

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**IMPACTO DEL GLIFOSATO SOBRE FLORA, FAUNA, PROPIEDADES
QUÍMICAS, FÍSICAS, MINERALÓGICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y
SU RESIDUALIDAD EN BOSQUE SECUNDARIO EN SUCUMBÍOS.**

Tesis de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

AUTOR

ANA BELÉN QUINCHIGUANGO HARO

DIRECTOR

Ing. Jorge Revelo, M.Sc.

Ibarra – Ecuador

2012

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**IMPACTO DEL GLIFOSATO SOBRE FLORA, FAUNA, PROPIEDADES
QUÍMICAS, FÍSICAS, MINERALÓGICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y
SU RESIDUALIDAD EN BOSQUE SECUNDARIO EN SUCUMBÍOS.**

Tesis revisada por el Comité Asesor como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Jorge Revelo, M.Sc.
Director de Tesis

Dr. Nelson Gallo, M.Sc.
Asesor

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.
Asesor

Ing. Franklin Valverde, 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:	100365541-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quinchiguango Haro Ana Belén		
DIRECCIÓN:	Cdl. Yanayacu Mz. 3 C# 18, Otavalo		
EMAIL:	qb.annya_88@yahoo.es		
TELÉFONO FIJO:	062922198	TELÉFONO MÓVIL:	083135470

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPACTO DEL GLIFOSATO SOBRE FLORA, FAUNA, PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS, MINERALÓGICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SU RESIDUALIDAD EN BOSQUE SECUNDARIO EN SUCUMBÍOS.
AUTOR:	Quinchiguango Haro Ana Belén
FECHA:	15 de diciembre del 2012
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DIRECTOR:	Ing. Jorge Revelo, M.Sc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, ANA BELÉN QUINCHIGUANGO HARO, con cédula de ciudadanía Nro.100365541-0; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del 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 la Ley de Educación Superior, artículo 143.

3. CONSTANCIAS

El autor 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 15 de diciembre del 2012.

AUTOR:

ACEPTACIÓN:

Belén Quinchiguango H.

C.C: 100365541-0

Esp. Betty 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, ANA BELÉN QUINCHIGUANGO HARO, con cédula de ciudadanía Nro.100365541-0; 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 autor del trabajo de grado denominada **Impacto del glifosato sobre flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo y su residualidad en bosque secundario 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.

Ana Belén Quinchiguango Haro

C.C.: 100365541-0

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 15 de diciembre del 2012

Ana Belén Quinchiguango Haro, “IMPACTO DEL GLIFOSATO SOBRE LA FLORA, FAUNA, PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS, MINERALÓGICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SU RESIDUALIDAD EN BOSQUE SECUNDARIO EN SUCUMBÍOS” / TRABAJO DE GRADO. Ingenieros Recursos Naturales Renovales Universidad Técnica del Norte. Carrera de Recursos Naturales Renovales Ibarra. Diciembre 2012

DIRECTOR: Revelo, Jorge.

El objetivo principal de la presente investigación fue, obtener datos experimentales sobre los daños causados por el glifosato a la flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo de bosque secundario en la provincia de Sucumbíos. Los resultados obtenidos, permiten cuantificar el impacto que ocasionó este herbicida en el bosque secundario.

Fecha: 15 de diciembre del 2012

Fecha: 15 de diciembre del 2012

f) Ing. Jorge Revelo, M.Sc.

f) Ana Belén Quinchiguango Haro

PRESENTACION

La metodología y resultados que se presentan en esta investigación son de exclusiva responsabilidad de la autora.

ANA BELÉN QUINCHIGUANGO HARO

DEDICATORIA

A Jehová por el regalo de la vida, por el apoyo espiritual y bendiciones que he recibido en cada instante.

A mis Padres por su apoyo y confianza, porque valoro su sacrificio en beneficio de mi superación.

A mis hermanos por compartir mis esfuerzos para culminar esta etapa profesional de mi vida.

A mis queridos abuelitos que siempre han estado a mi lado apoyándome, de corazón gracias.

A la persona que siempre estuvo a mi lado apoyándome incansablemente

Gracias Xavier por tu amor y paciencia

A mi querida amiga Mariela por su amistad incondicional

Y a todas aquellas personas que estuvieron apoyándome y alentándome en los momentos en que más los necesité

A todos ellos todo mi amor y respeto.

Belén

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, que con la mejor de las enseñanzas contribuyó a mi formación académica y profesional.

A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. (SENESCYT) por hacer posible la ejecución de este proyecto.

Al Centro Universitario de Investigación Ciencia y Tecnología (CUICYT) por haberme dado la oportunidad de realizar mi proyecto de tesis.

Al ingeniero Jorge Revelo, M.Sc. Director de Tesis por su paciencia, su apoyo y por compartir su conocimiento para hacer posible este trabajo y por inculcarnos el espíritu de investigación y la ética profesional.

Al ingeniero Luis Unigarro, por su constante asistencia, cooperación, colaboración en las actividades realizadas, y por su amistad.

Al ingeniero Oscar Rosales, de corazón, gracias, por ser incondicional en todo momento, palabra de aliento y corrección al caminar con sus oportunos y acertados consejos.

A los señores asesores de tesis ingeniero Franklin Valverde, doctor Nelson Gallo, doctor Marcelo Dávalos e ingeniero Carlos Cazco, por contribuir con los conocimientos y experiencia al desarrollar este trabajo.

A las instituciones que prestaron sus servicios:

Al laboratorio de microbiología de la estación experimental Santa Catalina del INIAP especialmente a la ingeniera Betty Paucar.

Al laboratorio de eco-toxicología del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, de sobremanera al Dr. Ramiro Castro.

INDICE GENERAL

	Pág.
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	III
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	V
CONSTANCIAS	V
CESIÓN DE DERECHOS	VI
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	VII
PRESENTACIÓN	VIII
DEDICATORIA	IX
AGRADECIMIENTO	X
ÍNDICE GENERAL	XII
ÍNDICE DE CUADROS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVI
INDICE DE ANEXOS	XVII
INDICE DE FOTOGRAFÍAS Y FIGURAS	XVIII

CAPÍTULO I

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

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1. Glifosato	5
2.2. Surfactantes y adherentes asociados al glifosato	6
2.3. Uso de glifosato en actividades agrícolas y forestales	8
2.4. Uso en aspersiones aéreas	9

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	12
2.6.	Efecto del glifosato en bosques	12
2.7.	Bosque secundario	14
2.7.1.	El proceso de sucesión secundaria	15
2.8..	Efecto del glifosato en macro organismos del suelo (Edafofauna)	16
2.9.	Efecto del glifosato en microorganismos del suelo	17
2.10.	Presencia de glifosato en el suelo	22
2.11.	Persistencia del glifosato	24

CAPÍTULO III

	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1.	Descripción del área donde se realizó el experimento	27
3.2.	Factor en estudio	29
3.3.	Tratamientos	29
3.4.	Unidad experimental	30
3.5.	Características del experimento	30
3.6.	Características de las unidades experimentales	30
3.7.	Diseño Experimental	31
3.8.	Variables	32
3.9	Manejo específico del experimento	36

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1.	Diversidad y abundancia de especies de flora	40
4.1.1.	Acumulación de especies antes de la aplicación	46
4.2.	Cobertura vegetal y defoliación	47

4.3.	Especies de flora afectadas y no afectadas	48
4.4.	Volumen de madera y pérdidas	51
4.5..	Presencia de glifosato y AMPA en tejido vegetal y en el suelo	52
4.6.	Diversidad y abundancia de especies de edafofauna	53
4.7.	Poblaciones de microorganismos del suelo	58
4.8..	Efecto del glifosato sobre las propiedades químicas y físicas del suelo	66
4.8..	Efecto del glifosato sobre las propiedades mineralógicas del suelo	67

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES	69
----	---------------------	----

CAPÍTULO VI

6.RECOMENDACIONES	71
--------------------------	----

CAPÍTULO VII

7.	RESUMEN	72
----	----------------	----

CAPÍTULO VIII

8.	SUMMARY	75
----	----------------	----

CAPÍTULO IX

9.	BIBLIOGRAFÍA	76
----	---------------------	----

CAPÍTULO X

10.	ANEXOS	86
-----	---------------	----

ÍNDICE DE CUADROS

NO.	TEMA	PÁG
1.	Denuncia de pérdidas por las aspersiones de glifosato en Sucumbíos.	11
2.	Características físicas y químicas del suelo del ensayo experimental. Sucumbíos, 2011-2012.	28
3.	Tratamientos evaluados para determinar el impacto de Roundup ^{SL} en un bosque secundario. Sucumbíos, 2011-2012.	29
4.	Índices de diversidad y abundancia de especies de flora en los tratamientos T1 y T2, antes de la aplicación del herbicida. Sucumbíos, 2011.	41
5.	Diversidad y abundancia de flora de los tres estratos del bosque secundario del área experimental del estudio. Sucumbíos, 2011.	41
6.	Estratificación del bosque secundario en el tratamiento T1.	44
7.	Estratificación del bosque secundario en el tratamiento T2.	45
8.	Especies de flora afectadas por el herbicida Roundup ^{SL} en el dosel, subdosel y sotobosque, del tratamiento T1. Sucumbíos, 2011-2012.	49
9.	Especies maderables afectadas (muertas) por el herbicida Roundup ^{SL} (glifosato 48%) y pérdidas económicas. Sucumbíos, 2011-2012.	51
10.	Presencia de glifosato en el tejido de cuatro especies de árboles afectados, 80 días después de la aplicación de Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	52
11.	Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en el suelo. Sucumbíos, 2010-2011.	53
12.	Familias y número de individuos de edafofauna registrados en el tratamiento T1. Sucumbíos, 2011-2012.	54
13.	Familias y número de individuos de edafofauna registrados en el tratamiento T2. Sucumbíos, 2011-2012.	55
14.	Características físicas y químicas del suelo en los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.	66
15.	Composición mineralógica del suelo en las unidades experimentales de los dos tratamientos. Sucumbíos. 2011-2012.	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

NO.	TEMA	PÁG
1	Curva de acumulación de especies de flora en cada tratamiento. Sucumbíos, 2011-2012.	46
2	Cobertura vegetal del bosque secundario registrada en los tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.	47
3	Defoliación del bosque secundario registrado en los tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.	48
4	Comportamiento de la población de la familia Formicidae (hormigas), en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	56
5	Comportamiento de la población de la familia Blatidae (cucarachas), en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	56
6	Comportamiento de la población de la familia Grillidae (grillos), en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	58
7	Precipitación, temperatura y humedad del suelo, reportados por la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Lago Agrio, Dirección de Aviación Civil en el año 2011.	58
8	Comportamiento de la población de bacterias totales en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	59
9	Comportamiento de la población de actinomicetos determinada en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	60
10	Comportamiento de la población de hongos totales en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	61
11	Comportamiento de la población de fijadores de nitrógeno en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	62
12	Comportamiento de la población de celulolíticos totales en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos, 2011-2012.	63
13	Comportamiento de la población de solubilizadores de fósforo en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup ^{SL} . Sucumbíos,	64

2011-2012.

- 14 Comportamiento de la población de esporas de micorrizas en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup^{SL}. Sucumbíos, 2011-2012. 65

ÍNDICE DE ANEXOS

NO.	TEMA	PÁG
1.	Mapa de ubicación del ensayo experimental	87
2.	Croquis de campo mostrando la disposición de los tratamientos y repeticiones en el bosque	88
3.	Croquis del plan de vuelo en el tratamiento para la aplicación de Roundup ^{SL} Glifosato (48%	89
4.	Vista aérea del ensayo experimental y después de la aspersión. Sucumbíos, 2011-2012	90
5.	Índice de similitud de Sorensen cuantitativo	91
6.	Prueba de “t” para medias de composición florística de los tratamientos.	92
7.	Índices de diversidad y abundancia en el tratamiento T1. Sucumbíos, 2011-2012.	93
8.	Índices de diversidad y abundancia en el tratamiento T2. Sucumbíos, 2011-2012.	94
9	Especies y su frecuencia para el cálculo de la curva de acumulación de especies de flora. Sucumbíos, 2011-2012.	95
10	Cobertura vegetal del bosque secundario registrado en los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.	97
11	Defoliación del bosque secundario determinado en los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.	97
12	Datos de precipitación, temperatura y humedad del suelo obtenidos en la Estación Meteorológica del Aeropuerto de lago Agrio de la Dirección De aviación Civil.20011	97

13	Reporte de análisis microbiológicos	98
14	Estudio de Impacto Ambiental	100
15	Anexo Fotográfico	107

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

NO.	TEMA	PÁ G.
1.	Delimitación de las unidades experimentales	37
2.	Identificación de las unidades experimentales	37
3.	Helicóptero utilizado para la aspersión	38
4.	Aguilón armado	38
5.	Acople del aguilón al helicóptero	38
6.	Vista aérea del equipo de aspersión completo	38
7.	Vista aérea de las banderas de señalización	39
8.	Ubicación de las banderas en las parcelas netas	39

ÍNDICE DE FIGURA

NO.	TEMA	PÁ G.
1.	Croquis de disposición de una parcela de muestreo de especies de flora delimitada dentro de una unidad experimental	25
2.	Especies representativas en los estratos dosel y subdosel en el tratamiento T1	42
3.	Especies representativas en los estratos dosel y subdosel en el Tratamiento T2	43

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2000, como parte de la estrategia de eliminación de cultivos ilícitos en Colombia (Plan Colombia), se iniciaron fumigaciones aéreas con el herbicida Roundup (glifosato), de amplio espectro y no selectivo, con su surfactante POEA y coadyuvante cosmoflux.

Según Acción Ecológica (2003), la deriva inevitable de las fumigaciones, afectó a pastos, cultivos lícitos, bosques, fauna, espejos de agua, macro y microorganismos del suelo fundamentales para la vida del mismo. Similar situación, reporta sucedió en zonas de frontera de Ecuador con Colombia, en las regiones amazónica y costera.

En la literatura existen estudios que prueban el efecto nocivo del glifosato y sus coadyuvantes sobre organismos acuáticos como peces, anfibios, insectos, cangrejos, pulgas de agua, macro y microorganismos del suelo y en las plantas, animales, células, hormonas, genes y cromosomas (Navia, 2003).

Sin embargo, la mayoría de estudios sobre efectos del glifosato en el ambiente, son contradictorios. Algunos autores (Sprankle *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.

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, en el suelo y en los cuerpos de agua por la deriva de las fumigaciones aéreas en la frontera norte de Ecuador-Colombia durante el periodo de 2000 a 2005. Tampoco se cuenta con información confiable sobre las consecuencias de las fumigaciones en los cultivos perennes y frutales y en la biodiversidad del bosque (Amicus Curiae, 2009).

Con base a estos antecedentes, se definió como parte del problema a la falta de información del efecto del glifosato en la flora, fauna y en los microorganismos del suelo del bosque en las zonas afectadas.

La necesidad de disponer de datos experimentales de los efectos del glifosato sobre la flora, fauna y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, justificaron la realización de la presente investigación en Sucumbíos, zona fronteriza con Colombia. Para este fin, una hectárea de bosque secundario fue asperjada en forma aérea, con la dosis de Roundup_{SL} (glifosato 48%) + Cosmo-Flux 411F, que probablemente utilizó el Plan Colombia y luego se determinó el daño a los parámetros antes indicados.

Los resultados obtenidos permiten establecer el impacto que las aspersiones aéreas del herbicida causan al ambiente e identificar recomendaciones de prevención, de remediación ambiental y de investigación.

1.1 Objetivos

1.1.1. General

Obtener datos experimentales sobre los daños que causa el herbicida Roundup_{SL} (glifosato 48%), a la flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo y su residualidad, en un bosque secundario de Sucumbíos.

1.1.2. Específicos

- a)** Evaluar el efecto de la aspersión aérea de Roundup_{SL} (glifosato 48%) en la flora de un bosque secundario.
- b)** Evaluar el efecto de la aspersión aérea de Roundup_{SL} (glifosato 48%) en la edafofauna de un bosque secundario.
- c)** Determinar el efecto de la aspersión aérea de Roundup_{SL} (glifosato 48%) sobre la población de microorganismos del suelo de un bosque secundario.
- d)** Determinar el efecto de la aspersión aérea de Roundup_{SL} (glifosato 48%) sobre las propiedades químicas, físicas y mineralógicas del suelo de un bosque secundario.
- e)** Determinar la presencia y residualidad del glifosato en el suelo de un bosque secundario asperjado en forma aérea con Roundup_{SL} (glifosato 48%).

1.2. Preguntas Directrices

- ¿Afectará el glifosato a la flora del bosque secundario?
- ¿Afectará el glifosato a la edafofauna del bosque secundario?
- ¿Afectará el glifosato a las poblaciones de microorganismos del suelo de un bosque secundario?
- ¿Afectará el glifosato las propiedades químicas, físicas y mineralógicas del suelo?
- ¿La persistencia del glifosato en el suelo, será mayor a 60 días?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Glifosato

El **glifosato** (N-fosfonometil-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-(fosfonometil) 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 enol-piruvilshikimato-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 (1923), 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 aspersión 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 (Cosmo Agro, 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 permiten 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, mediante 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-(fosfometil) glicina (44%) + POEA (polioxietileno amina)} + Cosmoflux (1%) + agua (55%), lo que equivale a 10,4 litros de Roundup (con POEA incluido) sin diluir, más 0,24 litros de Cosmo-Flux y 0,08 litros de Cosmo-InD, mezclados en 12,94 litros de agua, o (glifosato + POEA) 44% + Cosmoflux 1% + agua 55% (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

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

Según Who (1994), la aspersión aérea del herbicida Roundup para eliminar los cultivos ilícitos, dificulta su aplicación en áreas específicas. Manifiesta que el viento, las condiciones meteorológicas, la altura de aspersión y dispersión de la solución, posibilitan la deriva de la aspersión hacia cultivos lícitos, fauna silvestre y cuerpos de agua.

Al respecto Solomón, *et. al.* (2005), indican que existen dos tipos de depósitos por fuera del blanco u objetivo. El primero relacionado con la aplicación incorrecta, la cual el piloto inicia la aplicación demasiado pronto o cierra el rociado demasiado

tarde, o en el corredor de rociado se encuentra un área no objetivo en uno o los dos lados del cultivo objetivo. El segundo es la deriva de la aspersión.

Como evidencia, Helling (2003) reporta que en visitas realizadas a 86 zonas asperjadas en el 2002, 22 campos mostraban evidencia de depósito fuera del objetivo y que, con base al tamaño de estas áreas, de 0,25% a 0,48% de las áreas fueron dañadas por depósito del rociado fuera del sitio.

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, según un reporte de la misión de verificación de la Comisión Científica Ecuatoriana (2007), 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; 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, como se anota a continuación.

2.6. Efecto del glifosato en bosques

El impacto del glifosato en la sucesión ecológica boscosa fue estudiado por Bell, *et al.*, (1997), quienes, en bosques deciduos temperados del noroeste de Ontario, Canadá, encontraron que el uso del glifosato disminuía la cobertura vegetal de árboles deciduos, arbustos y helechos; en bosques de coníferas, el glifosato reducía la

vegetación leñosa y herbácea, es decir, ejercía un impacto en la composición y estructura de estos bosques.

Los programas de erradicación de los cultivos ilícitos en la zona de la frontera de Colombia con el Ecuador, tienen lugar en los bosques húmedos tropicales amazónicos y de El Choco, considerados como regiones con altos índices de biodiversidad y de elevada vulnerabilidad. Ecuador y Colombia son considerados como mega diversos, poseen el 10% de la biodiversidad mundial con menos del 1% de la superficie terrestre (Messina & Delamater, 2006). Las aspersiones aéreas de glifosato, pondrían en riesgo esta biodiversidad.

Al respecto, un estudio realizado por un equipo de la Universidad del Estado de Michigan (2006), en la región de Putumayo de Colombia, donde se habían realizado aspersiones para erradicar plantaciones de coca Messina y Delamater, utilizando imágenes Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), establece impacto en cultivos ilícitos y también en cultivos lícitos (potreros, frutales, cultivos de ciclo corto) y bosques nativos, en proporción de una hectárea de cultivos ilícitos por una de cultivos lícitos o bosques.

Los impactos del paquete de herbicidas con glifosato, en el ecosistema boscoso, no se limitan al área directamente afectada, sino que es mucho mayor debido al efecto de borde. Este efecto se refiere a la alteración en la composición de comunidades vegetales cerca del borde, ocasionado por los herbicidas. Allí, las especies típicas de una comunidad clímax son desplazadas por especies pioneras. El efecto de borde afecta además la eco-fisiología de las plantas, por ejemplo su tolerancia a las variaciones de temperatura y humedad así como su potencial hídrico (Quezado *et al.*, 1997; citado por Conde, 2011).

2.7. Bosque secundario

Finegan (1997), citado por Murakami, (2008) define el bosque secundario como la vegetación leñosa que se desarrolla en terrenos que se abandona o se deja en descanso, luego de que la actividad humana destruye el bosque original.

Los bosques secundarios son también de considerable importancia ecológica en términos de crecimiento forestal y acumulación de biomasa, debido a que los bosques secundarios acumulan biomasa rápidamente durante los primeros 20 y 30 años, fijan y almacenan carbono (Smith *et ál.* 1997; OIMT 2002, citado por Murakami, 2008).

En la actualidad estos bosques secundarios representan una fuente importante de productos forestales en varios países y con frecuencia son utilizados por las poblaciones rurales, porque son accesibles y pueden ofrecer una diversidad de productos que satisfacen las necesidades de sustento inmediato (energía, alimentos y medicina). Además el uso de bosques secundarios para diferentes fines podría reducir la presión ejercida sobre los bosques primarios, disminuyendo así la tasa de deforestación (OIMT 2002, citado por Murakami, 2008).

Para el Ecuador, los bosques húmedos tropicales son de gran importancia por la extensión que ocupan, los valores ecológicos que encierran y los beneficios y bienes que producen. Se ubican a ambos lados de los Andes por debajo de los 600 m de altitud (según el sistema de zonas de vida de Holdridge, 1967). Los bosques nativos son altamente diversos y heterogéneos (Palacios, *et al.*, 1997).

Las razones porque el neotrópico es la región más rica del mundo han sido analizadas por varios autores (Gentry, 1982; Prance 1977, citado por Palacios, *et al.*, 1997), sin llegar a consensos. Gentry considera que la alta diversidad y endemismo en los Andes se deben a una especiación muy activa, aparentemente relacionada con el terreno quebrado y a una compleja yuxtaposición de los tipos de vegetación. Es claro también

que, complejos y variados hábitats, en especial húmedos, favorecen la presencia de muchas especies.

La región amazónica tiene 80% de endemismo, su diversidad podrá explicarse por el predominio de una especiación alopátrica y por el equilibrio ecológico, aún evolutivo de la región. En los trópicos han sucedido ciclos repetidos secos y húmedos con avances y retrocesos de períodos glaciares lo cual podría explicar la alta diversidad (Prance, 1973, citado por Palacios, *et al.*, 1997), basada en condiciones favorables para una especiación alopátrica (Gentry 1981, citado por Palacios, *et al.*, 1997).

En un estudio realizado en un bosque secundario en Loreto de la amazonia, por Markus Dorfle (2002), las especies más frecuentes son: *Tapiria guianensis*, *Wettinia mayensis*, *Pollalesta discolor*, *Vismia* sp. *Cordia alliodora*, *Dacryodes peruviana*, *Cecropia peltata*, *Cecropia latiloba*, *Cecropia* sp., *Hyeronina alchornoides*, *Alchornea glandulosa*, *Corton lechleri*, *sapium* sp. *Nectandra* sp. *Ocotea floribunda*, *Miconia* sp. *Cabrlea canjerana*, *cederla odorata*, *Guarea* sp. *Inga pavoniana*, *Inga* sp. *Stryphnodendron* sp. *Euplassa* sp. *Chimarrihis glabriflora*, *Zanthoxylum* sp. *Pouteria lúcuma*, *cestrum racemosum*, *Heliocarpus americanus*, *celtis schippi*.

2.7.1. El proceso de sucesión secundaria

Los bosques secundarios comprenden distintas etapas del proceso de sucesión. El proceso de sucesión se produce mediante secuencias de cambio que normalmente se describen como etapas, las cuales pueden distinguirse por el predominio de un grupo determinado de plantas (Finegan, 1992, citado por Murakami, 2008).

Finegan (1992), citado por Murakami, (2008) afirma que en condiciones ambientales locales favorables, los primeros 100 años de la sucesión se pueden describir en

término de tres fases, en las cuales ocurren cambios en la estructura (altura del dosel, abundancia y área basal) y composición florística (riqueza y diversidad de especies). La primera etapa está dominada por hierbas, arbustos y lianas que colonizan inicialmente el sitio y que desaparecen en los primeros 5-10 años. De manera simultánea se desarrollan dos tipos de grupos de árboles: el formado por especies de rápido crecimiento y de vida relativamente corta que dominan *la segunda fase* durante 10-20 años, conocidas también como especies heliófitas efímeras (pioneras) como: guarumo (*Cecropia* sp) y balsa (*Ochroma* sp); a medida que éstas se mueren, otras especies de crecimiento rápido, definidas como heliófitas durable (tardías), se aprovechan de las condiciones decrecimiento mejoradas y se convierten gradualmente en especies dominantes durante los siguientes 50-80 años, hasta que estas empiezan a envejecer y son reemplazados por especies más tolerantes a la sombra (esciófitas), dando lugar a *la tercera etapa* de la sucesión. Se asume que la regeneración de este último grupo ecológico es continua, puede durar entre 75 y 100 años, dependiendo de la duración de la especie (Finegan 1992; OIMT 2002, citado por Murakami, 2008).

Los bosques secundarios cambian continuamente durante la sucesión, un proceso mediante el cual los organismos mejor adaptados al desarrollo nuevo del ambiente forestal, gradualmente reemplazan a los organismos de las etapas previas. La sucesión aumenta la estabilidad general del bosque como ecosistema y conduce a un aumento de la resistencia a las perturbaciones (Wadsworth, 2000, citado por Murakami, 2008).

2.8. Efecto del glifosato en macro organismos del suelo (Edafofauna)

Varias especies de artrópodos benéficos, entre los que se incluyen insectos, arañas y ácaros, que son predadoras de plagas agrícolas, resultan afectadas por la exposición al glifosato. La desaparición de estos agentes de control biológico natural ha desencadenado el brote de algunas plagas, como el áfido del cereal que tuvo lugar en

Estados Unidos al inicio de la década de 1970 (Potts y Vickerman, 1994; citado por Bravo, 2007).

Cox, (1995) indica que es posible que durante una parte del periodo en que el glifosato esté presente en el suelo, afecte la biota del suelo, principalmente la población de especies de invertebrados caracterizadas por ciclos de vida corta.

Una evaluación de la Organización Internacional de Control Biológico sobre los impactos de los plaguicidas en especies benéficas, reportó que el 80 por ciento de una población de escarabajos predadores de plagas vegetales, murió cuando fue expuesto a glifosato. Por otra parte, el 50 por ciento de la población de avispas parasitoides, mariquitas y ácaros predadores también murió luego de la exposición (Hassan *et al* 1988).

2.9. Efecto del glifosato en microorganismos del suelo

Existe profusa bibliografía a nivel mundial respecto a los efectos que el glifosato ejerce sobre la comunidad microbiana (hongos y bacterias) presentes en el suelo.

En Canadá, Powell, *et al.* (2009) en un estudio realizado con suelo artificial, aplicaron Roundup Weather MAX® en dosis de 0,9 y 1,8 kg ia/ha. Los resultados indicaron que el herbicida no afectó la actividad microbiana (hongos y bacterias asociadas a las raíces de soja transgénica).

En cambio, Reddy *et al.*, 2000; King *et al.*, 2001; Reddy Zablotowicz, 2003, afirman que el glifosato ejerce una acción negativa sobre la bacteria *Rhizobium* asociada a las raíces de soja GM.

Por otra parte, Lupwayi, *et al.* (2009), en ensayos de campo con el cultivo de canola

GM aplicando glifosato Roundup Transorb® asociado a 2,4-D amine 500® en preemergencia y a concentraciones de 450 y 560 g ia/ha, respectivamente, concluyen que la mezcla produce una reducción en la diversidad de la microbiota del suelo, advirtiendo que estos cambios en la estructura de la comunidad microbiana pueden provocar a largo plazo alteraciones en la cadena trófica y procesos biológicos del suelo asociados.

En España, Tejada (2009) determinó que la mezcla de Roundup® con el herbicida diflufenican, disminuye la biomasa bacteriana en mayor proporción respecto a la aplicación de Roundup® solo (42,9 y 35%, respectivamente). La inhibición de la actividad enzimática en suelos limo-arenosos es mayor que en los arcillosos alcanzando el 91% para la mezcla (Roundup® + otro herbicida) y el 48% para Roundup® solo. Una explicación es que en los suelos limo-arenosos hay más glifosato en la solución del suelo porque hay menor formación de complejos arcillas-glifosato, por lo cual, la persistencia dependerá de la textura del suelo. Concluye diciendo que la tasa de descomposición del glifosato es directamente proporcional a la actividad microbiana del suelo, que la aplicación de la mezcla de los herbicidas glifosato y diflufenican, produce un efecto sinérgico por lo que hay una mayor inhibición de la actividad microbiana del suelo y que, la actividad enzimática respecto a la aplicación individual, es mayor la persistencia del glifosato en suelos con alto contenido de arcillas, por lo cual los efectos tóxicos sobre la biota microbiana es mayor en suelos con alto contenido de arena.

Moreira y Siquiera (2002), establecen que los parámetros biológicos son sensibles a leves modificaciones que el suelo puede sufrir en presencia de algún agente degradante. En tal sentido, los microorganismos son potencialmente buenos indicadores de cambios en poblaciones de microorganismos del suelo en cortos períodos de tiempo (meses, años) y fáciles de evaluar.

Por ejemplo, cambios en biomasa microbiana, o en la abundancia de grupos funcionales de microorganismos (hongos micorrízicos, microorganismos celulolíticos) pueden ser detectados antes de evidenciar cambios en la materia orgánica del suelo u otras propiedades físicas y químicas del mismo (Sparling, 1992).

Según Weber *et al.*, 1993, la humedad del suelo y la temperatura afectan directamente varios procesos biológicos como la degradación microbiana, y por lo tanto influyen en la biodisponibilidad y persistencia de los químicos.

De acuerdo con Busse, *et al.*, (2001) y Domsch, *et al.*, (1983), citados por Bozzo (2010), uno de los aspectos que puede influir sobre la microbiota del suelo, es la variabilidad de los factores ecológicos como el contenido hídrico del suelo, la temperatura y la actividad microbiana en respuesta a cambios en la disponibilidad de sustrato y el manejo del suelo previo a las aplicaciones del pesticida, aspecto a considerar, porque puede enmascarar el efecto estimulante o depresivo del herbicida en estudio. Estos factores pueden ejercer mayor efecto que el pesticida sobre los microorganismos del suelo.

Carlise y Trevors (1986) demostraron que el glifosato puede estimular o inhibir los microorganismos del suelo dependiendo de la concentración del herbicida utilizada. Así, Wardle y Parkinson (1990) y Hart y Brookes (1996) reportan que no observaron efectos en la biomasa microbiana y en la actividad; en cambio, Haney (1999) y Araújo (2003), reportan que observaron estimulación de la actividad microbiana del suelo, inmediatamente después de la aplicación del glifosato, actividad que lo degrada rápidamente, aún en presencia de altas dosis, concluyendo que la actividad microbiana no fue afectada adversamente.

En investigaciones realizadas en campo, Rueppel *et al.* (1977), Roslycky (1982) y Haney (1999), observaron incrementos en el número de bacterias y hongos,

concluyendo que el glifosato no afecta o produce una leve estimulación de crecimiento de los microorganismos del suelo.

En tal sentido, Araujo *et al.*, (2003), al realizar estudios *in vitro* para evaluar el efecto del glifosato en dos suelos Hapludoll y Haplustoll de Brasil de un área sin historia de glifosato y de otras dos áreas con 6 y 11 años de aplicaciones del herbicida, observaron mayor producción de dióxido de carbono en suelos tratados con glifosato que en aquellos suelos sin historia de aplicaciones del herbicida. Los suelos expuestos a glifosato durante varios años, tuvieron mayor actividad microbiana. Concluyeron que este fenómeno se debería a que las aplicaciones pudieron haber seleccionado poblaciones microbianas capaces de utilizar el herbicida.

Según Ractiliff (2006), citado por Bozzo (2010), señala que los efectos del glifosato son dosis dependientes y altamente transitorios, explicación dada por el rápido crecimiento de las bacterias oportunistas que utilizan los compuestos como fuente de nutrientes y/o de carbono, concluyendo que las aplicaciones a dosis de campo o dosis mayores del glifosato, no afectan o presentan un pequeño efecto en las comunidades microbianas del suelo.

Krzysko-Lupicka *et al.* (1997) sostienen que la abundancia y diversidad de los microorganismos son importantes en los procesos metabólicos del suelo (descomposición de la materia orgánica) y contribuyen a su fertilidad. Señalan que el glifosato es utilizado como única fuente de carbono o fósforo, que inhibe la población de los hongos del suelo y cambia la composición de cepas, actuando por lo tanto como un agente ambiental de selección.

Existen varios estudios que demuestran la interferencia del glifosato en los procesos de fijación de Nitrógeno, tanto en bacterias que no se relacionan con otros microorganismos, como de bacterias que establecen relaciones simbióticas con plantas. En estudios realizados con soya transgénica resistente al glifosato,

Zablotowicz y Reddy (2004) determinaron que la bacteria nitrificante *Bradyrhizobium japonicum*, posee una enzima sensible al glifosato que propicia la acumulación de ácido chiquímico y ácidos hidroxibenzoicos, inhibiendo el crecimiento y hasta la muerte de la bacteria, en presencia de altas concentraciones de glifosato.

Moreira y Siquiera (2002), citado por Bozzo (2010), al analizar 48 estudios para determinar el tiempo requerido por la comunidad microbiana para recuperarse del estrés provocado por los pesticidas, determinaron que en 30 casos la recuperación fue en menos de 30 días y solamente en dos casos, fue en más de 60 días, para alcanzar el nivel de población original. Con base a lo observado, concluyen que el efecto de los pesticidas sobre la biota, es de corta duración.

En condiciones reales, los efectos sobre la microbiota presentan gran variabilidad en función de la naturaleza química del herbicida, la dosis, momento y forma de aplicación, tipo de suelo, cultivo establecido y manejos culturales, pudiendo alterar fuertemente las respuestas (Fernández, 2007).

Por la baja disponibilidad de nutrientes, en los bosques tropicales se desarrollan asociaciones entre las raíces de los árboles con ciertos hongos, formándose las micorrizas fúngicas. Estas transfieren a las raíces nutrientes que provienen de la descomposición de la materia orgánica existente en el suelo. El proceso permite que la esorrentía produzca pequeñas pérdidas de minerales y determina la rápida circulación de estos (CCE, 2007).

La interacción entre microorganismos, sustratos constituyentes del suelo puede alterar la biodegradación de los herbicidas, pudiendo ser mayor o menor dependiendo de la capacidad de adsorción del suelo. La adsorción puede reducir la cantidad de herbicida en la solución del suelo la presencia de glifosato en suelos de bosques puede

favorecer a la microbiota que consigue degradar la molécula y, por otro lado, suprimir otros microorganismos, incluyendo los benéficos, con la consecuente alteración del equilibrio de la micro fauna de estos ambientes (CCE, 2007).

2.10. Presencia del glifosato en el suelo

Los estudios realizados con relación a 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.*, 1975a, b). Se ha determinado que ésta adsorción se incrementa al aumentar el contenido de arcillas del suelo (Glass, 1987; Hensley *et al.*, 1978; McConnell y Hossner, 1985; Miles y Moye, 1988) citados por CCE (2007).

También se ha especificado que la adsorción del glifosato a las arcillas depende del tipo de arcilla, del pH de la solución, de la composición iónica de la superficie de la arcilla (McConnell y Hossner, 1985) y especialmente, de la concentración de glifosato en la solución (Gerritse *et al.*, 1996) citados por CCE (2007).

Según la CCE (2007) con respecto a estos factores, la montmorillonita posee una gran capacidad de adsorción de glifosato (Glass, 1987) y más aún en presencia de iones de hierro y aluminio (Shoval y Yariv, 1979). La materia orgánica (sustancias húmicas específicamente, según Picole *et al.*, (1996) estudiada en forma aislada de las arcillas, podría adsorber igual cantidad de glifosato que las arcillas, dependiendo de su estructura química y tamaño molecular. Sin embargo, al estudiar su efecto en conjunto con las arcillas, se ha establecido que la materia orgánica tiene menor influencia que las arcillas en la inactivación del glifosato (Hensley *et al.*, 1978).

En un estudio realizado por Miles & Moye (1988), citado por Bustos (2012), evalúan el comportamiento del glifosato con arcillas saturadas con cationes intercambiables,

estableciendo que la adsorción del glifosato varía de forma inversa en relación al pH de la suspensión de arcilla y que hay una adsorción fuerte y específica del glifosato por la caolinita. Además destacan que la caolinita fue la arcilla que más adsorbió glifosato, seguida por illita, montmorillonita y bentonita.

La adsorción del glifosato a las superficies cargadas se incrementa cuando el pH del sistema arcilla-glifosato disminuye. Se ha mostrado que el glifosato también es fuertemente adsorbido a Al^{3+} y Fe^{3+} , y que no es fácilmente adsorbido al Na^{+} indicando que el proceso de adsorción es dependiente de la carga. La consecuencia de esta adsorción es que el glifosato es inactivado en suelos que contienen arcilla (Petit *et al.*, 1995), citado por Bustos (2012).

El glifosato es uno de los pocos herbicidas con carga eléctrica positiva, aspecto que le proporciona la particularidad de que al entrar en contacto con el suelo cargado negativamente, sea rápidamente inmovilizado e indisponible para la absorción vía radicular. Sin embargo, existen elementos minerales que compiten por estos sitios con otros elementos y con el propio glifosato, como es el caso de Ca, Fe y P, pudiendo formar sales con metales como Al y Fe (Comisión Científica Ecuatoriana, 2007).

De acuerdo a diversos estudios, altos niveles de fósforo favorecen la precipitación de Fe y Al en el suelo, disminuyendo la adsorción de glifosato, lo que aumenta la absorción por las plantas, con el consecuente riesgo de daño (Souza, 1982) citado por Bozzo (2010).

Un estudio realizado por Prata *et al.*, (2003), citado por Bozzo (2010), muestra que el glifosato compite con el fósforo por sitios específicos de adsorción, especialmente en suelos con niveles elevados de fósforo

2.11. Persistencia del glifosato

Una afirmación que se hace en relación al glifosato es que este herbicida se inactiva y degrada rápidamente en el suelo. La Agencia Ambiental de Estados Unidos ha reportado que la vida media del glifosato en el suelo puede ser de hasta 60 días según EPA (1999).

Otros estudios señalan que la degradación metabólica del glifosato en la planta es mínima o nula; se ha encontrado que 90 días después de aplicado el herbicida, el 98% de la cantidad aplicada, permanece inalterada en la planta (Documento Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos, 2000).

Por otra parte Feng y Thompson, (1990) y Newton *et al.*, (1984), señalan que la degradación co-metabólica del glifosato depende de la actividad microbológica del suelo. Los microorganismos pueden romper los enlaces C-P (carbono-fósforo), dando como producto la sarcosina o bien el ácido aminometilfosfónico (AMPA). Posteriormente, el AMPA puede ser degradado a tasas más lentas que el glifosato.

Numerosos estudios indican que el tiempo de permanencia del glifosato depende de las características físicas y químicas del suelo estudiado. En este sentido se registran tiempos de vida media que van desde 55,3 días hasta 3 años (Feng & Thompson, 1990; Newton *et al.*, 1984).

Es probable que la disipación bajo condiciones tropicales como las de la región amazónica, sea más rápida que en regiones templadas debido a las mayores temperaturas y humedad, las cuales promueven la actividad microbológica y la degradación química de muchos plaguicidas

Al respecto, al comparar el destino de los plaguicidas en condiciones tropicales y templadas, Racke (1997) concluyó que existía una mayor tasa de degradación en

condiciones tropicales, afirmando que: “dado que las actividades microbianas del suelo están fuertemente moduladas por la temperatura, se espera que la degradación del plaguicida sea mayor en los suelos tropicales que experimentan temperaturas más altas durante todo el año, que en los suelos templados”, explicación que es consistente con las observaciones de las altas tasas de recambio de la materia orgánica del suelo por una mayor actividad microbiana que caracteriza los ambientes tropicales.

Según Carlise and Trevors (1988), citado por Bozzo (2010), la descomposición biológica es considerada como el proceso más importante en la remoción de la mayor parte de los herbicidas, por los microorganismos. Señalan que en este proceso, el herbicida es inactivado y biodegradado por los microorganismos con tasas de degradación relacionadas con la actividad microbiana en el suelo y los factores que afectan esta actividad. Señalan además que la vida media del glifosato depende principalmente de la actividad microbiana y no de la descomposición química o foto descomposición.

Los niveles de glifosato y AMPA pueden persistir en el suelo año por año, según Scribner *et al.*, (2007), citado por Bustos (2012), el glifosato es inmovilizado al contacto con los suelos y minerales arcillosos debido a la formación de complejos superficiales con iones metálicos. El tiempo de residencia en el suelo está en función de la retención y es afectada por la composición mineralógica de los suelos. Adicionalmente, como el glifosato es capaz de formar complejos estables con cationes favoreciendo su adsorción en los suelos ó superficies minerales, y en especial cuando estos contienen óxidos de hierro y aluminio. El contenido de arcilla, tipo de arcilla, capacidad de intercambio catiónico (CIC) pueden ser los factores más importantes del suelo para la adsorción de glifosato (Pessagno *et al.*, 2008) citado por Bustos (2012).

Por su parte Ghassemi *et al.*, (1981), citado por Bozzo (2010) indican que la tasa de degradación del glifosato en el agua es más lenta que en el suelo porque existe menor cantidad de microorganismos, y que, si bien la tasa de degradación por microorganismos del suelo es rápida y completa, varía con el tipo de suelo y los microorganismos presentes.

Se ha encontrado que el AMPA es más persistente que el glifosato. Se han reportado vidas medias para este compuesto de entre 199 y 958 días. Aunque el efecto del glifosato como químico por sí solo ha sido investigado en algunos tipos de suelos, los efectos de los surfactantes y otros aditivos utilizados en las formulaciones de aspersión no han sido investigados en suelos y mucho menos el Cosmoflux usado en la erradicación de los cultivos ilícitos en Colombia (WHO, 1995).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del área donde se realizó el experimento:

a) Ubicación Política y Geográfica

Región:	Administrativa 1
Provincia:	Sucumbíos
Cantón:	Lago Agrio
Parroquia:	Jambelí
Sector:	Malvinas II
Lugar:	Finca “La Edita”
Coordenadas UTM:	X = 266587 E Y = 10017939 N
Datum:	WGS 84
Zona:	18 S
Altitud:	394 msnm.

b) Característica 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 (bh-T) (Holdridge,1977)

c) Clasificación del suelo

Orden: Inseptisol (USDA, 1975)

Subgrupo: Dystropept (USDA, 1975)

d) Características físicas y químicas del suelo: Cuadro 2.

Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo del ensayo experimental. Sucumbíos, 2011-2012.

Análisis	Unidad	Antes de la aplicación de RoundupSL	
		Tratamientos	
		T1	T2
Textura		Arcillosa	Arcillosa
pH		4,5 Acido	4,6 Acido
M.O.	%	5,5 Alto	5,5 Alto
Al+H	meq/100 ml de suelo	2,4	2,4
NH4	ppm	77	57
Fósforo	ppm	5,5 Bajo	6,5 Bajo
Azufre	ppm	6 Bajo	6,3 Bajo
Potasio	meq/100 ml de suelo	0,1 Bajo	0,1 Bajo
Calcio	meq/100 ml de suelo	0,99	1,3
Magnesio	meq/100 ml de suelo	0,47	0,59
Zinc	ppm	4,2	1,8
Cobre	ppm	4,8	3,2
Hierro	ppm	441	367
Manganeso	ppm	16,7	15,5
Boro	ppm	0,2	0,32
Suma de bases	meq/100 ml de suelo	--	--
Saturación de bases	%	--	--
CIC	Meq/100 ml de suelo	--	--

La investigación se realizó de agosto del 2010 a diciembre del 2011, en el sector las Malvinas II de la provincia de Sucumbíos (Anexo1). El estudio se complementó con los siguientes análisis: determinación de presencia de glifosato y el metabolito ácido aminometilfosfónico (AMPA) en muestras de suelo y en tejido de los árboles, 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. Identificación y cuantificación de edafofauna, en el laboratorio de Biología de la Universidad Técnica del Norte. Los dos primeros laboratorios, están ubicados en Quito-Pichincha y el tercero en Ibarra-Imbabura.

3.2 Factor en estudio

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

3.3 Tratamientos:

Se evaluaron dos tratamientos: T1 = 6,25 gal/ha de Roundup_{SL} (glifosato 48%) + POEA (surfactante: polioxietileno-amina) + adherente Cosmo-flux 411F 1% + agua 51% y T2 = 0,00 gal/ha de la mezcla del herbicida o testigo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos evaluados para determinar el impacto de Roundup_{SL} en un bosque secundario. Sucumbíos, 2011-2012.

No.	Código	Dosis de Roundup _{SL} + Cosmo-flux 411F
		(gal/ha)
1	T1	6,25*
2	T2	0

* = Dosis utilizada en el Plan Colombia

3.4. Unidad experimental

Área de la unidad experimental:	2 500 m ² (50 m x 50 m)
Área parcela neta:	250 m ² (10 m x 25 m)
Área Total de las parcelas netas:	2 000 m ²
Distancia entre unidades experimentales tratadas y no tratadas:	30 m

3.5. Características del experimento

Número de tratamientos:	2
Número de repeticiones:	4
Número de unidades experimentales :	8
Área total del ensayo:	20 300 m ²

3.6. Características de las unidades experimentales

Las unidades experimentales fueron ubicadas en un bosque secundario con textura arcillosa, abundante hojarasca y materia orgánica en descomposición. Dentro de la parcela neta, de cada unidad experimental, se delimitaron parcelas rectangulares anidadas para evaluar flora de cada estrato del bosque, según la metodología de Louman (2002), (Figura 1).

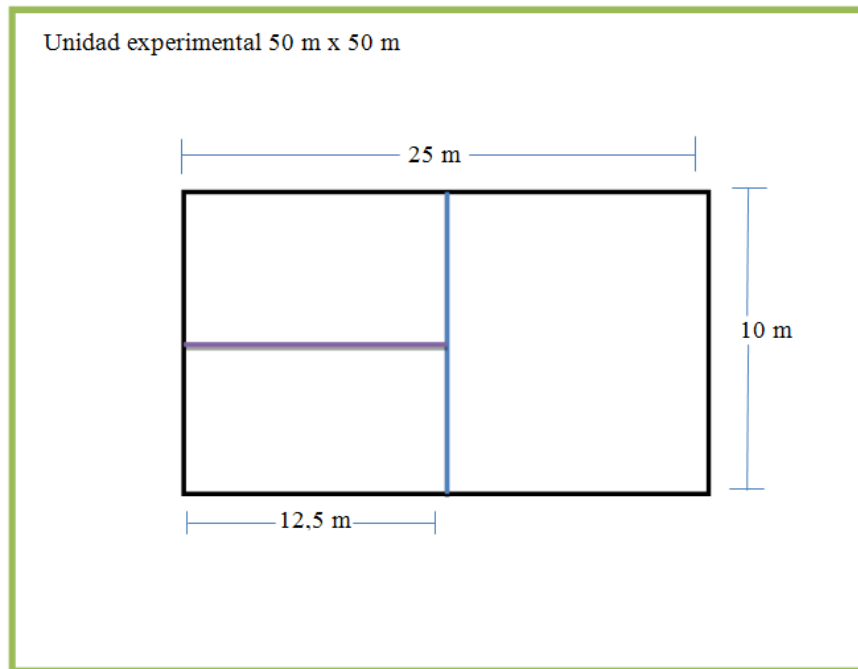


Figura 1. Croquis de disposición de una parcela de muestreo de especies de flora delimitada dentro de una unidad experimental.

3.7. Diseño experimental

Por dificultad de la aspersión aérea del herbicida Roundup_{SL}, no fue posible ubicar los tratamientos y las repeticiones dentro de uno de los diseños experimentales usuales. Para facilitar la aspersión del herbicida con helicóptero, fue necesario ubicar las 4 repeticiones de cada tratamiento, en una hectárea, respectivamente (Anexo 2).

La comparación de medias de los tratamientos en las variables de flora, se realizó con la prueba de “T” (0,05). Con datos de población de las familias de edafofauna, Blatidae, Formicidae y Grillidae y el número de muestreos, se elaboraron curvas de comportamiento de la población. De forma similar, se elaboraron gráficos del comportamiento de las poblaciones de los microorganismos del suelo, con datos de población y frecuencia de muestreos.

3.8. Variables

- Diversidad y abundancia de especies de flora

Antes de aplicar el herbicida, se levantaron datos de diversidad y abundancia de especies de flora mediante la metodología modificada de Louman (2002), citada por Ramos (2003). En las parcelas rectangulares de 250 m² (25 x 10 m) destinadas para dosel, se registraron árboles y palmas de 25 o más m de altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) >30 cm. En las parcelas rectangulares de 125 m² (12,5 x 10 m) destinadas para subdosel, se registraron árboles de 10 a 24 m de altura y de 10 a 29 cm de DAP. En las parcelas de 62,5 m² (12,5 x 5 m), destinadas para sotobosque, se registraron árboles de 5 a 9 m de altura y un DAP < a 10 cm.

En cada parcela se identificaron, registraron y etiquetaron las especies florísticas del dosel, subdosel y sotobosque. La identificación de las especies vegetales se realizó por tres ocasiones para evitar errores. Para esto, se consideraron características morfológicas de las plantas (forma de la raíz, tallo, hojas, flores y frutos), también presencia de látex, resina o sabia y características organolépticas como olores, sabores y colores de las plantas. Se contó con la ayuda de nativos del lugar y técnicos forestales. Los nombres científicos de las especies, fueron verificados en la literatura especializada de flora de la Amazonía del Ecuador de (Neill, D y Palacios, W. 1989, Gentry y Dodson, 1988; Cerón, 2003) y en estudios de flora realizados en la Amazonía (Lamprecht, 1991; Cinge Cía. Ltda, 2009; Trópicos, 2009, Petroproducciones 2009).

Para analizar los datos se estructuró una base de datos digital con el número de tratamiento, cuadrante, estrato, familia, nombres científicos y comunes, el DAP, altura de individuos, número de trozas y observaciones en campo.

Para establecer similitud en flora de las dos hectáreas de bosque del experimento, se determinaron índices de diversidad y coeficiente de similitud, siguientes:

Índice de Simpson: $SI' = \sum P_i^2$ (Odum, 1983).

Para interpretar el índice, se utilizó el recíproco del índice de Simpson $1/SI'$, el cual considera que mientras más se acerque éste valor al valor de la riqueza, la comunidad analizada es más diversa.

Shannon-Wiener: $H' = -\sum p_i \ln p_i$ (Magurran, 1988)

En la mayoría de los ecosistemas naturales éste valor varía entre 1 y 5, de donde, valores menores a 1,5 = diversidad baja, de 1,6 a 3 = diversidad media y de 3,1 a 5 = diversidad alta.

Coeficiente de similitud de Sorensen: $I_{Scuant} = \frac{2pNaN+bN}{2N}$

Este coeficiente fue determinado con el propósito de conocer que tan similares eran las unidades experimentales en composición florística, con datos de presencia/ausencia de especies. El valor del coeficiente va de 0, cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1, si dos sitios tienen la misma composición de especies o de individuos (Magurran, 1988).

- Cobertura vegetal y defoliación

La cobertura vegetal del bosque fue estimada en forma visual, antes de la aplicación del herbicida Roundap_{SL}, cada mes durante ocho meses y a los 14 meses, y fue expresada en porcentaje. Posteriormente, con estos datos se calculó el porcentaje de defoliación.

- Especies de flora afectadas

El registro de las especies afectadas fue realizado cada mes hasta ocho meses después de la aplicación, anotando el número de individuos y el nombre científico y vulgar de las especies afectadas.

- Volumen de madera y pérdidas

En las especies de dosel y subdosel, se calculó el volumen de madera expresada en número de trozas y su valor según el valor maderable de cada especie en el mercado, dato que sirvió para estimar pérdidas económicas expresadas en unidades monetarias por hectárea (USD/ha).

- Presencia de glifosato y AMPA en tejido vegetal y en el suelo

La presencia de glifosato y AMPA en tejido vegetal se determinó tomando muestras de corteza de los árboles más afectados, 90 días después de la aplicación del herbicida.

Para determinar la presencia de glifosato y AMPA en el suelo se tomaron muestras compuestas de suelo (dos repeticiones) de 0 a 10 cm de profundidad, antes y a los 45, 90 y 135 días después de la aplicación y se expresó en mg/kg. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Eco toxicología del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 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).

- Diversidad y abundancia de especies de edafofauna

De los grupos taxonómicos de fauna, únicamente fueron consideradas a las familias de edafofauna: Blatidae, Formicidae y Grillidae, por ser poblaciones territoriales.

Para identificación y cuantificación de la población, se colocaron 4 trampas pit-fall (recipiente tronco-cónico de plástico transparente o vaso de 15 cm de diámetro de abertura superior, 5 cm de diámetro de fondo, 20 cm de profundidad y un litro de capacidad), por repetición, es decir, 16 por tratamiento. Estas trampas fueron colocadas en el suelo, con la boca a nivel superficial, conteniendo una mezcla de formol al 3 %, agua y detergente (Luque, *et. al.* 2001).

Se realizaron seis muestreos, uno antes de la aspersión y luego cada 15 días por cuatro días seguidos y por un lapso de dos y medio meses (entre abril y junio). Cada muestra fue etiquetada con datos de tratamiento, repetición, número de muestreo y la fecha. Luego fueron transportadas al laboratorio de Biología de la Universidad Técnica del Norte para identificar los especímenes hasta nivel de familia y cuantificar su población. Con los datos obtenidos se generaron curvas de tendencia de la población de las familias Blatidae, Formicidae y Grillidae.

- Poblaciones de microorganismos del suelo

Antes de la aplicación y a los 45, 90 y 135 días después de la aplicación, se tomaron muestras compuestas de suelo (dos repeticiones), de 0 a 10 cm de profundidad, para determinar poblaciones totales de bacterias, hongos, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, microorganismos celulolíticos, fijadores de nitrógeno y micorrizas. Las poblaciones fueron expresadas en unidades formadoras de colonias/gramo de suelo seco (UFC/gss) y las de micorrizas, en número de esporas por gramo de suelo seco (esporas/gss).

Para cuantificar los diferentes grupos de microorganismos se utilizó el método de dilución serial y siembra en medios específicos de acuerdo a las metodologías descritas por Girard y Rougieux (1964), Novo y Hernández (2003) y Yáñez (2004). Los medios selectivos utilizados fueron los siguientes: Agar Nutriente para bacterias totales, Agar Rosa de Bengala para hongos totales, Agar Caseína para actinomicetos, Agar Ramos Callao para solubilizadores de fósforo, Agar Extracto Suelo para celulolíticos totales, medio semisólido Watanabe para fijadores de nitrógeno. Para micorrizas se utilizó la metodología indicada por Herrera (2001). Estos análisis fueron realizados en el laboratorio de Microbiología del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la E. E. Santa Catalina del INIAP.

- Propiedades físicas, químicas y mineralógicas del suelo

Muestras de suelo de 0 a 20 cm de profundidad, fueron tomadas antes de la aplicación y después a los 15 y 45 días, para determinar las características físicas y químicas, en el Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la E. E. Santa Catalina del INIAP, y también su composición mineralógica en el Laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

3.9. Manejo específico del experimento

En dos hectáreas de bosque secundario, separadas por 30 m, se delimitaron 8 unidades experimentales, cuatro en cada hectárea. En cada hectárea se ubicaron los tratamientos y en las cuatro unidades experimentales, las repeticiones. Las unidades experimentales fueron delimitadas con estacas de madera pintadas de blanco y con cinta plástica fosforescente; luego fueron identificadas con rótulos indicando el tratamiento y la repetición (Fotografías: 1 y 2). De igual forma, en cada parcela neta se delimitaron las parcelas anidadas para evaluar flora de los estratos dosel, subdosel y sotobosque.

	
<p>Fotografía 1. Delimitación de las unidades experimentales</p>	<p>Fotografía 2. Identificación de las unidades experimentales</p>

Para simular la aspersión aérea de glifosato, realizada por el Plan Colombia, y para evitar daño al bosque vecino por deriva, se decidió realizar la aspersión aérea mediante un helicóptero, para lo cual fue necesario diseñar un equipo de aspersión que consistió en un aguilón de tubo galvanizado de ½” (6 m x 3 m) con 24 boquillas de porcelana (de abanico y capacidad de aspersión de 16 litros/minuto), sujetado a una estructura de tubo de aluminio de 3”. En los extremos del aguilón se colocaron cadenas de 3 m, que fueron fijadas a un cable de 70 m que partía del centro del aguilón y una manguera de presión de ½”, en cuyo extremo se colocó un gancho de acople al helicóptero (Fotografías 3, 4, 5 y 6.). Una bomba de fumigación estacionaria de 10 HP, 80 bares de presión, a gasolina y un tanque plástico de 200 litros, fueron adaptados a la cabina del helicóptero.

Antes de la aplicación se colocaron banderas de color rojo y amarillo en cada parcela experimental, con el fin de que el piloto visualice las áreas a asperjar (Fotografías: 7 y 8 y Anexo 3). Para documentar el daño al bosque, se tomaron fotografías aéreas antes y después de la aspersión del herbicida (Anexo 3).

El día de la aplicación se realizó la mezcla en los siguientes porcentajes: 55% de agua, 44% de la fórmula Roundup_{SL} (glifosato 48%) y 1% de Cosmo-Flux 411F.



Fotografía 3. Helicóptero utilizado para la aspersión



Fotografía 4. Aguilón armado





Fotografía 5. Acople del aguilón al helicóptero



Fotografía 6. Vista aérea del equipo de aspersión completo

Fotografías: 3, 4, 5 y 6. Equipo de aspersión utilizado

	
<p>Fotografía 7. Vista aérea de las banderas de señalización</p>	<p>Fotografía 8. Ubicación de las banderas en las parcelas netas</p>

Con el piloto del helicóptero se diseñó el plan de vuelo, la altura de la nave y del aguilón que debería permanecer suspendido, con el cable y la manguera, a 20 m sobre la copa de los árboles (Anexo 3).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diversidad y abundancia de especies de flora antes de la aplicación

Según los valores de riqueza, 31 y 33 especies y de abundancia, 62 y 69 individuos, de flora de los tratamientos T1 y T2, respectivamente, (Cuadro 4), se puede decir que el bosque de las dos hectáreas, presentan uniformidad en su composición florística, observación que es confirmada por el Índice de similitud de Sorensen de 0,43 (Anexo 5), que expresa similitud media en composición florística. De 47 especies, 18 están presentes en las dos unidades. Esta aseveración también es respaldada por la prueba de “t” = 0,05, no significativo ($p < 0,05$) (Anexo 6) que indica que el bosque en las unidades experimentales de los dos tratamientos, son similares. De acuerdo con estos resultados, se concluye que las unidades experimentales de los dos tratamientos, cumplieron con la condición de homogeneidad para evaluar los tratamientos.

Por otra parte, los valores de índices de diversidad de especies de 3,3228 y 3,3206 calculadas según Shannon y de 22,42 y 23,47, según Simpson, indican que el bosque secundario en las unidades experimentales de los dos tratamientos, presentó diversidad alta (Cuadro 4 y Anexos: 7 y 8).

Cuadro 4. Índices de diversidad y abundancia de especies de flora en los tratamientos T1 y T2, antes de la aplicación del herbicida. Sucumbíos, 2011.

Tratamientos	Riqueza	Abundancia	I. Shannon *	I. Simpson
	Especies (N°)	Individuos (N°)	$H' = -\sum p_i \ln p_i$	$1/SI' = \sum P_i^{2**}$
T1	31	62	3,3228	22,42
T2	33	69	3,3206	23,47

* <1,5 = diversidad baja, 1,6 a 3 = diversidad media, 3 a 5 = diversidad alta

** Mientras el valor de 1/SI, se acerque más a la riqueza, la comunidad se considera más diversa

Índices de diversidad y abundancia de especies de flora en los tratamientos T1 y T2, antes de la aplicación del herbicida. Sucumbíos, 2011.

En el Cuadro 5, de diversidad y abundancia de los estratos del bosque de cada tratamiento, se observa que T2 presenta una diversidad y abundancia ligeramente mayor que T1.

Cuadro 5. Diversidad y abundancia de flora de los tres estratos del bosque secundario del área experimental del estudio. Sucumbíos, 2011.

Estrato de Bosque	T1		T2	
	Diversidad	Abundancia	Diversidad	Abundancia
Dosel	15	22	20	27
Subdosel	22	40	26	42
Sotobosque	20	28	21	62

En el tratamiento T1, las especies de mayor dominancia en el dosel y subdosel se indican en la Figura 2 y Cuadro 6.

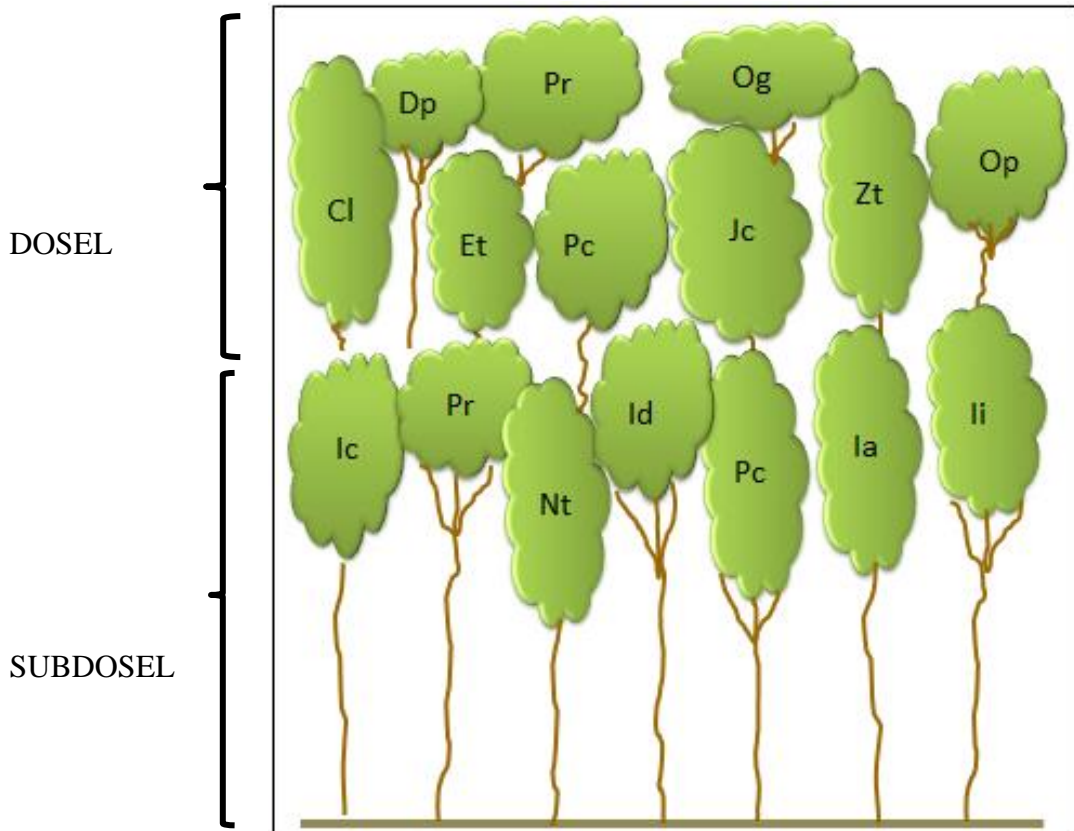


FIGURA 2. Especies representativas en los estratos dosel y subdosel en el tratamiento T1:
 Dosel: Cl = *Cecropia latiloba*, Dp = *Dacryodes peruviana*, Et = *Endlicheria tschudyana*, Pr = *Pseudolmedia rigida*, Pc = *Pourouma cecropiifolia*, Op = *Otoba parvifolia*, Og = *Otoba glycyarpa*, Jc = *Jacaranda copaia*, Zt = *Zonoxylum tachuelo*.
 Subdosel: Ic = *Inga cordatoalata*, Pr = *Pseudolmedia rigida*, Nt = *Nectandra turbacensis*, Id = *Iriartea deltoidea*, Pc = *Pouteria caimito*, Ia = *Inga acreana*, li = *Inga icraneada*.

En el tratamiento T2, las especies mejor representadas en el dosel y subdosel se indican en la Figura 3 y Cuadro 7.

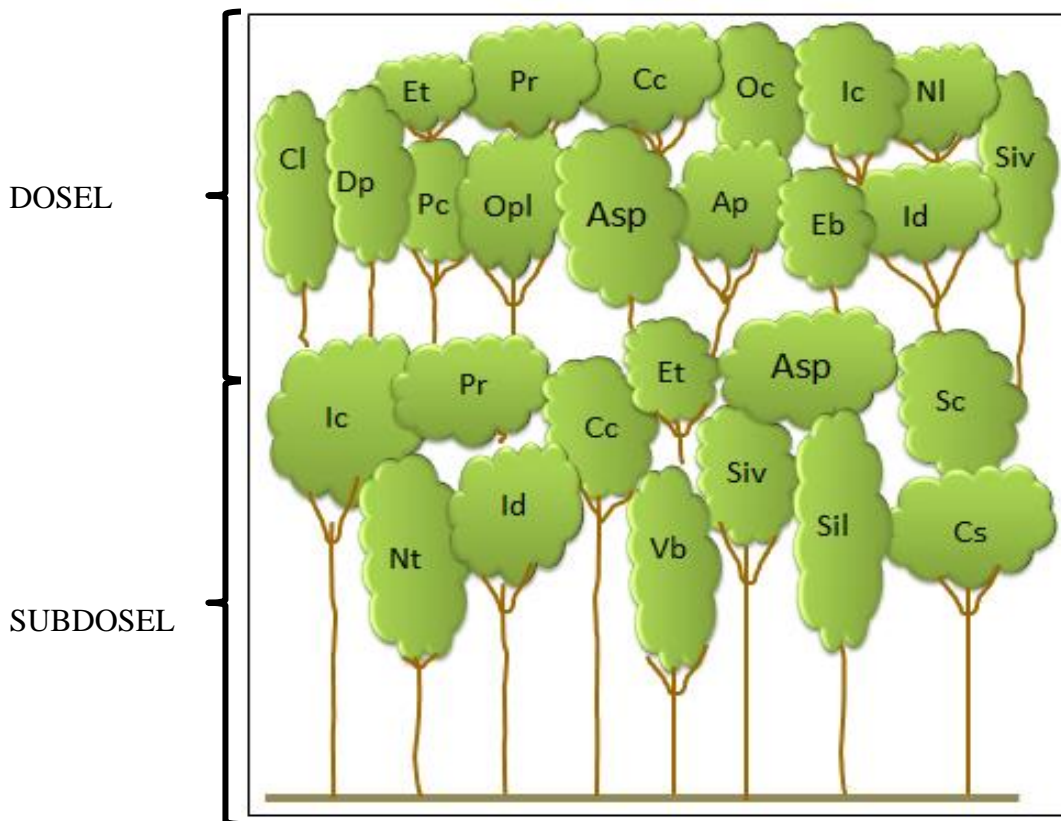


FIGURA 3. Especies representativas en los estratos dosel y subdosel en el Tratamiento T2:
 Dosel: Cl = *Cecropia latiloba*, Dp = *Dacryodes peruviana*, Et = *Endlicheria tschudyana*, Pr = *Pseudolmedia rigida*, Pc = *Pourouma cecropiifolia*, Opl = *Osteopholium platysphermun*, Cc = *Cassia cowanii*, Asp = *Anona* sp., Oc = *Ocotea caudata*, Ic = *Inga cordatoalata*, Ap = *Aniba Panurenses*, Eb = *Hevea brasiliensis*, Nl = *Nectandra laurel*, Id = *Iriartea deltoidea*, Siv = Sin identificación (variable).
 Subdosel: Ic = *Inga cordatoalata*, Pr = *Pseudolmedia rigida*, Nt = *Nectandra turbacensis*, Id = *Iriartea deltoidea*, Cc = *Cassia cowanii*, Et = *Endlicheria tschudyana*, Asp = *Anona* sp., Vb = *Vochysia*

Cuadro 6. Estratificación del bosque secundario en el tratamiento T1.

TRATAMIENTO 1									
ESTRATO	N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	CUADRANTES				
					I	II	III	IV	TOTAL
	1	Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i>	Arenillo	1	0	0	0	1
	2	Fabaceae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	1	0	0	0	1
	3		<i>Sin identificación</i>	Variable	1	0	0	0	1
	4	Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	1	2	0	0	3
	5	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	0	2	0	0	2
D	6	Anacardaceae	<i>Spondias mombin</i>	Ovo	0	1	0	0	1
O	7	Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	0	1	1	0	2
S	8	Cecropiaceae	<i>Otoba parvifolia</i>	Sangre de gallina	0	0	1	0	1
E	9	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Copal	0	0	1	2	3
L	10	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0	0	1	0	1
	11	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uva de monte	0	0	1	1	2
	12	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	0	0	1	0	1
	13	Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0	0	0	1	1
	14	Myristicaceae	<i>Otoba glycyarpa</i>	Coco	0	0	0	1	1
	15	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Guayacan	0	0	0	1	1
TOTAL					4	6	6	6	22
	1	Fabaceae- mimosoideae	<i>Inga acreana</i>	Guabo	3	0	0	0	3
	2	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	2	0	0	0	2
	3	Fabaceae-mimosoideae	<i>Parkia sp.</i>	Guarango	1	0	0	0	1
	4	Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i>	Arenillo	1	0	0	0	1
	5	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga punctata</i>	Guabillo	1	0	0	0	1
	6	Lauraceae	<i>Ocotea acyphylla</i>	Jigua negra	1	0	0	0	1
	7	Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	1	0	0	0	1
S	8	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	1	1	0	2
U	9	Arecaceae	<i>Attalea colenda</i>	Palma real	0	2	0	0	2
B	10	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	0	1	1	2	4
D	11	Myristicaceae	<i>Osteopholium platyphermun</i>	Lotería	0	0	2	0	2
O	12	Tiliaceae	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	0	0	1	1	2
S	13	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0	1	1	1	3
E	14	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo Blanco	0	0	1	4	5
L	15	Proteaceae	<i>Roupala pachypoda</i>	Roble	0	0	1	0	1
	16	Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	0	0	1	0	1
	17	Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	0	0	1	0	1
	18	Moraceae	<i>Brasimun utile</i>	Sande	0	0	1	1	2
	19	Cecropiaceae	<i>Otoba parvifolia</i>	Sangre de gallina	0	0	1	1	2
	20	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo Rojo	0	0	0	1	1
	21	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	0	0	0	1	1
	22		<i>Sin identificación</i>	Flor de mayo	0	1	0	0	1
TOTAL					10	6	12	12	40
	1	Heliconiaceae	<i>Heliconia marginata</i>	Platanillo	1	0	0	0	1
	2	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	2	1	0	0	3
	3	Araceae	<i>Anthurium sp.</i>	Anturio	1	0	0	0	1
	4	Tectaraceae	<i>Tectaria sp.</i>	Helechos	1	0	0	1	2
	5	Arecaceae	Arecaceae	Palma real	0	2	0	0	2
S	6	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	0	1	0	0	1
O	7	Rutaceae	<i>Zonthoxylum tachuelo</i>	Tachuelo	0	1	0	0	1
T	8	Bombacaceae	<i>Matisia cordata</i>	Zapote	0	1	0	0	1
O	9	Heliconiaceae	<i>Heliconia sp.</i>	Platanillo	0	1	0	0	1
B	10	Cyatheaceae	<i>Alsophylla cuspidata</i>	Helecho arboreo	0	1	0	0	1
O	11	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Copal	0	1	0	0	1
S	12	Sapotaceae	<i>Pouteria bahiana</i>	Caimitillo	0	0	1	1	2
Q	13	Arecaceae	<i>Euterpe precatória</i>	Mil pesos	0	0	1	1	2
U	14	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	0	0	2	0	2
E	15	Sapotaceae	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	0	0	2	0	2
	16	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	0	0	0	1	1
	17	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0	0	0	1	1
	18	Lecythidaceae	<i>Grias multinervia</i>	Pacora	0	0	0	1	1
	19	Bombacaceae	<i>Matisia ochrocalyx</i>	Molinillo	0	0	0	1	1
	20		<i>Sin identificación</i>	Variable	0	0	0	1	1
TOTAL					5	9	6	8	28

Cuadro 7. Estratificación del bosque secundario en el tratamiento T2.

		TRATAMIENTO 2							
ESTRATO	N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	CUADRANTES				TOTAL
					I	II	III	IV	
D O S E L	1	Anonaceae	<i>Anona sp.</i>	Chirimoya de	1	0	0	0	1
	2	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo rojo	1	1	0	0	2
	3	Myristicaceae	<i>Osteopholium platyspermum</i>	Lotería	1	0	0	0	1
	4	Lauraceae	<i>Aniba Panurenses</i>	Canelo yema de	1	0	0	0	1
	5	Burseraceae	<i>Dacryodes sp</i>	Copal	1	0	0	0	1
	6	Lauraceae	<i>Ocotea caudata</i>	Canelo alcanfor	1	0	0	0	1
	7	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	2	2	0	0	4
	8	Fabaceae	<i>Cassia cowanii</i>	Chontacaspi	1	0	1	0	2
	9	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0	1	0	0	1
	10	Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	0	1	1	0	2
	11	Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	0	1	0	0	1
	12	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	Jigua canelo	0	0	1	0	1
	13	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropifolia</i>	Uva de monte	0	0	1	1	2
	14	Areaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	0	0	1	0	1
	15	Areaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	0	1	0	1
	16		<i>Sin identificación</i>	Variable	0	0	1	0	1
	17	Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	0	0	0	1	1
	18	Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>	Colorado fino	0	0	0	1	1
	19	Vochysiaceae	<i>Vochysia braseliniae</i>	Tamburo blanco	0	0	0	1	1
	20	Meliaceae	<i>Guarea purusana</i>	Colorado	0	0	0	1	1
TOTAL					9	6	7	5	27
S U B D O S E L	1		<i>Sin identificación</i>	Lentejo	1	1	0	0	2
	2	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropifolia</i>	Uva de monte	1	0	0	0	1
	3	Burseraceae	<i>Dacryodes sp</i>	Copal	1	0	0	0	1
	4	Fabaceae	<i>Cassia cowanii</i>	Chontacaspi	1	1	0	0	2
	5	Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	1	0	1	0	2
	6	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	1	2	0	0	3
	7	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	3	0	0	1	4
	8	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	1	1	0	0	2
	9	Fabaceae-Faboideae	<i>Erythrina amazonica</i>	Poroton	1	0	0	0	1
	10		<i>Sin identificación</i>	Variable	1	1	0	1	3
	11	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	Jigua canelo	1	1	0	0	2
	12	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua blanco	0	2	0	0	2
	13	Anonaceae	<i>Anona sp.</i>	Chirimoya	0	2	0	0	2
	14	Vochysiaceae	<i>Vochysia braseliniae</i>	Tamburo blanco	0	1	1	0	2
	15	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	0	1	0	0	1
	16	Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i>	Arenillo	0	1	0	0	1
	17	Myristicaceae	<i>Otoba glycyarpa</i>	Coco	0	1	0	0	1
	18	Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0	1	0	0	1
	19	Lecythidaceae	<i>Eschweilera juruensis</i>	Sabroso	0	0	1	0	1
	20	Areaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	0	2	0	2
	21	Meliaceae	<i>Guarea purusana</i>	Colorado	0	0	1	0	1
	22	Sapotaceae	<i>Pouteria bahiana</i>	Caimitillo	0	0	0	1	1
	23		<i>Sin identificación</i>	Cuero de sapo	0	0	0	1	1
	24	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo rojo	0	0	0	1	1
	25	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	0	0	0	1	1
	26	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i>	Colorado manzano	0	0	0	1	1
TOTAL					13	16	6	7	42
S O T O B O S Q U E	1	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropifolia</i>	Uva de monte	2	0	0	0	2
	2	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	2	0	0	1	3
	3	Moraceae	<i>Ficus insípida</i>	Huigueron	1	0	0	1	2
	4	Burseraceae	<i>Dacryodes sp</i>	Copal	1	0	0	1	2
	5	Tectaraceae	<i>Tectaria sp.</i>	Helechos	8	10	0	4	22
	6	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	Jigua canelo	1	0	0	0	1
	7		<i>Sin identificación</i>	SI	0	1	0	0	1
	8	Areaceae	<i>Phytelephas macrocarpa</i>	Tahua (3)	0	3	0	0	3
	9	Sterculiaceae	<i>Herrania nitida</i>	Cacao de monte	0	1	0	0	1
	10		<i>Sin identificación</i>	Pata de Vaca >10	0	10	0	0	10
	11	Moraceae	<i>Brosimum utile</i>	Sande	0	1	0	0	1
	12	Araceae	<i>Anthurium sp.</i>	Anturio	0	1	0	0	1
	13	Areaceae	<i>Attalea sp.</i>	Palma Llarina	0	0	2	0	2
	14	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua blanca	0	0	1	0	1
	15	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	0	0	1	0	1
	16	Bombacaceae	<i>Matisia cordata</i>	Zapote	0	0	3	0	3
	17	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i>	Colorado manzano	0	0	1	0	1
	18	Heliconiaceae	<i>Heliconia sp.</i>	Platanillo	0	0	1	0	1
	19	Areaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	0	1	0	1
	20		<i>Sin identificación</i>	Lentejo	0	0	1	0	1
	21	Bombacaceae	<i>Matisia ochrocalyx</i>	Molinillo	0	0	0	2	2
TOTAL					15	27	11	9	62

4.1.1 Acumulación de especies antes de la aplicación

Para comprobar que la metodología de Louman (2002), citada por Ramos (2003), fue adecuada en los muestreos de flora, se estableció la curva de acumulación de especies, registrándose 31 y 33 especies de árboles en los tratamientos T1 y T2, respectivamente (Grafico 1).

Considerando, por una parte, que en estudios realizados en la Amazonía con la técnica de parcelas permanentes de una hectárea de bosque, se determinó de 200 a 240 especies de árboles, con un diámetro de muestreo mínimo de 10 cm de DAP (Balsley *et al.* 1987; Cerón y Montalvo, 1997; Palacios, 1997, citado por Petroproducciones, 2009), y por otra parte, que en 0,1 ha se deberían registrar 24 especies, se establece que la metodología utilizada, fue adecuada, porque se registraron 31 y 33 especies en los tratamientos T1 y T2, respectivamente, de 24 esperadas (Anexo 8). El área mínima de muestreo en este estudio fue de 1000 m² o 0,1ha (4 parcelas de 25 m x 10 m).

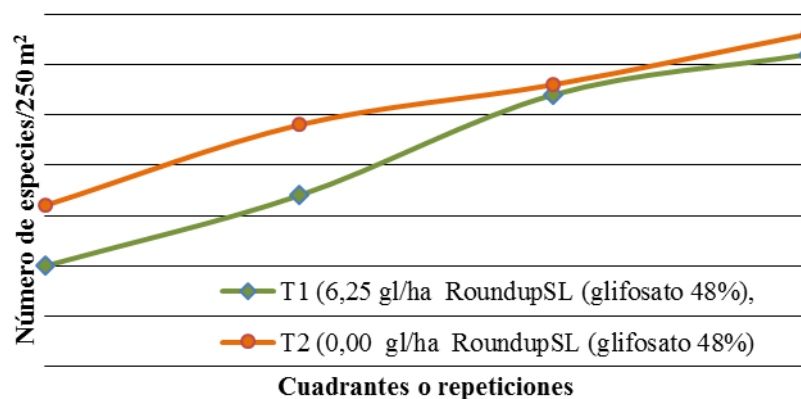


Gráfico 1. Curva de acumulación de especies de flora en cada tratamiento. Sucumbíos, 2011-2012.

4.2. Cobertura vegetal y defoliación

En el Gráfico 2, se observa que el valor inicial de cobertura vegetal para T1 y T2 fue de 85 y 95%, respectivamente. Después de la aplicación y durante los 8 meses de evaluación, la cobertura vegetal en T1 muestra un descenso gradual hasta registrar 39%; en cambio, en T2 los valores se mantienen estables (Anexos: 3 y 10).

Una lectura adicional realizada a los 14 meses de la aplicación, registró 37% de cobertura vegetal en T1, lo cual indica que no hubo recuperación del bosque como se esperaba. Únicamente se observó mayor desarrollo del estrato bajo del bosque, estimándose que se requiere de 30 a 50 años, para que se recupere por completo, siguiendo la sucesión de bosque secundario.

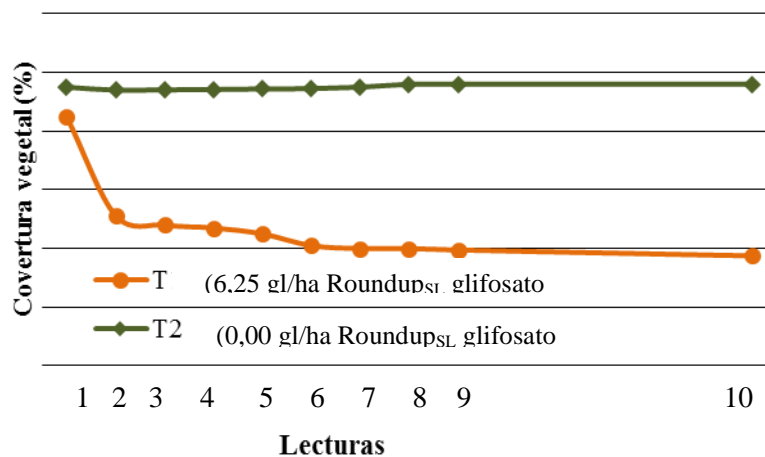


Gráfico 2. Cobertura vegetal del bosque secundario registrada en los tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.

En cuanto a la defoliación del bosque, en el tratamiento T1 éste parámetro fue inversamente proporcional al porcentaje de cobertura vegetal, a menor porcentaje de

cobertura vegetal (37,5%) el porcentaje de defoliación fue mayor (47,5%). En cambio, en T2 el bosque no presentó defoliación (Gráfico 3 y Anexo 3 y 10).

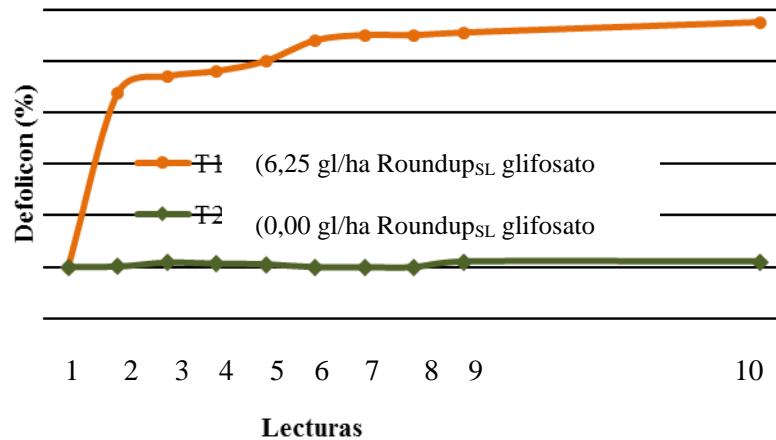


Gráfico 3. Defoliación del bosque secundario registrado en los tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.

Los resultados obtenidos muestran un efecto claro del herbicida Roundup_{SL} sobre la cobertura vegetal del bosque en T1. En las especies afectadas se observó una intensa defoliación del follaje necrosado y finalmente su muerte.

4.3. Especies de flora afectadas y no afectadas

En el tratamiento T1, en los sustratos dosel, subdosel y sotobosque, se registraron 41 especies, de las cuales 15 fueron muy afectadas (50 a 100% de defoliación), 16 fueron poco afectadas (10 a 30% de defoliación) y 10 no fueron afectadas (Cuadro 8). De manera general, la mayoría de especies más afectadas corresponden al dosel y subdosel, las menos afectadas al subdosel, dosel y sotobosque, y las no afectadas, al sotobosque, subdosel y dosel.

Cuadro 8. Especies de flora afectadas por el herbicida Roundup^{SL} en el dosel, subdosel y sotobosque, del tratamiento T1. Sucumbíos, 2011-2012.

ESTRATO	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	DEFOLIACIÓN (%)
	Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i>	Arenillo	100
	Fabaceae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	100
	Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	100
	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	100
	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Guayacan	100
D	Rutaceae	<i>Zonthoxylum tachuelo</i>	Tachuelo	100
O	Burseraceae	<i>Dacryodes sp</i>	Copal	70
S	No identificado	Sin identificación	Variable	50
E	Anacardaceae	<i>Spondias mombin</i>	Ovo	50
L	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uva de monte	50
	Cecropiaceae	<i>Otova parvifolia</i>	Sangre de gallina	10
	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	10
	Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	0
	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0
	Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0
	Myristicaceae	<i>Otoba glycycarpa</i>	Coco	0
	Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i>	Arenillo	100
	Fabaceae- mimosoideae	<i>Inga acreana</i>	Guabo	80
	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga punctata</i>	Guabillo	80
	Fabaceae-mimosoideae	<i>Parkia sp.</i>	Guarango	30
	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	30
	Lauraceae	<i>Ocotea acyphylla</i>	Jigua negra	20
	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo Rojo	20
S	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	10
U	Myristicaceae	<i>Osteopholium platyphermun</i>	Lotería	10
B	Tiliaceae	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	10
D	Proteaceae	<i>Roupala pachypoda</i>	Roble	10
O	Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	10
S	Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	10
E	Moraceae	<i>Brosimum utile</i>	Sande	10
L	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	0
	Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	0
	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0
	Arecaceae	<i>Attalea colenda</i>	Palma real	0
	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo Blanco	0
	Cecropiaceae	<i>Otova parvifolia</i>	Sangre de gallina	0
	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	0
	No identificado	Sin identificación	Flor de mayo	0
	Tectaraceae	<i>Tectaria sp.</i>	Helechos	60
	Rutaceae	<i>Zonthoxylum tachuelo</i>	Tachuelo	50
	Cyatheaceae	<i>Alsophylla cuspidata</i>	Helecho arboreo	50
	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	50
	Heliconiaceae	<i>Heliconia sp.</i>	Platanillo	30
	Burseraceae	<i>Dacryodes SP</i>	Copal	30
S	Sapotaceae	<i>Pouteria bahniiana</i>	Caimitillo	10
O	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0
T	Araceae	<i>Anthurium sp.</i>	Anturio	0
O	Arecaceae	Arecaceae	Palma real	0
B	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	0
O	Bombacaceae	<i>Matisia cordata</i>	Zapote	0
S	Arecaceae	<i>Euterpe precatoria</i>	Mil pesos	0
Q	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	0
U	Sapotaceae	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	0
E	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0
	Lecythidaceae	<i>Grias multinervia</i>	Pacora	0
	Bombacaceae	<i>Matisia ochrocalyx</i>	Molinillo	0
	No identificado	Sin identificación	Variable	0

Este particular, indica que la mayor cantidad del herbicida, es retenida por el follaje de los árboles del dosel y subdosel, y que poca cantidad del herbicida llegaría al sotobosque y al suelo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede decir que si un bosque secundario sufre el impacto directo de una aspersión aérea, con la dosis de 6,25 gl de Roundup^{SL} /ha, los árboles de las especies: arenillo (*Erismia uncinatum*), guabo blanco (*Inga icraneada*), guarumo (*Cecropia* cf. *Latiloba*), arabisco (*Jacaranda copaia*), tachuelo (*Zonothoxylum tachuelo*), variable (sin identificar), ovo (*Spondias mombin*), guabo blanco (*Inga icraneada*), guayacán (*Dacryodes peruviana*), copal (*Dacryodes* sp.), uva de monte (*Pourouma cecropiifolia*) y helechos (*Tectaria* sp.), presentarán follaje clorótico, luego necrosis de los tejidos de las hojas, seguida por defoliación completa y finalmente la muerte a los 10 meses de la aspersión.

Estas especies corresponden a las familias Vochysiaceae, Fabaceae, Cecropiaceae, Tectaraceae, Anacardaceae, Burseraceae, Bignoniaceae y Rutáceae con mayor afectación.

Las especies que no sufrieron daño o que este fue mínimo son: chambira (*Astrocaryum chambira*), canelo (*Endlicheria tschudyana*), Manglillo (*Simira cordifolia*), coco (*Otoba glycyarpa*), Capirona (*Callycophyllum spruceanum*), pambil (*Iriartea deltoidea*), palma real (*Attalea colenda*), sangre de gallina (*Otoba parvifolia*), guión (*Pseudolmedia rigida*), flor de mayo (sp. Sin identificación), anturio (*Anthurium* sp.), zapote (*Matisia cordata*), mil pesos (*Euterpe precatória*), jigua (*Nectandra turbacensis*), peine de mono (*Apeiba aspera*), pacora (*Grias multinervia*) y molinillo (*Matisia ochrocalyx*).

Estas especies integran las familias: Arecaceae, Lauraceae, Rubiaceae, Lecythydaceae, Bombacaceae, Myristicaceae y Moraceae.

Por lo tanto se concluye que el impacto directo de una aspersión aérea, con la dosis de 6,25 gal de Roundup_{SL}/ha, dañará significativamente al bosque, daño que será incrementado por la caída de los árboles muertos al arrastrar consigo a los árboles vecinos. La recuperación del bosque tardaría de 30 a 50 años.

4.4. Volumen de madera y pérdidas

En el Cuadro 9, de las ocho especies pioneras maderables afectadas (muertas), seis corresponden al estrato dosel y dos al subdosel. De estas, el arabisco (*Jacaranda copaia*) y el guarumo (*Cecropia cf. latiloba*), presentan mayor número de individuos, 16 y 14, respectivamente. Los 50 individuos de las ocho especies afectadas, suman 166 trozas aprovechables y un valor total de \$ 6170 /ha, valor que se asume representa las pérdidas que causaría el impacto de una aspersión aérea de Roundup_{SL} (glifosato 48%), a un bosque secundario.

Cuadro 9. Especies maderables afectadas (muertas) por el herbicida Roundup_{SL} (glifosato 48%) y pérdidas económicas. Sucumbíos, 2011-2012.

Ind (Nº)	Nombre científico	Nombre común	Estrato ¹	Trozas No.	Valor/troza (USD)	V. Total/ha (USD)
16	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	D	61	3	1830
3	<i>Erismia uncinatum</i>	Arenillo	D	9	7	630
7	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	D	23	4	920
14	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	D	52	3	1560
1	<i>Spondias mombin</i>	Ovo	D	5	3	150
1	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	S	5	8	400
3	<i>Sin identificación.</i>	Variable	S	3	4	120
2	<i>Zonothoxylum tachuelo</i>	Tachuelo	D	8	7	560
50				166		6170

¹ D = dosel; S = subdosel

4.5. Presencia de glifosato y AMPA en tejido vegetal y en el suelo

El análisis de presencia de glifosato y AMPA, realizado a tejido vegetal de las especies de árboles afectadas, 80 días después de la aplicación de Roundup^{SL}, (Cuadro 10), detectó 1,1 mg/kg de glifosato, únicamente en la corteza de árboles arabisco. La cantidad de glifosato detectada, es ligeramente mayor al límite de cuantificación de 1,0 mg/kg. Este resultado sorprende, porque también se esperaba detectar a glifosato en guarumo, guabo y tachuelo que fueron muertos por el herbicida.

El metabolito AMPA, no fue detectado en ninguna de las especies analizadas (Cuadro 10), resultado que corrobora lo anotado por la EPA (1999) que señala que no se forma en el tejido vegetal.

Por otra parte, la cantidad de 0,85 mg/kg de glifosato, detectada en el suelo del tratamiento T1, únicamente a los 45 días de la aplicación (Cuadro 11), se interpreta que la cantidad del herbicida depositada en el suelo, fue pequeña, por cuya razón no se detectaron cambios en la población de la microbiota del suelo, como se indica más adelante.

Cuadro 10. Presencia de glifosato en el tejido de cuatro especies de árboles afectados, 80 días después de la aplicación de Roundup^{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Roundup ^{SL} (gal/ha)	Especies		Glifosato (mg/kg)	AMPA
	Nombre común	Tipo de tejido		
6,25	Arabisco	Corteza	1,1	<LD
	Guarumo	Corteza	<LC	<LD
	Guabo	Corteza	<LC	<LD
	Tachuelo	Corteza	<LC	<LD

< LC = Menor al límite de cuantificación, glifosato 1,0 mg/kg

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

< LD = Menor al límite de detección, glifosato 0,3 mg/kg

Menor al límite de detección, AMPA 0,3 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.

Cuadro 11. Presencia de glifosato y AMPA (mg/kg) en el suelo. Sucumbíos, 2010-2011.

Tratamientos			Antes de la aplicación (días)		Después de la aplicación (días)					
			0		45		90		135	
N°	Dosis de Roundup ^{SL} (gal/ha)	Prof. (cm)	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA	Glifosato	AMPA
T1	6,25	(0-10)	< LD	< LD	0,85	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
T2	0,00	(0-10)	< 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

4.6. Diversidad y abundancia de especies de edafofauna

En los Cuadros 12 y 13, se observa que 24 y 18 familias de edafofauna fueron registradas en los tratamientos T1 y T2, respectivamente, durante los seis muestreos, antes y después de la aspersión. De estas familias, las que mayor población presentaron fueron Formicidae (hormigas), Blatidae (cucarachas) y Grillidae (grillos), con las cuales se establecieron curvas de dinámica de su población, para determinar probables efectos del glifosato.

Así, en el Gráfico 4 se observa que la población de individuos de la familia Formicidae (hormigas), es similar en los dos tratamientos antes de la aplicación del herbicida, luego presenta una marcada disminución en la segunda lectura, siendo menor en T1, y en la tercera lectura la población se incrementa en los dos tratamientos, pero es menor en T1. Se podría decir que la fluctuación de la población es muy similar y casi paralela, en los dos tratamientos, lo que sugiere que existe un ligero efecto del glifosato en la población de hormigas.

Cuadro 12. Familias y número de individuos de edafofauna registrados en el tratamiento T1/1000 m². Sucumbíos, 2011-2012.

Tratamiento 1								
N°	Familia	Muestras (días)						Total
		0	15	30	45	60	75	
1	Acrididae	0	0	0	0	1	0	1
2	Apidae	0	0	21	0	0	0	21
3	Blatidae	80	22	66	76	59	79	382
4	Carabidae	1	0	0	0	0	0	1
5	Cecidomyiidae	0	0	1	0	0	0	1
6	Chrysomelidae	0	0	2	0	0	1	3
7	Cicadidae	2	0	0	0	0	0	2
8	Culicidae	7	0	0	0	0	1	8
9	Curculionidae	0	0	0	0	2	7	9
10	Dryophthoridae	0	4	0	0	0	1	5
11	Elateridae	0	0	0	0	0	2	2
12	Formicidae	650	110	326	237	636	130	2089
13	Grillidae	105	62	63	90	98	94	512
14	Liphistidae	0	0	1	0	0	0	1
15	Lycosidae		6	0	6	9		21
16	Oxyopidae	0	0	1	0	0	1	2
17	Rutelinae	0	2	0	0	0	0	2
18	Salticidae	0	0	4	0	0	3	7
19	Scarabaeidae	14	0	6	8	4	0	32
20	Sicariidae	0	2	0	2	1	1	6
21	Tenebrionidae	0	0	0	0	0	2	2
22	Theraphosidae	4	2	3	3	4	1	17
23	Theridiidae	0	3	0	0	0	0	3
24	Vespidae	0	1	2	9	6	0	18
TOTAL		863	214	596	431	820	323	3147

Cuadro 13. Familias y número de individuos de edafofauna registrados en el tratamiento T2/100 m². Sucumbíos, 2011-2012.

Tratamiento 2								
N°	Familia	Muestreos (días)						Total
		0	15	30	45	60	75	
1	Acrididae	0	0	1	0	0	0	1
2	Apidae	0	0	0	0	0	0	0
3	Blatidae	50	41	10	47	43	33	224
4	Carabidae	34	1	2	0	4	1	42
5	Culicidae	51	0	0	0	0	0	51
6	Curculionidae	0	0	3	0	0	1	4
7	Drosophylidae	20	2	0	0	0	1	23
8	Elatricidae	6	0	0	0	0	0	6
9	Formicidae	860	673	128	331	857	137	2986
10	Grillidae	120	91	73	119	80	54	537
11	Lycosidae	8	6	2	6	5	1	28
12	Oxyopidae	0	1	0	0	0	0	1
13	Salticidae	0	1	0	0	0	1	2
14	Scarabaeidae	0	10	3	127	0	0	140
15	Tenebrionidae	0	2	0	0	0	0	2
16	Theraphosidae	0	1	0	0	1	0	2
17	Theridiidae	19	10	1	2	0	2	34
18	Vespidae	0	0	4	0	1	1	6
TOTAL		1168	839	227	632	991	232	4089

A su vez, en el Gráfico 5 se observa que la población de individuos de la familia Blatidae (cucarachas), se incrementa en el tratamiento T1, mientras que en el T2 se mantiene casi estable. El incremento de la población en T1, posiblemente se deba al follaje caído de los árboles afectados. Este resultado muestra que el glifosato no afectó negativamente la población, más bien la incrementa en forma indirecta.

Por su parte, en el Gráfico 6 se observa que la población de individuos de la familia Grillidae (grillos), se incrementa en forma paralela a partir de la segunda lectura en los dos tratamientos, por lo que se puede decir que el glifosato no afectó negativamente a la población de grillos.

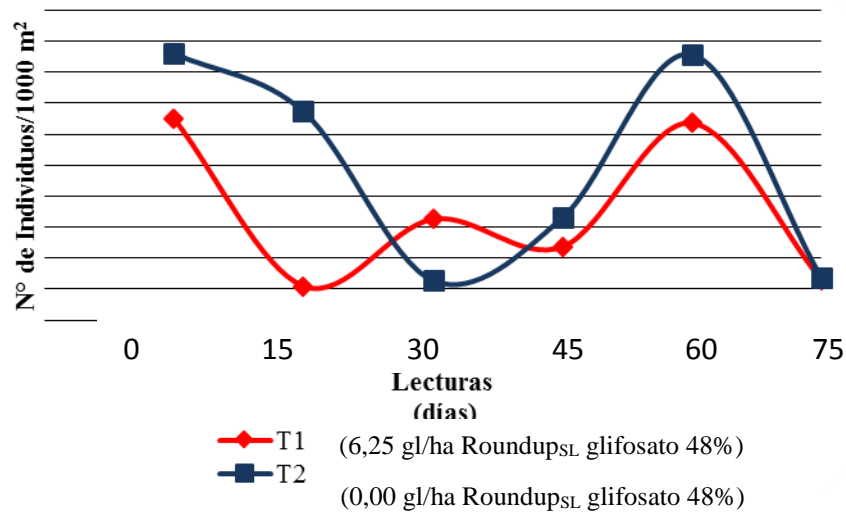


Gráfico 4. Comportamiento de la población de la familia Formicidae (hormigas), en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

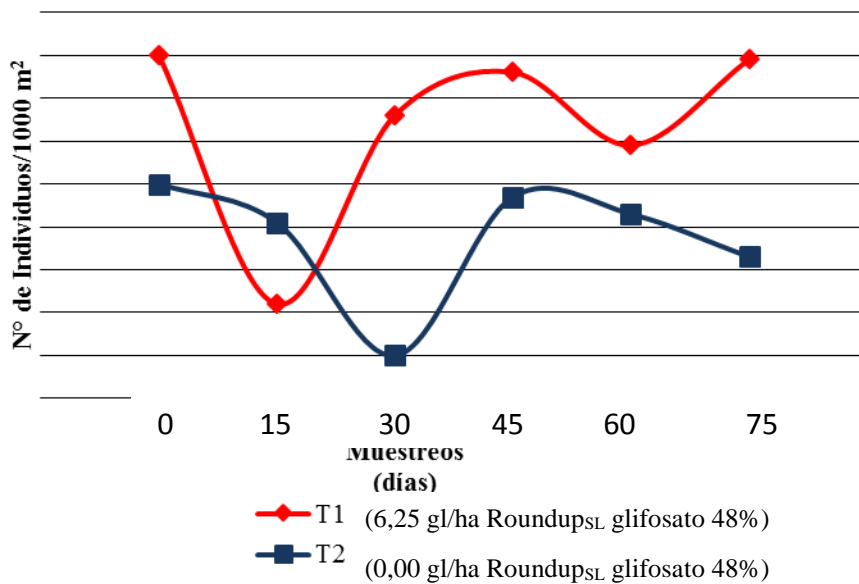


Gráfico 5. Comportamiento de la población de la familia Blatidae (cucarachas), en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

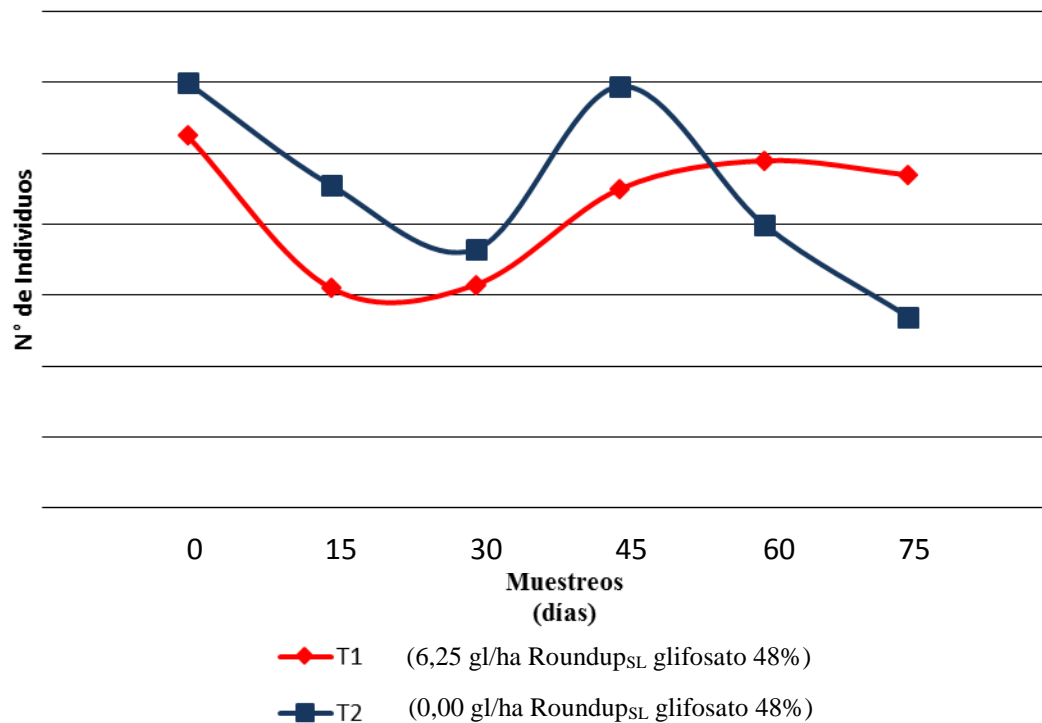


Gráfico 6. Comportamiento de la población de la familia Grillidae (grillos), en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Respecto a las pequeñas fluctuaciones de población observadas entre muestreos, podría aducirse a factores climáticos registrados en los meses de abril, mayo y junio (Gráfico 7); sin embargo, la temperatura y humedad del suelo en estos meses fueron similares, mientras que la precipitación fluctuó de 690 mm en abril a 310 mm en mayo y junio, respectivamente.

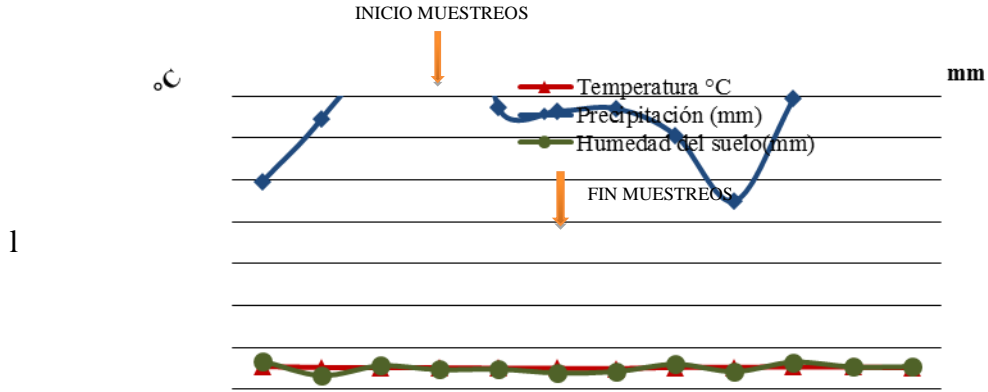


Gráfico 7. Precipitación, temperatura y humedad del suelo, reportados por la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Lago Agrio, Dirección de Aviación Civil en el año 2011.

4.7. Poblaciones de microorganismos del suelo

Bacterias totales

En el Gráfico 8, se observa que la población de bacterias en los tratamientos T1 y T2, presenta un comportamiento similar. A los 45 días de la aplicación, la población es similar a la inicial y luego desciende en forma paralela a los 90 y 135 días en los dos tratamientos. Este resultado sugiere que el glifosato no afectó su población.

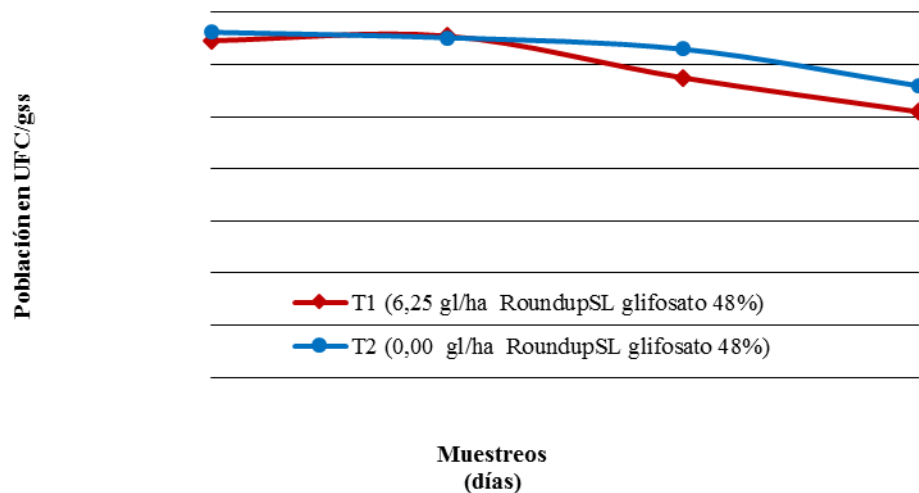


Grafico 8. Comportamiento de la población de bacterias totales en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Estos resultados concuerdan con aquellos reportados por la Universidad Nacional del Litoral (2010) que indica que el herbicida Roundup_{SL} (glifosato), no afecta la actividad microbiana (hongos y bacterias asociadas). También coinciden con Ractiliff *et al*, (2006), citada por Bozzo (2010), quienes señalan que aplicaciones a dosis de campo o dosis mayores de glifosato, no afectan o presentan un pequeño efecto en las comunidades de bacterias oportunistas, mismas que utilizan los compuestos como fuente de nutrientes y o de carbono, pero discrepan con las investigaciones de Reddy *et al.*, 2000; Kinget *al.*, 2001 y Reddy & Zablotowicz, 2003, que afirman que el glifosato ejerce una acción negativa sobre las bacterias.

Actinomicetos

En el Gráfico 9, la población de actinomicetos presenta niveles similares en los dos tratamientos y tendencia a disminuir a partir de los 45 días de la aplicación, hasta los 135 días. Este resultado sugiere que el glifosato no ejerció ningún efecto.

Los resultados obtenidos discrepan con aquellos reportados por Covetto (1988), citado por Eslava, *et al*, (2007), quien señala que el glifosato actúa como un fuerte promotor del crecimiento de actinomicetos fomentando la microbiota.

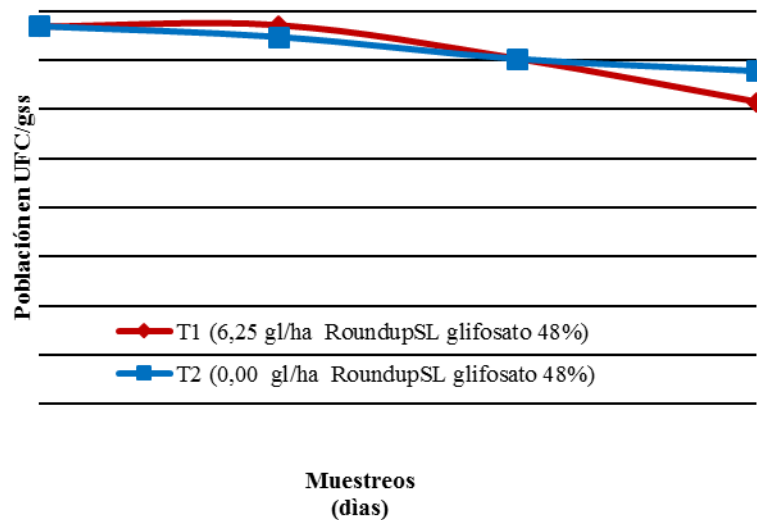


Grafico 9. Comportamiento de la población de actinomicetos determinada en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Hongos totales

Según el Gráfico 10, la población de hongos totales en el tratamiento T1, es similar a la población del tratamiento T2 (testigo), desde antes de aplicar el herbicida Roundup_{SL}, hasta los 135 días después de la aplicación, con una tendencia a disminuir ligeramente a partir de los 45 días. El comportamiento similar de la población en los dos tratamientos, sugiere que el glifosato no afectó la población.

Los resultados obtenidos discrepan con aquellos reportados por Krzysko-Lupicka *et al.*, (2008), quienes señalan que suelos tratados con glifosato presentaron alteraciones

en la composición de hongos autóctonos, siendo menos afectados las especies de *Fusarium* y también con los reportes de Krzysko-Lupicka&Sudol (2008) citado por Eslava, *et al*, (2007) que señalan que, a largo plazo, las interacciones entre el herbicida y los microorganismos, llevan a un cambio cualitativo en la población fúngica del suelo.

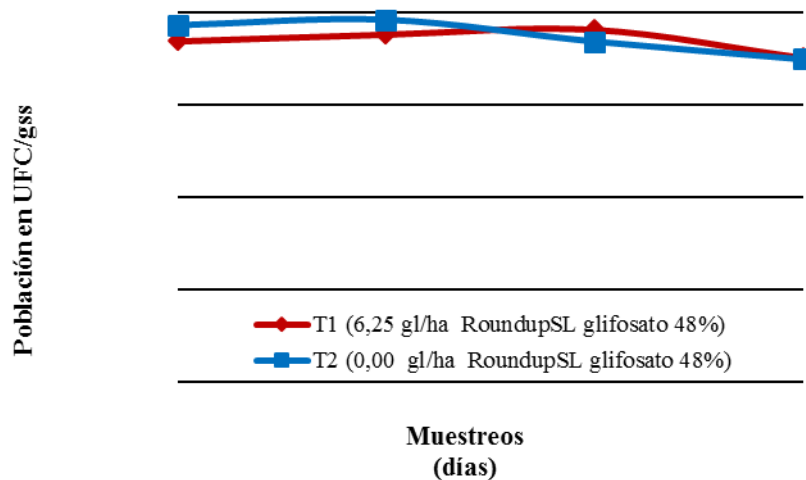


Grafico 10. Comportamiento de la población de hongos totales en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup_{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Fijadores de nitrógeno

En el Gráfico 11, se observa que la población inicial de fijadores de nitrógeno en el tratamiento T1, es menor a la del tratamiento T2 (testigo). A partir de los 45 días y hasta los 90 días, la población presentan una disminución significativa y paralela en los dos tratamientos, y luego un incremento similar en ambos, a los 135 días. El comportamiento similar de la población en los dos tratamientos, indica que el glifosato no efecto la población de fijadores de nitrógeno.

Estos resultados discrepan con estudios realizados por Zablotowicz y Reddy (2004), que indican que el glifosato interfiere los procesos de fijación de nitrógeno, tanto en bacterias que no se relacionan con otros microorganismos, como de bacterias simbiotes con plantas. Otros estudios apuntan que la nitrificación es inhibida o disminuida en algunas especies de *Rizobhium* (Santos *e. al.*, 2004; Haahtela, 2002; Bígwood, 2002 y Carlisle, 1986, citados por Barbosa (2003).

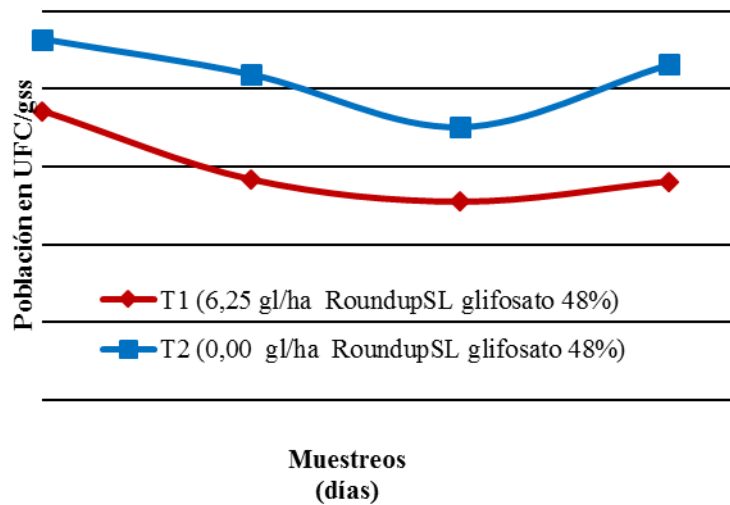


Grafico 11. Comportamiento de la población de fijadores de nitrógeno en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida RoundupSL. Sucumbíos, 2011-2012.

Celulolíticos totales

En el Gráfico 12 se observa que la población de celulolíticos presenta niveles de población con variaciones mínimas y una tendencia similar en los dos tratamientos, lo que sugiere que el glifosato no ejerció ningún efecto sobre estos microorganismos.

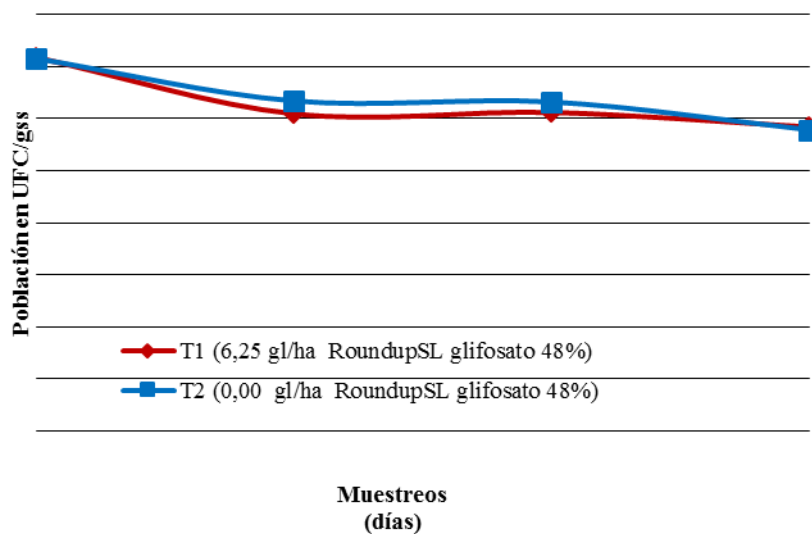


Grafico 12. Comportamiento de la población de celulolíticos totales en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup^{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Solubilizadores de fosforo

Los niveles similares de población de solubilizadores de fosforo, en los dos tratamientos, sugieren que el glifosato no ejerció ningún efecto sobre estos microorganismos (Gráfico 13).

Estos resultados coinciden con lo señalado por Bozzo (2010), que expone que las actividades enzimáticas analizadas, relacionadas a actividades hidrolíticas generales y al ciclo del fosforo (fosfatasa) no fueron afectadas por las aplicaciones repetidas del glifosato.

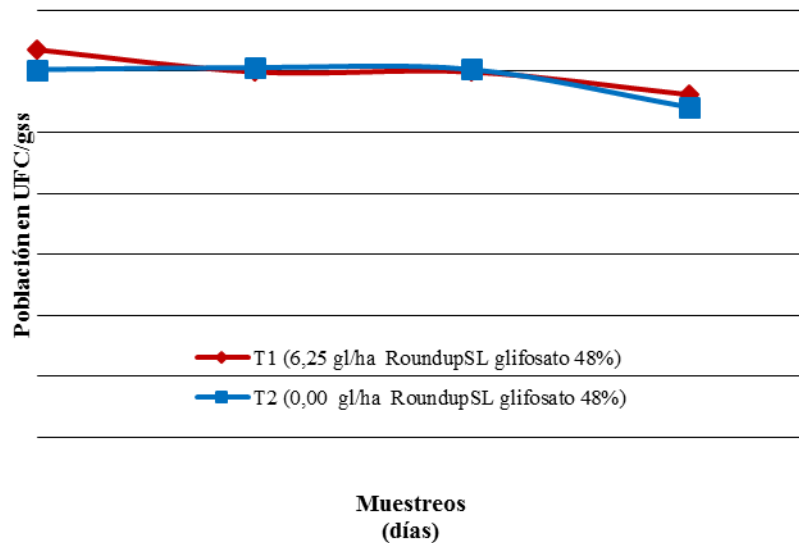


Gráfico 13. Comportamiento de la población de solubilizadores de fósforo en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup^{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Población de esporas de micorrizas

Los niveles similares de población de esporas de micorrizas y la tendencia similar a reducir e incrementar la población, en los dos tratamientos (Gráfico 14), indican que el glifosato no afectó a estos microorganismos, resultado que no concuerda con Wong (2000), citado por la CCE (2007), quien señala un efecto nocivo de glifosato en el sistema *Glomus intraradices* (hongo simbiótico).

De igual manera según Who (1994), citado por Barbosa (2003), señala que el glifosato interfiere con la relación micorrizal entre hongos, nutrientes y plantas mediante la inhibición de hongos benéficos que ayudan a las plantas a absorber nutrientes y agua.

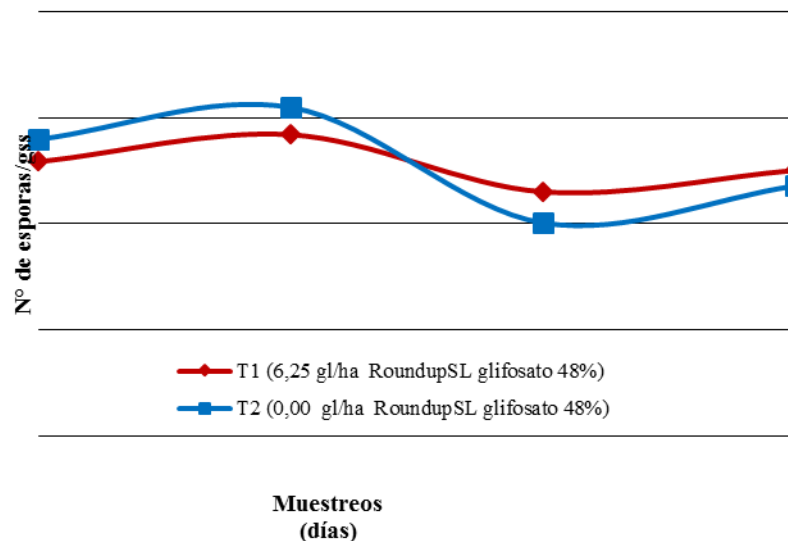


Grafico 14. Comportamiento de la población de esporas de micorrizas en los dos tratamientos, antes y después de aplicar el herbicida Roundup^{SL}. Sucumbíos, 2011-2012.

Si bien, parte de la literatura disponible señala que el glifosato afecta la actividad de los microorganismos del suelo y otra asevera lo contrario, en este estudio donde no se determinó efecto del glifosato sobre las poblaciones de los microorganismos del suelo, se aduce a la cantidad de 0,85 mg/kg de glifosato detectada en el suelo, 45 días después de la aspersión aérea, que se considera pequeña y con una persistencia no mayor a 45 días.

Respecto a la fluctuación de la población de estos microorganismos, entre muestreos, probablemente se deba a factores ambientales como temperatura, humedad del suelo y precipitación, que según Busse, *et al*, (2001) y Domsch, *et al*, (1983), citados por Bozzo (2010), influyen en el crecimiento de los microorganismos del suelo. También influye el tipo de suelo y las condiciones climáticas donde este tipo de estudios son realizados.

4.8. Efecto del glifosato sobre las propiedades químicas y físicas del suelo

En el Cuadro 14, los valores de algunos parámetros físicos y químicos del suelo de los dos tratamientos, antes y a los 30 y 45 días de la aspersión, muestran ligeras variaciones, excepto en materia orgánica que se incrementó en el Tratamiento T1, posiblemente debido a la intensa defoliación de los árboles afectados. De manera general, los resultados sugieren que estos parámetros no fueron alterados por el glifosato, conclusión que es soportada por la cantidad de 0,85 mg/kg de glifosato detectada en el suelo.

Cuadro 14. Características físicas y químicas del suelo en los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.

Análisis	Unidad	Frecuencia de muestreo					
		(días)					
		0		30		45	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Textura		Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa
pH		4,5	4,6	4,5	4,3	4,2	3,9
M.O.	%	5,5	5,5	8,8	5,4	8,7	5,0
Al+H	meq/100 ml	2,4	2,4	3,2	5,2	2,4	4,6
NH ₄	ppm	77	57	45	46	58	60
Fósforo	ppm	5,5	6,5	3,5	4,7	2,0	2,9
Azufre	ppm	6,0	6,3	8,9	3,5	5,5	1,3
Potasio	meq/100 ml	0,1	0,1	0,14	0,05	0,14	0,14
Calcio	meq/100 ml	0,99	1,3	2,1	0,83	1,2	1,0
Magnesio	meq/100 ml	0,47	0,59	0,47	0,59	0,53	0,54
Zinc	ppm	4,2	1,8	5,0	5,8	2,2	2,8
Cobre	ppm	4,8	3,2	6,4	8,1	6,3	6,7
Hierro	ppm	441	367	537	691	430	495
Manganeso	ppm	16,7	15,5	50,8	28,8	41,2	28,3
Boro	ppm	0,2	0,32	0,5	0,4	0,6	0,6
Suma de bases	meq/100 mg de suelo	--	--	3,9	1,9	1,9	2
Saturación de bases	%	--	--	36,4	19,4	19,8	21,2
CIC	Meq/100 g de suelo	--	--	10,7	9,6	9,6	9,4

4.9. Efecto del glifosato sobre las propiedades mineralógicas del suelo

En el Cuadro 15, donde consta el listado de los minerales del suelo de los 2 tratamientos, se observa que la mayoría pertenecen al grupo de los silicatos, de los cuales la caolinita del grupo de las arcillas, es el mineral que se encuentra en mayor porcentaje con valores similares en los dos tratamientos, aspecto que contribuye a la adsorción del glifosato, como señalan Miles & Moye, (1988) citados por Bustos (2012), quienes determinan una adsorción muy fuerte y específica del glifosato por la caolinita, seguida por illita, montmorillonita y bentonita.

La consecuencia de esta adsorción es que el glifosato es inactivado en suelos que contienen arcilla (Petit *et al.*, 1995), citado por Bustos (2012)

Cuadro 15. Composición mineralógica del suelo en las unidades experimentales de los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.

MINERALES	Antes de la aplicación				Después de la aplicación			
	T1		T2		T1		T2	
	Estratos (cm)							
	(0-20)		(20-50)		(0-20)		(20-50)	
	(0-20)	(20-50)	(0-20)	(20-50)	(0-20)	(20-50)	(0-20)	(20-50)
Cuarzo	10	7	12	8	11	12	10	15
Gibsita	15	15	10	13	21	17	17	18
Gismondina	6	5	7	3	0	0	0	0
Clinocloro	1	1	3	2	0	0	0	0
Cristobalita	3	3	3	4	2	3	4	3
Cordierita	1	2	0	2	0	0	0	0
Caolinita	52	54	51	50	53	54	57	53
Grupo plagioclasa	5	6	6	10	5	6	3	4
Muscobita	0	0	2	0	2	2	2	1
Cloritoide	2	2	0	3	0	0	0	0
Goetita	5	5	6	5	0	0	0	0
Nacrita	0	0	0	0	6	4	4	6
Gypsum	0	0	0	0	0	2	3	0

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- a.** El impacto directo de una aspersión aérea con 6,25 gal de Roundup_{SL}/ha, matará al menos 15 especies de flora del bosque, con pérdidas en madera de 6 170 USD/ha, las cuales se incrementan por la caída de los árboles muertos al arrastrar consigo a los árboles vecinos. La recuperación del bosque tardaría de 30 a 50 años.
- b.** El glifosato depositado en el suelo no afectó la población de las familias Formicidae, Blatidae y Grillidae, de edafofauna, probablemente debido a que la cantidad de 0,85 mg/kg de glifosato, detectada en el suelo a los 45 días de la aplicación, fue pequeña y su acción relativamente corta, como para causar cambios en la población.
- c.** El glifosato no efecto negativamente la población de bacterias totales, hongos totales, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, microorganismos celulolíticos totales, fijadores de nitrógeno y micorrizas, probablemente debido a que la cantidad de glifosato detectada en el suelo (0,85 mg/kg) a los 45 días de la aspersión, es pequeña.
- d.** Las propiedades químicas, físicas y mineralógicas del suelo, no fueron afectadas por el glifosato, debido a que la cantidad y persistencia de glifosato determinadas en el suelo, se consideran pequeñas.

- e. La cantidad de 0,85 mg/kg de glifosato, detectada en el suelo a los 45 días y ninguna a los 90 días de la aspersión aérea, permiten concluir que la cantidad del herbicida depositada en el suelo, fue pequeña, de persistencia relativamente corta y no nociva, al no detectar cambios en las poblaciones de edafofauna y de microorganismos del suelo.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- a.** Para proteger la flora del bosque, de un probable impacto directo o de la deriva de las aspersiones aéreas, se recomienda mantener la franja de seguridad de 10 km hacia adentro del territorio colombiano, acordada en el Seminario “Erradicación de Cultivos Ilícitos” Bogotá – Colombia (13-15/02/2002).
- b.** Reforestar las zonas afectadas con especies nativas maderables.
- c.** Realizar estudios sobre el efecto de un impacto directo o de la deriva de las aspersiones aéreas del herbicida Roundup_{SL}, en cultivos lícitos y en peces.
- d.** Realizar un estudio específico sobre el efecto del glifosato en la población de edafofauna y de microorganismos del suelo, mediante aplicación directa del herbicida Roundup_{SL} al suelo.

CAPÍTULO VII

7. RESUMEN

IMPACTO DEL GLIFOSATO SOBRE FLORA, FAUNA, PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS, MINERALÓGICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SU RESIDUALIDAD EN BOSQUE SECUNDARIO EN SUCUMBÍOS.

Con el propósito de obtener datos experimentales del impacto del glifosato sobre la flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo y su residualidad en un bosque secundario, se realizó este estudio con los siguientes objetivos: (1) Evaluar el efecto de la aspersión aérea de Roundup_{SL} (glifosato 48%) en la flora, (2) Evaluar el efecto de la aspersión aérea de Roundup_{SL} en la edafofauna, (3) Determinar el efecto del glifosato sobre las propiedades químicas, físicas y mineralógicas del suelo, (4) Determinar el efecto del glifosato sobre parámetros biológicos del suelo y (5) Determinar la residualidad del glifosato en el suelo. Para este fin, en la hacienda La Erita (Cascales-Sucumbíos) se evaluaron dos tratamientos: T1=6,25 y T2=0,00 gal de Roundup_{SL} (glifosato 48%) + Cosmo-Flux/ha. Para facilitar la aspersión con helicóptero, en dos hectáreas de bosque, separadas por 30 m, se delimitaron 8 unidades experimentales de 2500 m² (50,0 m x 50,0 m), ubicando en cada una un tratamiento y sus cuatro repeticiones. A su vez, dentro de la parcela neta (250 m²), se delimitaron parcelas rectangulares anidadas de 250, 125 y 62,5 m² para evaluar flora del dosel, subdosel y sotobosque, en su orden. Las variables consideradas fueron: diversidad y abundancia de especies de flora antes de aplicar el herbicida e índices de diversidad de Simpson y Shannon-Wiener y el coeficiente de similitud de Sorensen; defoliación de las especies afectadas estimando la cobertura vegetal del follaje de los árboles, antes, cada mes durante ocho meses y a los 14 meses de la aspersión. Diversidad y abundancia de especies de las familias Blattellidae, Formicidae y Grillidae de edafofauna. Poblaciones de bacterias totales, hongos totales, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, celulolíticos totales y fijadores de nitrógeno, expresadas en UFC/gss y de micorrizas en esporas/gss, determinadas en muestras de suelo, antes, a los 45, 90 y 135 días de la aplicación. Propiedades físicas,

químicas y mineralógicas del suelo determinadas de muestras de suelo de los sustratos 0 a 20 y 20 a 50 cm de profundidad, antes, a los 15 y 45 días de la aspersión. Presencia de glifosato y AMPA en el suelo, antes, a los 45, 90 y 135 días de la aplicación y en la corteza de árboles afectados, a los 80 días de la aspersión, expresado en mg/kg.

Los valores de riqueza (31 y 33 especies) y de abundancia (62 y 69 individuos) de flora, de los tratamientos T1 y T2, respectivamente, y el Índice de similitud de Sorensen de 0,43, indican que en las dos hectáreas el bosque presentó uniformidad y similitud en su composición florística, aseveración respaldada por la prueba de “t” que no detectó diferencias entre medias de las variables riqueza y abundancia ($p < 0,05$). Estos valores muestran que el bosque fue similar en las unidades experimentales y cumplieron con la condición de homogeneidad. Los valores de índices de diversidad de especies de 3,3228 y 3,3206 (Shannon) y de 22,42 y 23,47 (Simpson), respectivamente, indican que el bosque secundario presentó diversidad alta.

En los sustratos dosel, subdosel y sotobosque de T1, se registraron 41 especies, de las cuales 15 fueron muy afectadas (50 a 100% de defoliación), 16 fueron poco afectadas (10 a 30% de defoliación) y 10 no fueron afectadas. Las especies afectadas arenillo, guabo blanco, arabisco, guarumo, ovo, peine de mono, variable y tachuelo, murieron 10 meses después de la aspersión, con pérdida de 166 trozas aprovechables y un valor de 6170\$/ha. Esta pérdida es incrementada por la caída de los árboles muertos al arrastrar consigo a los árboles vecinos.

Glifosato fue detectado únicamente en tejido de arabisco, 1,1 mg/kg, ligeramente mayor al límite de detección de 1,0 mg/kg. En el suelo se detectó 0,85 mg/kg, a los 45 días de la aplicación. La población de las familias Formicidae, Blatidae y Grillidae, de edafofauna, mostraron un comportamiento similar en los dos tratamientos; de igual forma las poblaciones de bacterias totales, hongos totales, actinomicetos, solubilizadores de fósforo, microorganismos celulolíticos totales, fijadores de nitrógeno y micorrizas. Los parámetros físicos y químicos del suelo, mostraron ligeras variaciones entre tratamientos, excepto en el contenido de materia orgánica que fue incrementado por la defoliación de los árboles en T1.

Se concluye que el impacto directo de una aspersión aérea con 6,25 gal de Roundup_{SL}/ha, matará al menos 15 especies de flora del bosque, con pérdidas en madera de 6170 USD/ha y que no afectará la población de las familias Formicidae, Blatidae y Grillidae, de edafofauna, de microorganismos del suelo y las propiedades químicas, físicas y mineralógicas del mismo, debido a que la cantidad de glifosato depositada en el suelo será pequeña y de persistencia relativamente corta.

Se recomienda mantener la franja de seguridad de 10 km hacia adentro del territorio colombiano y realizar estudios puntuales del efecto en cultivos lícitos, en peces y en microorganismos del suelo, mediante aplicación directa de Roundup^{SL}.

CAPÍTULO VIII

8. SUMMARY

THE GLYPHOSATE IMPACT ON FLORA, FAUNA, CHEMICAL, PHYSICAL, MINERALOGICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL, AND ITS RESIDUES IN SECONDARY FOREST IN SUCUMBÍOS.

In order to obtain experimental information about the impact of glyphosate on flora, on fauna and on the chemical, physical, mineralogical and biological soil properties and its residues in a secondary forest, this study was conducted with the following objectives: (1) to assess the effect of aerial spraying of Roundup_{SL} (glyphosate 48%) in flora, (2) to assess the effect of aerial spraying of Roundup_{SL} on soil fauna, (3) to determine the chemical, physical and mineralogical effect of glyphosate on soil, (4) to determine the effect of glyphosate on soil biological parameters, and (5) to determine the residual glyphosate in soil. To this purpose, two treatments were assessed in “La Edita” ranch (Cascales-Sucumbíos): T1 = 6.25 and T2 = 0.00 gal Roundup_{SL} (glyphosate 48%) + Cosmo-Flux/ha. To facilitate helicopter spraying, two hectares of forest, separated by 30 m, eight experimental units of 2500 m² (50.0 m x 50.0 m), were traced placing treatment and four repetitions in each. At the same time, inside the net plot (250 m²), nested rectangular plots of 250, 125 and 62.5 m² were delimited to assess plant canopy, subcanopy and half stratum of the forest, in that order. The considered variables were: diversity and abundance of flora before applying the herbicide, and diversity indexes of Simpson and Shannon-Wiener and similarity coefficient of Sorensen; defoliation of affected species, estimating vegetation cover of foliage before each month for eight months and 14 months after spraying; diversity and abundance for some species of families such as Blattellidae, Formicidae and Gryllidae of soil fauna; total bacteria populations, total fungi, actinomycetes, phosphorus solubilizers, total cellulolytic nitrogen fixers, expressed in CFU / gss and of mycorrhizal spores / gss, determined in soil samples before and at 45, 90 and 135 days after application; physical, chemical and mineralogical soil properties determined from soil samples of the substrates 0-20 and 20-50 cm depth, before, at 15 and at 45 days after spraying; presence of glyphosate and AMPA in soil

before, at 45, at 90 and at 135 days after application, and in the bark of affected trees, at 80 days after spraying, expressed in mg / kg.

Values of richness (31 and 33 species) and abundance (62 and 69 individuals) of flora, T1 and T2, respectively, and the Sorensen similarity index of 0.43, indicate that the two hectares the forest showed uniformity and similarity in species composition, assertion supported by the "t" test which did not detect differences between means of the variables richness and abundance ($p < 0.05$). These values show that the forest was similar in the experimental units, and met the homogeneity condition. The values of species rate of 3.3228 and 3.3206 (Shannon) and 22.42 and 23.47 (Simpson), respectively, indicate that the secondary forest showed high diversity.

In the substrates canopy, subcanopy and understory of T1, 41 species were recorded, of which 15 were severely affected (50-100% defoliation), 16 were little affected (10-30% defoliation) and 10 were not affected. The affected species *Erismia uncinatum*, *Inga icraneada*, *Jacaranda copaia*, *Cecropia* cf. *latiloba*, *Spondias mombin*, *Apeiba aspera*, variable (unknown specie) and *Zonthoxylum tachuelo*, died 10 months after spraying, with loss of 166 usable logs and a worthiness of \$ 6,170 / ha. This loss is increased due to, when dead trees fall, they drag neighboring trees whit them.

Glyphosate was detected only in *Jacaranda copaia* tissue, 1,1 mg / kg, slightly more than the detection limit of 1,0 mg / kg. On soil, 0,85 mg / kg, were detected 45 days after application. The population of Formicidae, Grillidae and Blatidae families of soil fauna, showed a similar behavior in the two treatments, and in the same manner the populations of total bacteria, total fungi, actinomycetes, phosphorus solubilizers, total cellulolytic microorganisms, nitrogen fixers and mycorrhiza. The physical and chemical parameters of soil showed slight variations between treatments, except in the organic matter content, which was increased by the defoliation of trees in T1.

The conclusion is that the direct impact of an aerial spraying with 6,25 gal of RoundupSL / ha, will kill at least 15 species of forest flora, with losses in timber worth USD 6170/ha and will not affect the population of the families Formicidae, Blatidae and Grillidae of soil fauna, of soil microorganisms, and chemical, physical and mineralogical properties of soil, since the amount of glyphosate deposited in the soil will be small and of relatively short persistence.

It is recommended to maintain the security strip of 10 km inward Colombian territory, and to conduct specific studies of the effect on legal crops, on fish and on microorganisms in soil, by direct application of Roundup^{SL}.

CAPÍTULO IX

9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. ACCIÓN ECOLÓGICA. 2003. Reporte de la investigación (Junio 2001). Impacto de las fumigaciones del plan Colombia en la frontera ecuatoriana. La guerra oculta contra las comunidades. Editorial acción ecológica. Quito.
2. 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.
3. AMICUS CURIAE. 2009. Impactos en Ecuador de las fumigaciones a cultivos ilícitos en Colombia. 64 p
4. ARAÚJO, A.; MONTEIRO, R.; ABARKELI, R. 2003. Effect of glyphosate on microbial activity of two Brazilian soils. Chemosphere, Oxford. 52: 799-804.
5. BELL, F. W., R. A. LAUTENSCHLAGER, R. G. WAGNER, D. G. PITT, J. W. HAWKINS, AND K. R. RIDE. 1997. Motor-manual, mechanical, and herbicide release affect early successional vegetation in northwestern Ontario. Forestry chronicle 73.

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. BRAVO, E. 2007. Impactos del glifosato en el medio ambiente (Recopilación). Red por una América Latina Libre de Transgénicos, Boletín 241.
9. BRAUSCH, J. BRALI, P. 2007. Acute and sub-lethal toxicity of three POEA surfactant formulations to *Daphnia* Bulletin Environmental Contamination and toxicology 78: 510-514.
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. BUSTOS M. 2012. Destino ambiental del glifosato en una zona arrocería de Tolima Colombia. Universidad Nacional de Colombia, facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados. Bogotá D.C. Colombia 2012
12. CAÑADAS, L. 1983. El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador.

13. 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.
14. CERÓN, C., 2003; Manual de Botánica Sistemática, Etnobotánica y Métodos Estudio en el Ecuador. Herbario Alfredo Paredes. QAP. Escuela de Biología d la Universidad Central del Ecuador, Quito. pp. 76.
15. CARLISLE, S.; TREVORS, J. 1986. Effect of the herbicide glyphosate on respiration and hidrogen consumption in soil. Water, Air, and Soil Pollution 27: 391-401.
16. CONDE, A. “Efecto del glifosato sobre comunidades microbianas beneficios y patológicas del suelo en Uruguay” Tesis de maestría en biología, Pedeciba Montevideo octubre 2011.
17. COSMOAGRO. 2004. Coca and poppy eradication in Colombia: environmental and human health assessment of aerielly applied glyphosate. 190:43–125.
18. 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.
19. DOCUMENTO PLAN DE MANEJO AMBIENTAL ERRADICACIÓN DE CULTIVOS ILÍCITOS. 2000. 4p. consultado el 5 de mayo del 2011.
Disponible en:
http://dne.gov.co/recursos_user/documentos/Doc_tecnicos/glifosato.pdf

20. ESLAVA, P.; RAMÍREZ, W.; RONDÓN, I. 2007. Sobre los efectos del glifosato y sus mezclas: Impacto en peces nativos. Instituto de Acuicultura de los Llanos –IALL Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana – IIOC- Universidad de los Llanos. Colombia. 153p.
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. EPA (Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos). 1999 Informe actualizado del Departamento de Estado sobre químicos utilizados en el programa de erradicación aérea en Colombia. Anexo de una carta del Secretario de Estado, Colin Powell, a la Administradora de la Agencia de Protección Ambiental, Gobernadora Christine Whitman, 9 de abril de 2003.
23. 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.
24. GENTRY A. & C. H. DODSON. 1987. Diversity and biogeography of Neotropical vascular epiphytes. *Annals Missouri Botanical garden*. 74: 205-233 - 74
25. HANEY, SENSEMAN, HONS Y ZUBERER, 1999). Effect of glyphosate on soil microbial activity. *Proc-S-Weed-Sci-Soc*. 52: 215.
26. HASSAN, S.A ET AL. 1988 Results of the fourth joint pesticide testing program carried out by the icbc-wprs-working group "pesticides and beneficial organisms." *j appl. ent*

27. HELLING CS. 2003. Eradication of coca in Colombia -2002. Results of the Colombia coca verification mission #9. Beltsville, MD, USA: US Department of Agriculture. 289 p.
28. HOLDRIDGE, LR. 1967. Ecología de zonas de vida. San José, Costa Rica. Tropical Science Center. 206 p.
29. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, EC). 2007. Manejo integrado de malezas en cultivo de arroz. En: Manual de arroz. INIAP. 2007.
30. KACZEWER, J. 2002. Toxicología del Glifosato: Riesgos para la Salud Humana. Consultado en enero del 2012. Disponible en: http://www.ecoportal.net/contenido/temas_especiales/salud/.
31. LAMPRECHT, H., 1991. Selvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para su aprovechamiento sostenido. Cooperación Técnica. Republica Federal Alemana Eschbon. Pp 149 – 151.
32. KRZYSKO-LUPICKA, H. 1997. The use of glyphosate as the sole source of phosphorus or carbon for the selection of soil-borne fungal strains capable to degrade this herbicide. Chemosphere 34: 2601- 2605.
33. MAGURRAN, AE. 2004. Measuring biological diversity. Oxford, UK. Blackwell Publishing Company. pp. 256.
34. MARKUS DORFLE (2002). Árboles de bosque secundario en la comunidad de Challua Yacu en la viaHollin-Loreto. Proyecto Gran Sumaco 32002.

35. 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>.
36. MESSINA, J. and DELAMATER, P. 2006. Department of Geography, Center for Global Change and Earth Observations, Michigan State University, 1405 S. Harrison Rd, 101 Manly Miles Bldg, East Lansing, MI 48823, USA
37. MONSANTO COMPANY. 2005. Summary of the Health Risk Assessment and Safety. Evaluation on Glyphosate and Roundup Herbicides
38. MOREIRA, F...; SIQUIERA, J. 2002. Xenobióticos no solo. In: MOREIRA, F. M.S.; SIQUIERA, J. O. Microbiología e bioquímica do Solo. Lavras: UFLA. pp. 243-284.
39. MURAKAMI S. (2008) Contribución de los pagos por servicios ambientales (psa) en la restauración de bosques secundarios en Hojancha, Costa Rica Programa de Educación para el desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
40. NAVIA E. 2003 Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato. Pág. 9.
41. NAVIA, E. 2001. Las fumigaciones aéreas sobre cultivos ilícitos si son peligrosas – Algunas aproximaciones. Rapalmira- Colombia. 21p.

42. NEILL, D; PALACIOS, W. 1989 árboles de la Amazonía Ecuatoriana. Lista preliminar de especies. Quito, Ecuador. Ministerio de Agricultura del Ecuador.
43. PALACIOS, W.; JARAMILLO, N. 1997 Riqueza florística y forestal de los bosques tropicales húmedos del Ecuador e implicaciones para su manejo *Fundación Jatun Sacha, Quito Ecuador P.5*
44. PETROPRODUCCION. 2009 Evaluación de Impactos Ambientales y Plan de Manejo ambiental para perforación de 5 pozos direccionales desde la plataforma del pozo Shushufindi 35. Pp. 3.8-19.
45. RACKE, K.D.; SKIDMORE, M.W.; HAMILTON, D.J.; UNSWORTH, J.B.; MIYAMOTO, J. y COHEN, S.Z. 1997. Pesticide fate in tropical soils. Pure and Applied Chemistry.
46. RAMOS R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. pp. 23.
47. RUEPPEL, M.; BRIGHTWELL, B.; SCHAEFER, J; MARVEL, J. 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. *Journal Agriculture and Food Chemistry* 25:517-528
48. ROSLYCKY, E., 1982. Glyphosate and the response of the soli microbiota. *Soil Biology and Biochemistry* 14, 87-92.
49. SOLOMON, K., ANADON, A., MARSHALL, J. y SANIN, L. 2005. Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de los Cultivos Ilícitos mediante la aspersion 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.

50. SPRANKLE, W., MEGGIT; D. PENNER. 1975. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Science*. 23:235.
51. SPANN, K; HARGREAVES, P. 1994. The determination of glyphosate in soils with moderate to high clay content. *Pestic. Sci.* 40:41-48.
52. TEJADA, M. 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate + diflufenican herbicides. *Chemosphere* 76:365-373.
53. 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.
54. TROPICOS.ORG. MISSOURI BOTANICAL GARDEN. 2009 <<http://www.tropicos.org>>.
55. 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.
56. USDA, 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil. *Surveys US. Department agric. Handbook*, 436. Usda Washington DC..

57. WARDLE, D.; PARKINSON, D. 1990. Effects of three herbicides on soil microbial biomass and activity. *Plant and Soil* 122: 21-28.
58. WEBER, J.; BEST, J.; GONESE, J. 1993. Bioavailability and bioactivity of sorbed organic chemicals. In D.M LINN et al., eds. *Sorption and degradation of pesticides and organic chemicals in soil*. Madison, WI: American Society of Agronomy And Soil Science Society of America. pp.153-196.
59. WHO. SPRANKLE, W., MEGGIT; D. PENNER. 1998. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Science*. 23:235.
60. WHO 1994. Health Organization Geneva The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification
61. ZABLOTOWICZ, R.M. Y REDDY, K. N. 2004. Impact of Glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* Symbiosis with Glyphosate-Resistant Transgenic Soybean: A Mini review. *J. Environ. Qual.* 33:825–831

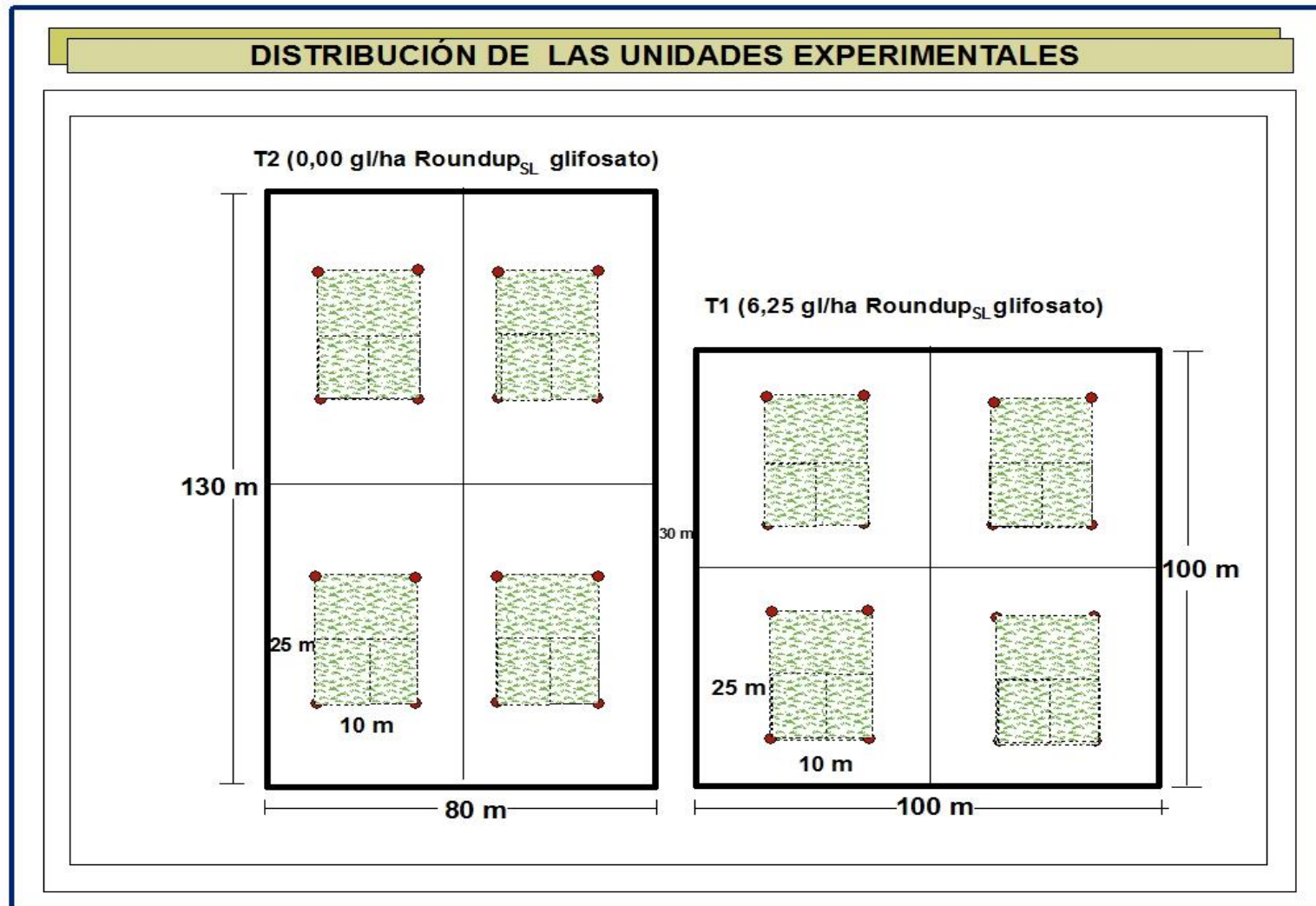
CAPÍTULO

10. ANEXOS

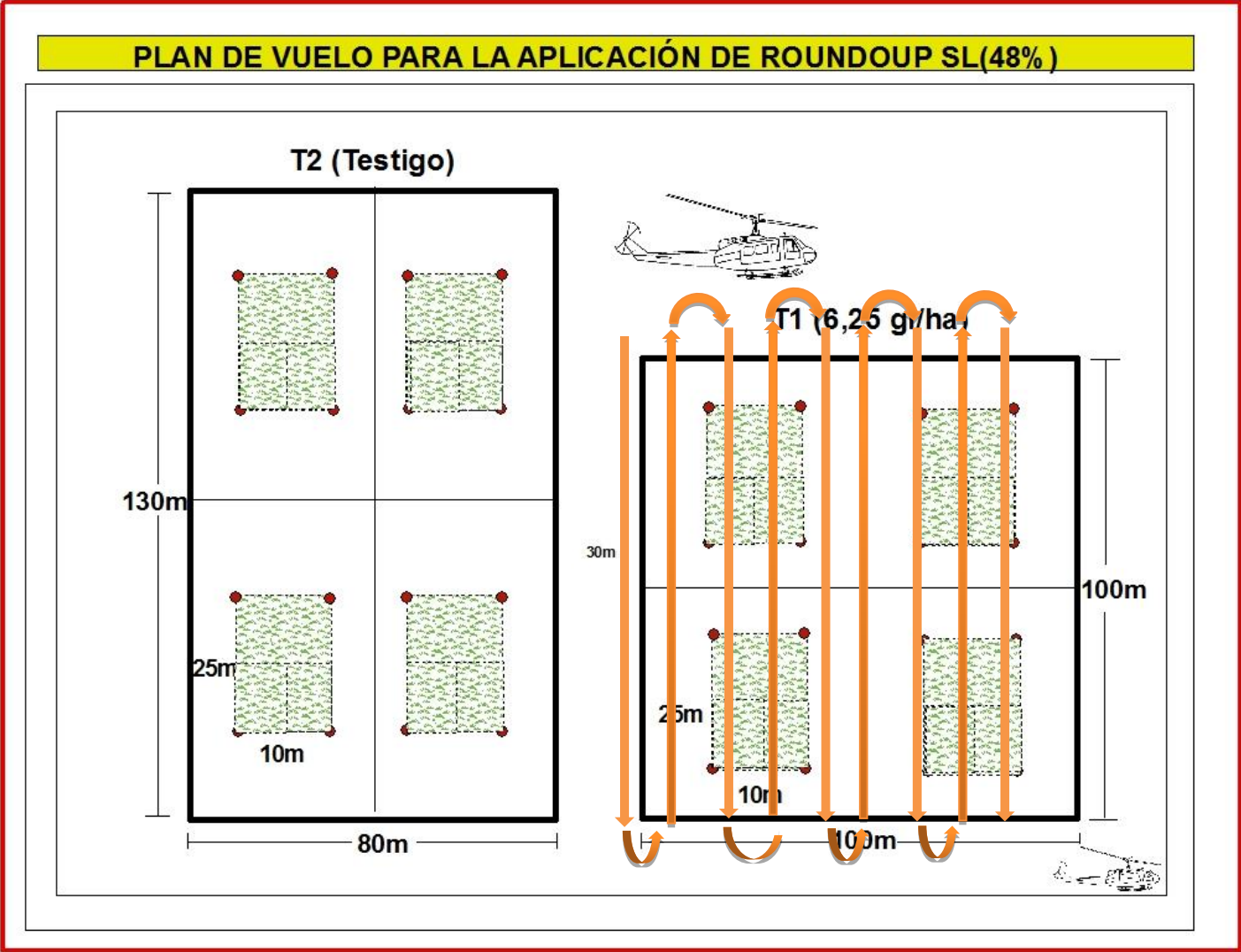
Anexo 1. Mapa de ubicación del ensayo experimental



Anexo 2. Croquis de campo mostrando la disposición de los tratamientos y repeticiones en el bosque



Anexo 3. Croquis del plan de vuelo en el tratamiento para la aplicación de Roundup SL Glifosato



(48%)

Anexo 4. Vista aérea del ensayo experimental, a) antes de la aspersión aérea del herbicida Raunup_{SL} y b) después de la aspersión. Sucumbíos, 2011-2012.



a)

b)



Anexo 5. Índice de similitud de Sorensen cuantitativo

N°	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	aN (T1)	bN (T2)	Pn
1	Arabisco	<i>Jacaranda copaia</i>	2	0	0
2	Arenillo	<i>Erismia uncinatum</i>	2	1	1
3	Caimito	<i>Pouteria caimito</i>	1	2	1
4	Canelo	<i>Endlicheria tschudyana</i>	4	3	3
5	Canelo alcanfor	<i>Ocotea caudata</i>	0	1	0
6	Canelo yema de huevo	<i>Aniba Panurenses</i>	0	1	0
7	Capirona	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	2	1	1
8	Caucho	<i>Hevea brasiliensis</i>	1	3	1
9	Chambira	<i>Astrocaryum chambira</i>	3	1	1
11	Chirimoya	<i>Anona sp.</i>	0	2	0
12	Chirimoya de montaña	<i>Anona sp.</i>	0	1	0
13	Chontacaspí	<i>Cassia cowanii</i>	0	4	0
14	Coco	<i>Otoba glycyarpa</i>	1	1	1
15	Colorado	<i>Guarea macrophylla</i>	0	1	0
16	Colorado fino	<i>Guarea kunthiana</i>	0	1	0
17	Colorado manzano	<i>Dacryodes sp</i>	0	2	0
18	Copal	<i>Dacryodes peruviana</i>	3	2	2
19	Cuero de sapo	<i>sin identificación</i>	0	1	0
20	Flor de mayo	<i>sin identificación</i>	1	0	0
21	Guabillo	<i>Inga punctata</i>	1	0	0
22	Guabo	<i>Inga acreana</i>	3	0	0
23	Guabo blanco	<i>Inga icraneada</i>	6	1	1
24	Guabo Rojo	<i>Inga cordatoalata</i>	1	3	1
25	Guarango	<i>Parkia sp.</i>	1	0	0
26	Guarumo	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	3	2	2
27	Guayacan	<i>Dacryodes peruviana</i>	1	0	0
28	Guion	<i>Pseudolmedia rigida</i>	2	7	2
29	Jigua	<i>Nectandra turbacensis</i>	4	4	4
30	Jigua blanco	<i>Nectandra turbacensis</i>	0	2	0
31	Jigua canelo	<i>Nectandra laurel</i>	0	3	0
32	Jigua negra	<i>Ocotea acyphylla</i>	1	0	0
33	Lentejo	<i>sin identificación</i>	0	2	0
34	Lotería	<i>Osteopholium platyphermun</i>	2	1	1
35	Manglillo	<i>Simira cordifolia</i>	1	1	1
36	Ovo	<i>Spondias mombin</i>	1	0	0
37	Palma real	<i>Attalea colenda</i>	2	0	0
38	Pambil	<i>Iriartea deltoidea</i>	2	3	2
39	Peine de mono	<i>Apeiba aspera</i>	2	0	0
40	Poroton	<i>Erythrina amazonica</i>	0	1	0
41	Roble	<i>Roupala pachypoda</i>	1	0	0
42	Sabroso	<i>Eschweilera juruensis</i>	0	1	0
43	Sande	<i>Brosimum utile</i>	2	0	0
44	Sangre de gallina	<i>Otoba parvifolia</i>	3	0	0
45	Tamburo blanco	<i>Vochysia braseliniiae</i>	0	3	0
46	Uva de monte	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	2	3	2
47	Variable	<i>sin identificación</i>	1	4	1
			62	69	28
			I Scuant = 0,43		

Anexo 6 . Prueba de “t” para medias de composición florística de los tratamientos.

T1		T2	
x1	x1 ²	x2	x2 ²
2	4	1	1
6	36	3	9
1	1	1	1
3	9	1	1
2	4	2	4
1	1	1	1
3	9	7	49
3	9	4	16
3	9	3	9
4	16	2	4
2	4	3	9
2	4	3	9
1	1	3	9
1	1	1	1
1	1	3	9
3	9	4	16
2	4	2	4
1	1	1	1
1	1	3	9
1	1	2	4
2	4	2	4
2	4	4	16
4	16	1	1
2	4	2	4
2	4	2	4
1	1	1	1
1	1	1	1
1	1	1	1
1	1	1	1
2	4	1	1
1	1	1	1
1	1	1	1
2	4	1	1
1	1	1	1
1	1	1	1
62	166	69	203
$\Sigma x1 = 62$		$\Sigma x2 = 69$	
$\Sigma x1^2 = 166$		$\Sigma x2^2 = 203$	
$(\Sigma x1)^2/n = 124$		$(\Sigma x2)^2/n = 144,273$	
$\chi = 2$		$\chi = 2,091$	
$SC(x1) = 42$		$SC(x2) = 58,727$	
	$S^2 = 1,6246$		
	$SD = 5,0960$		
	$T = -0,0560$		

Anexo 7. Índices de diversidad y abundancia en el tratamiento T1. Sucumbíos, 2011-2012.

TRATAMIENTO 1												
N°	DOSEL Y SUBDOSEL		CUADRANTES				ni	pi	ln pi	pi ln pi	pi ²	
	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	I	II	III						IV
1	Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i>	Arenillo	2	0	0	0	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
2	Fabaceae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	1	0	1	4	6	0,0984	-2,3191	-0,2281	0,0097
3		<i>Sin identificación</i>	Variable	1	0	0	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
4	Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	1	2	0	0	3	0,0492	-3,0123	-0,1481	0,0024
5	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	0	2	0	0	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
6	Anacardaceae	<i>Spondias mombin</i>	Ovo	0	1	0	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
7	Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	1	1	1	0	3	0,0492	-3,0123	-0,1481	0,0024
8	Cecropiaceae	<i>Otoba parvifolia</i>	Sangre de gallina	0	0	2	1	3	0,0492	-3,0123	-0,1481	0,0024
9	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Copal	0	0	1	2	3	0,0492	-3,0123	-0,1481	0,0024
10	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0	1	2	1	4	0,0656	-2,7246	-0,1787	0,0043
11	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uva de monte	0	0	1	1	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
12	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	1	0	1	1	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
13	Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0	0	0	1	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
14	Myristicaceae	<i>Otoba glycyarpa</i>	Coco	0	0	0	1	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
15	Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Guayacan	0	0	0	1	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
16	Fab-mimosoideae	<i>Inga acreana</i>	Guabo	3	0	0	0	3	0,0492	-3,0123	-0,1481	0,0024
17	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	2	0	0	0	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
18	Fab-mimosoideae	<i>Parkia sp.</i>	Guarango	1	0	0	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
19	Fab-mimosoideae	<i>Inga punctata</i>	Guabillo	1	0	0	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
20	Lauraceae	<i>Ocotea acyphylla</i>	Jigua negra	1	0	0	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
21	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	1	1	0	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
22	Arecaceae	<i>Attalea colenda</i>	Palma real	0	2	0	0	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
23	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	0	1	1	2	4	0,0656	-2,7246	-0,1787	0,0043
24	Myristicaceae	<i>Osteopholium platyphermum</i>	Lotería	0	0	2	0	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
25	Tiliaceae	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	0	0	1	1	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
26	Proteaceae	<i>Roupala pachypoda</i>	Roble	0	0	1	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
27	Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	0	0	1	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
28	Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	0	0	1	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
29	Moraceae	<i>Brosimum utile</i>	Sande	0	0	1	1	2	0,0328	-3,4177	-0,1121	0,0011
30	Fab-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo Rojo	0	0	0	1	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
31		<i>Sin identificación</i>	Flor de mayo	0	1	0	0	1	0,0164	-4,1109	-0,0674	0,0003
TOTAL				14	12	18	18	62			-3,3228	0,0446
											Abundancia =	31
											Riqueza =	62
											Índice de Shannon =	-3,3228
											Índice de Simpson =	0,0446

Anexo 8. Índices de diversidad y abundancia en el tratamiento T2. Sucumbíos, 2011-2012.

TRATAMIENTO 2												
N°	DOSEL Y SUBDOSEL		CUADRANTES				ni	pi	ln pi	pi ln pi	pi²	
	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	I	II	III						IV
1	Anonaceae	<i>Anona sp.</i>	Chirimoya de	1	o	o	o	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
2	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo rojo	1	1	o	1	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
3	Myristicaceae	<i>Osteopholium platyspermu</i>	Lotería	1	o	o	o	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
4	Lauraceae	<i>Aniba Panurenses</i>	Canelo yema de huevo	1	o	o	o	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
5	Burseraceae	<i>Dacryodes sp</i>	Copal	2	o	o	o	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
6	Lauraceae	<i>Ocotea caudata</i>	Canelo alcanfor	1	o	o	o	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
7	Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	3	4	o	o	7	0,1014	-2,2882	-0,2321	0,0103
8	Fabaceae	<i>Cassia cowanii</i>	Chontacaspí	2	1	1	o	4	0,058	-2,8478	-0,1651	0,0034
9	Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	1	2	o	o	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
10	Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	o	1	1	o	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
11	Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	1	1	1	o	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
12	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	Jigua canelo	1	1	1	o	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
13	Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uva de monte	1	o	1	1	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
14	Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	o	o	1	o	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
15	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	o	o	3	o	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
16		<i>Sin identificación</i>	Variable	1	1	1	1	4	0,058	-2,8478	-0,1651	0,0034
17	Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	o	o	o	2	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
18	Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>	Colorado fino	o	o	o	1	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
19	Vochysiaceae	<i>Vochysia braselinae</i>	Tamburo blanco	o	1	1	1	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	0,0019
20	Meliaceae	<i>Guarea purusana</i>	Colorado	o	o	1	1	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
21		<i>Sin identificación</i>	Lentejo	1	1	0	0	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
22	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	3	0	0	1	4	0,058	-2,8478	-0,1651	0,0034
23	Fabaceae-Faboideae	<i>Erythrina amazonica</i>	Poroton	1	0	0	0	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
24	Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua blanco	0	2	0	0	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
25	Anonaceae	<i>Anona sp.</i>	Chirimoya	0	2	0	0	2	0,029	-3,541	-0,1026	0,0008
26	Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	0	1	0	0	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
27	Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i>	Arenillo	0	1	0	0	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
28	Myristicaceae	<i>Otoba glycyarpa</i>	Coco	0	1	0	0	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
29	Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0	1	0	0	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
30	Lecythidaceae	<i>Eschweilera juruensis</i>	Sabroso	0	0	1	0	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
31		<i>Sin identificación</i>	Cuero de sapo	0	0	0	1	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
32	Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	0	0	0	1	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
33	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i>	Colorado manzano	0	0	0	1	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	0,0002
TOTAL				22	22	13	12	69	1	0	-3,3206	0,0426
Abundancia =												33
Riqueza =												69
Índice de Shannon =												-3,3206
Índice de Simpson =												0,0426

Anexo 9. Especies y su frecuencia para el cálculo de la curva de acumulación de especies de flora. Sucumbíos, 2011-2012.

TRATAMIENTO 1							
FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	CUADRANTES O REPETICIONES				TOTAL
			I	II	III	IV	
Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i>	Arenillo	2	0	0	0	2
Fabaceae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	1	0	1	4	6
		Variable	1	0	0	0	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo	1	2	0	0	3
Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	Arabisco	0	2	0	0	2
Anacardaceae	<i>Spondias mombin</i>	Ovo	0	1	0	0	1
Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	1	1	1	0	3
Cecropiaceae	<i>Otoba parvifolia</i>	Sangre de gallina	0	0	2	1	3
Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Copal	0	0	1	2	3
Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	0	1	2	1	4
Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uva de monte	0	0	1	1	2
Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	0	0	1	1	2
Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0	0	0	1	1
Myristicaceae	<i>Otoba glycyarpa</i>	Coco	0	0	0	1	1
Burseraceae	<i>Dacryodes peruviana</i>	Guayacan	0	0	0	1	1
Fabaceae- mimosoideae	<i>Inga acreana</i>	Guabo	3	0	0	0	3
Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	2	0	0	0	2
Fabaceae-mimosoideae	<i>Parkia sp.</i>	Guarango	1	0	0	0	1
Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga punctata</i>	Guabillo	1	0	0	0	1
Lauraceae	<i>Ocotea acyphylla</i>	Jigua negra	1	0	0	0	1
Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	1	1	0	2
Arecaceae	<i>Attalea colenda</i>	Palma real	0	2	0	0	2
Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	0	1	1	2	4
Myristicaceae	<i>Osteopholium platyphermun</i>	Lotería	0	0	2	0	2
Tiliaceae	<i>Apeiba aspera</i>	Peine de mono	0	0	1	1	2
Proteaceae	<i>Roupala pachypoda</i>	Roble	0	0	1	0	1
Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	0	0	1	0	1
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	0	0	1	0	1
Moraceae	<i>Brosimun utile</i>	Sande	0	0	1	1	2
Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo Rojo	0	0	0	1	1
No identificado	<i>Sin identificacion</i>	Flor de mayo	0	1	0	1	1
Rutaceae	<i>Zonthoxylum tachuelo</i>	tachuelo	0	0	0	1	2
SUBTOTAL			10	7	10	4	64
TOTAL			10	17	27	31	

Continuación Anexo 9.

TRATAMIENTO 2							
FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	CUADRANTES O REPETICIONES				TOTAL
			I	II	III	IV	
		Chirimoya de					
Anonaceae	<i>Anona sp.</i>	montaña	1	0	0	0	1
Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga cordatoalata</i>	Guabo rojo	1	1	0	1	3
Myristicaceae	<i>Osteopholium platysphermun</i>	Lotería	1	0	0	0	1
Lauraceae	<i>Aniba Panurenses</i>	Canelo yema de huevo	1	0	0	0	1
Burseraceae	<i>Dacryodes sp</i>	Copal	2	0	0	0	2
Lauraceae	<i>Ocotea caudata</i>	Canelo alcanfor	1	0	0	0	1
Moraceae	<i>Pseudolmedia rigida</i>	Guion	3	4	0	0	7
Fabaceae	<i>Cassia cowanii</i>	Chontacspi	2	1	1	0	4
Lauraceae	<i>Endlicheria tschudyana</i>	Canelo	1	2	0	0	3
Cecropiaceae	<i>Cecropia cf. latiloba</i>	Guarumo		1	1	0	2
Euphorbaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Caucho	1	1	1	0	3
Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	Jigua canelo	1	1	1	0	3
Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uva de monte	1	0	1	1	3
Arecaceae	<i>Astrocaryum chambira</i>	Chambira	0	0	1	0	1
Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	0	0	3	0	3
		Variable	1	1	1	1	4
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	Caimito	0	0	0	2	2
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>	Colorado fino	0	0	0	1	1
Vochysiaceae	<i>Vochysia braseliniae</i>	Tamburo blanco	0	1	1	1	3
Meliaceae	<i>Guarea purusana</i>	Colorado	0	0	1	1	2
		Lentejo	1	1	0	0	2
Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua	3	0	0	1	4
Fabaceae-Faboideae	<i>Erythrina amazonica</i>	Poroton	1	0	0	0	1
Lauraceae	<i>Nectandra turbacensis</i>	Jigua blanco	0	2	0	0	2
Anonaceae	<i>Anona sp.</i>	Chirimoya	0	2	0	0	2
Fabaceae-mimosoideae	<i>Inga icraneada</i>	Guabo blanco	0	1	0	0	1
Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i>	Arenillo	0	1	0	0	1
Myristicaceae	<i>Otoba glycycarpa</i>	Coco	0	1	0	0	1
Rubiaceae	<i>Simira cordifolia</i>	Manglillo	0	1	0	0	1
Lecythidaceae	<i>Eschweilera juruensis</i>	Sabroso	0	0	1	0	1
		Cuero de sapo	0	0	0	1	1
Rubiaceae	<i>Callycophyllum spruceanum</i>	Capirona	0	0	0	1	1
Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i>	Colorado manzano	0	0	0	1	1
SUBTOTAL			16	8	4	5	69
TOTAL			16	24	28	33	

Anexo 10. Cobertura vegetal del bosque secundario registrado en los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.

Tratamiento	Lecturas (%)									
	abr-11	may-11	jun-11	jul-11	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	jun-12
T1	85	51,25	48	47	45	41	40	40	39,5	37,5
T2	95	94	94,1	94,2	94,4	94,5	95	96	96	96

Anexo 11. Defoliación del bosque secundario determinado en los dos tratamientos. Sucumbíos, 2011-2012.

Tratamiento	Lecturas (%)									
	abr-11	may-11	jun-11	jul-11	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	jun-12
T1	0	33,75	37	38	40	44	45	45	45,5	47,5
T2	0	0,1	0,8	0,6	0,5	0	0	0	1	1

Anexo 12. Datos de precipitación, temperatura y humedad del suelo obtenidos en la estación meteorológica del aeropuerto de Lago Agrio de la Dirección de Aviación Civil.2011

Meses	Precipitación (mm)	Humedad del suelo (mm)	Temperatura (°C)
E	247,9	36,5	27,3
F	322,7	18,876	26,3
M	429,9	30,5	26,1
A	673,3	25,84	26
M	337	26,5	25,3
J	332,5	21,968	25,2
J	335,3	23,5	24,7
A	303,5	32,5	26,5
S	225	27,776	26,4
O	346,6	35	27
N	464,5	29,228	26,7
D	556,3	29,5	25,9

Anexo 13. Reporte de análisis microbiológicos

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Panamericana sur Km. 1, Apartado 17-01- 340 Telefax: 2690-694 Email: dmsasc@iniapsc.gov.ec Quito-Ecuador	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS MICROBIOLOGICO EN SUELOS

DATOS GENERALES			
No. de laboratorio	Tipo de análisis	Fecha de muestreo	Fecha de ingreso al laboratorio
22 al 33	Microbiológico	3 de Junio 2011 30 de Julio 2011 27 de Agosto 2011	Indistinto

CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO		
Cultivo : Bosque secundario		
Variedad:	Edad: 30 años aproximadamente	Cultivo anterior: Bosque primario
Estado de desarrollo:	Recuperación	
Sistema de cultivo:		
Productos aplicados al suelo en el último mes:	Glifosato	
Manejo del cultivo		
Número de laboratorio y Codificación de la muestra desde el campo		
22) T1C12sBs(0-10) ₁ (45 días)	26) T1C12sBs(0-10) ₂ (90 días)	30) T1C12sBs(0-10) ₃ (135 días)
23) T1C34sBs(0-10) ₁ (45 días)	27) T1C34sBs(0-10) ₂ (90 días)	31) T1C34sBs(0-10) ₃ (135 días)
24) T2C12sBs (0-10) ₁ sBs (45 días)	28) T2C12sBs(0-10) ₂ (90 días)	32) T2C12sBs(0-10) ₃ (135 días)
25) T2C34sBs (0-10) ₁ sBs (45 días)	29) T2C34sBs(0-10) ₂ (90 días)	33) T2C34sBs(0-10) ₃ (135 días)

RESULTADOS 22 al 33

*

Cuadro 1. Reporte de poblaciones de bacterias, hongos, actinomicetos y grupos funcionales.

Identificación de la muestra	Bacterias	Actinomicetos	Hongos	Celulolíticos	Solubilizadores de Fósforo	Fijadores de Nitrógeno
	UFC / gss					
22) T1C12sBs(0-10) ₁	3,51 x 10 ⁵	7,02 x 10 ⁶	1,49 x 10 ⁴	7,90 x 10 ⁵	6,1 x 10 ⁵	Bacterias y actinomicetos 3,51 x 10 ²
23) T1C34sBs(0-10) ₁	6,73 x 10 ⁶	9,76 x 10 ⁷	6,06 x 10 ⁴	1,68 x 10 ⁶	1,35 x 10 ⁶	Actinomicetos 1,01 x 10 ³
24) T2C12 (0-10) ₁ sBs	1,10 x 10 ⁶	5,11 x 10 ⁷	1,20 x 10 ⁴	3,71 x 10 ⁶	1,00 x 10 ⁶	Bacterias y actinomicetos 3,01 x 10 ⁴
25) T2C34 (0-10) ₁ sBs	5,47 x 10 ⁵	9,85 x 10 ⁶	4,38 x 10 ³	6,56 x 10 ⁵	1,31 x 10 ⁶	Actinomicetos y bacterias 1,64 x 10 ²
26) T1C12sBs(0-10) ₂	3,75 x 10 ⁵	1,08 x 10 ⁷	5,62 x 10 ³	7,02 x 10 ⁵	9,98 x 10 ⁵	Bacterias y actinomicetos 2,81 x 10 ²
27) T1C34sBs(0-10) ₂	7,45 x 10 ⁵	1,06 x 10 ⁷	7,45 x 10 ³	1,92 x 10 ⁶	9,57 x 10 ⁵	Actinomicetos y bacterias 4,26 x 10 ²
28) T2C12sBs(0-10) ₂	2,91 x 10 ⁶	1,83 x 10 ⁷	4,31 x 10 ³	2,59 x 10 ⁶	1,30 x 10 ⁶	Bacterias y actinomicetos 3,23 x 10 ²
29) T2C34sBs(0-10) ₂	1,06 x 10 ⁶	3,17 x 10 ⁶	5,29 x 10 ³	1,59 x 10 ⁶	8,46 x 10 ⁵	Bacterias y actinomicetos 3,17 x 10 ²
30) T1C12sBs(0-10) ₃	6,46 x 10 ⁴	1,02 x 10 ⁶	9,2 x 10 ²	6,46 x 10 ⁵	5,53 x 10 ⁵	Actinomicetos 4,61 x 10 ²
31) T1C34sBs(0-10) ₃	1,84 x 10 ⁵	1,75 x 10 ⁶	5,52 x 10 ³	7,36 x 10 ⁵	2,76 x 10 ⁵	Actinomicetos y bacterias 8,28 x 10 ²
32) T2C12sBs(0-10) ₃	4,57 x 10 ⁵	6,39 x 10 ⁶	4,57 x 10 ²	1,1 x 10 ⁶	2,74 x 10 ⁵	Bacterias y actinomicetos 8,22 x 10 ³
33) T2C34sBs(0-10) ₃	3,26 x 10 ⁵	5,7 x 10 ⁶	1,63 x 10 ²	1,22 x 10 ⁵	2,44 x 10⁵	Bacterias, actinomicetos y hongos 3,26 x 10 ⁴

UFC/gss: Unidades formadoras de colonia por gramo de suelo seco

Anexo 14. Estudio de Impacto Ambiental

TEMA:

Estudio del impacto ambiental de la implementación y ejecución del Proyecto de Investigación “Impacto del glifosato sobre flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo y su residualidad en bosque secundario en Sucumbíos”.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar los impactos positivos y negativos de la implementación y ejecución del proyecto de investigación “Impacto del glifosato sobre flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo y su residualidad en bosque secundario en Sucumbíos”.

Objetivos Específicos:

- Delimitar el área de influencia directa e indirecta del proyecto
- Identificar y evaluar los impactos ambientales de la implementación y ejecución de la presente investigación.
- Proponer alternativas de manejo para disminuir los impactos negativos en el ambiente.

Identificación y evaluación de impactos.

Metodología.

Los impactos producidos en esta investigación se identificaron y evaluaron a través de la matriz de interacción de Leopoldo.

En la matriz de interacción de impactos se especificó si el proyecto afectó directamente el factor correspondiente, lo cual se indicó con un símbolo (X). En la matriz de Leopoldo se califica la Magnitud del efecto producido sobre el factor en una escala de -3 a +3 (Cuadro 16). Finalmente la Importancia del impacto producido sobre el factor se evaluó en una escala de 0 a 3, conforme se expone en la (Cuadro 17) (León, 2005).

Cuadro 16.Calificación de la Magnitud

Descripción	Valor asignado
Daño grave al factor	-3
Daño medio al factor	-2
Daño menor al factor	-1
Daño insignificante al factor	0
Pequeño efecto positivo sobre el factor	+1
Efecto medianamente positivo sobre el factor	+2
Efecto grandemente positivo sobre el factor	+3

Fuente: León, J. 2005

Cuadro 17.Calificación de la Importancia

Descripción	Valor asignado
Sin importancia para el factor	0
Poco importante para el factor	1
Medianamente importante para el factor	2
Muy importante para el factor	3

Fuente: León, J. 2005

Área de influencia directa (AID)

El área de influencia directa, se consideró en una hectárea de bosque secundario.

Área de influencia indirecta (AII)

Las áreas de influencia indirecta fueron las más alejadas del proyecto como son: vías de acceso, fincas aledañas, pequeños cuerpos de agua y viviendas cercanas.

Acciones del proyecto

A1.- Delimitación de las unidades experimentales

A2.- Aplicación aérea del herbicida

A3.- Evaluación de flora

A4.- Toma de muestras de suelo

A5.- Toma de muestras de especímenes de edafofauna

A6.- Mantenimiento de unidades experimentales

Lista de Impactos

A1:-I. Daño a la flora

+I. Generación de empleo

A2:-I. Daño a la flora

-I. Daño a la edafofauna

-I. Daño a microorganismos

+I. Generación de empleo

A3:+I. Generación de empleo

A4:+I. Generación de empleo

F5:+I. Generación de empleo

-I. Daño a la edafofauna

F6:+I. Generación de empleo

MATRIZ DE INTERACCIÓN DE IMPACTOS

FACTORES AMBIENTALES \ ACCIONES			A1	A2	A3	A4	A5	A6
			DELIMITACIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES	APLICACIÓN AÉREA DEL HERBICIDA	EVALUACION DE FLORA	TOMA DE MUESTRA DE SUELO	TOMA DE MUESTRAS DE ESPECÍMENES DE EDAFOFAUNA	MANTENIMIENTO DE UNIDADES EXPERIMENTALES
ABIÓTICO	F1	AIRE		X				
	F2	SUELO		X	X	X	X	
BIÓTICO	F3	FLORA SILVESTRE	X	X		X		X
	F4	MICROORGANISMOS		X				
	F5	EDAFOFAUNA		X			X	
SOCIO ECONÓMICO	F6	SALUD		X				
	F7	ACTIVIDAD ECONÓMICA	X	X	X	X		X
	F8	EMPLEO OCASIONAL	X	X	X	X	X	X

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR EL MÉTODO DE LEOPOLD

FACTORES AMBIENTALES \ ACCIONES			A1	A2	A3	A4	A5	A6				
			DELIMITACIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES	APLICACIÓN AÉREA DEL HERBICIDA	EVALUACIÓN DE FLORA	TOMA DE MUESTRA DE SUELO	TOMA DE MUESTRAS DE ESPECÍMENES DE EDAFOFAUNA	MANTENIMIENTO DE UNIDADES EXPERIMENTALES				
ABIÓTICO	F1	AIRE	M	-2					0	1	-4	
			I	2								
F2	SUELO	M	-3	-1	-1	-1			0	4	-9	
		I	2	1	1	1						
BIÓTICO	F3	FLORA SILVESTRE	M	-2	-3		-1		-2	0	4	-18
			I	2	3		1		2			
	F4	MICROORGANISMOS	M		-1					0	1	-2
			I		2							
F5	EDAFOFAUNA	M		-1			-2		0	2	-4	
		I		2			1					
SOCIO ECONÓMICO	F6	SALUD	M		-1				0	1	-1	
			I		1							
	F7	ACTIVIDAD ECONÓMICA	M	1	3	2	2		1	5	0	21
			I	2	3	2	2		2			
F8	EMPLEO OCASIONAL	M	2	2	2	2	2	2	6	0	26	
		I	2	3	2	2	2	2				
AFECTACIONES POSITIVAS			2	2	2	2	1	2	COMPROBACIÓN			
AFECTACIONES NEGATIVAS			1	6	1	2	2	1	9			
AGREGACIÓN			2	-9	7	6	1	2				

Ambientalmente la presente investigación es positiva con un valor de +9

CONCLUSIONES:

La evaluación de impacto ambiental, mediante la matriz de Leopold presenta 6 actividades, 8 factores ambientales agrupados en: factores abióticos, bióticos y socioeconómicos. Presentando 24 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 9.

La aplicación aérea del herbicida fue la actividad que más impactos negativos causó con un valor de -9, el factor ambiental más afectado fue la flora con un valor de -18. El factor de generación de empleo fue afectado positivamente con un valor de +26.

PROPUESTAS DE MANEJO DEL PROYECTO IMPACTO DEL GLIFOSATO SOBRE FLORA, FAUNA, PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS, MINERALÓGICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SU RESIDUALIDAD EN BOSQUE SECUNDARIO EN SUCUMBÍOS”.

Llevar un cronograma de toma de muestras para evitar el sobre pisoteo del área estudiada y por ende minimizar los impactos en el suelo, flora, y edafofauna.

La delimitación y mantenimiento de las unidades experimentales se deben realizar por los caminos establecidos.

Señalar una franja de seguridad de 50m alrededor de las unidades experimentales para evitar daño por efecto de deriva.

Reforestar las áreas afectadas con especies maderables nativas

ANEXO FOTOGRÁFICO

Delimitación de las unidades experimentales



Ubicación de tratamientos y repeticiones



Identificación de especies de flora



Dis



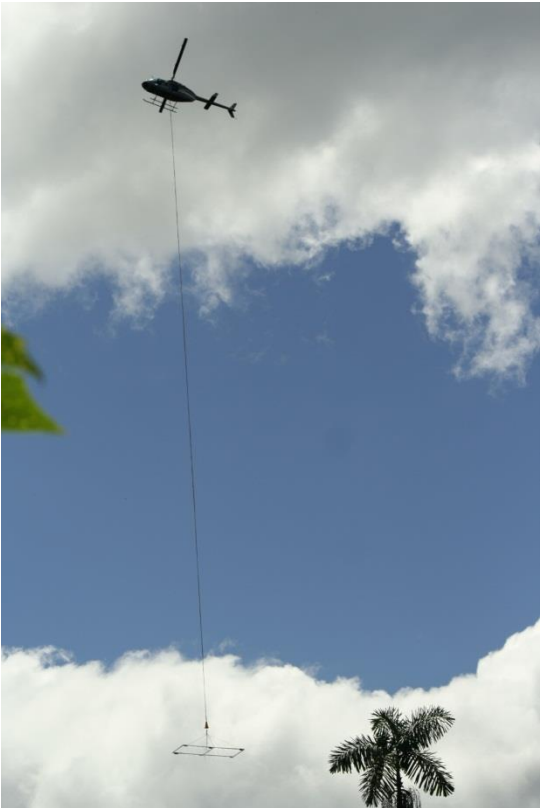
Diseño y pruebas del equipo de aspersión



UBICACIÓN DE BANDERAS

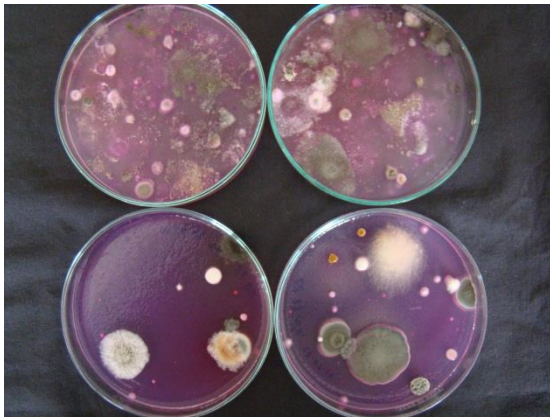
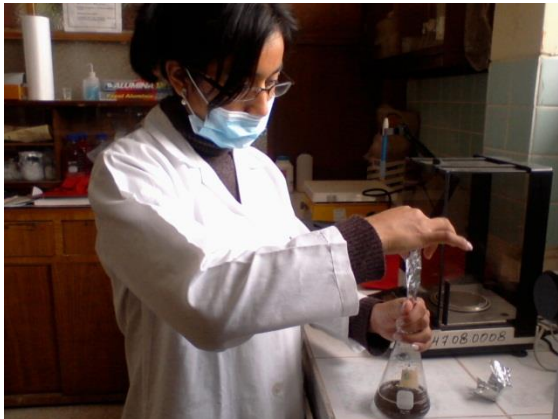


ASPERSIÓN DE GLIFOSATO EN EL TRATAMIENTO 1



EVALUACIÓN DE VARIABLES

TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE SUELO



TOMA DE MUESTRAS DE EDAFOFAUNA

