y Biotipo Comayagua (BC).

Los primeros reportes de resistencia de *P. hysterophorus* al glifosato en el sitio de acción EPSPS fue en Colombia, las muestras fueron obtenidas en plantaciones de frutales en el 2004. Ese mismo año, en Brasil se reportó la resistencia de *P. hysterophorus* a varios ingredientes activos (chlorimuron-ethyl, cloransulam-methyl, foramsulfuron, imazethapyr, and iodosulfuron-methyl-sodium) que son inhibidores de la enzima ALS (Pisa *et al.* 2004), las muestras fueron colectadas en plantaciones de soya. En el año 2009 se reportó nuevamente resistencia de *P. hysterophorus* en Colombia con un IR de 1.8, utilizando la variable porcentaje de sobrevivencia con relación al testigo (Gómez de Enciso 2009).

En el 2014 un estudio realizado en el sur de Florida, Estados Unidos, encontraron un IR de 40.3 y 43.1 de *P. hysterophorus* L. al glifosato (Fernandez *et al.* 2014), esto puede explicarse debido a que Estados Unidos es uno de los pioneros en el uso de este herbicida, las semillas de *P. hysterophorus* utilizadas para este experimento fueron colectadas en áreas de barbecho, sitios industriales, ferrocarriles y bordes de carreteras.

En el 2016, una investigación sobre la resistencia *P. hysterophorus* al glifosato de plantas provenientes de cultivos frutales de Cuba y República Dominicana, encontraron IR de “24.5-27.5” y “20.0-22.7” respectivamente (Bracamonte *et al.* 2016).

En México se reportó la resistencia de *P. hysterophorus* al glifosato en el año 2017, las plantas utilizadas para este ensayo fueron colectadas en cultivos de cítricos con un IR de 9.2 y 17.3 de la maleza a las dosis de glifosato basado en la mortalidad de las plantas (Palma *et al.* 2017).

El IR encontrado en esta investigación se asemeja al encontrado en Colombia en el año 2004 y 2009, pero la de México y Estados Unidos es aún mayor. La resistencia se genera debido a que las aplicaciones de los herbicidas exponen a las malezas a una presión de selección, sobreviviendo aquellas que logran adaptarse a las nuevas condiciones. Otro factor importante que influye en la resistencia es el tiempo de uso de la misma molécula del herbicida, se ha demostrado que las malas prácticas en las aplicaciones de herbicidas influyen en la resistencia, por ejemplo, al usar una dosis diferente a lo recomendado en las etiquetas o panfletos desarrollados por las casas comerciales.

En Australia se desarrolló un experimento con la maleza *Lolium rigidum* para simular la evolución de la resistencia al glifosato y paraquat, obtuvieron tres resultados importantes. Estimaron que usando glifosato anualmente la resistencia de *L. rigidum* surgía a los 10 años. Cuando se alternaba glifosato y paraquat anualmente *L. rigidum* iniciaba a presentar resistencia a los 21 años. Utilizando la alternativa de doble derribo (Double knockdown) que consiste en que una semana después de haber aplicado glifosato a la maleza se procede a la aplicación de paraquat y los resultados fueron satisfactorios ya que en un período de 30 años las plantas no desarrollaron resistencia (Neve *et al.* 2003). El uso de diferentes ingredientes activos, mezclas o la alternancia de estos pueden ser una gran alternativa en retardar el desarrollo de resistencia, como también las buenas prácticas agronómicas en las aplicaciones de herbicidas para el control de malezas.

4. CONCLUSIONES

- Glifosato provocó solamente un 25% de fitotoxicidad en las plantas de *Parthenium hysterophorus* L. del biotipo Comayagua, a diferencia del biotipo Zamorano que llegaron a presentar un 100% de fitotoxicidad con respecto a la variable sanidad.
- Se confirma la resistencia del biotipo Comayagua de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato, con un Índice de Resistencia de 4.29 más alto en comparación al biotipo Zamorano, con respecto a la variable peso seco.
- En este estudio no se logró estimar el Índice de Resistencia con la variable sanidad de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato, pero se le brinda soporte con los resultados de peso seco.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos basados en ADN de las malezas mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para determinar el sitio específico donde se genera la resistencia.
- Realizar experimentos con el biotipo Comayagua de *Parthenium hysterophorus* al glifosato en cada etapa fenológica: vegetativa y reproductiva.
- Ejecutar experimentos con biotipos de *Parthenium hysterophorus*. provenientes de los departamentos donde se produce cultivos transgénicos: Comayagua, Olancho, Francisco Morazán y El Paraíso para comparar su Índice de Resistencia al glifosato.

6. LITERATURA CITADA

- Acevedo P, Strong M. 2012. Catálogo de las plantas de semillas de las Indias Occidentales. Contribuciones del Smithsonian a la botánica. Washington: Smithsonian; [consultado el 09 de jul. de 2020]. [dehttp://botany.si.edu/Antilles/WestIndies/catalog.htm](http://botany.si.edu/Antilles/WestIndies/catalog.htm)
- Atwood D, Paisley-Jones C. 2017. Pesticides Industry Sales and Usage 2008-2012 Market Estimates. United States, Environmental Protection Agency.
- Bajwa A, Chauhan B, Muhammad F, Asad SA. 2016. What do we really know about alien plant invasion? A review of the invasion mechanism of one of the world's worst weeds. Reino Unido; [consultado el 22 de jul. de 2020]. <https://www.cabi.org/isc/abstract/20163224090>
- Bracamonte E, Fernández P, Barro F, De Prado R. 2016. Glyphosate-Resistant *Parthenium hysterophorus* in the Caribbean Island: Non Target Site Resistance and Target Site Resistance in Relation to Resistance Levels. *Front. PlantSci.*7:1845. doi: 10.3389/fpls.2016.01845
- [CONABIO]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2018. *Parthenium hysterophorus* L. in Weeds of Mexico. Ciudad de México; [consultado el 12 de jul. de 2020]. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/parthenium-hysterophorus/fichas/ficha.htm>
- Duke SO, Powles SB. 2008. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Manag Sci* 64:319–325. eng. doi:10.1002/ps.1518
- Fernandez JV, Odero DC, MacDonald GE, Ferrell J, Gettys LA. 2014. Confirmation, Characterization, and Management of Glyphosate-Resistant Ragweed *Parthenium (Parthenium hysterophorus* L.) in the Everglades Agricultural Area of South Florida. *Weed Science Society of America*. 29(2):233-242. eng. doi:<https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00113.1>
- Gómez de Enciso C. 2009. Mecanismos de Resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. a Glifosato. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 203 p.
- Heap I. 2020. Resistance to Glyphosate by Species. Internacional: The International Herbicide-Resistant Weed Database; [Consultado el 03 de jul. de 2020]. <http://www.weedscience.org/Pages/Graphs/SpeciesbySOA.aspx>
- James C. 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications.
- Kaur M, Aggarwal N, Kumar V, Dhiman R. 2014. Effects and management of *Parthenium hysterophorus*: a weed of global significance. *International Scholarly Research Notices*, 12 pp.
- Kohli RD. 1994. *Parthenium hysterophorus*. *Boletín de investigación de la Universidad de Panjab, Science*, 105-149; 13pp.
- Nandula VK. 2010. Glyphosate Resistance in Crops and Weeds: History, Development and Management. United States: John Wiley & Sons, Inc. Publications.

- Neve P, Diggle A, Smith F, Powles S. 2003. Simulating evolution of glyphosate resistance in *Lolium rigidum* II: past, present and future glyphosate use in Australian cropping. *European Weed Research Society Weed Research*. 43:418–427. eng. doi: <https://doi.org/10.1046/j.0043-1737.2003.00356.x>
- Palma C, Dominguez J, Pablo F, Cruz H, Alcántara R, De Prado R. 2017. *Parthenium hysterophorus*: A New Glyphosate-Resistant Weed in Mexico. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 155 (2019): 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.11.002>
- Pisa D, Pisa R, Brighenti AP. 2004. Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja. 2a Ed. Brasil. ISSN 2176-2937
- [SAG]. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1998. Acuerdo No. 1570-98. Tegucigalpa; [consultado el 13 de ago. de 2020]. <http://www.fao.org/forestry/12781-0565921141fe7bf5f6b7894572f606b23.pdf>
- Seedfeld SS, Jensen JE, Fuerst EP. 1995. Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationship. *Weed Technology*. Vol. 9, No. 2. 218-227. eng. doi: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00023253>
- Soumis, N. 2018. Glyphosate: The World’s Most Widely Used Herbicide. Canadian Association of Physicians for the Environment.
- Spegazzini, E, Najera M. 1984. Etnofarmacobotánica de los “ajenjos” de la medicina popular Argentina. Datos morfológicos para su reconocimiento. *Acta Farm. Bonaerense*, Vol 3, No. 2. 153-160.
- Woodburn AT. 2000. Glyphosate: production, pricing and use worldwide. [consultado el 10 de jul. de 2020]. *Pest Manag Sci*. 56:309-312. eng. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200004\)56:4<309:AID-PS143>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<309:AID-PS143>3.0.CO;2-C)

7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable Sanidad y Peso Seco.

Model Information	
Data Set	WORK.DSETZZ
Response Variable	SANIDAD
Response Distribution	Gaussian
Link Function	Identity
Variance Function	Default
Variance Matrix	Diagonal
Estimation Technique	Restricted Maximum Likelihood
Degrees of Freedom Method	Containment

Class Level Information		
Class	Levels	Values
DOSIS	6	0 0.34 0.68 1.02 1.36 1.7
BIOTIPO	2	BC BZ

Type III Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
BIOTIPO	1	60	1569.76	<.0001
DOSIS	5	60	125.74	<.0001
DOSIS*BIOTIPO	5	60	62.95	<.0001

Effect=BIOTIPO Method=LSD(P<.05) Set=1

Obs	DOSIS	BIOTIPO	Estimate	Standard Error	Mean	Standard Error of Mean	Letter Group
1	_	BC	86.9444	1.1948	86.9444	1.1948	A
2	_	BZ	20.0000	1.1948	20.0000	1.1948	B

Continuación Anexo 1

Effect=DOSIS Method=LSD(P<.05) Set=2

Obs	DOSIS	BIOTIPO	Estimate	Standard Error	Mean	Standard Error of Mean	Letter Group
3	0		100.00	2.0694	100.00	2.0694	A
4	0.34		50.0000	2.0694	50.0000	2.0694	B
5	0.68		48.3333	2.0694	48.3333	2.0694	BC
6	1.02		43.3333	2.0694	43.3333	2.0694	CD
7	1.36		40.0000	2.0694	40.0000	2.0694	D
8	1.7		39.1667	2.0694	39.1667	2.0694	D

Effect=DOSIS*BIOTIPO Method=LSD(P<.05) Set=3

Obs	DOSIS	BIOTIPO	Estimate	Standard Error	Mean	Standard Error of Mean	Letter Group
9	0	BC	100.00	2.9266	100.00	2.9266	A
10	0	BZ	100.00	2.9266	100.00	2.9266	A
11	0.34	BC	90.0000	2.9266	90.0000	2.9266	B
12	0.34	BZ	10.0000	2.9266	10.0000	2.9266	D
13	0.68	BC	88.3333	2.9266	88.3333	2.9266	B
14	0.68	BZ	8.3333	2.9266	8.3333	2.9266	DE
15	1.02	BC	85.0000	2.9266	85.0000	2.9266	BC
16	1.02	BZ	1.6667	2.9266	1.6667	2.9266	EF
17	1.36	BC	80.0000	2.9266	80.0000	2.9266	C
18	1.36	BZ	1.39E-15	2.9266	1.39E-15	2.9266	F
19	1.7	BC	78.3333	2.9266	78.3333	2.9266	C
20	1.7	BZ	-182E-16	2.9266	-182E-16	2.9266	F

Continuación Anexo 1

Model Information	
Data Set	WORK.DSETZZ
Response Variable	PESO SECO (%en base al control)
Response Distribution	Gaussian
Link Function	Identity
Variance Function	Default
Variance Matrix	Diagonal
Estimation Technique	Restricted Maximum Likelihood
Degrees of Freedom Method	Containment

Class Level Information		
Class	Levels	Values
DOSIS	6	0 0.34 0.68 1.02 1.36 1.7
BIOTIPO	2	BC BZ

Type III Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
BIOTIPO	1	60	369.22	<.0001
DOSIS	5	60	81.48	<.0001
DOSIS*BIOTIPO	5	60	14.90	<.0001

Effect=BIOTIPO Method=LSD(P<.05) Set=1

Obs	DOSIS	BIOTIPO	Estimate	Standard Error	Mean	Standard Error of Mean	Letter Group
1	_	BC	83.1331	1.3004	83.1331	1.3004	A
2	_	BZ	47.7964	1.3004	47.7964	1.3004	B

Continuación Anexo 1

Effect=DOSIS Method=LSD(P<.05) Set=2

Obs	DOSIS	BIOTIPO	Estimate	Standard Error	Mean	Standard Error of Mean	Letter Group
3	0		100.00	2.2523	100.00	2.2523	A
4	0.34		72.8108	2.2523	72.8108	2.2523	B
5	0.68		66.9100	2.2523	66.9100	2.2523	B
6	1.02		60.3258	2.2523	60.3258	2.2523	C
7	1.36		51.9533	2.2523	51.9533	2.2523	D
8	1.7		40.7883	2.2523	40.7883	2.2523	E

Effect=DOSIS*BIOTIPO Method=LSD(P<.05) Set=3

Obs	DOSIS	BIOTIPO	Estimate	Standard Error	Mean	Standard Error of Mean	Letter Group
9	0	BC	100.00	3.1853	100.00	3.1853	A
10	0	BZ	100.00	3.1853	100.00	3.1853	A
11	0.34	BC	94.0233	3.1853	94.0233	3.1853	AB
12	0.34	BZ	51.5983	3.1853	51.5983	3.1853	F
13	0.68	BC	89.1983	3.1853	89.1983	3.1853	BC
14	0.68	BZ	44.6217	3.1853	44.6217	3.1853	FG
15	1.02	BC	82.1617	3.1853	82.1617	3.1853	C
16	1.02	BZ	38.4900	3.1853	38.4900	3.1853	GH
17	1.36	BC	71.9883	3.1853	71.9883	3.1853	D
18	1.36	BZ	31.9183	3.1853	31.9183	3.1853	H
19	1.7	BC	61.4267	3.1853	61.4267	3.1853	E
20	1.7	BZ	20.1500	3.1853	20.1500	3.1853	I

Anexo 2. Curva ajustada del modelo logístico de cuatro parámetros para la variable Sanidad.

Modelo	AICc	BIC	SSE	MSE	RMSE	R cuadrado
Logístico de 4 parámetros	502.38909	519.97586	3381.561	52.83689	7.2688988	0.974427

Estimaciones de los parámetros

Parámetro	Agrupar	Estimación	Error estándar	Ji cuadrado de Wald	Prob > Ji cuadrado	Extremo inferior del IC al 95%	Extremo superior del IC al 95%
Tasa de crecimiento	BC	-0.865733	6.3250222	0.0187346	0.8911	-13.26255	11.531083
Punto de inflexión	BC	-12.00051	244460.35	2.4098e-9	1.0000	-479145.5	479121.48
Asíntota inferior	BC	72.517057	48.38124	2.246603	0.1339	-22.30843	167.34255
Asíntota superior	BC	865622.4	1.831e+11	2.235e-11	1.0000	-3.59e+11	3.589e+11
Tasa de crecimiento	BZ	-6.941256	13.191117	0.2768936	0.5987	-32.79537	18.912859
Punto de inflexión	BZ	-1.177472	2498.3746	2.2212e-7	0.9996	-4897.902	4895.5468
Asíntota inferior	BZ	1.9701184	1.8525681	1.1309316	0.2876	-1.660848	5.6010851
Asíntota superior	BZ	347323.17	6.0161e+9	3.333e-9	1.0000	-1.18e+10	1.179e+10

Anexo 3. Curva ajustada del modelo logístico de cuatro parámetros para la variable Peso Seco.

Modelo	AICc	BIC	SSE	MSE	RMSE	R cuadrado
Logístico de 4 parámetros	525.02267	542.60944	4630.6289	72.353576	8.5060905	0.9165106

Parámetro	Agrupar	Estimación	Error estándar	Ji cuadrado de Wald	Prob > Ji cuadrado	Extremo inferior del IC al 95%	Extremo superior del IC al 95%
Tasa de crecimiento	BC	-0.625527	0.6454102	0.9393348	0.3324	-1.890508	0.6394538
Punto de inflexión	BC	24.14002	3051680.3	6.257e-11	1.0000	-5981159	5981207.7
Asíntota inferior	BC	-73056808	1.395e+14	2.744e-13	1.0000	-2.73e+14	2.733e+14
Asíntota superior	BC	119.85186	0	.	<.0001*	119.85186	119.85186
Tasa de crecimiento	BZ	-2.433802	1.876206	1.6827111	0.1946	-6.111098	1.2434939
Punto de inflexión	BZ	-3.934599	6576.9163	3.579e-7	0.9995	-12894.45	12886.584
Asíntota inferior	BZ	26.703768	4.9863523	28.680002	<.0001*	16.930697	36.476839
Asíntota superior	BZ	1034121	1.654e+10	3.9071e-9	1.0000	-3.24e+10	3.243e+10