



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE
ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL
DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO - MAÍZ, EN SUCUMBÍOS.**

**Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera en Recursos Naturales
Renovables**

AUTORA:

Mariela Elizabeth Rosas Castillo

DIRECTOR:

Ing. M.Sc. Jorge Revelo

Ibarra-Ecuador

2012

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE
ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL
DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO – MAÍZ, EN SUCUMBÍOS.**

**Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener el Título de:**

“INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES”

APROBADA:

Ing. Jorge Revelo, M.Sc.
Director

Dr. Nelson Gallo, M.Sc.
Asesor

Ing. Franklin Valverde, M.Sc.
Asesor

Dr. Marcelo Dávalos, M.Sc.
Asesor

Ibarra – Ecuador

2012



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
Cédula de identidad:	100287002-8	
Apellidos y nombres:	Rosas Castillo Mariela Elizabeth	
Dirección:	Cdla. San Andrés, Jesús Yerovi 2-27 y Quito, Ibarra	
E-mail:	marieli.rosas.13@gmail.com	
Teléfono fijo:	062546967	Teléfono móvil: 0997010888

DATOS DE LA OBRA	
Título:	Movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, persistencia y daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto – maíz, en Sucumbíos.
Autora:	Rosas Castillo Mariela Elizabeth
Fecha:	23 de Noviembre del 2012
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniera Recursos Naturales Renovables
Director:	Ing. Jorge Revelo, M.Sc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, MARIELA ELIZABETH ROSAS CASTILLO, con cédula de ciudadanía Nro.100287002-8; en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 143.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra 23 de Noviembre del 2012.

AUTORA:

ACEPTACIÓN:

Mariela Rosas C.
C.C: 100287002-8

Ing. Bethy Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **MARIELA ELIZABETH ROSAS CASTILLO** con cédula de ciudadanía Nro. 100287002-8; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominada **“MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO – MAÍZ, EN SUCUMBÍOS”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Mariela Elizabeth Rosas Castillo

C.C.: 100287002-8

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 23 de Noviembre del 2012

Mariela Elizabeth Rosas Castillo, MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO – MAÍZ, EN SUCUMBÍOS / TRABAJO DE GRADO. Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Noviembre 2012. 92 pág. 9 anexos.

DIRECTOR: Ing. M.Sc. Jorge Revelo

El objetivo principal de la presente investigación fue, generar información mediante experimentación de campo, sobre la “Movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, persistencia y daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto – maíz, en Sucumbíos”. Los resultados obtenidos, permitieron determinar el impacto que ocasiona este herbicida al sistema de cultivo pasto-maíz.

Fecha: 23 de Noviembre del 2012

f) Ing. M.Sc. Jorge Revelo

f) Mariela Elizabeth Rosas Castillo

PRESENTACIÓN

Las ideas, conceptos, resultados, discusiones, conclusiones y más informes que se presentan en esta investigación son de absoluta responsabilidad de la autora.

Mariela Rosas C.

DEDICATORIA

A Dios, mi padre celestial por ser mi fuerza y la luz que me guía en todo momento.

A mis padres por su esfuerzo, por su apoyo incondicional, por su paciencia, por su amor, por haberme inculcado valores y sentimientos nobles.

A mis hermanos y a toda mi querida familia por su amor y su apoyo en diferentes aspectos.

A mis amigos, compañeros de largas jornadas de trabajo en especial a Belén Quinchiguango y al Ing. Luis Unigarro.

A todas las personas que me prestaron su ayuda para terminar con éxito esta investigación y así poder terminar esta etapa muy importante de mi vida.

Mariela

GRADDECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte UTN, a la Secretaria Nacional de Estudios Superiores Ciencia y Tecnología SENESCYT por patrocinar la investigación a través del Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica CUICYT. A la Estación Experimental Santa Catalina INIAP en especial a la Ing. Betty Paucar también extendiendo mi agradecimiento al laboratorio de Ecotoxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en especial a Dr. Ramiro Castro.

Mis más afectuosos y sinceros agradecimientos al Ing. Jorge Revelo, como Director de Tesis, por su paciencia, por su entrega y por la orientación brindada durante toda la investigación.

Muchas gracias también al Ing. Carlos Cazco por haberme brindado la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis en el Centro Universitario de Investigación, al Dr. Marcelo Dávalos (Asesor), Ing. Franklin Valverde (Asesor), Dr. Nelson Gallo (Asesor), Ing. Oscar Rosales (Asesor), Ing. Luis Unigarro (Supervisor de campo), porque gracias a su apoyo y sugerencias se pudo finalizar con éxito este trabajo.

Mariela

ÍNDICE

CAPÍTULO I

	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETIVOS	3
1.1.1	General	3
1.1.2.	Específicos	3
1.2.	HIPÓTESIS	4

CAPÍTULO II

	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1.	¿Qué es el glifosato?	5
2.2.	Surfactantes y adherentes asociados al glifosato	6
2.3.	Uso de glifosato en actividades agrícolas y forestales	7
2.4.	Uso en aspersiones aéreas	8
2.4.1.	Consecuencias de la aspersión aérea del glifosato para el control de cultivos ilícitos	9
2.5.	Destino ambiental e impacto ecológico del glifosato	11
2.5.1.	Movilidad del glifosato en el suelo	11

2.5.2.	Movilidad del glifosato en el agua	13
2.5.3.	Persistencia del glifosato en el suelo	14
2.5.4.	Persistencia del glifosato en el agua	15
2.5.5.	Persistencia del glifosato en tejido vegetal	16
2.5.6.	Efecto del glifosato en la macro y microbiota del suelo	16
2.5.7.	Efecto del glifosato en peces	17
2.5.8.	Efecto de glifosato en plantas y alimentos	18
2.6.	Generalidades de los cultivos y peces empleados en la investigación	19

CAPÍTULO III

	MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1.	Descripción del área donde se realizaron los experimentos	23
3.2.	<i>Primer experimento:</i>	24
	Determinación de la persistencia y movilidad del glifosato en el tejido de pasto, en el suelo, en agua de escurrimiento, tejido de peces y grano de maíz; daño en tejido de pasto, en maíz y su efecto en la actividad microbiológica del suelo	
3.2.1.	Factor en Estudio	24
3.2.2.	Tratamientos	25
3.2.3.	Diseño experimental	25
3.2.4.	Características del experimento	25
3.2.5.	Características de la unidad experimental	26
3.2.6.	Variables y métodos de evaluación	26
3.2.6.1.	Necrosamiento del tejido de pasto	26
3.2.6.2.	Presencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto	27
3.2.6.3.	Presencia de glifosato y AMPA en el suelo	27
3.2.6.4.	Poblaciones de microorganismos del suelo	27
3.2.6.5.	Presencia de glifosato y AMPA en: agua de escurrimiento, agua del estanque de peces, tejido de peces y tejido de follaje y grano	28

	del maíz	
3.2.6.6.	Germinación	28
3.2.6.7.	Rendimiento de grano de maíz	28
3.2.7.	Manejo específico del experimento	29
3.3.	<i>Segundo experimento:</i>	33
	Determinación del efecto de glifosato en peces por exposición directa	
3.3.1.	Factor en Estudio	33
3.3.2.	Tratamientos	33
3.3.3.	Unidad experimental	34
3.3.4.	Diseño experimental	34
3.3.5.	Características del experimento	35
3.3.6.	Variables y métodos de evaluación	35
3.3.6.1.	Mortalidad de peces	35
3.3.6.2.	Presencia de glifosato y AMPA en agua	35
3.3.6.3.	Presencia de glifosato y AMPA en el tejido de peces	35
3.3.6.4.	pH, temperatura y conductividad eléctrica	35
3.3.7.	Manejo específico del experimento	36

CAPÍTULO IV

	RESULTADOS Y DISCUSIONES	38
4.1.	Determinación de la movilidad y persistencia del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, tejido de peces, grano de maíz, y daño en pasto, maíz y en la población de microorganismos del suelo	38
4.1.1.	Necrosamiento del tejido de pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>)	38
4.1.2.	Presencia y persistencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto	42
4.1.3.	Presencia y movilidad de glifosato y AMPA en el suelo	44
4.1.4.	Población de microorganismos del suelo	46
4.1.5.	Presencia y movilidad de glifosato en agua de escurrimiento y	47

	agua del estanque de peces	
4.1.6.	Presencia de glifosato en el tejido de peces	48
4.1.7.	Presencia de glifosato en el tejido del follaje y en el grano del maíz	49
4.1.8.	Germinación del maíz	50
4.1.9.	Rendimiento de grano de maíz	51
4.2.	Determinación del efecto del herbicida Roundup _{SL} (glifosato 48%) en peces	51
4.2.1.	Mortalidad de peces	51
4.2.2.	Presencia de glifosato y AMPA en agua	54
4.2.3.	Presencia de glifosato y AMPA en el tejido de peces	54
4.2.4.	Parámetros de calidad del agua registrados durante el experimento	55
4.2.5.	Comprobación	56

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES	58
--------------	----

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES	60
-----------------	----

CAPÍTULO VII

RESUMEN	61
---------	----

CAPÍTULO VIII

SUMMARY	63
---------	----

CAPÍTULO IX

BIBLIOGRAFÍA	65
--------------	----

CAPÍTULO X

ANEXOS	74
--------	----

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Tema	Pág.
1.	Denuncia de pérdidas por las aspersiones de glifosato en Sucumbíos	10
2.	Tratamientos evaluados para determinar la persistencia, movilidad y daño del glifosato en el sistema de cultivo pasto-maíz y en peces	25
3.	Componente y cantidad para obtener el volumen de la mezcla del herbicida de cada tratamiento	32
4.	Tratamientos evaluados para determinar el efecto del glifosato en peces por exposición directa	33
5.	Cantidad de cada componente para obtener el volumen de la mezcla asperjada en el estanque de peces, según los tratamientos considerados	37
6.	Tiempo requerido para necrosar el 100 % del follaje del pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>) según la dosis de Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2010-2011	39
7.	Presencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>). Sucumbíos, 2010-2011	43
8.	Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en dos sustratos del suelo, de 0 a 20 y 20 a 50 cm de profundidad. Sucumbíos, 2010-2011	46
9.	Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua de escurrimiento. Sucumbíos, 2010-2011	48
10.	Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en el agua del estanque de peces. Sucumbíos, 2010-2011	48
11.	Presencia de glifosato y AMPA en tejido de peces del estanque donde se colectó el agua de escurrimiento de las parcelas con pasto aplicado	49

	Roundup _{SL} , para conocer la movilidad del herbicida. Sucumbíos, 2010-2011	
12.	Presencia de glifosato y AMPA en tejido de follaje y en el grano del maíz. Sucumbíos, 2010-2011	50
13.	Análisis de varianza del número de plantas germinadas de maíz. Sucumbíos, 2010-2011	50
14.	Análisis de varianza del rendimiento de maíz. Sucumbíos, 2010-2011	51
15.	Porcentaje de peces muertos mediante aplicación directa de Roundup _{SL} (glifosato 48%). Sucumbíos, 2010-2011	52
16.	Dosis de Roundup _{SL} aplicada en los estanques por tratamiento, concentración de glifosato en el estanque, CL ₅₀ de Roundup _{SL} para cachama y tilapia; y dosis requerida de Roundup _{SL} /estanque, para causar 50% de mortalidad. Sucumbíos, 2010-2011	53
17.	Presencia de glifosato y AMPA en agua de estanques de peces con aplicación directa de Roundup _{SL} (glifosato 48%). Sucumbíos, 2010-2011	54
18.	Presencia de Glifosato y AMPA (mg/kg) en el tejido de peces cachama roja y tilapia roja. Sucumbíos, 2010-2011	55
19.	Parámetros de calidad del agua de los estanques antes y después de la aplicación de las dosis de glifosato. Sucumbíos, 2010-2011	56
20.	Valoración de impactos ambientales	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

No.	Tema	Pág.
1.	Tejido requerido para necrosar el 100% del follaje de pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>) según la dosis de Roundup _{SL} . Sucumbíos, 2010-2011	39
2.	Persistencia de glifosato en tejido de pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>). Sucumbíos, 2010-2011	44
3.	Correlación entre dosis de glifosato y poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno. Sucumbíos, 2010-2011	47

ÍNDICE DE FOTOS

No.	Tema	Pág.
1.	Ubicación de la parcela de escurrimiento en la parcela experimental	29
2.	Vista panorámica del experimento que muestra la distribución de las unidades experimentales, las parcelas de escurrimiento, los canales de drenaje y el estanque de peces	30
3-4.	Implementación del estanque de cría de peces para evaluación del efecto del glifosato llevado por el agua de escurrimiento	30
5.	Especies de peces utilizados en el experimento	31
6.	Aplicación de los tratamientos de Roundup _{SL}	31
7.	Disposición de las unidades experimentales en el ensayo, en campo	34
8-9.	Sistema de oxigenación	36
10.	Determinación del peso	36
11.	Determinación del tamaño	36
12.	Aplicación de los tratamientos	37
13-14.	Aspecto del pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>), antes y una semana después de aplicar los tratamientos	40
15-16-17.	Aspecto del pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>), dos, tres y cuatro semanas después de aplicar los tratamientos	41
18-19.	Cobertura de las parcelas por el follaje del pasto, antes de la aspersión	45
20.	Vista de la pecera de experimentación	57

ÍNDICE DE ANEXOS

No.	Tema	Pág.
1.	Mapa de ubicación del experimento	74
2.	Croquis de campo	75
3.	Análisis Foliar de Pasto Dallis (<i>Brachiaria decumbens</i>)	76
4.	Características físico-químicas del suelo del ensayo, antes de la aplicación de glifosato. Sucumbíos, 2011-2012.	77
5.	Población de microorganismos determinada antes y después de dos días de aplicar cinco dosis de glifosato. Sucumbíos, 2010-2011.	78
6.	Número de plantas de maíz germinadas por parcela neta	79
7.	Rendimiento de maíz (kg/ha)	79
8.	Fotografías de las actividades realizadas en el ensayo “Movilidad y persistencia de glifosato en el sistema de cultivo pasto maíz”. Sucumbíos; 2010-2011.	80
9.	Estudio de Impacto Ambiental	87

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los herbicidas que contienen como ingrediente activo el glifosato, son sistémicos, de espectro amplio y de post-emergencia. Actúan inhibiendo la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa, esencial en plantas y microorganismos para producción de aminoácidos aromáticos. Tales herbicidas han sido utilizados por varias décadas en la agricultura a nivel mundial y desde 1992 en la frontera Ecuador- Colombia para la erradicación de cultivos ilícitos a través del Plan Colombia (Martínez *et al.*, 2011). Una de las estrategias del Plan Colombia consistía en la fumigación aérea de herbicidas químicos. Se estima que la mezcla utilizada fue Roundup Ultra (44% de glifosato) + 55% de agua y 1% de Cosmo Flux (Tribunal Administrativo de Cundinamarca, 2003).

Existen muchos reportes de los impactos en el ambiente de su uso agrícola y de la deriva de las fumigaciones aéreas de glifosato. De manera general, apuntan a que el herbicida Roundup (glifosato) contamina el suelo, el aire, las fuentes de agua, destruye los cultivos lícitos, afecta los animales de cría y los peces, recursos que constituyen la base de la sobrevivencia de las comunidades que habitan en las zonas asperjadas. Señalan, además, que su uso en aspersiones aéreas, atenta contra la biodiversidad de flora y fauna de la Amazonía, únicas en el mundo, afectan la salubridad pública y destacan que, al destruir la cobertura vegetal de pastos, cultivos y bosques, el suelo queda expuesto afectando a los microorganismos que son fundamentales para la vida del mismo (Acción Ecológica, 2003; Amicus Curiae, 2009; CIF, 2003)

En la mayoría de veces, los estudios sobre los efectos del glifosato en el ambiente, son contradictorios. Algunos autores (Sprankle *et al.*, 1975; Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000; Solomon *et al.*, 2005, Monsanto, 2005), reportan que no han encontrado efectos significativos sobre el suelo, agua y peces; en cambio otros (Mendoza *et al.*, 1999; Navia, 2001; Comisión Científica Ecuatoriana, 2007; Eslava *et al.*, 2007; Amicus Curiae, 2009), reportan lo contrario.

La necesidad de disponer de datos experimentales de los efectos del glifosato en el ambiente, especialmente acerca de la movilidad del glifosato en el suelo, en agua de escorrentía, en agua de estanque de peces, en cultivos y de los efectos en la microbiota del suelo, en peces y en el cultivo de maíz, justificaron la realización de la presente investigación en Sucumbíos, zona fronteriza con Colombia. Para este fin, seis dosis de Roundup_{SL} (glifosato 48%), fueron aplicadas a pasto Dallis para eliminarlo antes de sembrar maíz y luego realizar el seguimiento de la movilidad, persistencia y probables daños del glifosato a la microbiota del suelo, a peces y al maíz.

Los resultados obtenidos permitirán determinar los posibles impactos en el ambiente por el uso de glifosato en la agricultura y predecir los efectos de la deriva de las aspersiones aéreas al ambiente e identificar recomendaciones de prevención y remediación.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Generar información experimental de la movilidad y persistencia del glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, tejido de maíz y peces, y el daño a pasto, maíz, microbiota del suelo y a peces.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a.** Determinar la movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz
- b.** Determinar la persistencia de glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz
- c.** Determinar el daño que el glifosato causa al tejido de pasto y al siguiente cultivo de maíz
- d.** Determinar el efecto del glifosato en la actividad microbológica del suelo
- e.** Establecer el efecto del glifosato en peces

1.2. HIPÓTESIS

Ho: La movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque, tejido de peces, follaje y grano de maíz, es baja.

Ha: La movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque, tejido de peces, follaje y grano de maíz, es alta.

Ho: La persistencia de glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz, es menor a dos meses.

Ha: La persistencia del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano de maíz, es mayor a dos meses.

Ho: El daño que glifosato causa al tejido de pasto, no es significativo.

Ha: El daño que glifosato causa al tejido de pasto, es significativo.

Ho: El glifosato aplicado al pasto no causa daño al maíz.

Ha: El glifosato aplicado al pasto si causa daño al maíz.

Ho: El glifosato no afecta la actividad microbiológica del suelo.

Ha: El glifosato sí afecta la actividad microbiológica del suelo.

Ho: La dosis de glifosato usada en las aspersiones aéreas del Plan Colombia, no afecta a los peces tilapia roja y cachama roja.

Ha: La dosis de glifosato usada en las aspersiones aéreas del Plan Colombia, afecta a los peces tilapia roja y cachama roja.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ¿Qué es el glifosato?

El **glifosato** (N-fosfometil-glicina, $C_3H_8NO_5P$, CAS 1071-83-6) es un herbicida no selectivo de amplio espectro, desarrollado para eliminar plantas no deseables (malezas) en campos de cultivos, lugares de recreación y jardines privados. Es un derivado del aminoácido glicina, con ácido fosfórico unido al radical amino. Es un ácido pero es utilizado en forma de sal, más comúnmente como sal de isopropilamina. Las sales más utilizadas son la isopropilamina de glifosato e isopropilamina de N-(fosfometil) glicina (Martino, 1995). Es altamente soluble en agua y prácticamente insoluble en solventes orgánicos (Bravo, 2007).

El mecanismo de acción del glifosato es inhibir la actividad de la enzima enolpiruvil-shikimato-fosfato-sintetasa (EPSPS), importante en la síntesis de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptofano), usados en la síntesis de proteínas, esenciales para el crecimiento y sobrevivencia de las plantas (Bode, 1986).

Su nombre comercial más conocido es el Roundup (desarrollado por Monsanto) que, generalmente, contiene 480 g/L de sal isopropilamina (IPA) de glifosato y el surfactante POEA (polioxietil amina) (Dinham, 1999; EPA, 1999; Green Peace, 1997; Meister, 2000; Williams *et al.*, 2000; citados por Navia, 2001).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (1993), ubica al glifosato en la categoría III de toxicidad (etiqueta: “Precaución”).

Los metabolitos primarios y predominantes de la degradación microbiana del glifosato en el suelo son glioxilato y ácido aminometilfosfónico (AMPA) que eventualmente se degrada a agua, dióxido de carbono, amonio y fosfato (Rueppel *et al.*, 1977; citados por Salomón *et al.*, 2005). Este metabolito es más persistente que el glifosato, reportándose una vida media de 199 a 958 días (WHO, 1998). Según la EPA, debido a que el metabolito AMPA no se forma en los tejidos de los vegetales, no requiere ser sometido a regulación y, por consiguiente, ha recomendado se excluya de la regulación de tolerancias (Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000).

Al respecto, resultados obtenidos por Gaón (2012), concuerdan con lo señalado por la EPA (1993), quien en un experimento con árboles de cacao asperjados con glifosato, no detectó a este metabolito en muestras de tejido de follaje, flores, frutos y tallo.

2.2. Surfactantes y adherentes asociados al glifosato

Todo pesticida contiene, además del ingrediente activo, sustancias coadyuvantes, cuya función es facilitar su manejo o aumentar su eficacia (Navia, 2001). Los coadyuvantes son de dos tipos: los *surfactantes*, que se adicionan a la formulación comercial de los plaguicidas o posteriormente a la mezcla de aspersión y los *aceites de aspersión* que se añaden al tanque de mezcla.

Los surfactantes son coadyuvantes tensoactivos o agentes activos de superficie, utilizados para modificar la tensión superficial de la formulación o mezcla, contribuyendo a mejorar la actividad biológica del plaguicida.

El surfactante Polioxietileno amina (POEA), es utilizado para que el glifosato pase a través de la cutícula de las plantas, ya que esta tiene características no polares (Lipofílicas) que dificulta la absorción del químico (Kaczewer, 2002).

Al respecto, Burger *et al.*, (2004) señalan que los efectos tóxicos del Roundup provienen del surfactante Polioxietileno amina, el cual, de acuerdo con Brausch *et*

al., (2007), es extremadamente tóxico para los organismos acuáticos por ser un disruptor respiratorio de las membranas de los organismos acuáticos. En orden de toxicidad para bacterias, microalgas, protozoarios y crustáceos en ambientes acuáticos, es POEA >Roundup > glifosato ácido > isopropilamina (IPA) de glifosato (Tsui y Chu, 2003).

Por su parte, los aceites de aspersion son productos de aceites minerales y vegetales que mejoran la adherencia, disminuyen el lavado por lluvia, reducen la evaporación, permiten una retención más larga, mayor penetración y mejor cubrimiento de las micro gotas (Baeza y Morales, 1995; Parra, 1995, citados por Navia, 2001).

El adherente Cosmo-Flux 411F, es el más utilizado. Químicamente es una mezcla de aceite mineral y surfactantes especializados no iónicos con agentes de acoplamiento. El ingrediente activo es una mezcla de Esteres de Hexitan: alcoholes lineales + aryletoxilado (Cosmoagro, 2004). Mejora la adherencia y uniformidad de las preparaciones de agroquímicos, controlando la evaporación e hidrólisis del activo con cubrimiento total, garantizando concentración homogénea del activo por unidad de área y extendiendo el espectro de actividad biológica de los agroquímicos (EPA, 2003). De acuerdo con cifras del Consejo Nacional de Estupefacientes, el adherente Cosmo-Flux 411F puede incrementar hasta cuatro veces la acción biológica del herbicida Roundup, sugiriendo niveles relativos de exposición, 104 veces mayores que la dosis recomendada para aplicaciones agrícolas normales en Estados Unidos (Tribunal Administrativo de Cundinamarca, 2003).

2.3. Uso de glifosato en actividades agrícolas y forestales

Este herbicida es absorbido por las **hojas** y no por las **raíces**. El alto nivel de utilización del glifosato en la producción agrícola de prácticamente todos los países del mundo (desde los altamente industrializados hasta los países en vías de desarrollo), indican las ventajas de este herbicida.

Es un elemento clave para el sistema de implantación de cultivos sin roturación mecánica del suelo, más conocido como siembra directa o labranza cero o mínima. De ese modo, el glifosato está ligado al control de la erosión, a una menor compactación del suelo, al aumento de la fertilidad, a la conservación de los recursos hídricos, a la economía en maquinarias y combustibles y, como consecuencia, a la reducción en la emisión de dióxido de carbono.

El aumento sostenido de su uso en la agricultura se debe, en gran parte, a los cultivos transgénicos que han sido genéticamente modificados para tolerar el glifosato, como la soja RR, maíz, sorgo, canola, alfalfa, algodón y trigo, que permitieron a los granjeros controlar las malezas con facilidad, porque el glifosato no afecta a estos cultivos modificados.

En la actividad forestal se aplica glifosato para eliminar pastos y hierbas, antes de plantar pino y eucalipto. También es aplicado a tocones e inyectado a troncos y tallos.

En Ecuador, INIAP (2007) recomienda el uso de glifosato en áreas agrícolas, considerando aplicaciones dirigidas con pantalla en cultivos perennes y totales sobre áreas no cultivadas como en aquellas donde se practica la labranza cero o mínima con equipo acoplado al tractor, nunca con equipo aéreo. La dosis que recomienda aplicar varía de 2 a 4 l/ha, considerando dosis menores para especies anuales y mayores para especies perennes.

2.4. Uso en aspersiones aéreas

El glifosato es uno de los herbicidas más usados por el gobierno de Estados Unidos para asperjar campos de cultivo de coca y amapola en Colombia, considerado en el Plan Colombia. Sus efectos a la salud humana, al ambiente, a los cultivos legales y la efectividad en el combate de las drogas, están ampliamente documentados (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

El producto y dosis del o los herbicidas utilizados en el Plan Colombia, se desconocen, sin embargo, según fuentes oficiales se fumiga un promedio de 23,66 litros (6,25 galones/ha) del herbicida Roundup con sus ingredientes activos {glifosato N-(fosfonometil) glicina (44%) + POEA (polioxietileno amina)} + Cosmoflux (1%) + agua (55%) (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

2.4.1. Consecuencias de la aspersión aérea del glifosato para el control de cultivos ilícitos

En diciembre del 2000 se iniciaron las fumigaciones en Colombia sin un plan de manejo ambiental para el territorio colombiano y los departamentos del Putumayo y Nariño, limítrofes con Ecuador. Es decir, no se diseñaron un conjunto de programas, acciones y medidas concretas de manejo ambiental relacionadas con la prevención, control, compensación y corrección, para los posibles impactos y efectos causados por el programa de erradicación con glifosato, porque no se habían realizado investigaciones sobre los efectos en la salud humana, el agua, suelos, flora y fauna del bosque y en cultivos de ecosistemas compartidos con Ecuador (Tribunal Administrativo de Cundinamarca, 2000).

De igual forma, según Amicus Curiae (2009), no se dispone de información confiable sobre la presencia y efectos de las aspersiones de glifosato, de sus derivados y de sus coadyuvantes en la flora y fauna silvestre y doméstica, en el suelo y en los cuerpos de agua por la deriva de la fumigación aérea que continuamente realizó Colombia en la frontera norte de Ecuador.

Tampoco se cuenta con información confiable sobre las consecuencias de las fumigaciones en los cultivos agrícolas y en la biodiversidad del bosque nativo.

Desde el año 2000, la prensa ecuatoriana recogió los primeros impactos relacionados con esta práctica en la provincia de Sucumbíos que limita con el Departamento del Putumayo (Álvarez, 2008). Los pobladores de la zona informaron que después de las aspersiones, los cultivos de café, cacao, plátano, caña, yuca, arroz, frutales y potreros, presentaron follaje de color amarillento,

negro y finalmente seco, con apariencia de haber sido quemado (Acción Ecológica, 2003). En el Cuadro 1 se presenta las pérdidas económicas en la provincia de Sucumbíos debido a las fumigaciones aéreas con glifosato.

Cuadro 1. Denuncia de pérdidas por las aspersiones de glifosato en Sucumbíos.

Cultivos	Hectáreas Dañadas N°	Porcentaje	Animales	Animales Muertos N°	Porcentaje
Café	1215	47,4	Peces	6355	53,7
Potrero	785	30,6	Gallinas	4681	39,6
Plátano	182	7,1	Chanchos	315	2,7
Arroz	103	4,0	Vacas	188	1,6
Maíz	87	3,4	Cuyes	117	1,0
Cacao	79	3,1	Patos	73	0,6
Frutales	53	2,0	Perros	49	0,4
Yuca	51	2,0	Caballos	43	0,4
Total	2560		Total	11828	

Fuente: Acción Ecológica, 2003

Debido a las denuncias de agricultores ecuatorianos del cordón fronterizo el 2 de julio del 2001, el Gobierno del Ecuador solicita al Gobierno de Colombia, que las aplicaciones de las formulaciones químicas utilizadas en su territorio se realicen al menos a 10 kilómetros de la frontera con el Ecuador, para prevenir que la dispersión causada por los vientos, llegue a territorio ecuatoriano y produzca efectos nocivos para las personas y para la vegetación.

Sin embargo, estudios realizados en la zona de frontera demostraron que las fumigaciones en Colombia se efectuaron a menos de 10 kilómetros de la frontera con Ecuador. En algunos casos se fumigó hasta la orilla del Río San Miguel, afectando la deriva del producto (Acción Ecológica, 2003).

2.5. Destino ambiental e impacto ecológico del glifosato

Existen muchos reportes de los impactos en el ambiente de su uso agrícola y de la deriva de las fumigaciones aéreas de glifosato. De manera general, apuntan a que el herbicida Roundup (glifosato) contamina el suelo, el aire, las fuentes de agua, destruye los cultivos lícitos, afecta los animales de cría y los peces, recursos que constituyen la base de la sobrevivencia de las comunidades que habitan en las zonas asperjadas. Señalan, además, que su uso en aspersiones aéreas, atenta contra la biodiversidad de flora y fauna de la Amazonía, únicas en el mundo, afectan la salubridad pública y destacan que, al destruir la cobertura vegetal de pastos, cultivos y bosques, el suelo queda expuesto afectando a los microorganismos que son fundamentales para la vida del mismo (Acción Ecológica, 2003; Amicus Curiae, 2009; CIF, 2003).

En la mayoría de veces, los estudios sobre los efectos del glifosato en el ambiente, son contradictorios. Algunos autores (Sprankle *et al.*, 1975; Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000; Solomon *et al.*, 2005, Monsanto, 2005), reportan que no han encontrado efectos significativos sobre el suelo, agua y peces; en cambio otros (Mendoza *et al.*, 1999; Navia, 2001; Comisión Científica Ecuatoriana, 2007; Eslava *et al.*, 2007; Amicus Curiae, 2009), reportan lo contrario, como se anota a continuación.

2.5.1. Movilidad del glifosato en el suelo

Estudios realizados sobre la interacción del glifosato con los componentes del suelo, indican que el herbicida se inactiva rápidamente debido a su adsorción al suelo y no a una degradación química o biológica (Sprankle *et al.*, 1975).

El glifosato por tener una carga eléctrica positiva, al entrar en contacto con el suelo, cargado negativamente, es rápidamente inmovilizado y no disponible para la absorción vía radicular. Sin embargo, existen elementos minerales que compiten por estos sitios como son el Ca, Fe y P, pudiendo formar sales con metales como Al y Fe (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

Al respecto, según la EPA citada por Navia (2001), indica que el glifosato al llegar al suelo, es fuertemente adsorbido aún en suelos con bajos contenidos de arcillas y materia orgánica, por lo cual, aunque es altamente soluble en agua, es considerado como inmóvil o casi inmóvil. Permanece en las capas superiores del suelo, siendo poco propenso a la percolación y con bajo potencial de escorrentía, excepto cuando es adsorbido por material coloidal o partículas suspendidas en el agua de escorrentía.

Por su parte, Chorbadjian y Kogan (2001) apuntan que la adsorción del glifosato al suelo depende del contenido de arcillas, tipo de arcilla, pH de la solución, composición iónica de la superficie de la arcilla y especialmente, de la concentración de glifosato en la solución. Destacan, además, que la montmorillonita posee una gran capacidad de adsorción de glifosato y más aún, en presencia de iones de hierro y aluminio.

Las partículas del suelo se enlazan a las moléculas del herbicida por medio de enlaces físicos y químicos. La estructura molecular determina la afinidad y la consecuente sorción por las partículas del suelo. Este proceso puede ser reversible o irreversible, dependiendo de las propiedades tanto del glifosato como del suelo. Se considera como sorción irreversible a la fracción del herbicida que no puede ser extraída del suelo. La movilidad y lixiviación de este compuesto en el suelo depende esencialmente de las características del proceso de sorción, puesto que un compuesto fuertemente sorbido quedará inmovilizado en el suelo, mientras que una sorción débil llevará a la lixiviación hacia capas más profundas del suelo (Van Beinum *et al.*, 2006).

Varios investigadores afirman que el glifosato puede ser fácilmente desorbido en algunas clases de suelo, o sea que se puede soltar de las partículas pudiendo ser muy móvil en el ambiente del suelo (Dinham, 1998).

Según Piccolo *et al.*, (1994), la adsorción del glifosato varía de acuerdo a los tipos de suelos, así, hay una menor adsorción en suelos con bajos contenidos de óxido

de hierro y de minerales en la arcilla. En algunos tipos de suelos se libera el 80% del herbicida adsorbido, mientras que otros liberan de 15 a 35%. Hay suelos que no retienen al glifosato el tiempo suficiente para su degradación microbiana, en cuyos casos el herbicida es muy móvil y puede penetrar en los niveles más bajos del suelo. Además, el glifosato puede unirse a sustancias hidrosolubles del humus, siendo responsables principales de la movilidad de los pesticidas en los niveles más profundos del suelo.

Al respecto, en un estudio realizado por Veiga *et al.*, (2001), en un suelo forestal en el noroeste de España, después de tratarlo con 5 y 8 l/ha de glifosato, determinaron la presencia de glifosato y AMPA en los sustratos de 0-20 cm y de 20 a 35 cm de profundidad, concluyendo una alta movilidad vertical del glifosato y AMPA en el suelo, que enriqueció con altas concentraciones a los horizontes subsuperficiales, donde la degradación es menor. Por su parte, Ruíz (2012), en un estudio realizado en un suelo de bosque húmedo tropical secundario de Sucumbíos-Ecuador, a los dos días de haber aplicado glifosato en el suelo, fue detectado en el sustrato de 0 a 5 y no en el de 5 a 20 cm, concluyendo que quedó retenido en el primer sustrato y que no fue movilizado por infiltración.

2.5.2. Movilidad del glifosato en el agua

Si se acepta el hecho de que el glifosato es fácilmente adsorbido a partículas de suelo, a pesar de ser altamente soluble en agua (12 g/l a 25°C) (Navia, 2001), se deduce que tendrá poco potencial para moverse y contaminar aguas superficiales y subterráneas.

Según la EPA, citada por Navia (2001), el glifosato mayormente puede entrar a ecosistemas acuáticos, por aspersión accidental, por deriva o por escorrentía superficial, y que, debido a su estado iónico en el agua, se espera que no se volatilice y desaparezca rápidamente como resultado de adsorción a partículas en suspensión como la materia orgánica y mineral, o sedimentos y, probablemente, por descomposición microbiana.

Pruebas realizadas por el Instituto de Investigaciones Geológicas de Dinamarca y Groenlandia (DGGRI), citado por Amicus Curiae (2009), determinaron que, al rociar glifosato en campos según las normas, éste se lava con el agua superficial en una concentración de 0,54 µm/L, sin dar lugar a que las bacterias en la tierra lo degraden antes de que alcance el agua del subsuelo

Feng *et al.*, (1990), citados por Navia (2001), en un experimento realizado en un bosque lluvioso templado costero de Canadá, concluyeron que la mayor concentración de glifosato en agua fue de 162 g/l, dos horas después de aplicar 2 kg/ha de Roundup por vía aérea en un afluente.

De forma similar, estudios realizados por la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (2004) en la zona de Sucumbíos, indican que después de una aplicación aérea, fueron encontradas trazas de glifosato en agua menores a 10µg/l, en muestras de Azul Chiquito y Río San Miguel (CEEA, 2004).

2.5.3. Persistencia del glifosato en el suelo

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2003) reporta que la vida media del glifosato en el suelo puede ser de hasta 60 días y añade que en estudios de campo los residuos se encuentran a menudo al año siguiente.

De acuerdo a datos recopilados por Cox (1995), el glifosato persiste 249 días en suelos agrícolas de Finlandia, entre 259 y 296 días en 8 sitios forestales en Finlandia, entre 1 y 3 años en Suecia y 335 días en un sitio forestal en Canadá. Señala que, en dos estudios realizados en Canadá, se determinó que el glifosato puede persistir entre 12 y 60 días en un cuerpo de agua luego de una aplicación directa y de 45 a 60 días en suelos de bosques. También que, luego de 360 días de la aplicación, se encontró de 6 a 18% del producto de los niveles iniciales, tanto en el suelo como en los residuos vegetales.

En trabajos realizados sobre la "Disipación Ambiental" del Glifosato y otros herbicidas, en suelos de cultivos ilícitos tratados experimentalmente en ciertas regiones de Panamá y Perú, con dosis sustancialmente más elevadas que las requeridas para fines normales de control de malezas, indican que no se detectaron residuos del producto parental, o de su principal metabolito (AMPA), en las muestras de suelos tomadas al cabo de 1,5 y 3 meses después de haber realizado los tratamientos sobre cultivos de coca (Helling, 1997, citado por Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000).

Según Wauchope (1992), el glifosato tiene persistencia moderada con una vida media típica de 47 días (TD₅₀, tiempo requerido para la desaparición de la mitad de la cantidad inicial de una sustancia en un medio determinado). Por su parte Weed Science Society of America (1994), reporta una vida media típica de 25 días, en laboratorio.

En experimentos de laboratorio, las máximas cantidades del metabolito AMPA determinadas en suelo arenoso-gredoso y aluvial-gredoso, fueron de 27 y 29%, respectivamente. De los datos obtenidos en éste estudio, se logran determinar valores de TD₅₀ para el AMPA, de aproximadamente 50 días en este tipo de suelos (Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000).

La vida media y la persistencia del glifosato en la solución del suelo es mayor en experiencias de laboratorio que en el campo debido a la ausencia de procesos de lavado (Tejada, 2009).

2.5.4. Persistencia del glifosato en el agua

La persistencia del glifosato en el agua es más corta que en los suelos. En Canadá se ha encontrado que persiste de 12 a 60 días en aguas de estanques y que es mayor su persistencia en los sedimentos del fondo. La vida media en sedimentos fue de 120 días en un estudio en Missouri, Estados Unidos (Navia, 2001).

La vida media del glifosato en un ambiente acuático se estima entre 7 y 14 días, siendo comparable a la del ácido aminometilfosfónico (AMPA), el principal metabolito de su descomposición bacteriana, en tanto que la de los surfactantes puede estimarse entre 21 y 42 días (Giesy *et al.*, 2000, citados por Albarracín *et al.*, 2011).

De acuerdo con Racke, *et al.*, (1997), citados por Salomón *et al.*, (2005), las mayores temperatura y humedad de la Amazonía, promueven una mayor actividad microbiológica y la degradación química de muchos plaguicidas.

2.5.5. Persistencia del glifosato en tejido vegetal

En el caso de la persistencia del glifosato en vegetales, según Feng y Thompson (1990), cuando la planta muere el glifosato está presente en los tejidos muertos y en descomposición, disipándose el 50% (TD₅₀) de los desechos de las hojas, en un tiempo de 8 a 9 días, en condiciones templadas de los bosques. Similar rapidez de disipación del glifosato ha sido observada en frutos por Siltanen *et al.*, (1981).

En cambio, en una investigación realizada por Gaón (2012), en árboles de cacao asperjados con glifosato, determinó que en los tejidos del cultivo, el glifosato fue degradado en un tiempo de 180 días bajo condiciones tropicales de la Amazonía.

2.5.6. Efecto del glifosato en la macro y microbiota del suelo

Según Navia (2011), el glifosato puede afectar algunas especies de invertebrados que habitan en el suelo, incluyendo a predadores benéficos como arañas y carábidos y especies detritívoras como lombrices de tierra.

De acuerdo con reportes de Joensen y Semino (2004), citados por la Comisión Científica Ecuatoriana (2007), señalan que en Argentina, la utilización de grandes cantidades de glifosato asociada al cultivo de soya transgénica, está afectando el equilibrio natural y la vida microbiana del suelo, originando problemas en la

descomposición de la materia orgánica y amenazando la biodiversidad y el futuro productivo de extensas comarcas.

Varios estudios demuestran la interferencia del glifosato en los procesos de fijación de nitrógeno, tanto en bacterias de vida libre como en bacterias que establecen relaciones simbióticas con plantas (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

Según Mendoza *et al.*, (1999), al aumentar las concentraciones del principio activo de cada herbicida se incrementa la fase de retardo del proceso de nitrificación, posiblemente como consecuencia de la reducción de poblaciones microbianas.

En estudios realizados con soya transgénica con resistencia al glifosato, Zablotowicz y Reddy (2004), citados por la Comisión Científica Ecuatoriana (2007), encontraron que la bacteria nitrificante *Bradyrhizobium japonicum*, que fija nitrógeno en las raíces de la soya, posee una enzima sensible al glifosato y que cuando está expuesta a este herbicida, acumula ácido shiquimico y ácidos hidroxibenzóicos, que inhibe el crecimiento y hasta la muerte de la bacteria, en gran cantidad.

De acuerdo a Dodd y Jeffries (1989) citados por Tuffi Santos *et al.*, (2005), es muy posible que el uso frecuente de herbicidas en una determinada área, provoque disminución selectiva de hongos micorrízicos en el campo (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

2.5.7. Efecto del glifosato en peces

De acuerdo con Salomón *et al.*, (2005), el glifosato es relativamente no tóxico para los animales ya que no poseen la vía de síntesis en la que actúa el herbicida.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2003), el uso del ingrediente activo del glifosato, por sí mismo, no implicaría un riesgo directo significativo en animales acuáticos, a pesar de que existe la probabilidad de efectos secundarios adversos debido a la pérdida de hábitat en el área de aspersión.

En una investigación realizada por Neskovic *et al.*, (1996), se indica que el glifosato es nocivo en concentraciones sub letales para la carpa (*Cyprinus carpio*). Entre los efectos se reportan cambios en la actividad enzimática a nivel de plasma, hígado, riñones y de alteraciones morfológicas en las branquias, hígado y riñones.

Las exposiciones cortas a Roundup (10 minutos a una concentración de 100000 µg/L) en la carpa (*Cyprinus carpio*) y en el bagre europeo (*Silurus glanis*), causaron una disminución de la actividad metabólica y fagocítica, así como de la respuesta proliferativa (Terech-Majewska, 2004, citado por Solomon *et al.*, 2005).

Eslava *et al.*, (2007), determinaron que las dosis de 120,0 mg/L de glifosato y de 0,96 mg/L de Cosmoflux, en 6 horas de exposición, causó la muerte de 21 peces de 40 g de peso (100%).

En un experimento realizado por Abdelghani (1997), para determinar la toxicidad aguda de tres herbicidas, resultó Roundup como el más tóxico en siluros (bagres) y Ojón "bluegill".

2.5.8. Efecto de glifosato en plantas y alimentos

El carácter sistémico del glifosato permite que luego de ser absorbido por el follaje, se trasloque a través de los tallos y raíces, a la planta entera. Este herbicida es particularmente efectivo porque la mayoría de las plantas lo metabolizan muy lentamente o no lo degradan, lo que explica su acción no selectiva y es acumulado, especialmente, en los tejidos meristemáticos (Prata *et al.*, 2003).

Algunos estudios realizados para conocer el proceso de metabolización en las plantas, con glifosato marcado con carbono 14, mostraron que el compuesto prácticamente no es metabolizado por los vegetales. Tan pronto como entra en contacto con el follaje, el compuesto se mueve en el sistema vascular, pudiendo llegar hasta las raíces en poco tiempo. Los primeros síntomas visibles, de su efecto en el follaje, ocurren a los cuatro a cinco días (Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000).

Según Dinham (1999), el glifosato también puede concentrarse en las partes que se usan como alimento; así, se ha encontrado glifosato en fresas, moras azules, frambuesas, lechugas, zanahoria y cebada, después de su aplicación.

En el Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos (2000), se menciona que, en un lapso de 4 semanas, entre la última aplicación y la cosecha de productos vegetales (frutas, por ejemplo), es seguro la no presencia de residuos de glifosato

Estudios realizados en Santa Fe, Argentina, sobre la presencia de glifosato y AMPA en la soja transgénica, mostraron que las hojas y los tallos acumularon de 1,9 a 4,4 mg/kg, respectivamente, y en los granos de 0,1 a 1,8 mg/kg (Arregui *et al.*, 2004, citados por Bozzo, 2010).

2.6. Generalidades de los cultivos y peces empleados en la investigación

- Pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*)

Es una gramínea perenne originaria del este de África Tropical, muy difundida en la selva baja y alta de la amazonia ecuatoriana. De crecimiento rastrero, con estolones, largos cuyos nudos al estar en contacto con el suelo, emiten raicillas dando origen a una nueva planta. Sus tallos son postrados y semierectos frondosos que forman una buena cobertura. La altura varía entre 50 y 70 cm. Las hojas son lanceoladas de color verde brillante de 15 a 20 cm de largo y de 8 a 10 mm de

ancho. La inflorescencia es una panícula de tres a cinco racimos ramificados (INIAP, 1997).

Puede alcanzar una altura de 93 cm, dependiendo de la distancia de siembra y su cobertura es mayor o menor. Una pradera establecida es considerada cuando presente más de 90% de cobertura, a los 90-120 días después de la siembra.

Se comporta bien en zonas localizadas desde el nivel del mar hasta 1000 msnm, con temperaturas de 20 a 25°C y precipitaciones de 1000 a 4000 mm. Persiste en suelos rojos, ácidos y de baja fertilidad. Resiste la sequía no muy prolongada y la quema. En la Amazonía ecuatoriana se encuentra en las provincias de Napo y Sucumbíos (230 a 300 msnm) y en Pastaza y Morona Santiago (800 y 900 msnm).

Presenta valores forrajeros promedios de 2792, 5613, 3983 y 6285 kg de materia seca/ha, en el período de máxima precipitación, con una frecuencia de corte de 3, 6, 9 y 12 semanas, respectivamente. En cambio, para la época de menor lluvia se registran rendimientos de 750, 1620, 2714 y 4349 kg de materia seca/ha.

El contenido de proteína cruda fluctúa de 12% a los 21 días a 9% a las 12 semanas, dependiendo de la edad de la planta y el nivel de fertilidad del suelo (INIAP, 1997).

- Maíz (*Zea mays*) variedad INIAP-H551.

El INIAP H-551, es un híbrido triple que tiene como padres a tres líneas endogámicas (S_4 B-523 x S_4 B-521 x S_4 B-520), obtenidas mediante autopolinización sucesiva y provienen de diferentes maíces básicos de amplia base genética y buen potencial de rendimiento (INIAP, 1990).

El híbrido de maíz INIAP H-551 emite su flor femenina entre los 50 y 52 días en la época lluviosa y entre los 60 y 62 días en la época seca. La altura de la planta oscila entre 216 y 230 cm. La mazorca está ubicada entre 114 y 120 cm de altura. El diámetro del tallo a la altura del segundo entrenudo es de 2 a 2,35 cm, la planta

tiene de 14 a 15 hojas y nudos, posee siete hojas desde la mazorca principal hasta la panoja. La mazorca es ligeramente cónica y tiene de 12 a 16 hileras de granos de color amarillo y textura cristalina con leve capa harinosa. La mazorca mide de 16,5 a 19,5 cm. El peso promedio de 1000 granos es de 424 gramos.

Para obtener un buen rendimiento es necesario realizar lo siguiente: adquirir semilla certificada, sembrar de 55000 a 65000 plantas por hectárea, dependiendo de la fertilidad del suelo, fertilizar con cuatro a cinco sacos de urea, aplicando en dos partes, a la siembra y a los 30 y 35 días de edad de las plantas. Si es necesario aplicar fósforo y potasio, estos elementos deben ser incorporados al suelo en el último pase de rastra. Sembrar tan pronto se inicien las lluvias para asegurar rendimientos altos (INIAP, 1990).

Ensayos de rendimiento del híbrido INIAP H-551, conducidos en la época seca del 2001, en Buena Fe y Pichilingue, arrojaron rendimientos de 2405 y 4291 kg/ha, respectivamente.

- Tilapia roja (*Oreochromis sp*)

Es originaria de África. Pueden llegar a medir hasta 40 cm de longitud total y pesar más de 2 kg. Es un pez de cuerpo comprimido, elongado, con boca terminal protráctil. La intensidad del color rojo depende de la variedad que se esté manejando. En general, es normal que presente un color rojo no tan intenso con parches más claros y manchas negras en la cabeza (Municipio de Cuyabeno, 2009).

- Cachama roja (*Piaractus brachypomus*)

Es un pez grande con escamas, de la cuenca del Amazonas, solo superado en tamaño por la cachama negra y el paiche. Puede llegar a medir 80 cm de longitud y pesar más de 20 kg. Es un pez de cuerpo muy comprimido y de forma ovoide. La intensidad en la coloración de la cachama roja varía, dependiendo en cierto

grado del agua donde se encuentre, pero en general el patrón de coloración se mantiene, observándose una coloración grisácea con reflejos azulosos en el dorso y en los flancos, el abdomen es blanquecino con ligeras manchas anaranjadas. La coloración en los alevinos es totalmente diferente, su cuerpo es plateado y la aleta anal y caudal son rojo intenso. No presenta ninguna mancha negra en la parte media del cuerpo.

Para un cultivo de peces de clima cálido como son la cachama y la tilapia, las características físicas y químicas del agua deben ser las siguientes: temperatura 23 a 28 °C, turbidez baja, color verde - incolora, oxígeno disuelto ≥ 3 ppm, pH 6,5 a 7,5, amonio 0,01 a 0,1 ppm, alcalinidad ≥ 20 ppm y dióxido de carbono ≤ 30 ppm (Municipio de Cuyabeno, 2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área donde se realizaron los experimentos

a) Ubicación Política y Geográfica

Región:	Administrativa 1
Provincia:	Sucumbíos
Cantón:	Lago Agrio
Parroquia:	Jambelí
Sector:	Malvinas 2
Lugar:	Finca “La Edita”
Coordenadas UTM:	x: 934566 Este y: 10017709 Norte
DATUM:	WGS 84
Zona:	18S
Altitud:	365 msnm

b) Características Climáticas

Temperatura media anual:	22-24 °C (INAMHI, 2008)
Precipitación media anual:	2000-2500 mm (INAMHI, 2008)
Tipo de Clima	Cálido Húmedo (Cañadas, 1983)
Zona de vida	Bosque húmedo tropical (Holdridge, 1967)

c) Taxonomía del suelo (USDA, 1999)

Orden:	INCEPTISOL
Suborden:	TROPEPT
Gran grupo:	DYSTROPEPT
Subgrupo:	Oxic y Typic DYSTROPEPTS

d) Características físicas y químicas del suelo (INIAP, 2012) (Anexo 4)

a investigación se realizó de septiembre del 2010 a diciembre del 2011, en la hacienda La Edita, ubicada en la zona Malvinas 2 del cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos (Anexo 1). El estudio se complementó con análisis de determinación de presencia de glifosato y del metabolito ácido aminometilfosfórico (AMPA) en muestras de suelo, agua, tejido de pasto, maíz y de peces, en el laboratorio de Ecotoxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable; análisis microbiológico de muestras de suelo en el laboratorio de Microbiología de Suelos del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la E. E. Santa Catalina-INIAP.

Para alcanzar los objetivos planteados, se ejecutaron dos experimentos (Anexo 2):

- Determinación de la movilidad y persistencia del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, tejido de peces, grano de maíz, y daño en pasto, maíz y en la población de microorganismos del suelo.
- Determinación del efecto de glifosato en peces mediante exposición directa

3.2. Primer experimento:

Determinación de la movilidad y persistencia del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, tejido de peces, grano de maíz, y daño en pasto, maíz y en la población de microorganismos del suelo.

3.2.1. Factor en Estudio

Herbicida Roundup^{SL} {(glifosato 48%) + POEA (surfactante: polioxietileno-amina)} + adherente Cosmo-flux 411F 1% + agua 51%.

3.2.2. Tratamientos

Se evaluaron 6 tratamientos: 5 dosis del herbicida Roundup_{SL} {(glifosato 48%) + POEA (surfactante: polioxietileno-amina)} + adherente Cosmo-flux 411F 1% + agua 51 % y 1 testigo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados para determinar la persistencia, movilidad y daño del glifosato en el sistema de cultivo pasto-maíz y en peces.

No.	Código	Descripción	
		Dosis de Roundup _{SL}	
		(gal/ha)	(cm ³ /24 m ²)
1	T1	6,25*	56,88
2	T2	4,69	42,66
3	T3	3,12	28,44
4	T4	1,57	14,22
5	T5	0,63**	7,39
6	T6(testigo)	0,00	0,00

*Dosis utilizada en el Plan Colombia

**Dosis de uso agrícola.

3.2.3. Diseño experimental

Los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con 4 repeticiones.

Con los datos de las variables se elaboraron cuadros y gráficos para determinar, la persistencia y movilidad del glifosato mediante la presencia o ausencia en el tejido de pasto, en el suelo, en agua de escurrimiento y del estanque, en el tejido de peces y en el tejido del follaje y grano del maíz.

3.2.4. Características del experimento

Número de Repeticiones:	4
Número de Tratamientos:	6
Número de unidades experimentales:	24
Superficie del ensayo:	1312 m ²

3.2.5. Características de la unidad experimental

Inicialmente las unidades experimentales estuvieron conformadas por pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) de 10 años de edad y 1,2 m de alto, en las cuales se aplicaron las dosis de glifosato para quemar el pasto.

Posteriormente, cuando el pasto fue quemado por el herbicida, se sembró maíz variedad INIAP-H551. La unidad experimental presentó las siguientes características:

Área de la unidad experimental:	24 m ² (6 m x 4 m)
Número de surcos de maíz/parcela:	5
Número de hoyos/surcos:	20
Números de semillas /hoyo:	2
Número de plantas de maíz/parcela:	200
Distancia de siembra de maíz:	0,30 m entre plantas y 0,80 m entre surcos
Características de la parcela neta:	
Área parcela neta:	12,96 m ² (5,40 m x 2,40 m)
Número de surcos:	3
Número de plantas de maíz:	54

3.2.6. Variables y métodos de evaluación

3.2.6.1. Necrosamiento del tejido de pasto

A partir del segundo día de la aspersion se realizaron registros semanales de porcentaje de tejido necrosado, hasta alcanzar el 100%. El tiempo requerido para alcanzar el necrosamiento total del tejido, se expresó en días.

3.2.6.2. Presencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto

Muestras compuestas de tejido de pasto, de las 4 repeticiones, tomadas a los 2, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación del herbicida, fueron analizadas en el laboratorio de Ecotoxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable para determinar presencia de glifosato y AMPA en mg/kg y establecer el tiempo de persistencia.

3.2.6.3. Presencia de glifosato y AMPA en el suelo

Muestras compuestas de suelo de las 4 repeticiones, tomadas a profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm, a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación del herbicida, fueron analizadas en el laboratorio de Ecotoxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, para determinar presencia de glifosato y AMPA en mg/kg y establecer la movilidad del herbicida en los dos sustratos.

3.2.6.4. Poblaciones de microorganismos del suelo

Antes de la aplicación del glifosato y dos días después, se tomaron muestras de suelo compuestas de las cuatro repeticiones en el sustrato 0 a 5 cm de profundidad, para determinar la población de microorganismos del suelo.

Para cuantificar los diferentes grupos de microorganismos se utilizaron los siguientes medios selectivos: Agar nutriente para bacterias totales, Agar Rosa de Bengala para hongos totales, Agar Caseína para actinomicetes, Agar Ramos Callao para solubilizadores de fósforo, Agar extracto suelo para celulolíticos totales, medio semisólido Watanabe para fijadores de nitrógeno. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Microbiología de Suelos del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP y las poblaciones se expresaron en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco (UFC/gss).

3.2.6.5. Presencia de glifosato y AMPA en: agua de escurrimiento, agua del estanque de peces, tejido de peces y tejido de follaje y grano del maíz.

Muestras compuestas de agua de escurrimiento, de las 4 repeticiones, muestras de agua del estanque y de tejido de los peces tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y cachama roja (*Piaractus brachypomus*), fueron tomadas a los 7, 15 y 30 días después de la aplicación del herbicida para determinar presencia de glifosato y AMPA en mg/kg.

En el cultivo de maíz se tomaron muestras compuestas de tallo, hojas y flores a los dos meses de edad del cultivo y de grano de maíz a la cosecha, para determinar presencia de glifosato y conocer si es trasladado desde el suelo hacia la planta.

Las muestras, correctamente etiquetadas, fueron llevadas al laboratorio de Eco toxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, para determinar la presencia de glifosato y del ácido aminometilfosfórico AMPA, mediante un cromatógrafo líquido Varian modelo 9010 (equipado con Derivatizador Post-columna PICKERING PCX 5200, detector de fluorescencia SHIMADZU modelo RF-551 y un integrador Hewlett Packard modelo HP 3392 serie II) y la metodología de Spann y Hargreaves (1994).

3.2.6.6. Germinación

A los 15 días de la siembra se registró el número de plantas germinadas y se expresó en porcentaje.

3.2.6.7. Rendimiento de grano de maíz

A la cosecha se registró el rendimiento del grano en kg/ha con 10% de humedad.

3.2.7. Manejo específico del experimento

Se seleccionó un lote de 1312 m² sembrado con pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) y con 20 % de pendiente.

Para conocer las características del suelo del área de estudio se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 20 y de 20 a 50 cm, las mismas que fueron enviadas al laboratorio para análisis químico y mineralógico.

En el terreno, 24 unidades experimentales fueron delimitadas con estacas y piola. En la parte inferior de cada parcela y a favor de la pendiente, se colocó un sistema de recolección de agua de escurrimiento de 1,44 m² (1,0 m x 1,15 m), construido con láminas de tol de 40 cm de alto y una abertura en la parte inferior donde se colocó un balde graduado para coleccionar el agua de escurrimiento (Fotos 1 y 2).



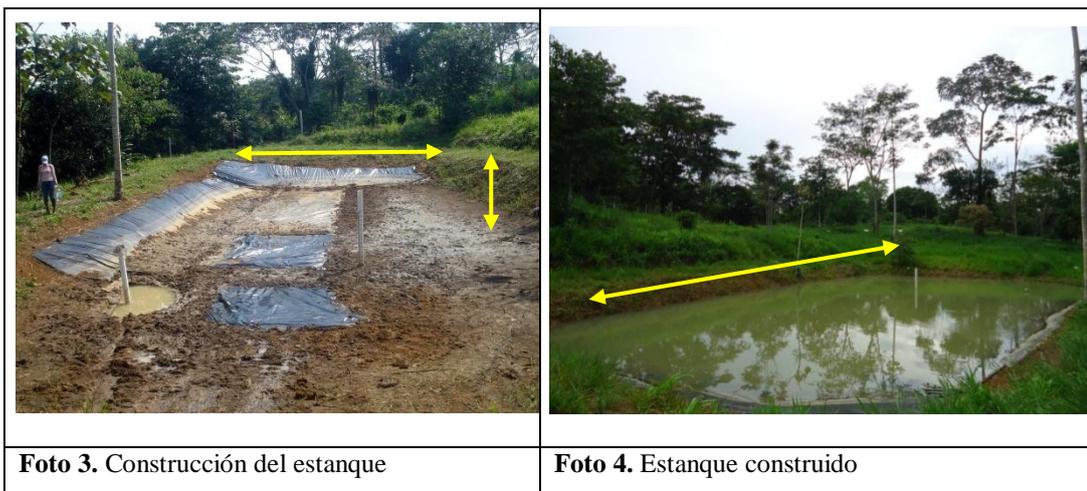
Foto 1. Ubicación de la parcela de escurrimiento en la parcela experimental

Para evitar impacto en el estero cercano al ensayo experimental, el agua de escurrimiento proveniente de las parcelas experimentales, fue canalizada hacia un estanque de 28 m x 13 m x 1,5 m, construido en la parte inferior del mismo (Fotos: 2, 3 y 4). Este estanque simuló un pequeño ecosistema acuático para evaluar el efecto del glifosato, llevado en agua de escurrimiento, en los peces tilapia roja y

cachama roja. El estanque fue llenado con agua del estero cercano y se colocaron 130 alevines de tilapia roja y 200 de cachama roja, 44 días antes de aplicar el glifosato al pasto (Foto 5).



Foto 2. Vista panorámica del experimento que muestra la distribución de las unidades experimentales, las parcelas de escurrimiento, los canales de drenaje y el estanque de peces.



Fotos: 3 y 4. Implementación del estanque de cría de peces para evaluación del efecto del glifosato llevado por el agua de escurrimiento.

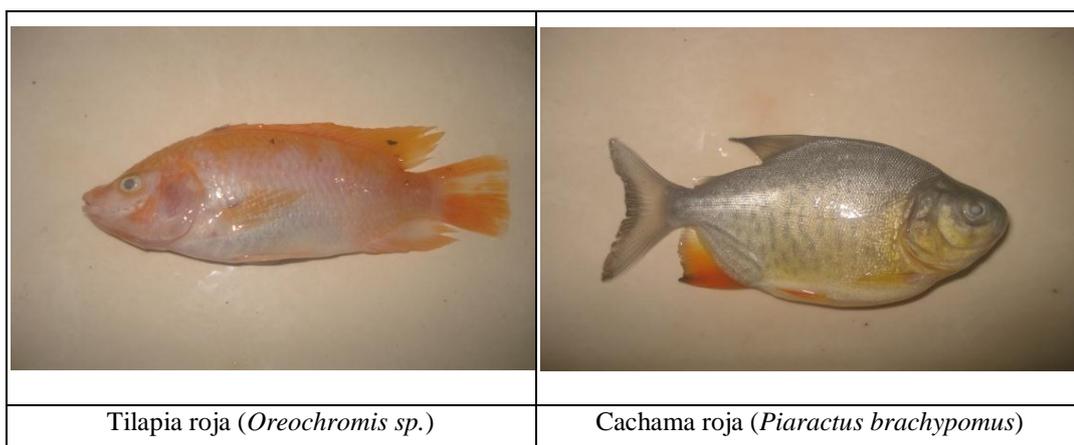


Foto 5. Especies de peces utilizados en el experimento.

Las dosis del herbicida fueron aplicadas al pasto con una bomba de mochila y boquilla de abanico. Las aplicaciones se comenzaron con la dosis más baja (0,63 gal/ha) hasta culminar con la dosis más alta (6,25 gal/ha). En cada recambio, la bomba fue lavada con agua y detergente. Para evitar la deriva del producto a parcelas vecinas, se utilizó una pantalla de plástico alrededor de cada unidad experimental (Foto 6).



Foto 6. Aplicación de los tratamientos de Roundup_{SL}.

En el Cuadro 3 constan los componentes de la mezcla y las cantidades de cada tratamiento.

Cuadro 3. Componente y cantidad para obtener el volumen de la mezcla del herbicida de cada tratamiento.

Tratamientos	Dosis de Roundup_{SL} (glifosato+POEA)	Dosis de Cosmo-flux	Agua	Volumen Mezcla total
(gal/ha)		(cm³/24 m²)		
T1 (6,25)	57	25	2418	2500
T2 (4,69)	43	25	2432	2500
T3 (3,12)	28	25	2447	2500
T4 (1,57)	14	25	2461	2500
T5 (0,63)	7	25	2468	2500
T6 (0,00)	0	0	0	0

Establecimiento y manejo del cultivo de maíz

Se tomaron muestras de suelo para análisis químico completo (N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, B, pH, y materia orgánica), para determinar los requerimientos de fertilización para el cultivo de maíz (Anexo 4). La recomendación fue: aplicar 60, 60 y 30 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. Además, en una muestra de pasto tomada en 1 m² se realizó un análisis foliar para determinar la cantidad de N, P, K y elementos menores, que el pasto aportaría, para lo cual se calculó la biomasa (Anexo 3). El aporte estimado fue de 284, 14 y 208 kg/ha de N-P-K. La recomendación de fertilización más el aporte de nutrientes del pasto para el desarrollo del maíz fue: 344, 74 y 238 kg/ha de N, P, K, respectivamente. Como fertilizante químico se utilizó la formulación 10-30-10, en dosis de 4 sacos de 45 kg/ha y urea al 46% en dosis de 1,85 sacos de 45 kg/ha.

Después de 15 días de la aplicación del herbicida se cortó el pasto con machete en todas las unidades experimentales y después de 15 días más se realizó la siembra de maíz con espeque a una distancia de 30 cm entre plantas y 80 cm entre hileras. Se sembraron 200 semillas por unidad experimental, distribuidas en 5 hileras. A la siembra se colocaron 5 g/planta del fertilizante 10-30-10. A los dos meses se aplicaron 2,0 g de urea/planta.

Para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), se aplicó cipermetrina 25%, 0,14 ml por parcela. También se realizaron labores de deshierba, cada mes.

A los 4 meses se realizó la cosecha en las parcelas netas (3 surcos centrales y 54 plantas), las mazorcas fueron desgranadas y el peso del grano fue expresado en kg/ha.

3.3. Segundo experimento

Determinación del efecto de glifosato en peces por exposición directa

3.3.1. Factor en Estudio

Herbicida Roundup_{SL} {(glifosato 48%) + POEA (surfactante: polioxietileno-amina)} + adherente Cosmo-flux 411F 1% + agua 51%.

3.3.2. Tratamientos

Se evaluaron 6 tratamientos: 5 dosis del herbicida Roundup_{SL} {(glifosato 48%) + POEA (surfactante: polioxietileno-amina)} + adherente Cosmo-flux 411F 1% + agua 51% y 1 testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos evaluados para determinar el efecto del glifosato en peces por exposición directa.

No.	Código	Descripción	
		Dosis del herbicida Roundup _{SL}	
		(gal/ha)	(cm ³ /m ²)
1	T1	6,25*	2,37
2	T2	4,69	1,78
3	T3	3,12	1,19
4	T4	1,57	0,59
5	T5	0,63**	0,31
6	T6(testigo)	0,00	0,00

* Dosis utilizada en el Plan Colombia

** Dosis de uso agrícola.

3.3.3. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por un estanque de 1m x 1m y 0,5 m (0,5 m³), conteniendo 320 litros de agua y dos peces: 1 cachama de 31 cm de largo, 13 cm de ancho, 3 cm de espesor y una tilapia de 26 cm de largo, 10 cm de ancho, 2 cm de espesor, con 0,5 kg de peso, en promedio, y nueve meses de edad.

3.3.4. Diseño experimental

Los tratamientos fueron distribuidos al azar en las unidades experimentales y se utilizó una repetición (Foto 7).



Foto 7. Disposición de las unidades experimentales en el ensayo, en campo

3.3.5. Características del experimento

Número de Tratamientos:	6
Número de Repeticiones:	1
Número de unidades experimentales:	6
Superficie del ensayo:	10 m ²

3.3.6. Variables y métodos de evaluación

3.3.6.1. Mortalidad de peces

Después de la aplicación del herbicida, se realizaron lecturas diarias de número de peces muertos y fue expresado en porcentaje de peces muertos.

3.3.6.2. Presencia de glifosato y AMPA en agua

De cada unidad experimental se tomaron 500 ml de agua, seis horas después de aplicar el herbicida. Las muestras fueron analizadas para determinar presencia de glifosato y AMPA en el laboratorio de Ecotoxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

3.3.6.3. Presencia de glifosato y AMPA en el tejido de peces

A los siete días de la aplicación del herbicida, los dos peces de cada tratamiento fueron colocados en fundas plásticas, etiquetados y transportados en un cooler al laboratorio para análisis de detección de glifosato y AMPA en tejido.

3.3.6.4. pH, temperatura y conductividad eléctrica

Antes y después de la aplicación del herbicida se tomaron datos de: pH, temperatura (°C) y conductividad eléctrica del agua (µS/cm) con un equipo Maletín Cobra 4, marca PHYWE.

3.3.7. Manejo específico del experimento

Se excavaron 6 agujeros de 1 m x 1 m x 0,5 m, luego se los forro con plástico para evitar filtración de agua. A continuación se colocaron 320 litros de agua en cada uno. En cada unidad experimental se instaló un sistema de oxigenación para peceras (Fotos: 8 y 9).

En cada unidad experimental se colocó una cachama roja y una tilapia roja, con peso y tamaño similares (Fotos 10 y 11). La aplicación de los tratamientos se realizó con un atomizador, empezando con la dosis más baja. Entre cada aplicación, se lavó el atomizador con agua y detergente (Foto 12).



Foto 8. Sistema de oxigenación



Foto 9. Sistema de oxigenación



Foto 10. Determinación del peso



Foto 11. Determinación del tamaño



Foto 12. Aplicación de los tratamientos

En el Cuadro 5 se muestran los componentes de la mezcla y las cantidades utilizadas para cada tratamiento.

Cuadro 5. Cantidad de cada componente para obtener el volumen de la mezcla asperjada en el estanque de peces, según los tratamientos considerados.

Tratamientos	Dosis de Roundup ^{SL} (glifosato+POEA)	Dosis de Cosmo-flux	Agua	Volumen Mezcla total
(gal/ha)		(cm ³ /m ²)		
T1 (6,25)	2,37	1,05	101,58	105
T2 (4,69)	1,78	1,05	102,17	105
T3 (3,12)	1,19	1,05	102,76	105
T4 (1,57)	0,59	1,05	103,36	105
T5 (0,63)	0,31	1,05	103,64	105
T6 (0,00)	0,00	0,00	0,00	0,00

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de la movilidad y persistencia del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, tejido de peces, grano de maíz, y daño en pasto, maíz y en la población de microorganismos del suelo.

4.1.1. Necrosamiento del tejido de pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*).

En el Cuadro 6, se observa que en los tratamientos T1 (6,25 gal del herbicida/ha), T2 (4,69 gal del herbicida/ha) y T3 (3,12 gal del herbicida/ha), el 100 % del tejido foliar del pasto fue necrosado a las 2 semanas de la aplicación del glifosato; en cambio, en los tratamientos T4 (1,57 gal del herbicida/ha) y T5 (0,63 gal del herbicida/ha), fueron necesarias 3 y 4 semanas, respectivamente. Por su parte, en el tratamiento T6 (0,00 gal del herbicida/ha), el pasto presentó una apariencia normal (Gráfico 2 y Fotos: 13, 14, 15, 16 y 17).

De acuerdo con estos resultados, el tiempo requerido para necrosar el 100 % del follaje del pasto, dependió de la dosis de glifosato. A dosis mayores, menor tiempo y lo contrario a dosis menores. Con la dosis de uso agrícola (T5), se requiere un mes para necrosar totalmente el pasto y tener el terreno listo para la siembra de maíz con labranza mínima.

Cuadro 6. Tiempo requerido para necrosar el 100 % del follaje del pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) según la dosis de Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2010-2011.

No.	Tratamientos	Semanas después de la aplicación			
	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	1	2	3	4
T1	6,25	0	100	100	100
T2	4,69	0	100	100	100
T3	3,12	0	100	100	100
T4	1,57	0	75	100	100
T5	0,63	0	50	75	100
T6	0,00	0	0	0	0

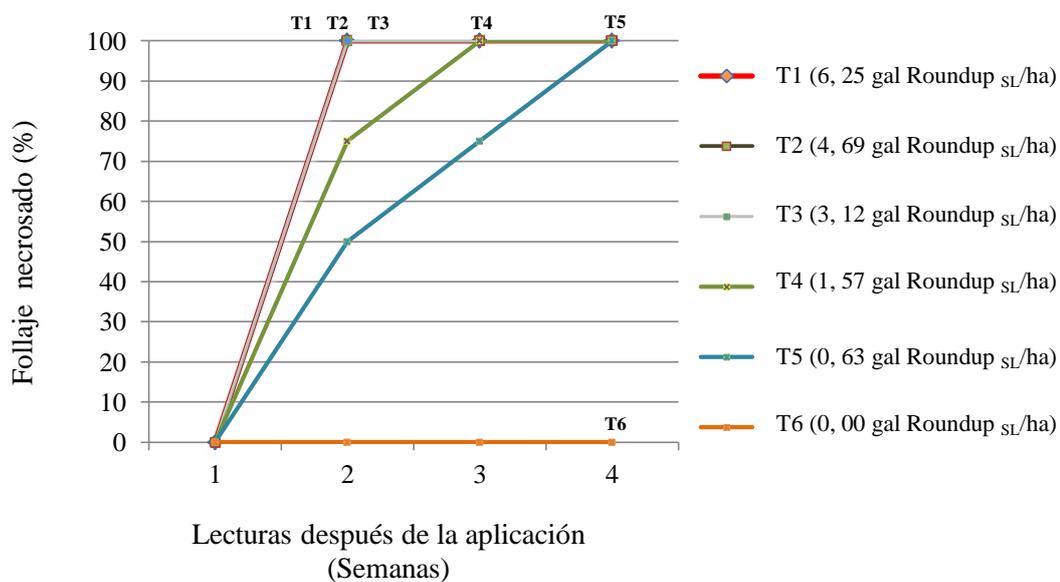


Gráfico 1. Tiempo requerido para necrosar el 100 % del follaje de pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) según la dosis de Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2010-2011.

Fotos: 13, 14, 15, 16 y 17. Aspecto del pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*), antes y después de aplicar los tratamientos. Sucumbíos, 2010-2011.



F 13. Antes de la Aplicación



F 14. Una semana después de la aplicación



F 15. Dos semanas después de la aplicación



F 16. Tres semanas después de la aplicación



F 17. Cuatro semanas después de la aplicación

4.1.2. Presencia y persistencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto

En el Cuadro 7, se observa que a los dos días de la aplicación el glifosato fue detectado en el tejido de pasto de todos los tratamientos, excepto en el T6 (testigo). A los 15 días, el herbicida fue detectado en los tratamientos T1 (6,25 gal/ha), T2 (4,69 gal/ha) y T3 (3,12 gal/ha). A los 30 días, solamente en el T1 (6,25 gal/ha) y, a los 45 y 60 días, los niveles de glifosato fueron menores al límite de detección, en todos los tratamientos.

En relación al metabolito AMPA, los resultados muestran niveles menores al límite de detección, a los 2, 15, 30, 45 y 60 días de la aplicación, en todos los tratamientos.

Con base a los datos de presencia de glifosato en el tejido de pasto, en el Gráfico 3 se aprecia la degradación del herbicida y permite establecer que el tiempo de persistencia es de 30 días.

Estos resultados concuerdan parcialmente con aquellos reportados por Feng y Thompson (1990) quienes señalan que cuando la planta muere, el glifosato que está presente en los tejidos muertos y en descomposición, en condiciones templadas de los bosques, el 50% (TD50) de glifosato se disipa en un tiempo de 8 a 9 días y el resto en mayor tiempo.

En el presente caso, el glifosato fue degradado en un tiempo de 30 días, discrepando con los 180 días determinado en el cultivo de cacao por Gaón (2012), bajo condiciones tropicales de la Amazonía. La rápida disipación del glifosato de los tejidos de pasto, se aducen a que este tipo de tejido es más fácil degradar que el tejido leñoso de los árboles de cacao. La mayor temperatura y humedad de la Amazonía, promueve una mayor actividad microbológica y la degradación química de muchos plaguicidas, como argumentan Racke *et al.*, (1997).

Cuadro 7. Presencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*). Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Antes de la aplicación (días)		Después de la aplicación (días)									
No	Dosis de Roundup ^{SL} (gal/ha)	0		2		15		30		45		60	
		Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
(mg/kg)													
T1	6,25	< LD	< LD	71,0	< LD	59,7	< LD	< LC	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	4,69	< LD	< LD	89,0	< LD	22,9	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T3	3,12	< LD	< LD	47,0	< LD	17,9	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T4	1,57	< LD	< LD	50,0	< LD	< LC	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T5	0,63	< LD	< LD	51,0	< LD	< LC	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T6	0,00	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LC = Menor al límite de cuantificación, glifosato 5,0 mg/kg

Menor al límite de cuantificación, AMPA 20,0 mg/kg

< LD = Menor al límite de detección, glifosato 1,0 mg/kg

Menor al límite de detección, AMPA 6,0 mg/kg

El *límite de determinación* se define como la menor concentración del plaguicida analizado que es posible cuantificar con un margen de seguridad adecuado.

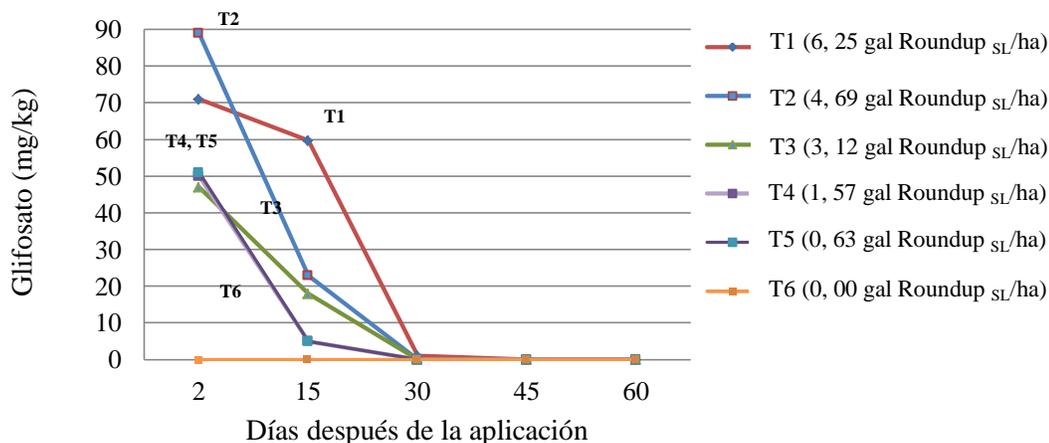


Gráfico 2. Persistencia de glifosato en tejido de pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*). Sucumbíos, 2010-2011.

Por su parte, la no detección del AMPA en el tejido de pasto, coincide con resultados reportados por Gaón (2012), quien en un experimento de árboles de cacao asperjados con glifosato, no detectó a este metabolito en muestras de tejido de follaje, flores, frutos y tallo. Al respecto, según la EPA, citada en el documento Plan de Manejo Ambiental de Erradicación de Cultivos Ilícitos (2000), no es posible detectar este metabolito en tejidos vegetales, porque no se forma en ellos.

Estos resultados permiten aceptar la hipótesis nula de que la persistencia del glifosato en tejido de pasto es menor a dos meses y alcanzar el primer objetivo.

4.1.3. Presencia y movilidad de glifosato y AMPA en el suelo

Según los datos consignados en el Cuadro 8, tanto en el sustrato de 0 a 20 cm como en el de 20 a 50 cm, glifosato y AMPA no fueron detectados en ninguno de los tratamientos, a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación.

La ausencia de glifosato en el suelo sugiere que la mayor parte del herbicida quedó atrapado en el follaje del pasto, el cual, al momento de la aspersión presentó 1,20 m de altura y cobertura total de la parcela (Fotos: 18 y 19). Esto habría evitado que una cantidad detectable del herbicida, fuera depositada en el suelo.



Fotos: 18 y 19. Cobertura de las parcelas por el follaje del pasto, antes de la aspersión

Se esperaba que parte del glifosato retenido en el follaje del pasto, llegue al suelo al descomponerse el tejido y que podría detectarse. Sin embargo, esto no fue posible, porque a los 30 días el herbicida fue degradado en el tejido del pasto, y porque en este lapso de tiempo, el follaje no fue descompuesto totalmente.

La ausencia de glifosato en el suelo por retención en el follaje del pasto, también es sustentada al considerar los resultados de Ruíz (2012), quién, a los dos días de aplicar glifosato al suelo de un bosque primario en Sucumbíos, determinó su presencia en el sustrato de 0 a 5 cm y no en el de 5 a 20 cm de profundidad, estableciendo que quedó retenido en el primer sustrato y que no se movilizó por infiltración. De acuerdo con este resultado, si una cantidad importante del herbicida aplicado al pasto hubiera caído al suelo, este habría sido detectado en este estudio.

Cuadro 8. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en dos sustratos del suelo, de 0 a 20 y 20 a 50 cm de profundidad. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos			Antes de la aplicación (días)		Después de la aplicación (días)					
			0		2		15		30	
No	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Prof. (cm)	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
T1	6,25	(0-20)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
		(20-50)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	4,69	(0-20)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
		(20-50)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T3	3,12	(0-20)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
		(20-50)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T4	1,57	(0-20)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
		(20-50)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T5	0,63	(0-20)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
		(20-50)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T6	0,00	(0-20)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
		(20-50)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LC = Menor al límite de cuantificación glifosato 0,3 mg/kg
Menor al límite de cuantificación AMPA 3,0 mg/kg
< LD = Menor al límite de detección glifosato 0,1 mg/kg
Menor al límite de detección AMPA 1,0 mg/kg

4.1.4. Población de microorganismos del suelo

La prueba de correlación entre los niveles de glifosato y las poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno, no detectó diferencias estadísticas ($p < 0,05$); es decir, la microbiota del suelo mantuvo niveles similares de población, desde el inicio hasta el final del experimento (Gráfico 3 y Anexo 5). Estos resultados también corroboran la ausencia de glifosato en el suelo y afianzan el argumento de que quedó atrapado en el tejido del pasto.

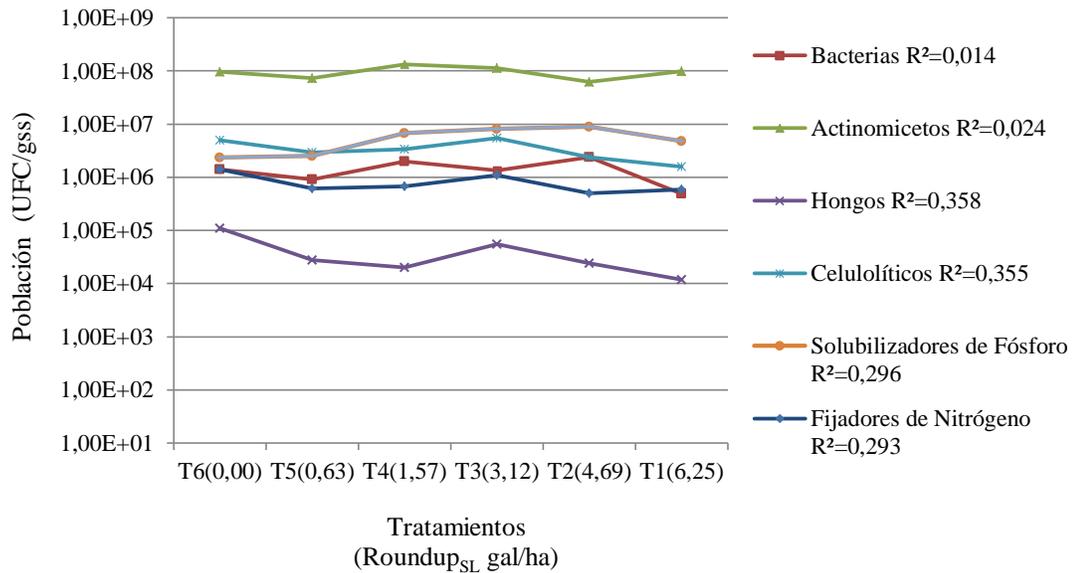


Gráfico 3. Correlación entre dosis de glifosato y poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno. Sucumbíos, 2010-2011.

4.1.5. Presencia y movilidad de glifosato en agua de escurrimiento y agua del estanque de peces

En los Cuadros 9 y 10, se observa que, antes de la aplicación y a los 7, 15 y 30 días después de la aplicación, el glifosato y AMPA no fueron detectados en agua de escurrimiento y en agua del estanque de peces.

La ausencia de glifosato en el agua de escurrimiento y en el agua del estanque, corroboran la ausencia de este en el suelo y apoyan el argumento de que quedó retenido en el tejido del pasto. Este hecho se asume como la causa por la cual el herbicida no presentó movilidad.

Cuadro 9. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua de escurrimiento. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Antes de la aplicación		Después de la aplicación (días)					
		0		7		15		30	
No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
T1	6,25	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	4,69	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T3	3,12	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T4	1,57	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T5	0,63	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T6	0,00	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LC = Menor al límite de cuantificación glifosato 0,3 mg/kg
Menor al límite de cuantificación AMPA 3,0 mg/kg
< LD = Menor al límite de detección glifosato 0,1 mg/kg
Menor al límite de detección AMPA 1,0 mg/kg

Cuadro 10. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en el agua del estanque de peces. Sucumbíos, 2010-2011.

Antes de la aplicación		Después de la aplicación (días)					
0		7		15		30	
Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LC = Menor al límite de cuantificación glifosato 0,3 mg/kg
Menor al límite de cuantificación AMPA 3,0 mg/kg
< LD = Menor al límite de detección glifosato 0,1 mg/kg
Menor al límite de detección AMPA 1,0 mg/kg

4.1.6. Presencia de glifosato en el tejido de peces

Los datos del Cuadro 11, muestran que la presencia de glifosato y AMPA no fue detectada en tejido de peces, a los 7, 15 y 30 días después de la aplicación del herbicida al follaje del pasto.

Según la CCME (1989), señala que el glifosato puede entrar en aguas superficiales a través de la escorrentía cuando se aplica cerca de los cuerpos de agua; sin embargo, en este caso, esto no sucedió. La no detección de glifosato en el agua del estanque y en el tejido de los peces, sugieren que el glifosato no fue movilizado por el agua de escorrentía, porque quedó atrapado en el tejido del pasto y por lo cual, los peces no presentaron daño alguno (mortalidad).

Cuadro 11. Presencia de glifosato y AMPA en tejido de peces del estanque donde se colectó el agua de escurrimiento de las parcelas con pasto aplicado Roundup_{SL}, para conocer la movilidad del herbicida. Sucumbíos, 2010-2011.

Peces		Antes de la aplicación		Después de la aplicación			
		0		15		30	
		(días)					
Nombre común	Nombre científico	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
(mg/kg)							
Cachama roja	<i>Piaractus brachypomus</i>	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Tilapia roja	<i>Oreochromis sp.</i>	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LC = Menor al límite de cuantificación de glifosato 2,0 mg/kg

Menor al límite de cuantificación AMPA 15,0 mg/kg

< LD = Menor al límite de detección de glifosato 0,5 mg/kg

Menor al límite de detección AMPA 3,0 mg/kg

4.1.7. Presencia de glifosato en el tejido del follaje y en el grano del maíz

En el Cuadro 12, se observa que glifosato y AMPA, tampoco fueron detectados en tejido de follaje y en el grano del maíz, a los 120 y 180 días después de la aplicación al pasto.

La no detección de glifosato en el tejido y grano del maíz, se asume, por una parte, que éste no fue absorbido por ausencia en el suelo y, por otra parte, porque según reportes del Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos (2000) y

Nosorchut, *et al.* (2001), las raíces de las plantas no absorben al herbicida, por lo cual su presencia en el suelo no presenta peligro para las mismas.

Cuadro 12. Presencia de glifosato y AMPA en tejido de follaje y en el grano del maíz. Sucumbíos, 2010-2011.

No.	Tratamientos Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Tejido del follaje		Grano de maíz	
		120		180	
		(días después de la aplicación al follaje del pasto)			
		Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
		(mg/kg)			
T1	6,25	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	4,69	< LD	< LD	< LD	< LD
T3	3,12	< LD	< LD	< LD	< LD
T4	1,57	< LD	< LD	< LD	< LD
T5	0,63	< LD	< LD	< LD	< LD
T6	0,00	< LD	< LD	< LD	< LD

< LC = Menor al límite de cuantificación glifosato 0,5 mg/kg

Menor al límite de cuantificación AMPA 5,0 mg/kg

< LD = Menor al límite de detección glifosato 0,1 mg/kg

Menor al límite de detección AMPA 1,0 mg/kg

4.1.8. Germinación del maíz

El análisis de varianza de la variable germinación de plantas de maíz, no detecta diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 13 y Anexo 6). Este resultado permite descartar la sospecha de que la destrucción del follaje del pasto mediante aplicación de glifosato (Roundup_{SL}), posteriormente afectaría la germinación del maíz.

Cuadro 13. Análisis de varianza del número de plantas germinadas de maíz. Sucumbíos, 2010-2011.

Fuentes de Variación	g. l.	SC	CM	F Cal.	F Tab.	
					(P<0,05)	(P<0,01)
Tratamientos	5	269,21	53,84	0,53 n.s.	2,90	4,56
Repeticiones	3	263,13	87,71	0,86 n.s.	3,29	5,42
Error	15	1535,63	102,38			

C.V. (%): 13,22

Media: 76,54

4.1.9. Rendimiento de grano de maíz

En el Cuadro 14, el análisis de varianza muestra que no existen diferencias estadísticas de rendimiento entre tratamientos; es decir, el glifosato (Roundup_{SL}) aplicado al pasto para destruir su follaje, no afectó el rendimiento del maíz (Anexo 7).

Cuadro 14. Análisis de varianza del rendimiento de maíz en kg/ha. Sucumbíos, 2010-2011.

Fuentes de Variación	g. l.	SC	CM	F Cal.	F Tab.	
					(P<0,05)	(P<0,01)
Tratamientos	5	2.220.686,19	444.137,24	1,8 n.s.	2,90	4,56
Repeticiones	3	397.220,95	132.406,98	0,5 n.s.	3,29	5,42
Error	15	3.652.681,35	243.512,09			

C.V. (%): 17,77

Media: 2776,72 (kg/ha)

Los resultados obtenidos en el maíz, concuerdan con los reportados por Wauchope (1992) y el Documento de Plan de Manejo Ambiental y Erradicación de Cultivos Ilícitos (2000), quienes enfatizan que todos los cultivos pueden ser sembrados o trasplantados inmediatamente después de la aplicación de glifosato, porque no afecta a las semillas bajo la superficie del suelo y porque no es absorbido por las raíces.

4.2. Determinación del efecto del herbicida Roundup_{SL} (glifosato 48%) en peces

4.2.1. Mortalidad de peces

Según los datos consignados en el Cuadro 15, ninguna de las dosis de Roundup_{SL} aplicadas directamente al agua de los estanques, causó la muerte de los peces. Este resultado corroboraría lo señalado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2003), de que el glifosato procedente de la deriva de las aspersiones aéreas de Roundup_{SL}, posiblemente implique un pequeño riesgo en animales acuáticos.

Cuadro 15. Porcentaje de peces muertos mediante aplicación directa de Roundup_{SL} (glifosato 48%). Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Peces muertos (%)						
No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	(días después de la aplicación)						
		1	2	3	4	5	6	7
T1	6,25	0	0	0	0	0	0	0
T2	4,69	0	0	0	0	0	0	0
T3	3,12	0	0	0	0	0	0	0
T4	1,57	0	0	0	0	0	0	0
T5	0,63	0	0	0	0	0	0	0
T6	0,00	0	0	0	0	0	0	0

Al respecto, en una investigación realizada por Eslava *et al.* (2007), determinaron que las dosis de 120,0 mg/L de glifosato y de 0,96 mg/L de Cosmoflux, en 6 horas de exposición, causó la muerte de 21 peces de 40 g de peso, en promedio (100%).

Por su parte, Jiraungkoorskul, *et al.* (2002) y Ramírez-Duarte (2006), citados por Eslava, *et al.* (2007), reportan que la concentración letal media (CL₅₀) para tilapia del Nilo es 36,8 mg/L y para cachama, 97,4 mg/L de Roundup® (48% de sal ácida isopropilamina de glifosato). Señalan, además, que la toxicidad del Roundup® es variable entre peces y que depende de la edad, siendo los peces jóvenes, más sensibles al Roundup®, que los adultos.

La explicación de por qué los peces no sufrieron ningún daño, en el presente estudio, se encontró en la dosis de Roundup_{SL} (glifosato 48%) aplicada en cada estanque. Para esto, cabe recordar que las dosis evaluadas fueron derivadas de la probable dosis utilizada en las aspersiones del Plan Colombia, de 6,25 galones/ha de Roundup_{SL}, es decir, 23,66 litros/ha o 23 656 cc/ha. Al considerar una aspersión homogénea sobre la superficie plana de una hectárea, la cantidad de Roundup_{SL} por m² sería 2,36 cc/m². De este valor se partió para calcular los valores de cada tratamiento (Cuadro 16), los mismos que están duplicados, asumiendo una aspersión aérea de ida y vuelta.

Por otra parte, al considerar la concentración de glifosato en el producto Roundup_{SL} de 48% y la concentración final del glifosato en los 320 litros de agua/estanque, se calcularon las concentraciones a las que fueron expuestos los peces, las cuales constan en el Cuadro 16, así como también la CL₅₀ para cachama y tilapia de Roundup_{SL} y las dosis de Roundup_{SL} que deberían colocarse en los estanques para causar 50% de mortalidad.

De acuerdo con esto, en el Cuadro 16, se puede ver claramente que la dosis de Roundup_{SL} a la que estuvieron expuestos los peces, es muy inferior a la CL₅₀, por lo cual los peces no murieron.

Según lo anotado y considerando la dosis tan alta de Roundup_{SL} requerida para causar el 50% de mortalidad, se establece que es mínima la probabilidad de que una dosis tan elevada del herbicida sea depositada en un estanque de peces por impacto directo de una aspersión aérea y, mucho menos, por deriva.

Cuadro 16. Dosis de Roundup_{SL} aplicadas en los estanques por tratamiento, concentración de Roundup_{SL} en el estanque, CL₅₀ de Roundup_{SL} para cachama y tilapia; y dosis requerida de Roundup_{SL}/estanque, para causar 50% de mortalidad. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos	Dosis de Roundup _{SL} (glifosato+POEA)		Concentración de Roundup _{SL} en el estanque (320 L agua)	CL ₅₀			
				Roundup _{SL}		Dosis de Roundup _{SL} requerida	
	(gal/ha)	(cc/m ²)		(mg/L)	Cachama	Tilapia	Cachama
T1	6,25	4,74	14,81				
T2	4,69	3,56	11,12				
T3	3,12	2,38	7,43				
T4	1,57	1,18	3,68	97,40	36,80	31,17	11,77
T5	0,63	0,62	1,93				
T6	0,00	0,00	0,00				

CL₅₀, Jiraungkoorskul, *et al.*, (2002) y Ramírez-Duarte (2006)

4.2.2. Presencia de glifosato y AMPA en agua

En el agua de los estanques, glifosato fue detectado en un rango de 0,1 a 4, 2 mg/kg (Cuadro 17), cantidad que no causó daño a los peces; sin embargo, la CCME (1999) considera niveles máximos de 0,065 mg/L en el agua para la vida acuática.

Cuadro 17. Presencia de glifosato y AMPA en agua de estanques de peces con aplicación directa de Roundup_{SL} (glifosato 48%). Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Seis horas después de la aplicación	
No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Glifosato	AMPA
		(mg/kg)	
T1	6,25	4,2	< LC
T2	4,69	5,1	< LC
T3	3,12	3,1	< LC
T4	1,57	2,3	< LC
T5	0,63	0,1	< LC
T6	0,00	< LC	< LC

4.2.3. Presencia de glifosato y AMPA en el tejido de peces

Según los datos del Cuadro 17, glifosato y el metabolito AMPA, no fueron detectados en los tejidos de los peces cachama roja y tilapia roja, en ningún tratamiento, debido a las dosis bajas de Roundup_{SL} (glifosato 48%) a las que fueron expuestos e inferiores a la DI_{50} , como se explicó anteriormente (Cuadro 16).

Cuadro 18. Presencia de Glifosato y AMPA (mg/kg) en el tejido de peces cachama roja y tilapia roja. Sucumbíos, 2010-2011.

No.	Tratamientos	Peces	Glifosato	AMPA
	Dosis de Roundup ^{SL} (gal/ha)		(mg/kg)	
T1	6,25	Cachama	< LD	< LD
		Tilapia	< LD	< LD
T2	4,69	Cachama	< LD	< LD
		Tilapia	< LD	< LD
T3	3,12	Cachama	< LD	< LD
		Tilapia	< LD	< LD
T4	1,57	Cachama	< LD	< LD
		Tilapia	< LD	< LD
T5	0,63	Cachama	< LD	< LD
		Tilapia	< LD	< LD
T6	0,00	Cachama	< LD	< LD
		Tilapia	< LD	< LD

4.2.4. Parámetros de calidad del agua registrados durante el experimento

Los parámetros de calidad del agua se mantuvieron constantes durante la fase experimental, excepto la conductividad eléctrica que se incrementó significativamente (Cuadro 19).

Los valores de pH concuerdan con lo que mencionan Eslava *et al.*, (2007) que el pH muestra una reducción gradual en los tratamientos expuestos al Roundup®, con diferencias significativas entre el tratamiento testigo. Esta reducción del pH se debe a la naturaleza ácida del Glifosato (WHO, 1994).

Cuadro 19. Parámetros de calidad del agua de los estanques antes y después de la aplicación de las dosis de glifosato. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Antes de la aplicación			Después de la aplicación		
No.	Dosis del herbicida (gal/ha)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
T1	6,25	5,4	14,7	27,0	5,3	20,2	27,4
T2	4,69	5,3	12,7	27,2	5,3	16,4	27,5
T3	3,12	5,0	14,0	26,1	5,4	18,6	26,6
T4	1,57	5,3	12,5	27,3	5,4	15,4	27,7
T5	0,63	5,5	19,0	26,2	5,5	22,3	26,9
T6	0,00	5,7	13,4	25,6	5,7	15,7	26,0

4.2.5. Comprobación

Para comprobar que las dosis de glifosato a las que los peces estuvieron expuestos, fueron bajas, se realizó la siguiente prueba: en una pecera de 40 cm x 23 cm x 30 cm, conteniendo 25 litros de agua y dos peces: 1 cachama (de 26 cm de largo, 13 cm de ancho, 2 cm de espesor) y una tilapia (de 26 cm de largo, 10 cm de ancho y 2,5 cm de espesor), con 0,4 kg de peso promedio y cinco meses de edad, se aplicaron 57 cc de Roundup_{SL} que equivale a 178,1 mg/L de Roundup_{SL}, 1,8 y 4,8 veces mayor a la DL₅₀, para cachama y tilapia, respectivamente. El agua se tornó de color lechosa y a los tres minutos de la aplicación, los dos peces murieron (Foto 20). El análisis del tejido de los peces detectó 19,4 y 22,6 mg/kg de glifosato en tilapia y cachama, respectivamente.

Los peces muertos mostraron mayor mucosidad en la piel, concordando con lo señalado por Eslava *et al.* (2007), que los animales muertos por exposición a la CL₅₀ de glifosato, presentan aumento de la producción de moco en la piel.



Foto 20. Vista de la pecera de experimentación

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- ❖ La aplicación del herbicida Roundup_{SL} (glifosato 48%) al pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*), antes de la siembra del maíz, requirió de 2 a 4 semanas para necrosar el 100 % del tejido del pasto y dependió de las dosis, a mayor dosis menor tiempo y lo contrario a dosis menores.
- ❖ El tiempo de persistencia del glifosato en el tejido del pasto Dallis fue de 30 días.
- ❖ El glifosato aplicado al pasto Dallis, no se movilizó al suelo, al agua de escorrentía, al agua del estanque, al tejido de peces y al follaje y grano del maíz, porque fue retenido en el tejido del pasto.
- ❖ Los niveles similares de población de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno, registrados en el suelo desde el inicio hasta el final del experimento, indicaron que no hubo depósito de glifosato en el suelo y soportan la observación de que quedó retenido en el tejido del pasto.
- ❖ La aplicación del herbicida Roundup_{SL} al pasto Dallis, previo a la siembra de maíz, no afectó la germinación y el rendimiento de este cultivo.

- ❖ Las dosis evaluadas de Roundup_{SL} (glifosato 48%) de 6,25, 4,69, 3,12, 1,57, 0,63 y 0,00 gal/ha, equivalentes a 14,81, 11,12, 7,43, 3,68, 1,93 y 0,00 mg de Roundup_{SL}/l, no causaron daño a los peces cachama (*Piaractus brachypomus*) y tilapia (*Oreochromis sp.*), de nueve meses de edad, por ser cantidades menores a la CL₅₀ de 97,4 y 36,8 mg/L de Roundup_{SL}, respectivamente.

- ❖ Debido a la dosis alta de Roundup_{SL} que se requiere para causar el 50% de mortalidad de peces tilapia o cachama, se concluye que es mínima la probabilidad de que una dosis tan elevada del herbicida, sea depositada en un estanque de peces por impacto directo de una aspersión aérea y mucho menos por deriva.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Con base a los resultados y conclusiones obtenidas, se recomienda lo siguiente:

- ❖ A pesar del impacto mínimo que causaría al ambiente la deriva de las aspersiones, se recomienda utilizar el glifosato en las dosis indicadas y mediante aplicaciones localizadas para el control de malezas en los sistemas de producción de cultivos y limitar su uso en aspersiones aéreas para evitar daño por contacto a otras plantas y contaminación del ambiente.
- ❖ Realizar estudios de movilización del glifosato en el suelo, en agua de escorrentía, en agua de esteros o de estanques, en tejido de peces y en follaje y grano del maíz, mediante aplicaciones directas al suelo.
- ❖ Realizar estudios del efecto del glifosato en la microbiota del suelo, mediante aplicaciones directas.
- ❖ Realizar estudios de dinámica del glifosato en sistemas de producción con labranzas de conservación con diferentes características climáticas y edáficas.

7. RESUMEN

MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO - MAÍZ, EN SUCUMBÍOS.

Para conocer la movilidad y persistencia del glifosato en el suelo, agua de escurrimiento y el daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto-maíz, microbiota del suelo y peces, y relacionar los resultados con la deriva de las aspersiones aéreas del Plan Colombia, se llevaron a cabo dos experimentos con los siguientes objetivos: 1) Determinar la movilidad y persistencia de glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz, 2) Determinar el daño que glifosato causa al tejido de pasto y al siguiente cultivo el maíz, 3) Evaluar el efecto del glifosato en la población de microorganismos del suelo y 4) Establecer el efecto del glifosato en peces. Para este fin, en la hacienda La Edita (Lago Agrio-Sucumbíos), se evaluaron 6 tratamientos: T1=6,25, T2=4,69, T3=3,12, T4=1,57, T5=0,63 y T6=0,00 gal/ha de Roundup_{SL}+ Cosmo-flux 411F. En el primer experimento se utilizó un (DBCA), 4 repeticiones y unidades experimentales de 24 m². Las variables fueron: (a) necrosamiento del tejido de pasto mediante registros semanales (%); presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en tejido de pasto a los 2, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación, (b) presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en los sustratos 0 a 20 cm y 20 a 50 cm, a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación, (c) poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno en UFC/gss, antes y después de 2 días de la aplicación, (d) presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua de escurrimiento, agua del estanque, tejido de peces, follaje y grano del maíz, a los 7, 15 y 30 días después de la aplicación, excepto las muestras de maíz tomadas los dos y cuatro meses de edad del cultivo y (e) germinación (%) a los 15 días de la siembra y rendimiento de grano (kg/ha). En el segundo experimento los mismos tratamientos fueron distribuidos al azar en unidades experimentales (estanques de 0,5 m³ de capacidad) en un solo bloque. Las variables fueron: (a) mortalidad de peces y (b) presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua y en tejido de peces, siete días después de la aplicación del herbicida.

Resultados del primer experimento. En los tratamientos T1, T2 y T3, el 100 % del tejido foliar del pasto fue necrosado a las 2 semanas y en T4 y T5, a las 3 y 4 semanas, respectivamente. En el tejido del pasto solamente se detectó a glifosato y el tiempo de persistencia fue de 30 días. En el suelo, agua de escurrimiento, agua del estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano de maíz, no se detectó la presencia de glifosato y AMPA. La prueba de correlación entre los niveles de glifosato y las poblaciones de microorganismos del suelo, no detectó diferencias estadísticas ($p < 0,05$). El ADEVA de las variables germinación y rendimiento del maíz, no detectó diferencias estadísticas entre tratamientos.

Resultados del segundo experimento. Las dosis de glifosato evaluadas no causaron daño a los peces tilapia y cachama y no se detectó a glifosato y AMPA en su tejido.

La razón por la cual los peces no fueron afectados, es porque la dosis de Roundup_{SL}, a la que fueron expuestos, es inferior a la CL₅₀.

Del primer experimento se concluye que la movilidad del glifosato fue nula, debido a que la mayor cantidad quedó atrapada en el follaje, aseveración sustentada al no detectar su presencia en: suelo, agua de escorrentía, agua del estanque, tejido de peces, follaje y grano del maíz, además de que las poblaciones de microorganismos del suelo fueron similares antes y al final del estudio. La movilidad nula del glifosato, explica la ausencia de daño en los peces tilapia y cachama del estanque y en la germinación y rendimiento del maíz. La persistencia en el tejido del pasto fue de 30 días.

Del segundo experimento se concluye que las dosis evaluadas de Roundup_{SL} de 6,25, 4,69, 3,12, 1,57, 0,63 y 0,00 gal/ha, equivalentes a 14,81, 11,12, 7,43, 3,68, 1,93 y 0,00 mg de Roundup_{SL}/L, no causaron daño a los peces cachama y tilapia, de nueve meses de edad, por ser menores a la CL₅₀ de 97,4 y 36,8 mg/L de Roundup_{SL}, respectivamente, y que, debido a la dosis alta de Roundup_{SL} que se requiere para causar el 50% de mortalidad de peces tilapia o cachama, es mínima la probabilidad de que una dosis tan elevada del herbicida, sea depositada en un estanque de peces por impacto directo de una aspersión aérea y mucho menos por deriva.

A pesar del impacto mínimo que causaría al ambiente la deriva de las aspersiones, se recomienda utilizar el glifosato en las dosis indicadas y mediante aplicaciones localizadas para el control de malezas en los sistemas de producción de cultivos y limitar su uso en aspersiones aéreas para evitar el daño por contacto a otras plantas y la contaminación del ambiente. Realizar estudios de movilización del glifosato en el suelo, en agua de escorrentía, en agua de esteros o de estanques, en tejido de peces y en follaje y grano del maíz, mediante aplicaciones directas al suelo y también su efecto en la población de microorganismos del suelo.

8. SUMMARY

GLYPHOSATE MOBILITY IN SOIL, RUNOFF WATER, PERSISTENCY AND THE GRASS – CORN GROWING SYSTEM VEGETABLE TISSUE DAMAGE, IN SUCUMBIOS

To know the mobility and persistency of glyphosate in soil, runoff water and the vegetable tissue damage of the culture system grass – corn, soil micro biota and fish, and link the results with drift of aerial spraying of Plan Colombia were carried out two experiments with the following objectives: 1) Determine the mobility and persistency of glyphosate in grass tissue, soil, runoff water, fish pond water, fish tissue, foliage and corn grain. 2) Determine damage glyphosate on grass tissue and the subsequent maize crop. 3) Evaluate effect the glyphosate on the soil population microorganisms and 4) Establish the glyphosate effect on fish. For this purpose, in the La Edita Farm (Lago Agrio-Sucumbios), six treatments were evaluated: T1=6,25 , T2= 4,69, T3=3,12, T4 = 1,57, T5 = 0,63 and T6 = 0,00 gal / ha of Roundup SL + Cosmo – Flux 411F. In the first experiment a RCBD with 4 repetitions and experimental units of 24m². The variables were: (a) grass tissue necrosis by weekly evaluations (%), presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in grass tissue at 2, 15, 30, 45 and 60 days after the application, (b) presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in the substrates from 0 to 20cm and 20 to 50cm deep, at 2, 15 and 30 days after the application, (c) total population of bacteria, fungi, actinomycetes, phosphorus solubilizes and nitrogen fixing cellulolytic in CFU / gss before and after 2 days of the application, (d) presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in runoff water, fish pond water, fish tissue, foliage and corn grain, at 7, 15 and 30 days after the application, except the maize samples taken at two and four months maize old and (e) Germination (%) at 15 days after planting and grain yield (kg/ha). In the second experiment, the same treatments were randomized into experimental units (tanks of 0,5 m³ capacity) in a single block. The variables were: (a) fish mortality and (b) presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in water and fish tissue, seven days after the herbicide application.

First experiment results. In treatments T1, T2 and T3, 100% grass leaf tissue was necrotic at 2 weeks and at T4 and T5, at 3 and 4 weeks, respectively. The grass tissue was detected only glyphosate and persistence time was 30 days. In soil, runoff water, fish pond water, fish tissue, foliage and corn grain was not detected the presence of glyphosate and AMPA. The test of correlation between levels of glyphosate and soil microbial populations detected no statistical differences ($p < 0.05$). ANOVA variable germination and yield of corn, did not detect statistical differences between treatments.

Second experiment results. The evaluated glyphosate dose didn't cause any damages to tilapia and cachama fishes, and glyphosate and AMPA were not detected on their tissues. The reason for which the fishes were not affected is because the RoundupSL dose, in which they were exposed, is lower than the LC_{50} .

From the first experiment it concludes that the glyphosate mobility was nil due to the majority was trapped in the foliage, sustained assertion by not being detected its presence in: soil, runoff water, fish pond water, fish tissue and foliage and corn grain, besides soil microorganisms' population were similar before and at the experiment. The glyphosate nil mobility explains no damage caused to the tilapia and cachama fish and in the germination and grain yield. The glyphosate persistency in grass tissue persistency was 30 days.

From the second experiment it concludes that the RoundupSL dose tested 6,25, 4,69, 3,12, 1,57, 0,63 and 0,00 gal/ha, equivalent to 14,81, 11,12, 7,43, 3,68, 1,93 and 0,00 mg of RoundupSL /L, did not caused any harm to tilapia and cachama fish nine month, being lower than the LC_{50} RoundupSL of 97,4 and 36,8 mg/L, respectively, therefore, due to the highly RoundupSL dosage require to cause 50% of tilapia and cachama fish mortality, the probability that a highly herbicide dosage will settle in the fish pond water by a direct impact of an aerial spraying and less by drift, is minimum. Despite the drift praying lower impact caused to the environment, glyphosate recommended dosage is required and through localized applications for weed control in the crop production systems and also limit the use of aerial spraying to avoid contact damage to other plants and environmental pollution. Studies about glyphosate mobilization in the soil, runoff water, pond waters, fish tissues and foliage and corn grain is recommended to do, through soil direct applications and its effect on the soil microorganisms.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ABDELGHANI, A. 1997. Toxicity evaluation of single and chemical mixtures of Roundup, Garlon-3A, 2, 4-D, and Syndets surfactant to channel catfish (*Ictalurus punctatus*), bluegill sunfish (*Lepomis microchirus*), and crawfish (*Procambarus spp.*). Environmental toxicology and water quality. 12(3): 237-243.
2. ACCIÓN ECOLÓGICA. 2003. Impacto de las fumigaciones del Plan Colombia en la frontera ecuatoriana. La guerra oculta contra las comunidades. Editorial Acción Ecológica. Quito-Ecuador.78p.
3. ALBARRACÍN, I.; PÍO, G.; SALOMÓN, R.; CRAVERO M. 2011. Inhibición del crecimiento de *Chlamydomonas sp.* por la sal isopropilamina de n-fosfonometil glicina. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras. Vol. 28, No. 1, ISSN 0138-8452, 30-35p.
4. ALVAREZ, R. 2008. Análisis sobre los efectos de la fumigación aérea con glifosato en la región fronteriza, dentro del marco del Plan Colombia, en la relación entre Colombia y Ecuador. Monografía para optar al título de Internacionalista. Bogotá-Colombia. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.46p.
5. AMICUS CURIAE. 2009. Impactos en Ecuador de las fumigaciones a cultivos ilícitos en Colombia. 64p.
6. BODE, R. 1986. Comparative studies on the enzymological basis for growth inhibition by glyphosate in some yeast species. 181: 39-46.

7. BOZZO, A. 2010. Persistencia del glifosato y efecto de sucesivas aplicaciones en el cultivo de soja en agricultura continua en siembra directa sobre parámetros biológicos del suelo. Tesis para obtener el grado de magister en Ciencias Ambientales. Montevideo-Uruguay. Universidad de la República. 135p.
8. BRAUSCH, J.; BRALI, B.; SMITH, P. 2007. Acute and sub-lethal toxicity of three POEA surfactant formulations to *Daphnia magna*. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 78: 510-514.
9. BRAVO, E. 2007. Impactos del glifosato en el medio ambiente (Recopilación). Red por una América Latina Libre de Transgénicos, Boletín 241.
10. BURGER, M.; FERNANDEZ, S. 2004. Exposición al herbicida glifosato: aspectos clínicos toxicológicos. *Revista Médica del Uruguay* 20: 202-207. Consultado en agosto de 2011. Disponible en: <http://www.rmu.org.uy/revista/2004v3/art6.pdf>
11. CAÑADAS, L. 1983. Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. MAGPRONAREG. Quito- Ecuador.
12. CCE (Comisión Científica Ecuatoriana). 2007. El Sistema de Aspersiones Aéreas del Plan Colombia y sus Impactos Sobre el Ecosistema y la Salud en la Frontera Ecuatoriana. Quito. 152p.
13. CCME (1989). *Canadian water quality guidelines, Ottawa, Ontario*. Environment Canada. Canadian Council of Ministers of the Environment.

14. CEEA (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica). 2004. Reporte de análisis de glifosato en agua. Ecotoxicología. Quito.
15. CIF (Comité Interinstitucional Contra las Fumigaciones).2003. Impacto de las fumigaciones del Plan Colombia en la frontera ecuatoriana. La guerra oculta contra las comunidades. Editorial Acción Ecológica. Quito. 78p.
16. COSMOAGRO. 2004. Coca and poppy eradication in Colombia: environmental and human health assessment of aerially applied glyphosate. 190:43–125.
17. COX, C. 1995.Glyphosate, Part 1: Toxicology. En: Journal of Pesticides Reform, Volume 15, Number 3. Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides, Eugene, OR, USA. 13p.
18. DINHAM, B. 1999. "Life sciences" take over. En: Pesticides News. The Pesticides Trust. PAN-Europe. London, UK. 44: 7.
19. DOCUMENTO PLAN DE MANEJO AMBIENTAL ERRADICACIÓN DE CULTIVOS ILÍCITOS. 2000. 51p. Consultado en mayo de 2012. Disponible en: http://dne.gov.co/recursos_user/documentos/Doc_tecnicos/glifosato.pdf
20. EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). 1993. Registration Eligibility Decision (RED): Glyphosate, Washington. Consultado en mayo de 2012. Disponible en: http://www.epa.gov/REDS/old_reds/glyphosate.pdf

21. EPA (Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos). 2003. Uso de pesticidas en el programa de erradicación de cultivos de coca y de amapola en Colombia.45p.
22. ESLAVA, P; RAMÍREZ, W; RONDÒN, I. 2007. Sobre los efectos del glifosato y sus mezclas: Impacto en peces nativos. Universidad de los Llanos. Orinoquia-Colombiana.150 p.
23. FENG J, THOMPSON D. 1990. Fate of glyphosate in a Canadian forest watershed. Persistence in foliage and soil. *J. Agric. Food. Chem.* 38:1118-25.
24. GAÓN, E. 2012. Efecto y persistencia de glifosato en el cultivo de cacao en Sucumbíos. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Ibarra-Ecuador. Universidad Técnica del Norte. 73p.
25. HOLDRIDGE, LR. 1967. Ecología de zonas de vida. San José-Costa Rica. Tropical Science Center. 206 p.
26. INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, EC). 2008. Anuario Meteorológico Nro. 48. Unidad SIGIHM. Quito- Ecuador.123p.
27. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, EC). 1990. INIAP-H551 híbrido de maíz para la zona central del litoral. Departamento de Comunicación Social. Quito-Ecuador. Pegable No. 112.
28. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, EC). 1997. Manual de pastos tropicales para la Amazonia ecuatoriana. Napo-Ecuador.34p.

29. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, EC). 2007. Manejo integrado de malezas en cultivo de arroz. En: Manual de arroz. INIAP.
30. JIRAUNGKOORSKUL, W., UPATHAM, E.S., KRUATRACHUE, M., SAHAPHONG, S., VICHASRI-GRAMS, S., POKETHITIYOOK, P. 2002. Histopathological effects of Roundup, a glyphosate herbicide, on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). ScienceAsia. 28, 121-127.
31. KACZEWER, J. 2002. Toxicología del Glifosato: Riesgos para la Salud Humana. Consultado en enero del 2012. Disponible en: http://www.ecoportel.net/contenido/temas_especiales/salud/
32. MARTÍNEZ, P; CASTILLO, J; ROMERO, L. 2011.Efectos del glifosato sobre microorganismos diazotrofos y nitrificantes en ecosistemas alto andino y seco tropical colombianos. Revista Pilquen 13 (11):2-3.
33. MARTINO, D. 1995. El Herbicida Glifosato: su manejo más allá de la dosis por hectárea. INIA La Estanzuela. Serie técnica N° 61.
34. MENDOZA, D.; PEÑA, J.; FRANCO, A. 1999. Efecto de glifosato y paraquat sobre el proceso de nitrificación en un suelo del corregimiento de Rio Frio. Magdalena-Colombia. Consultado en agosto de 2011. Disponible en: <http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/992801/09quimi.htm>.
35. MONSANTO COMPANY. 2005. Summary of the Health Risk Assessment and Safety. Evaluation on Glyphosate and Roundup Herbicides. Consultada en agosto de 2011. Disponible en:

http://www.monsanto.com/products/Documents/glyphosate-background-materials/gly_human_risk.pdf

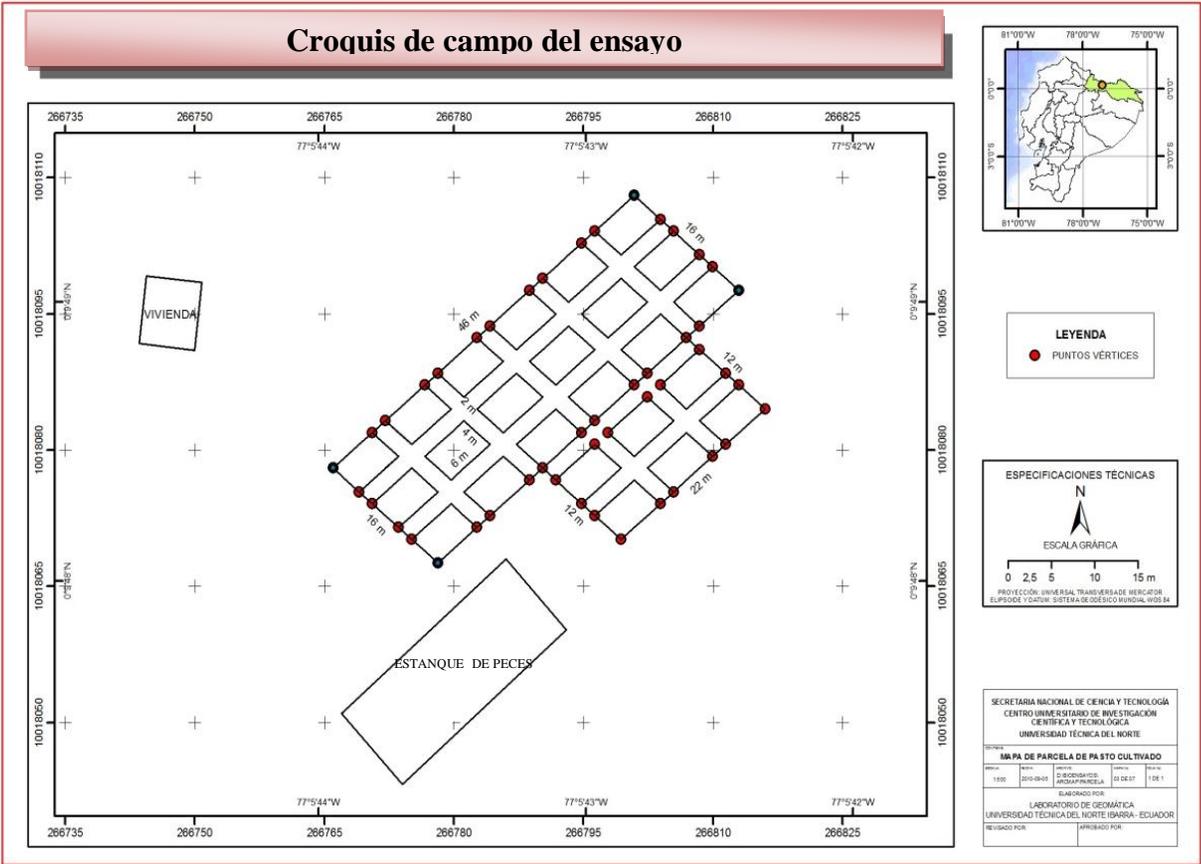
36. MUNICIPIO DE CUYABENO. 2009. Piscicultura Rural. Una alternativa sostenible de uso del recurso. Sucumbíos-Ecuador.30p.
37. NAVIA, E. 2001. Las fumigaciones aéreas sobre cultivos ilícitos si son peligrosas – Algunas aproximaciones. Rapalmira- Colombia. 21p.
38. NESKOVIC, N.K.; POLEKSIC, V.; ELEZOVIC, I.; KARAN, V.; BUDIMIR, M. 1996. Biochemical and Histopathological Effects of Glyphosate on Carp, *Cyprinus carpio* L. Bull. Environm. Contam Toxicol. 5: 259 – 302.
39. NOSANCHUK, J.D., OVALLE, R., CASADEVALL, A., 2001. Glyphosate inhibits melanization of *Cryptococcus neoformans* and prolongs survival of mice after systemic infection. J. Infect. Dis. 183: 1093-1099.
40. PONCE, V. 2009. Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. Consultado en junio de 2012. Disponible en:
http://ponce.tv/la_matriz_de_leopold.html
41. PRATA, F.; CAMPONEZ, V.; LVORENTI, A.; TORNISIELO, V.; BORGES, J. 2003. Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct phosphorus levels. Scientia Agricola 60(1).
42. RACKE, K., M.W. SKIDMORE, D.J. HAMILTON, J.B. UNSWORTH, J. MIYAMOTO, and S.Z. COHEN. 1997. Pesticide fate in tropical soils. Pure Appl. Chem. 69(6), 1349-1371.

43. RAMÍREZ-DUARTE, W.F. 2006. Evaluación anatomopatológica de los efectos tóxicos agudos del Roundup® en juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Trabajo de grado en la modalidad investigativa para optar al Título de Médico Veterinario Zootecnista. Villavicencio-Colombia. Universidad de los Llanos. (100 p.)
44. RUÍZ, A. 2012. Efecto y persistencia del glifosato sobre parámetros biológicos del suelo en bosque secundario, en sucumbíos. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Ibarra-Ecuador. Universidad Técnica del Norte. 69p.
45. SILTANEN, H., C. ROSENBERG, M. RAATIKAINEN and T. RAATIKAINEN. 1981. Triclopyr, glyphosate and phenoxyherbicide residues in cowberries, bilberries and lichen. Bull. Environm. Contam. Toxicol. Vol. 27. 731-737.
46. SOLOMON, K., ANADON, A., MARSHALL, J. y SANIN, L. 2005. Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de los Cultivos Ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida glifosato (PECIG) y los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente, Informe CICAD – OEA, Washington, D.C., Estados Unidos de América. 35p.
47. SPANN, K; HARGREAVES, P. 1994. The determination of glyphosate in soils with moderate to high clay content. Pestic. Sci. 40:41-48.
48. SPRANKLE, W., MEGGIT; D. PENNER. 1975. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. Weed Science. 23:235.

49. TEJADA, M. 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate + diflufenican herbicides. *Chemosphere* 76:365-373.
50. TRIBUNAL ADMINISTRATIVO DE CUNDINAMARCA. 2003. Expediente N.01-0022, accionante Claudia Sampedro y Héctor A. Suárez, en contra del Ministerio del Medio Ambiente y otros. Sentencia para impedir y remediar las fumigaciones para erradicar cultivos ilícitos en la frontera Colombo-Ecuatoriana. 115p.
51. TSUI, M.; CHU, L. 2003. Aquatic toxicity of glyphosate-based formulations: comparison between different organisms and the effects of environmental factors. *Chemosphere* 52: 1189-1197.
52. USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 1999. Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.871p. Consultado en Julio de 2012. Disponible en: ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/tax.pdf
53. VEIGA, F.; ZAPATA, J.; FERNANDEZ, M.; ALVAREZ, E. 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in forest soil Galicia. *Science of the Total Environment* 271(1-3):135-44.
54. WAUCHOPE, R. 1992. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*123:1
55. WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. 1994. *Herbicide Handbook, Glyphosate*, 7th Edition.
56. WHO (World Health Organization). 1994. Program on Chemical Safety.

57. WHO (World Health Organization). 1998. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Addendum to Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva. pp. 219-227.

Anexo 2. Croquis de campo



Anexo 3. Análisis Foliar de Pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*)

Elemento	Contenido	Interpretación
N	1,97 (%)	Bajo
P	0,10 (%)	Bajo
K	1,44 (%)	Bajo
Ca	0,21 (%)	-
Mg	0,16 (%)	-
S	0,11 (%)	-
B	12,90 (ppm)	-
Zn	69,90 (ppm)	-
Cu	14,70 (ppm)	-
Fe	80,10 (ppm)	-
Mn	168,40 (ppm)	-
Cl	-	-
Mo	-	-
Na	-	-

Cuadro de interpretación

Elemento	Nivel Adecuado
N	2,60-3,50
P	0,28-0,40
K	2,00-3,00
Ca	-
Mg	-
S	-
Cl	-

Elemento	Nivel Adecuado
B	-
Zn	-
Cu	-
Fe	-
Mn	-
Mo	-
Na	-

Anexo 4. Características físico-químicas del suelo del ensayo, antes de la aplicación de glifosato. Sucumbíos, 2011-2012.

Análisis	Unidad	Valor	Interpretación
pH		4,50	Acido
Al+H	meq/100ml	3,30	Tóxico
Aluminio	meq/100ml	1,30	Tóxico
Potasio	meq/100ml	0,28	Medio
Calcio	meq/100ml	3,00	Bajo
Magnesio	meq/100ml	0,75	Bajo
Suma de bases	meq/100ml	7,33	
NH ₄	ppm	40,00	Medio
Fósforo	ppm	3,60	Bajo
Azufre	ppm	9,80	Bajo
Zinc	ppm	5,40	Medio
Cobre	ppm	4,90	Alto
Hierro	ppm	249,00	Alto
Manganeso	ppm	23,30	Alto
Boro	ppm	0,50	Bajo
M.O.	%	5,90	Alto
Saturación de bases	%	Saturado	
CIC	meq/100g suelo	3,30	Baja
Textura	Arcillosa		

Anexo 5. Población de microorganismos determinada antes y después de dos días de aplicar cinco dosis de glifosato.

Sucumbíos, 2010-2011.

Microorganismos (UFC/gss)	Antes	Después					
	Muestra Compuesta	T1(6,25)	T2(4,69)	T3(3,12)	T4(1,57)	T5(0,63)	T6(0,00)
		(gal Roundup _{SL} /ha)					
Bacterias	$9,31 \times 10^6$	$4,90 \times 10^5$	$2,39 \times 10^6$	$1,33 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$	$9,20 \times 10^5$	$1,42 \times 10^6$
Actinomicetos	$2,75 \times 10^8$	$9,80 \times 10^7$	$6,28 \times 10^7$	$1,14 \times 10^8$	$1,33 \times 10^8$	$7,36 \times 10^7$	$9,67 \times 10^7$
Hongos	$4,65 \times 10^4$	$1,17 \times 10^4$	$2,43 \times 10^4$	$5,50 \times 10^4$	$2,03 \times 10^4$	$2,76 \times 10^4$	$1,10 \times 10^5$
Celulolíticos	$1,43 \times 10^7$	$1,57 \times 10^6$	$2,39 \times 10^6$	$5,43 \times 10^6$	$3,39 \times 10^6$	$2,91 \times 10^6$	$4,95 \times 10^6$
Solubilizadores de Fósforo	$1,19 \times 10^6$	$4,80 \times 10^6$	$8,92 \times 10^6$	$8,15 \times 10^6$	$6,78 \times 10^6$	$2,53 \times 10^6$	$2,36 \times 10^6$
Fijadores de Nitrógeno	$1,07 \times 10^5$	$5,88 \times 10^5$	$5,03 \times 10^5$	$1,09 \times 10^6$	$6,78 \times 10^5$	$6,14 \times 10^5$	$1,42 \times 10^6$

Anexo 6. Número de plantas de maíz germinadas por parcela neta (12,96 m²)

TRATAMIENTO (gal Roundup SL/ha)	REPETICIONES				SUMATORIA	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1(6,25)	48	44	36	51	179	45
T2(4,69)	43	36	38	43	160	40
T3(3,12)	38	47	40	41	166	42
T4(1,57)	35	46	36	38	155	39
T5(0,63)	48	30	42	45	165	41
T6(0,00)	48	38	42	39	167	42

Anexo 7. Rendimiento de maíz (kg/ha)

TRATAMIENTOS (gal Roundup SL/ha)	REPETICIONES				SUMATORIA	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1(6,25)	3206,40	2871,43	3623,71	2081,73	11783,27	2945,82
T2(4,69)	1962,65	2627,07	2726,04	2425,75	9741,51	2435,38
T3(3,12)	3490,00	2167,02	3300,00	2821,60	11778,62	2944,66
T4(1,57)	1997,00	2800,00	2700,00	2019,43	9516,43	2379,11
T5(0,63)	2841,83	3534,78	3300,82	3302,86	12980,29	3245,07
T6(0,00)	2790,48	2980,74	2070,00	3000,00	10841,22	2710,31

Anexo 8. Fotografías de las actividades realizadas en el ensayo “Movilidad y persistencia de glifosato en el sistema de cultivo pasto maíz”. Sucumbíos; 2010-2011.

<p>A. Elaboración de estacas</p> 	<p>B. Colocación de estacas</p> 
<p>C. Pintado de estacas</p> 	<p>D. Colocación de piola</p> 

E. Trazo de caminos



F. Trazo de canales



G. Delimitación del ensayo (Vista Panorámica)



H. Delimitación del ensayo (Vista Aérea)



I. Construcción e instalación de parcelas de escurrimiento



J. Acondicionamiento del estanque de peces



K. Componentes y preparación de la mezcla



L. Aplicación del herbicida



M. Toma de muestras de suelo



N. Toma de muestras de tejido vegetal (Pasto)



Ñ. Siembra y fertilización de maíz



O. Cultivo de maíz



P. Toma de muestras de tejido vegetal (Maíz)



Q. Cosecha de maíz y proceso para el cálculo del rendimiento



R. Toma de muestras de tejido animal



S. Toma de muestras de agua



Anexo 9. Estudio de Impacto Ambiental

TEMA:

Estudio del impacto ambiental que provoca la implementación y ejecución del Proyecto de Investigación, Movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, persistencia y daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto - maíz, en Sucumbíos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar los impactos positivos y negativos que se provoquen como resultado de la implementación y ejecución del proyecto de investigación, Movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, persistencia y daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto - maíz, en Sucumbíos.

Objetivo Específicos:

- Identificar los impactos ambientales que se provoquen de la implementación y ejecución de la presente investigación.

- Formular un plan de manejo adecuado para disminuir los impactos en el ambiente.

Evaluación de impactos.

Metodología.

Los impactos producidos en esta investigación se evaluaron a través de las matrices de interacción de impactos y de Leopold.

La matriz de Leopold tiene en el eje horizontal las acciones que causan impacto ambiental; y en el eje vertical las condiciones ambientales existentes que puedan verse afectadas por esas acciones. Este formato provee un examen amplio de las interacciones entre acciones propuestas y factores ambientales. (Leopold et al., 1971; citado por Ponce, 2009).

Cuadro 20. Valoración de impactos ambientales

Impacto Positivo		Impacto Negativo	
Calificación	Equivalencia	Calificación	Equivalencia
3	Alto	-3	Alto
2	Medio	-2	Medio
1	Bajo	-1	Bajo

Fuente: Ponce, V. 2009.

Área de influencia directa (AID)

El área de influencia directa, se consideró el lugar donde se encontró el terreno en el que se llevó a cabo la investigación.

Área de influencia indirecta (AII)

Las áreas de influencia indirecta fueron las más alejadas del proyecto como son: vías de acceso, otros cultivos, cuerpo de agua y casa aledaña en la finca La Edita.

Acciones del proyecto

A1.- delimitación de las unidades experimentales

A2.- trazo de canales de drenaje

A3.- construcción de estanque

A4.- aplicación del herbicida

A5.- siembra

A6.- aplicación de insecticida

A7.- cosecha

Lista de Impactos

A1: +I. generación de empleo

A2: +I. generación de empleo

- I. reducción de cobertura vegetal

A3: +I. generación de empleo

A4: +I. generación de empleo

-I daño al cultivo de pasto

-I contaminación agua

-I daño a peces

A5. +I. generación de empleo

A6: +I. generación de empleo

-I reducción de insectos benéficos

+I. mejora la productividad del cultivo

A7: +I. generación de empleo

MATRIZ DE INTERACCIÓN DE IMPACTOS

ACTIVIDADES FACTORES AMBIENTALES		IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN						
		Delimitación de las unidades experimentales	Trazo de canales de drenaje	Construcción de estanque	Aplicación de herbicida	Siembra	Aplicación de insecticida	Cosecha
ABIÓTICO	Suelo		x	x	x	x		
	Agua		x	x	x			
	Aire				x		x	
BIÓTICO	Cultivo de pasto	x	x		x			
	Cultivo de maíz						x	
	Microorganismos				x			
	Artropodos	x	x		x		x	
	Peces				x			
SOCIO-ECONÓMICO	Salud				x		x	
	Empleo	x	x	x	x	x	x	x
	Economía	x	x	x	x	x	x	x

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR EL MÉTODO DE LEOPOLD

ACTIVIDADES FACTORES AMBIENTALES		IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN							AFECTACIÓN POSITIVA	AFECTACIÓN NEGATIVA	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
		Delimitación de las unidades experimentales	Trazo de canales de drenaje	Construcción de estanque	Aplicación de herbicida	Siembra	Aplicación de insecticida	Cosecha			
ABIÓTICO	Suelo	/	-1 1	-1 1	-1 2	-1 1	/	0	4	-5	
	Agua	/	-1 1	-1 1	-1 2	/	/	0	3	-4	
	Aire	/	/	/	-1 1	/	-1 1	0	2	-2	
BIÓTICO	Cultivo de pasto	-1 1	-1 2	/	-3 3	/	/	0	3	-12	
	Cultivo de maíz	/	/	/	/	/	+3 2	1	0	6	
	Microorganismos	/	/	/	-1 1	/	/	0	1	-1	
	Artrópodos	-2 1	-1 1	/	-2 2	/	-2 1	0	4	-9	
	Peces	/	/	/	-2 3	/	/	0	1	-6	
SOCIO-ECONÓMICO	Salud	/	/	/	-2 1	/	-2 1	0	2	-4	
	Empleo	+2 2	+2 2	+3 2	+2 3	+2 2	+1 1	+2 2	7	0	29
	Economía	+2 1	+2 1	+3 2	-2 3	+3 2	+2 2	+2 2	6	1	18
AFECTACIÓN POSITIVA		2	2	2	1	2	3	2	COMPROBACIÓN 10		
AFECTACIÓN NEGATIVA		2	4	2	9	1	3	0			
AGREGACIÓN DE IMPACTOS		3	1	10	-27	9	6	8			

Ambientalmente la presente investigación es positiva con un valor de +10

CONCLUSIONES:

La evaluación de impacto ambiental, mediante la matriz de Leopold presenta 7 actividades, 11 factores ambientales que están agrupados en 3 medios (abiótico, biótico y socioeconómico), y 35 interacciones.

Con el análisis de la matriz de Leopold se demuestra que la implementación y ejecución del ensayo tiene un impacto positivo con un valor de 10.

La aplicación del herbicida fue la actividad que más impactos negativos causó con un valor de -27 en cambio el factor de generación de empleo fue afectado positivamente con un valor de +29.

PLAN DE MANEJO DEL PROYECTO MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO - MAÍZ, EN SUCUMBÍOS.

-Alternar el uso de agroquímicos con abonos orgánicos para causar menos impacto en la Edafofauna y microorganismos presentes en el suelo.

-Aun con la dosis agrícola el glifosato causa gran daño en el tejido de los vegetales por lo tanto, la dosificación y la aplicación tienen que ser muy controladas para evitar causar impactos negativos en cultivos benéficos.

-A pesar del impacto mínimo que causaría al ambiente la deriva de las aspersiones, se recomienda utilizar el glifosato en las dosis indicadas y mediante aplicaciones localizadas para el control de malezas en los sistemas de producción de cultivos y limitar su uso en aspersiones aéreas para evitar daño por contacto a otras plantas y contaminación del ambiente.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO,
PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE
CULTIVO PASTO - MAÍZ, EN SUCUMBÍOS.**

**Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera en Recursos Naturales
Renovables**

AUTORA:

Mariela Elizabeth Rosas Castillo

DIRECTOR:

Ing. M.Sc. Jorge Revelo

Ibarra - Ecuador

2012



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

1. TEMA: Movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, persistencia y daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto - maíz, en sucumbíos

2. AUTORA: MARIELA ELIZABETH ROSAS CASTILLO

3. DIRECTOR: ING. JORGE REVELO, M.SC.

4. CÓMITE LECTOR:

Dr. Nelson Gallo, M.Sc.

Dr. Marcelo Dávalos, M.Sc.

Ing. Franklin Valverde, M.Sc.

5. LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN: Finca La Edita, sector las Malvinas 2, cantón Lago Agrio, provincia Sucumbíos.

6. BENEFICIARIOS:

Universidad Técnica del Norte

Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica CUICYT.

Programa de caracterización y propuesta de mitigación de la zona fronteriza Ecuador - Colombia afectada por las fumigaciones con glifosato.

7. AÑO: 2011 – 2012

HOJA DE VIDA DE LA INVESTIGADORA



APELLIDOS: Rosas Castillo

NOMBRES: Mariela Elizabeth

CIUDADANÍA: Ecuatoriana

TELÉFONO CONVENCIONAL: 062546967

TELÉFONO CELULAR: 0997010888

CORREO ELECTRÓNICO: marieli.rosas.13@gmail.com

PROVINCIA: Imbabura

CANTÓN: Ibarra

PARROQUIA: El Sagrario

DIRECCIÓN: Cdla. San Andrés, Jesús Yerovi 2-27 Y Quito

FECHA DE DEFENSA DE TESIS: Noviembre 2012

MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO - MAÍZ, EN SUCUMBÍOS.

AUTOR:

Rosas Castillo Mariela Elizabeth

COAUTOR:

Ing. Jorge Revelo M. Sc.

INTRODUCCIÓN

Los herbicidas que contienen como ingrediente activo el glifosato, son sistémicos, de espectro amplio y de post-emergencia. Actúan inhibiendo la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa, esencial en plantas y microorganismos para la producción de aminoácidos aromáticos. Tales herbicidas han sido utilizados por varias décadas en la agricultura a nivel mundial y desde 1992 en la frontera Ecuador- Colombia para la erradicación de cultivos ilícitos a través del Plan Colombia (Martínez, *et al.*, 2011).

Una de las estrategias del Plan Colombia consistía en la fumigación aérea de herbicidas químicos. Se estima que la mezcla utilizada fue Roundup Ultra (44% de glifosato) + 55% de agua y 1% de Cosmo Flux (Tribunal Administrativo de Cundinamarca, 2003).

Existen muchos reportes de los impactos en el ambiente por su uso en la agricultura y por la deriva de las fumigaciones aéreas. De manera general, apuntan a que el herbicida Roundup (glifosato) contamina el suelo, el aire, las fuentes de agua, destruye los cultivos ilícitos, afecta los animales de cría y los peces, recursos que constituyen la base de la sobrevivencia de las comunidades que habitan en las zonas asperjadas. Señalan, además, que su uso en aspersiones aéreas, atenta contra la biodiversidad de flora y fauna de la Amazonía, únicas en el mundo, afectan la salubridad pública y destacan que, al destruir la cobertura vegetal de pastos, cultivos y bosques, el suelo queda expuesto afectando a los microorganismos que son fundamentales para la vida del mismo (Acción Ecológica, 2003; Amicus Curiae, 2009; CIF, 2003).

La mayoría de estudios sobre los efectos del glifosato en el ambiente, son contradictorios. Algunos autores (Sprinkle *et al.*, 1975; Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000; Solomón *et al.*, 2005; Monsanto, 2005), reportan que no han encontrado efectos significativos sobre el suelo, agua y peces; en cambio otros (Mendoza *et al.*, 1999; Navia, 2001; Comisión Científica Ecuatoriana, 2007; Eslava *et al.*, 2007; Amicus Curiae, 2009), reportan lo contrario.

La necesidad de disponer de datos experimentales de los efectos del glifosato en el ambiente, especialmente de la movilidad y persistencia del glifosato en el suelo, en agua de escurrimiento, en agua de estanque de peces, en cultivos y del daño a la microbiota del suelo y a peces, justificaron la realización de la presente investigación en Sucumbíos, zona fronteriza con Colombia. Para este fin, en el sistema de cultivo pasto-maíz, seis dosis de Roundup_{SL} (glifosato 48%), fueron aplicadas a pasto Dallis para eliminarlo antes de sembrar maíz y luego realizar el seguimiento de la movilidad y persistencia del glifosato y determinar probables daños a este sistema, a la microbiota del suelo y a peces.

Los resultados obtenidos muestran impacto ligero al ambiente del uso de glifosato en la agricultura y permiten predecir el efecto de la deriva de las aspersiones aéreas en el ambiente.

OBJETIVOS

• GENERAL

Generar información experimental de la movilidad y persistencia del glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, tejido de maíz y peces, y el daño a pasto, maíz, microbiota del suelo y a peces.

• ESPECÍFICOS

- Determinar la movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz
- Determinar la persistencia de glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz
- Determinar el daño que glifosato causa al tejido de pasto y al siguiente cultivo el maíz
- Evaluar el efecto del glifosato en la población de microorganismos del suelo
- Establecer el efecto del glifosato en peces

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Ho: La movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque, tejido de peces, follaje y grano de maíz, es baja.

Ha: La movilidad de glifosato en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque, tejido de peces, follaje y grano de maíz, es alta.

Ho: La persistencia de glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz, es menor a dos meses.

Ha: La persistencia del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano de maíz, es mayor a dos meses.

Ho: El daño que glifosato causa al tejido de pasto, no es significativo.

Ha: El daño que glifosato causa al tejido de pasto, es significativo.

Ho: El glifosato aplicado al pasto no causa daño al maíz.

Ha: El glifosato aplicado al pasto si causa daño al maíz.

Ho: El glifosato no afecta la población de microorganismos del suelo.

Ha: El glifosato si afecta la población de microorganismos del suelo.

Ho: La dosis de glifosato usada en las aspersiones aéreas del Plan Colombia, no afecta a los peces tilapia y cachama.

Ha: La dosis de glifosato usada en las aspersiones aéreas del Plan Colombia, afecta a los peces tilapia y cachama.

METODOLOGÍA

LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó de septiembre del 2010 a diciembre del 2011, en la hacienda La Edita, Malvinas 2, cantón Cascales, provincia de Sucumbíos, altitud 360 m, coordenadas UTM: x: 934566 Este y: 10017709 Norte, zona de vida Bosque húmedo tropical, clima cálido húmedo y tipo de suelo del orden Inceptisol y suborden Tropept.

La investigación constó de dos experimentos: (1) Determinación de la persistencia y movilidad del glifosato en tejido de pasto, en el suelo, en agua de escurrimiento, tejido de peces y grano de maíz, y daño en pasto, maíz y efecto en la actividad microbiológica del suelo. (2) Determinación del efecto de glifosato en peces mediante exposición directa.

FACTOR EN ESTUDIO

Herbicida Roundup_{SL} {(glifosato 48%) + POEA (surfactante: polioxietileno-amina)} + adherente Cosmo-flux 411F 1% + agua 51%.

TRATAMIENTOS

En los dos experimentos se evaluaron 6 tratamientos: T1=6,25, T2=4,69, T3=3,12, T4=1,57, T5=0,63 y T6=0,00 gal/ha de Roundup_{SL}+ Cosmo-flux 411F.

Primer experimento

DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos fueron evaluados en un diseño DBCA con 4 repeticiones y unidades experimentales de 24 m² con pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) de 10 años de edad y 1,2 m de alto, donde, después de necrosar el pasto con las dosis de Roundup_{SL}, se sembraron cinco surcos con la variedad de maíz INIAP-H551, a 0,30 m entre plantas y 0,80 m entre surcos. Se consideró una parcela neta de 12,96 m² (5,40 m x 2,40 m), con tres surcos y 54 sitios (dos semillas por sitio).

Con datos de las variables se elaboraron cuadros y gráficos para determinar, la persistencia y movilidad del glifosato mediante la presencia o ausencia en el tejido de pasto, en el suelo, en agua de escurrimiento y del estanque, en el tejido de peces y en el tejido del follaje y grano del maíz.

De forma similar, con datos de necrosamiento del tejido de pasto se elaboraron gráficos y con datos de germinación y rendimiento del maíz se realizó el ADEVA para determinar el daño.

VARIABLES

- Necrosamiento de tejido de pasto. a partir del segundo día de la aspersión se realizaron registros semanales de tejido necrosado (%), hasta alcanzar el 100%. el tiempo requerido se expresó en días.
- Presencia de glifosato y AMPA en tejido de pasto a los 2, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación (mg/kg).
- Presencia de glifosato y AMPA en los sustratos de suelo de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm, a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación (mg/kg).
- Poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno, antes y a los 2, 15 y 30 días de

la aplicación. las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de microbiología de suelos del departamento de manejo de suelos y aguas de la estación experimental santa catalina del INIAP y las poblaciones se expresaron en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco (UFC/gss).

- Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua de escurrimiento, agua del estanque, tejido de peces, follaje y grano del maíz, a los 7, 15 y 30 días después de la aplicación, excepto las muestras de maíz tomadas a los 2 y 4 meses de edad del cultivo.
- Germinación (%) a los 15 días de la siembra y rendimiento de grano (kg/ha).

MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

En un lote de 1312 m² sembrado con pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) y con 20% de pendiente, se tomaron muestras de suelo de 0 a 20 y de 20 a 50 cm de profundidad para análisis físico y químico. En el terreno, 24 unidades experimentales fueron delimitadas y, en la parte inferior de cada parcela y a favor de la pendiente, se colocó un sistema de recolección de agua de escurrimiento de 1,44 m² (1,0 m x 1,15 m), construido con láminas de tol de 40 cm de alto y una abertura en la parte inferior donde se colocó un balde graduado para coleccionar el agua.

Para evitar impacto del glifosato en un estero cercano al ensayo experimental, el agua de escurrimiento de las parcelas fue canalizada hacia un estanque de 28 m x 13 m x 1,5 m, construido en la parte inferior del mismo. El estanque simuló un pequeño ecosistema acuático para evaluar el efecto del glifosato en peces tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y cachama roja (*Piaractus brachipomus*), movillizado por el agua de escurrimiento. El estanque fue llenado con agua del estero cercano y se colocaron 130 alevines de tilapia roja y 200 de cachama roja, 44 días antes de aplicar la mezcla del herbicida al pasto de las parcelas, con bomba de mochila y boquilla de abanico. Las aplicaciones se comenzaron con la dosis baja y se terminó con la dosis, lavando la bomba con agua y detergente en cada recambio. Para evitar la deriva del producto a parcelas vecinas, se utilizó una pantalla de plástico alrededor de cada unidad experimental.

La siembra de maíz se realizó con espeque, colocando dos semillas por sitio y 5 g de 10-30-10. A los dos meses se aplicaron 2,0 g de urea. La cantidad total de N-P-K aplicada fue de 344, 74 y 238 kg/ha que corresponde a la suma de la recomendación 60, 60 y 30 kg/ha de N-P-K y el aporte del pasto 284, 14 y 208 kg/ha de N-P-K. Como fertilizantes químicos se utilizaron las formulaciones 10-30-10 y urea (46%) en dosis de 4 y 1,85 sacos de 45 kg/ha, respectivamente. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), se controló con cipermetrina 25%, 0,14 ml por parcela. Se realizaron labores de deshierba cada mes. A los 4 meses se realizó la cosecha en las parcelas netas (3 surcos centrales), se desgranaron las mazorcas y se pesó el grano para conocer el rendimiento en kg/ha.

Segundo experimento

DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos son los mismos del primer experimento. Para su evaluación, fueron distribuidos al azar en unidades experimentales (estanques de 0,5 m³ de capacidad), en un solo bloque.

VARIABLES

- Mortalidad de peces. Después de la aplicación del herbicida se realizaron lecturas diarias del número de peces muertos y fue expresado en porcentaje.
- Presencia de glifosato y AMPA en agua y en tejido de peces. De cada estanque se tomaron 500 ml de agua, seis horas después de aplicar el herbicida. Las muestras fueron analizadas para determinar presencia de glifosato y AMPA, en el laboratorio de Ecotoxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

Se excavaron 6 agujeros de 1 m x 1 m x 0,5 m. Para evitar filtración de agua fueron forrados con plástico. En cada uno se colocaron 320 litros de agua.

En cada unidad experimental se instaló un sistema de oxigenación para peceras y se colocó 1 cachama de 31 cm de largo, 13 cm de ancho, 3 cm de espesor y una tilapia de 26 cm de largo, 10 cm de ancho, 2 cm de espesor, con 0,5 kg de peso, en promedio, y nueve meses de edad. La aplicación de los tratamientos se realizó con un atomizador, empezando con la dosis baja. Entre cada aplicación, se lavó el atomizador con agua y detergente.

RESULTADOS

Primer experimento

En los tratamientos T1, T2 y T3, el 100 % del tejido foliar del pasto fue necrosado a las 2 semanas, en los tratamientos T4 y T5, a las 3 y 4 semanas, respectivamente (Gráfico 1). El tiempo requerido para necrosar el 100 % del follaje del pasto, dependió de la dosis de glifosato, a dosis altas menor tiempo y lo contrario a dosis bajas.

En el Gráfico 2, se aprecia la degradación del herbicida en el tejido de pasto, estableciendo que el tiempo de persistencia es de 30 días. No se detectó la presencia de AMPA en pasto.

En los sustratos de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm, glifosato y AMPA no fueron detectados en ninguno de los tratamientos, a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación (Cuadro 1), resultado que sugiere que la mayor parte del herbicida quedó atrapado en el follaje del pasto.

La prueba de correlación entre niveles de glifosato y poblaciones de microorganismos del suelo, no detectó diferencias estadísticas ($p < 0,05$) (Gráfico 3), es decir, la población de microorganismos del suelo, fue similar desde el inicio hasta el final del experimento, resultado que corrobora la ausencia de glifosato en el suelo.

Glifosato y AMPA no fueron detectados en agua de escurrimiento, agua del estanque de peces, tejido de peces y de follaje y grano de maíz (Cuadros: 2, 3, 4 y 5). El ADEVA de las variables germinación y rendimiento del maíz, no detectó diferencias estadísticas entre tratamientos demostrando que el cultivo no fue afectado por el glifosato aplicado al pasto (Cuadro 6).

La no detección de glifosato en el suelo, en agua de escurrimiento, agua del estanque y en tejido de peces y follaje y grano de maíz, afianzan la creencia de que la mayor cantidad del herbicida quedó atrapado en el follaje del pasto.

Segundo experimento

Las dosis de glifosato evaluadas no causaron daño a los peces (Cuadro 7) y no se detectó la presencia de glifosato y AMPA en el tejido (Cuadro 8). La razón por la cual los peces no fueron afectados, es que la dosis de Roundup_{SL} a la que fueron expuestos, es muy inferior a la CL₅₀ (Cuadro 8).

Para comprobar lo dicho, en una pecera de 40 cm x 23 cm x 30 cm, conteniendo 25 litros de agua y dos peces: 1 cachama (de 26 cm de largo, 13 cm de ancho, 2 cm de espesor) y una tilapia (de 26 cm de largo, 10 cm de ancho y 2,5 cm de espesor), con 0,4 kg de peso promedio y cinco meses de edad, se aplicaron 57 cc de Roundup_{SL} que equivale a 178,1 mg/L de Roundup_{SL}, 1,8 y 4,8 veces mayor a la DL₅₀, para cachama y tilapia, respectivamente. El agua se tornó de color lechosa y a los tres minutos de la aplicación, los dos peces murieron. El análisis del tejido de los peces detectó 19,4 y 22,6 mg/kg de glifosato en tilapia y cachama, respectivamente.

Considerando la dosis tan alta de Roundup_{SL} requerida para causar el 50% de mortalidad, se establece que es mínima la probabilidad de que una dosis tan elevada del herbicida sea depositada en un estanque de peces por impacto directo de una aspersión aérea y, mucho menos, por deriva.

CONCLUSIONES

- La aplicación del herbicida Roundup_{SL} (glifosato 48%) al pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*), antes de la siembra del maíz, requirió de 2 a 4 semanas para necrosar el 100 % del tejido del pasto y dependió de la dosis, a mayor dosis menor tiempo y mayor tiempo a dosis menor.
- El tiempo de persistencia del glifosato en el tejido del pasto Dallis fue de 30 días.
- El glifosato aplicado al pasto Dallis, no se movilizó al suelo, al agua de escorrentía, a agua del estanque, a tejido de peces y al follaje y grano del maíz, porque fue retenido en el tejido del pasto.
- Los niveles similares de población de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno, registrados en el suelo desde el inicio hasta el final del experimento, indican que no hubo depósito de glifosato en el suelo y soportan la afirmación de que quedó retenido en el tejido del pasto.
- La aplicación del herbicida Roundup_{SL} al pasto Dallis, previo a la siembra de maíz, no afectó la germinación y el rendimiento de este cultivo.
- Las dosis evaluadas de Roundup_{SL} (glifosato 48%) de 6,25, 4,69, 3,12, 1,57, 0,63 y 0,00 gal/ha, equivalentes a 14,81, 11,12, 7,43, 3,68, 1,93 y 0,00 mg de Roundup_{SL}/l, no causaron daño a los peces cachama y tilapia, de nueve meses de edad, por ser cantidades menores a la CL₅₀ de 97,4 y 36,8 mg/l de Roundup_{SL}, respectivamente.
- Debido a la dosis alta de Roundup_{SL} que se requiere para causar el 50% de mortalidad de peces tilapia o cachama, se concluye que es mínima la probabilidad de que una dosis tan elevada del herbicida, sea depositada en un estanque de peces por impacto directo de una aspersión aérea y mucho menos por deriva.

RECOMENDACIONES

- A pesar del impacto mínimo que causaría al ambiente la deriva de las aspersiones, se recomienda utilizar glifosato en las dosis indicadas y mediante aplicaciones localizadas para el control de malezas en los sistemas de producción de cultivos y limitar su uso en aspersiones aéreas para evitar daño por contacto a otras plantas y contaminación del ambiente.
- Realizar estudios de movilización del glifosato en el suelo, en agua de escorrentía, en agua de esteros o de estanques, en tejido de peces y en follaje y grano del maíz, mediante aplicaciones directas al suelo.
- Realizar estudios del efecto del glifosato en la población de microorganismos del suelo, mediante aplicaciones directas.

RESUMEN

Para conocer la movilidad y persistencia del glifosato en el suelo, agua de escurrimiento y el daño en el tejido vegetal del sistema de cultivo pasto-maíz, microbiota del suelo y peces, y relacionar los resultados con la deriva de las aspersiones aéreas del Plan Colombia, se llevaron a cabo dos experimentos con los siguientes objetivos: 1) Determinar la movilidad y persistencia de glifosato en tejido de pasto, en el suelo, agua de escurrimiento, agua de estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano del maíz, 2) Determinar el daño que glifosato causa al tejido de pasto y al siguiente cultivo el maíz, 3) Evaluar el efecto del glifosato en la población de microorganismos del suelo y 4) Establecer el efecto del glifosato en peces. Para este fin, en la hacienda La Edita (Lago Agrio-Sucumbíos), se evaluaron 6 tratamientos: T1=6,25, T2=4,69, T3=3,12, T4=1,57, T5=0,63 y T6=0,00 gal/ha de Roundup_{SL}+ Cosmo-flux 411F. En el primer experimento se utilizó un (DBCA), 4 repeticiones y unidades experimentales de 24 m². Las variables fueron: (a) necrosamiento del tejido de pasto mediante registros semanales (%); presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en tejido de pasto a los 2, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación, (b) presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en los sustratos 0 a 20 cm y 20 a 50 cm, a los 2, 15 y 30 días después de la aplicación, (c) poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno en UFC/gss, antes y después de 2 días de la aplicación, (d) presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua de escurrimiento, agua del estanque, tejido de peces, follaje y grano del maíz, a los 7, 15 y 30 días después de la aplicación, excepto las muestras de maíz tomadas los dos y cuatro meses de edad del cultivo y (e) germinación (%) a los 15 días de la siembra y rendimiento de grano (kg/ha). En el segundo experimento los mismos tratamientos fueron distribuidos al azar en unidades experimentales (estanques de 0,5 m³ de capacidad) en un solo bloque. Las variables fueron: (a) mortalidad de peces y (b) presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua y en tejido de peces, siete días después de la aplicación del herbicida. Resultados del primer experimento. En los tratamientos T1, T2 y T3, el 100 % del tejido foliar del pasto fue necrosado a las 2 semanas y en T4 y T5, a las 3 y 4 semanas, respectivamente. En el tejido del pasto solamente se detectó a glifosato y el tiempo de persistencia fue de 30 días. En el suelo, agua de escurrimiento, agua del estanque de peces, tejido de peces, follaje y grano de maíz, no se detectó la presencia de glifosato y AMPA. La prueba de correlación entre los niveles de glifosato y las poblaciones de

microorganismos del suelo, no detectó diferencias estadísticas ($p < 0,05$). El ADEVA de las variables germinación y rendimiento del maíz, no detectó diferencias estadísticas entre tratamientos.

Resultados del segundo experimento. Las dosis de glifosato evaluadas no causaron daño a los peces tilapia y cachama y no se detectó a glifosato y AMPA en su tejido. La razón por la cual los peces no fueron afectados, es porque la dosis de Roundup_{SL}, a la que fueron expuestos, es inferior a la CL₅₀.

Del primer experimento se concluye que la movilidad del glifosato fue nula, debido a que la mayor cantidad quedó atrapada en el follaje, aseveración sustentada al no detectar su presencia en: suelo, agua de escorrentía, agua del estanque, tejido de peces, follaje y grano del maíz, además de que las poblaciones de microorganismos del suelo fueron similares antes y al final del estudio. La movilidad nula del glifosato, explica la ausencia de daño en los peces tilapia y cachama del estanque y en la germinación y rendimiento del maíz. La persistencia en el tejido del pasto fue de 30 días.

Del segundo experimento se concluye que las dosis evaluadas de Roundup_{SL} de 6,25, 4,69, 3,12, 1,57, 0,63 y 0,00 gal/ha, equivalentes a 14,81, 11,12, 7,43, 3,68, 1,93 y 0,00 mg de Roundup_{SL}/L, no causaron daño a los peces cachama y tilapia, de nueve meses de edad, por ser menores a la CL₅₀ de 97,4 y 36,8 mg/L de Roundup_{SL}, respectivamente, y que, debido a la dosis alta de Roundup_{SL} que se requiere para causar el 50% de mortalidad de peces tilapia o cachama, es mínima la probabilidad de que una dosis tan elevada del herbicida, sea depositada en un estanque de peces por impacto directo de una aspersión aérea y mucho menos por deriva.

A pesar del impacto mínimo que causaría al ambiente la deriva de las aspersiones, se recomienda utilizar el glifosato en las dosis indicadas y mediante aplicaciones localizadas para el control de malezas en los sistemas de producción de cultivos y limitar su uso en aspersiones aéreas para evitar el daño por contacto a otras plantas y la contaminación del ambiente. Realizar estudios de movilización del glifosato en el suelo, en agua de escorrentía, en agua de esteros o de estanques, en tejido de peces y en follaje y grano del maíz, mediante aplicaciones directas al suelo y también su efecto en la población de microorganismos del suelo.

SUMMARY

To know the mobility and persistency of glyphosate in soil, runoff water and the vegetable tissue damage of the culture system grass – corn, soil micro biota and fish, and link the results with drift of aerial spraying of Plan Colombia were carried out two experiments with the following objectives: 1) Determine the mobility and persistency of glyphosate in grass tissue, soil, runoff water, fish pond water, fish tissue, foliage and corn grain. 2) Determine damage glyphosate on grass tissue and the subsequent maize crop. 3) Evaluate effect the glyphosate on the soil population microorganisms and 4) Establish the glyphosate effect on fish. For this purpose, in the La Edita Farm (Lago Agrio-Sucumbios), six treatments were evaluated: T1=6,25, T2= 4,69, T3=3,12, T4 = 1,57, T5 = 0,63 and T6 = 0,00 gal / ha of Roundup SL + Cosmo – Flux 411F. In the first experiment a RCBD with 4 repetitions and experimental units of 24m². The variables were: (a) grass tissue necrosis by weekly evaluations (%), presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in grass tissue at 2, 15, 30, 45 and 60 days after the application, (b) presence of glyphosate and AMPA

(mg/kg) in the substrates from 0 to 20cm and 20 to 50cm deep, at 2, 15 and 30 days after the application, (c) total population of bacteria, fungi, actinomycetes, phosphorus solubilizers and nitrogen fixing cellulolytic in CFU / gss before and after 2 days of the application, (d) presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in runoff water, fish pond water, fish tissue, foliage and corn grain, at 7, 15 and 30 days after the application, except the maize samples taken at two and four months maize old and (e) Germination (%) at 15 days after planting and grain yield (kg/ha). In the second experiment, the same treatments were randomized into experimental units (tanks of 0,5 m3 capacity) in a single block. The variables were: (a) fish mortality and (b) presence of glyphosate and AMPA (mg/kg) in water and fish tissue, seven days after the herbicide application.

First experiment results. In treatments T1, T2 and T3, 100% grass leaf tissue was necrotic at 2 weeks and at T4 and T5, at 3 and 4 weeks, respectively. The grass tissue was detected only glyphosate and persistence time was 30 days. In soil, runoff water, fish pond water, fish tissue, foliage and corn grain was not detected the presence of glyphosate and AMPA. The test of correlation between levels of glyphosate and soil microbial populations detected no statistical differences ($p < 0.05$). ANOVA variable germination and yield of corn, did not detect statistical differences between treatments.

Second experiment results. The evaluated glyphosate dose didn't cause any damages to tilapia and cachama fishes, and glyphosate and AMPA were not detected on their tissues. The reason for which the fishes were not affected is because the RoundupSL dose, in which they were exposed, is lower than the LC₅₀.

From the first experiment it concludes that the glyphosate mobility was nil due to the majority was trapped in the foliage, sustained assertion by not being detected its presence in: soil, runoff water, fish pond water, fish tissue and foliage and corn grain, besides soil microorganisms' population were similar before and at the experiment. The glyphosate nil mobility explains no damage caused to the tilapia and cachama fish and in the germination and grain yield. The glyphosate persistency in grass tissue persistency was 30 days.

From the second experiment it concludes that the RoundupSL dose tested 6,25, 4,69, 3,12, 1,57, 0,63 and 0,00 gal/ha, equivalent to 14,81, 11,12, 7,43, 3,68, 1,93 and 0,00 mg of RoundupSL /L, did not caused any harm to tilapia and cachama fish nine month, being lower than the LC₅₀ RoundupSL of 97,4 and 36,8 mg/L, respectively, therefore, due to the highly RoundupSL dosage require to cause 50% of tilapia and cachama fish mortality, the probability that a highly herbicide dosage will settle in the fish pond water by a direct impact of an aerial spraying and less by drift, is minimum.

Despite the drift praying lower impact caused to the environment, glyphosate recommended dosage is required and through localized applications for weed control in the crop production systems and also limit the use of aerial spraying to avoid contact damage to other plants and environmental pollution. Studies about glyphosate mobilization in the soil, runoff water, pond waters, fish tissues and foliage and corn grain is recommended to do, through soil direct applications and its effect on the soil microorganisms.

BIBLIOGRAFÍA

- Acción Ecológica. 2003. Impacto de las fumigaciones del Plan Colombia en la frontera ecuatoriana. La guerra oculta contra las comunidades. Editorial Acción Ecológica. Quito-Ecuador.78p.
- Amicus Curiae, 2009. Impactos en Ecuador de las fumigaciones a cultivos ilícitos en Colombia. 64p.
- CIF (Comité Interinstitucional Contra las Fumigaciones).2003. impacto de las fumigaciones del Plan Colombia en la frontera ecuatoriana. la guerra oculta contra las comunidades. Editorial Acción Ecológica. Quito. 78p.
- Comisión Científica Ecuatoriana. 2007. El sistema de aspersiones aéreas del Plan Colombia y sus impactos sobre el ecosistema y la salud en la frontera ecuatoriana. Quito-Ecuador. pp. 22-33.
- Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos. 2000. 51p. Consultado en mayo de 2012. Disponible en: http://dne.gov.co/recursos_user/documentos/Doc_tecnicos/glyphosato.pdf
- Eslava, P; Ramírez, W; Rondón, I. 2007. Sobre los efectos del glifosato y sus mezclas: Impacto en peces nativos. Universidad de los Llanos. Orinoquia-Colombiana. 150 p.
- Jiraungkoorskul, W., Upatham, E.S., Kruatrachue, M., Sahaphong, S., Vichasri-Grams, S., Pokethitiyook, P. 2002. Histopathological effects of Roundup, a glyphosate herbicide, on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). ScienceAsia. 28, 121-127.
- Martínez, P; Castillo, J; Romero, L. 2011.Efectos del glifosato sobre microorganismos diazotrofos y nitrificantes en ecosistemas alto andino y seco tropical colombianos. Revista Pilquen 13 (11):2-3.
- Mendoza, D.; Peña, J.; Franco, A. 1999. Efecto de glifosato y paraquat sobre el proceso de nitrificación en un suelo del corregimiento de Rio Frio. Magdalena-Colombia. Consultado en agosto de 2011. Disponible en: <http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/992801/09quimi.htm>
- Monsanto Company. 2005. Summary of the health risk assessment and safety. Evaluation on glyphosate and Roundup herbicides. Consultada en agosto de 2011. disponible en: http://www.monsanto.com/products/Documents/glyphosate-background-materials/gly_human_risk.pdf
- Navia, E. 2001. Las fumigaciones aéreas sobre cultivos ilícitos si son peligrosas – Algunas aproximaciones. Rapalmira-Colombia. 21p.
- Ramírez-Duarte, W.F. 2006. Evaluación anatomopatológica de los efectos tóxicos agudos del Roundup® en juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Trabajo de grado en la modalidad investigativa para optar al Título de Médico Veterinario Zootecnista. Villavicencio- Colombia. Universidad de los Llanos. (100 p.)
- Solomon, K., Anadon, A., Marshall, J. Y Sanin, L. 2005. Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de los Cultivos Ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida glifosato (PECIG) y los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente, Informe CICAD – OEA, Washington, D.C., Estados Unidos de América. 35p.
- Sprankle, W., Meggit, D. Penner. 1975. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. Weed Science. 23:235.
- Tribunal Administrativo de Cundinamarca, 2003. Expediente n.01-0022, accionante Claudia Sampedro y Héctor A. Suárez, en contra del Ministerio del Medio Ambiente y otros. Sentencia para impedir y remediar las fumigaciones para erradicar cultivos ilícitos en la frontera Colombo-Ecuatoriana. 115 p.

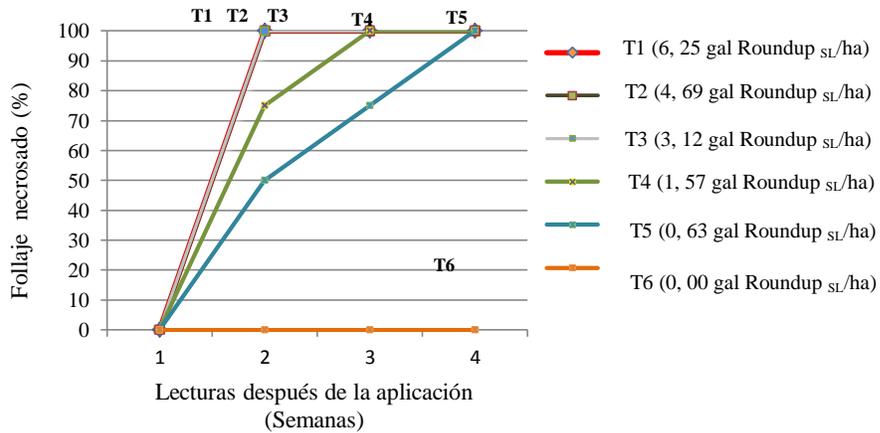


Gráfico 1. Tiempo requerido para necrosar el 100 % del follaje del pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*) según la dosis de Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2010-2011.

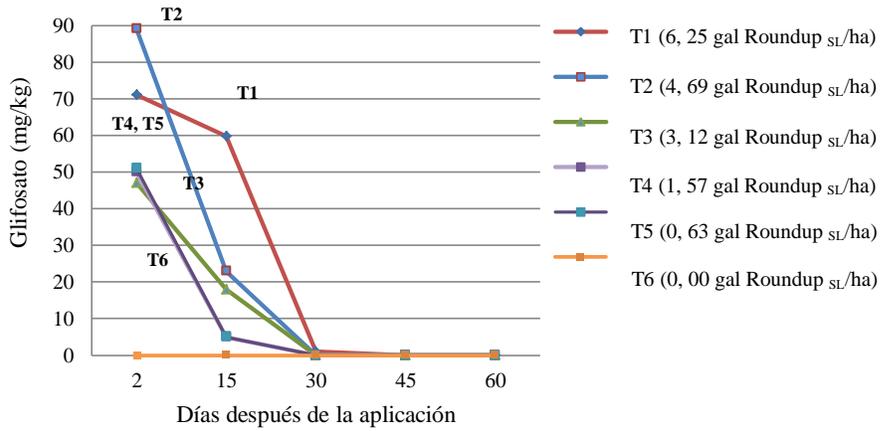


Gráfico 2. Tiempo de persistencia de glifosato en tejido de pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*). Sucumbíos, 2010-2011.

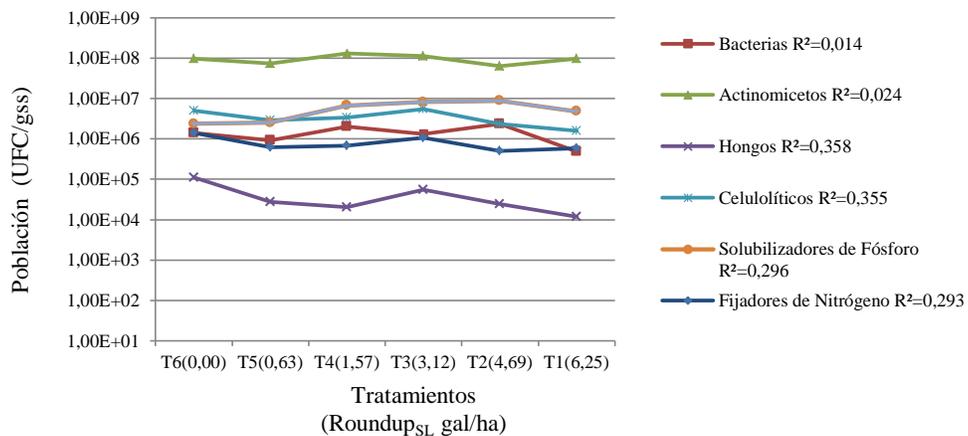


Gráfico 3. Correlación entre dosis de Roundup_{SL} y poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos y fijadores de nitrógeno. Sucumbíos, 2010-2011.

Cuadro 1. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en los sustratos de 0 a 20 y 20 a 50 cm de profundidad del suelo. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos			Antes de la aplicación (días)				Después de la aplicación (días)			
			0		2		15		30	
No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Prof. (cm)	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
T1	6,25	(0-20) (20-50)	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD
T2	4,69	(0-20) (20-50)	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD
T3	3,12	(0-20) (20-50)	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD
T4	1,57	(0-20) (20-50)	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD
T5	0,63	(0-20) (20-50)	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD
T6	0,00	(0-20) (20-50)	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD	< LD < LD

< LC = Menor al límite de cuantificación de glifosato 0,3 mg/kg
Menor al límite de cuantificación AMPA 3,0 mg/kg
< LD = Menor al límite de detección de glifosato 0,1 mg/kg
Menor al límite de detección AMPA 1,0 mg/kg

Cuadro 2. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en agua de escurrimiento. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Antes de la aplicación (días)				Días después de la aplicación (días)			
		0		7		15		30	
No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
T1	6,25	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	4,69	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T3	3,12	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T4	1,57	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T5	0,63	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T6	0,00	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Cuadro 3. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en el agua del estanque de peces. Sucumbíos, 2010-2011.

Antes de la aplicación (días)				Días después de la aplicación (días)			
0		7		15		30	
Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Cuadro 4. Presencia de glifosato y AMPA en tejido de peces del estanque donde se encauzó el agua de escurrimiento de las parcelas con pasto aplicado Roundup_{SL}, para conocer la movilidad del herbicida. Sucumbíos, 2010-2011.

Peces		Antes de la aplicación		Después de la aplicación			
		0		15		30	
Nombre común	Nombre científico	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
Cachama roja	(<i>Piaractus brachipomus</i>)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Tilapia roja	(<i>Oreochromis sp.</i>)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Cuadro 5. Presencia de glifosato y AMPA en follaje y grano del maíz. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos		Tejido del follaje		Grano de maíz	
		120		180	
No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	(días después de la aplicación al follaje del pasto)			
		Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
(mg/kg)					
T1	6,25	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	4,69	< LD	< LD	< LD	< LD
T3	3,12	< LD	< LD	< LD	< LD
T4	1,57	< LD	< LD	< LD	< LD
T5	0,63	< LD	< LD	< LD	< LD
T6	0,00	< LD	< LD	< LD	< LD

Cuadro 6. Análisis estadístico para las variables germinación y rendimiento del maíz. Sucumbíos, 2010-2011.

F. de V	Germinación (%)						Rendimiento (kg/ha)					
	G.	L.	SC	CM	F Cal.	F Tab.		SC	CM	F Cal.	F Tab.	
						(P<0,05)	(P<0,01)				(P<0,05)	(P<0,01)
Trat.	5	269,21	53,84	0,53 n.s.	2,90	4,56	2.220.686,19	444.137,24	1,8 n.s.	2,90	4,56	
Rep.	3	263,13	87,71	0,86 n.s.	3,29	5,42	397.220,95	132.406,98	0,5 n.s.	3,29	5,42	
Error	15	1535,63	102,38				3.652.681,35	243.512,09				
C.V. (%): 13,22							C.V. (%): 17,77					
Media: 76,54							Media: 2776,72					

Cuadro 7. Porcentaje de peces muertos mediante aplicación directa de Roundup_{SL} (glifosato 48%). Sucumbíos, 2010-2011.

No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Peces muertos (%)						
		1	2	3	4	5	6	7
		(días después de la aplicación)						
T1	(6,25)	0	0	0	0	0	0	0
T2	(4,69)	0	0	0	0	0	0	0
T3	(3,12)	0	0	0	0	0	0	0
T4	(1,57)	0	0	0	0	0	0	0
T5	(0,63)	0	0	0	0	0	0	0
T6	(0,00)	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 8. Presencia de glifosato y AMPA en agua del estanque y en tejido de peces, 6 horas después de la aplicación del herbicida Roundup_{SL} (glifosato 48%). Sucumbíos, 2010-2011.

No.	Dosis de Roundup _{SL} (gal/ha)	Agua del estanque		Tejido de cachama y tilapia	
		Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
		(mg/kg)		(mg/kg)	
T1	6,25	4,2	< LC	< LD	< LD
T2	4,69	5,1	< LC	< LD	< LD
T3	3,12	3,1	< LC	< LD	< LD
T4	1,57	2,3	< LC	< LD	< LD
T5	0,63	0,1	< LC	< LD	< LD
T6	0,00	< LC	< LC	< LD	< LD

Cuadro 9. Dosis de Roundup_{SL} aplicadas en los estanques por tratamiento, concentración de Roundup_{SL} en el estanque, CL₅₀ de Roundup_{SL} para cachama y tilapia y dosis requerida de Roundup_{SL} por estanque para causar 50% de mortalidad. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos	Dosis de Roundup _{SL} (glifosato+POEA)		Concentración de Roundup _{SL} en el estanque (320 L agua) (mg/L)	CL ₅₀			
	(gal/ha)	(cc/m ²)		Roundup _{SL}		Dosis requerida de Roundup _{SL}	
				Cachama	Tilapia	Cachama	Tilapia
		(mg/L)					
T1	6,25	4,74	14,81				
T2	4,69	3,56	11,12				
T3	3,12	2,38	7,43				
T4	1,57	1,18	3,68	97,40	36,80	31,17	11,77
T5	0,63	0,62	1,93				
T6	0,00	0,00	0,00				

CL₅₀, Jiraungkoorskul, *et al.*, (2002) y Ramirez -Duarte (2006)