

## **Producción de drogas ilícitas, medio ambiente y salud humana.**

**<sup>1</sup>Keith R Solomon<sup>1</sup>, E J P Marshall<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Centre for Toxicology and Department of Environmental Biology, University of Guelph, Guelph, ON, N1G 2W1, Canada,* <sup>2</sup>*Marshall Agroecology Limited, 2 Nut Tree Cottages, Barton, Winscombe, Somerset, BS25 1DU, UK.*

Dirección de correspondencia: Keith R Solomon, Centre for Toxicology and Department of Environmental Biology, University of Guelph, Guelph, ON, N1G 2W1. E-mail:

[ksolomon@uoguelph.ca](mailto:ksolomon@uoguelph.ca)

---

<sup>1</sup> Este estudio fue financiado con donaciones de los Gobiernos de Colombia y de los Estados Unidos. Las conclusiones expresadas en el Estudio corresponden exclusivamente a los científicos que llevaron a cabo el mismo. Ni la CICAD ni ningún otro órgano de la Organización de los Estados Americanos han expresado ni tienen opinión alguna respecto a esas conclusiones.

La producción y uso de drogas ilícitas ha tenido un impacto importante en la sociedad. Este impacto atraviesa toda la cadena de proveedores desde los usuarios de las drogas y retorna a los productores. Mientras hay innumerables drogas ilícitas sintéticas, son sólo tres las drogas importantes que tienen origen en fuentes naturales: el tetrahidrocanabinol, ingrediente activo de la cannabis (*Cannabis sativa*); el opio, la morfina y la heroína, producidos a partir de la amapola (*Papaver somniferum*); y la cocaína, obtenida de la planta de coca (*Erythroxylum spp*). Nueve artículos de este número del *Journal of Toxicology and Environmental Health* están dedicados a una serie de temas asociados a los riesgos resultantes de la producción y erradicación de la planta de coca.

Gran parte de la cocaína del mundo proviene de América Latina y la mayoría de ella, de Colombia. Las autoridades colombianas y las de otros países tienen programas para la erradicación de la planta y además están comprometidas en proyectos de desarrollo rural para remplazar los cultivos ilícitos de esta planta por cultivos alternativos. Como parte de los esfuerzos para controlar la oferta iniciados en la década de 1970, en 1997 comenzó en Colombia un programa de erradicación mediante aspersión aérea utilizando el herbicida glifosato. Como era de esperar, el programa de aspersiones para la erradicación ha despertado interés y atención considerables, particularmente en lo que respecta a los potenciales riesgos para la salud humana y el medio ambiente relacionados con el uso del glifosato para el control de las plantas. Sin embargo, los riesgos involucran también otras sustancias empleadas en el cultivo de las plantas de coca y en la extracción y refinamiento del producto final, el hidrocloreuro de cocaína.

Los artículos de este número describen la investigación orientada a responder importantes preguntas relacionadas con la exposición y con los efectos en los organismos no blanco, en los seres humanos y en el medio ambiente. Para poder ofrecer los resultados de esta investigación a un público científico más amplio, los ocho artículos han sido publicados en el mismo número de la revista y se presentan en un noveno artículo, Síntesis/Editorial, contextualizados con los riesgos para el medio ambiente y para los seres humanos. Como editores de la serie, agradecemos a todas las personas que contribuyeron a este trabajo y a los revisores que nos proporcionaron sus constructivos comentarios a cada uno de los artículos.



## **Resumen**

El programa de aspersión aérea para la erradicación de la coca en Colombia utiliza Glyphos®, una formulación local de glifosato mezclado en tanque con Cosmo-Flux®, un producto adyuvante. Existe un riesgo potencial para los anfibios, resultante de la aspersión directa sobre las aguas superficiales. Con el objeto de evaluar posibles alternativas de mezclas, se llevó a cabo un experimento de campo en el Centro Nacional de Entrenamiento y Operaciones de la Policía en el departamento del Tolima, Colombia. Se plantaron e irrigaron plantas de coca que crecieron hasta 75 cm de altura. Se llevó a cabo un experimento aleatorizado con diseño de lotes divididos, realizando aspersión con una variedad de formulaciones de glifosato y diferentes adyuvantes, utilizando un aspersor terrestre experimental. Se hicieron evaluaciones de la vitalidad, altura y biomasa de superficie (peso en fresco) tres semanas después de la aplicación. A las nueve semanas del tratamiento se evaluó el rebrote de las plantas. El glifosato no formulado, aplicado en forma del producto Rodeo®, proporcionó un menor control de la coca que los dos productos formulados Roundup Biactive® (de Europa) y Glyphos® colombiano. En general, estos productos sin adición de adyuvantes tuvieron un buen desempeño, ofreciendo un control semejante al de la mezcla de erradicación con Cosmo-Flux. Hubo evidencia de que con la adición del adyuvante Silwet L-77 y, en menor grado, de Mixture B (del Reino Unido) se presentaban síntomas herbicidas más rápidos. Hubo indicios de que las dosis de glifosato menores a 3,7 kg a.e./ha podrían proporcionar un control en el rango del 95%. Dependiendo de los requerimientos de riesgo ambiental, el experimento indica que en caso de que se requiriesen otras mezclas de aspersión, existen alternativas posibles. Antes de hacer cualquier recomendación, éstas precisan extensas pruebas de campo para abarcar las diferentes condiciones ambientales, las diferentes variedades de coca y particularmente la aplicación aérea. Si hubiese necesidad de cambiar el producto de glifosato, debe ser considerado el Roundup Biactive. De acuerdo con esta investigación, si es el adyuvante el que requiere cambio, Silwet L-77 y Mixture B serían buenos candidatos para hacer evaluaciones adicionales.

## INTRODUCCIÓN

El control de la planta medicinal *Erythroxylum coca* Lam. y de la variedad cercana *E. novogranatense* (coca), fuentes de la cocaína, es el foco de considerables esfuerzos y gasto en varios países suramericanos. Las autoridades se encuentran comprometidas en eliminar esta planta, así como también con diferentes proyectos de desarrollo rural que buscan sustituir los cultivos ilícitos. Además del control de los insumos de las drogas, existen también esfuerzos para disminuir la demanda mundial de la droga. La industria ilegal de la cocaína tiene una producción estimada que en 2007 alcanzó en las calles las 600 toneladas, con un valor al menudeo de aproximadamente \$934 millones. Los precios al menudeo son \$2.200/kg en Colombia, \$10.200/kg en los EEUU y \$85.000/kg en las calles de Europa (UNODC, 2007). Como parte del esfuerzo para controlar la oferta iniciado en los 70s, desde 1997 ha existido en Colombia un programa de erradicación aérea que utiliza el herbicida glifosato. La extensión de coca asperjada ha mostrado un aumento constante durante los años recientes, alcanzando las 153.000 ha en 2007 (comunicación personal; Policía Nacional de Colombia, Bogotá, diciembre, 2007).

El programa de aspersión aérea es conducido con dos tipos de aviones comerciales para aspersión de cultivos, adaptados con boquillas de inducción de aire Accu-Flo. Los aviones de fumigación Air Tractor 802 (Air Tractor Inc., Olney, TX 76374, USA) y Rockwell OV-10, están equipados con dispositivos de rastreo de alta resolución y grabadoras de registro posicional que muestran la posición, señalan la orientación y almacenan datos para análisis posteriores (Solomon et al., 2007).

El glifosato utilizado para el programa de erradicación aérea en Colombia es el Glyphos®, producto que contiene 354 g a.e. /L comercializado para uso agrícola. El glifosato ha mostrado ser efectivo para controlar las especies de coca *E. coca* y *E. novogranatense* (Ferreira, et al., 1997). En Colombia, la dosis de aplicación aérea de glifosato es de 3.7 kg a.e. /ha. Para maximizar la penetración y la efectividad de la formulación de aspersión, el glifosato se mezcla en el tanque con un producto adyuvante (CosmoFlux 411F; Cosmoagro, Bogotá). La inclusión del adyuvante obedece a los estudios de Collins y Helling (2002), quienes demostraron un aumento de cuatro veces en la eficacia del glifosato al incluir mezclas adyuvantes apropiadas en la aspersión.

Los surfactantes, como es el caso de los polietoxilatos en el Cosmo-Flux®, incrementan la eficacia al aumentar la adherencia a la superficie objetivo, promover una mejor aspersión y una mejor dispersión de las gotas, prevenir la agregación y aumentar la



penetración de los herbicidas en los tejidos de las plantas objetivo mediante la disminución de la tensión superficial en las plantas. Los surfactantes también pueden atravesar la cutícula de cera no hidrosoluble, aumentando la penetración del ingrediente activo herbicida. Los aceites básicos, como las isoparafinas en Cosmo-Flux®, son otra clase de adyuvantes utilizados en las formulaciones de plaguicidas. Son utilizados primariamente para ayudar a la absorción foliar del plaguicida al alterar la cutícula cerosa de la superficie externa del follaje, lo cual aumenta la permeabilidad (Solomon et al., 2007).

Las evaluaciones de impacto ambiental del programa de erradicación aérea han señalado que el impacto relativo de la mezcla de glifosato es poco, comparado con el impacto de la tala de bosque para los cultivos (Solomon et al., 2007). No obstante, podría haber cierto impacto en especies anfibias de aguas superficiales (<30 cm de profundidad) asperjadas directamente. Es probable que estos efectos no se deban al glifosato sino a los adyuvantes presentes en la mezcla de aspersión. Se han adelantado pruebas ecotoxicológicas adicionales con la mezcla de aspersión tal como se usa en Colombia (Bernal & Solomon 2008a, b). El desarrollo de las investigaciones sobre los adyuvantes indica que puede ser posible encontrar alguna mezcla adyuvante que sea efectiva como la mezcla actual pero menos riesgosa para los anfibios nativos.

El experimento de campo acá descrito se llevó a cabo como un paso preliminar para evaluar la eficacia de varias formulaciones de glifosato mezcladas con diferentes adyuvantes. Nuestra hipótesis es que las combinaciones alternativas proporcionarían un control de la coca igual o mejor que el de la formulación actualmente utilizada en el programa de erradicación aérea. Como se mencionó previamente, la menor toxicidad de la mezcla de aspersión puede tener beneficios ambientales, además de que hay posibilidad de reducir la dosis de aplicación del glifosato utilizado en el programa de erradicación aérea, al mezclarlo con diferentes adyuvantes. Con las 153.000 ha asperjadas en Colombia en 2007, habría un ahorro considerable de costos si una dosis menor proporciona igual control al de la práctica actual.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización**

El terreno está localizado en una finca en el municipio de San Luis en el Departamento del Tolima, Colombia. El área está al oeste de Bogotá a N 04° 15.971, W 75° 01.373 y a 517 m s.n.m. Los suelos son de valle de aluvión. El área seleccionada estaba

cubierta inicialmente con pastos, juncias y arbustos bajos los cuales fueron segados con una desbrozadora de cuchillas acoplada a un tractor. Luego el área fue asperjada con glifosato y arada. El lugar fue cultivado y las plantas sembradas manualmente en lotes de 60 plantas, en filas separadas 1 m y con espacios de 1 m, cada lote con seis filas de 10 plantas. La plantación y agronomía de las plantas semejaban mucho el patrón de los cultivos ilícitos, en los cuales son utilizados plaguicidas (permetrina y mancozeb) y fertilizantes para promover la producción del cultivo. Se aplicó riego aproximadamente dos veces por semana para aumentar la supervivencia y el crecimiento.

### **Material vegetal**

Los plantines de la variedad Pajarito de *E. coca* se obtuvieron en el Departamento del Cauca, en el suroccidente de Colombia. Inicialmente, en diciembre de 2006, se conservaron los cortes en un vivero, se trataron según necesidad con fertilizantes, fungicidas e insecticidas y se plantaron el 15 y el 20 de enero de 2007. Las plantas que no sobrevivieron fueron remplazadas. Se les permitió crecer hasta aproximadamente 75 cm de altura. Dos semanas antes del tratamiento de aspersión, las plantas más altas se podaron a 75 cm.

### **Diseño de la disposición de las plantas y los tratamientos**

De los 49 lotes de 60 plantas, 36 fueron seleccionados para uso experimental con base en el buen crecimiento del arbusto. Estos lotes, representando cada uno un lote principal, fueron agrupados en el área experimental en tres bloques. Los lotes principales (60 plantas) fueron asignados al azar a alguno de los 12 tratamientos glifosato/adyuvante. Se emplearon tres formulaciones de glifosato: Glyphos® colombiano (354 g a.e. / L, Monsanto), Roundup Biactive®, (360 g a.e. /L, Monsanto Europe) y Rodeo® (479 g a.e. /L, Dow AgroSciences). Glyphos está formulado con adyuvantes a base de tallow aminas polietoxiladas (POEA) para uso agrícola. Roundup Biactive, un producto europeo, utiliza una mezcla patentada de surfactantes menos dependiente de tallow aminas, para uso en el agua o cerca de ella. Rodeo es un producto no formulado de glifosato que carece de adyuvantes. Se utilizaron también cinco adyuvantes: Cosmo-Flux®, Intake™, Mixture B™, Silwet® L-77 y LI-700. El Cosmo-Flux es un adyuvante agrícola que contiene surfactantes no iónicos (una mezcla de polietoxilatos lineales y aril: 17% w/v) e isoparafinas (83% v/v) (Cosmoagro 2004). Intake™ (Headland Agrochemicals Ltd., Great Chesterford CB10 1PF, UK) es un penetrante agrícola que contiene 40% (w/w) de ácido propiónico. Mixture B (Amega Sciences, Daventry N11 5PH, UK) es 50% (w/v) condensado de óxido etileno



nonilfenol y 50% (w/v) de condensado óxido etileno de alcohol primario. Silwet L-77 (GE Silicones, Wilton, Connecticut, USA) es 99.5% (w/w) polialquileóxido modificado heptametiltrisiloxano, una organosilicona no iónica. LI-700 (Nufarm Agriculture Inc., Calgary, T2H 1H9 Canada) es un penetrante y acidificador compuesto de fosfatidilcolina, ácido metilacético y éter alquil polioxietileno.

Se creó un diseño de lotes divididos repartiendo cada lote principal en tres sublotes, cada uno de ellos con dos filas contiguas de arbustos de coca (20 plantas). Los sublotes se asignaron al azar a recibir una de tres dosis de glifosato (todas las dosis a.e.): 1 kg/ha, 2 kg/ha y 4 kg/ha. La dosis de aplicación aérea de glifosato en Colombia es de 3.7 kg/ha, pero se seleccionaron dos dosis menores para las pruebas de campo, con el fin de evaluar la eficacia y supervivencia a dosis de aplicación más bajas.

Los tratamientos herbicidas y adyuvantes se aplicaron 50 cm por encima del dosel, con un aspersor de lote de tres boquillas, montado con boquillas 8002 Teejet® (Spraying Systems Co., Wheaton, IL 60189-7900 USA). Las calibraciones mostraron que el aspersor liberaba un volumen de 200 L/ha a una presión del brazo de 3 bar (40 psi), a la velocidad de avance calibrada. La aplicación de estos tratamientos fue terrestre, de tal manera que el volumen aplicado fue superior al utilizado en la aplicación aérea. Esto posibilitó pequeños estudios exactos de lote, de tamaño manejable. Entre los sublotes se colocaron cortavientos para evitar cualquier deriva entre los tratamientos. Las aplicaciones se hicieron entre el 1 y el 2 de agosto de 2007 con temperaturas del aire que aumentaban durante el día de 25 a 33°C y una humedad relativa que disminuía de 80% a 40% al mediodía.

### **Evaluaciones**

Antes del tratamiento se midieron la altura máxima y dos anchos (el máximo y otro a 90°; diámetros A y B) de cada arbusto de coca, para poder calcular el área del arbusto con base en una elipse:

$$\text{Área de la elipse} = \Pi (\text{diámetro A}/2) (\text{diámetro B}/2) \quad \text{Ec 1}$$

y volumen del arbusto:

$$\text{Volumen del arbusto} = \text{área de la elipse} * \text{altura} \quad \text{Ec 2}$$

Las alturas, el área de la elipse y el volumen podrían ser utilizadas como covariadas en el análisis univariado. Los síntomas de las plantas se calificaron por plantas individuales mediante una escala de cinco puntos (Tabla 1), una semana (8 de agosto de 2007) y tres semanas después de la aspersión (21 de agosto de 2007). Simultáneamente, se registraron

las alturas máximas de los arbustos. Después de tres semanas del tratamiento (22 de agosto de 2007) todos los arbustos fueron cosechados hasta nivel del suelo y se determinó el peso fresco de cada sublote. El 5 de octubre de 2007, seis semanas después de la cosecha (9 semanas después de la aspersión), se hizo recuento del número de brotes por tallo para medir la recuperación de la planta. Estos datos se utilizaron para obtener una tasa de supervivencia de un total de 20 plantas por sublote.

*Tabla 1 cerca de esta ubicación*

### **Análisis estadístico**

Los datos se analizaron utilizando ANOVA de un diseño de lotes divididos. Los datos se transformaron lo necesario para cumplir con la necesidad de normalidad, después del examen de residuos; se emplearon la raíz cuadrada o el  $\log_{10}(n+0,05)$ . Se analizó la altura de las plantas utilizando la altura inicial de los arbustos como covariada. Las calificaciones de vitalidad se analizaron utilizando el área de la elipse del arbusto como covariada, reflejando la cobertura potencial del herbicida y por consiguiente la dosis por arbusto. Para el análisis y transformación de los datos se utilizó la 9ª edición del paquete Genstat (VSN International, Hemel Hempsted, UK). Se presentaron dos errores en la aspersión y en el análisis los cuatro sublotes afectados se trataron como valores faltantes.

## **RESULTADOS**

### **Altura de las plantas y tamaño de los arbustos**

El análisis de la altura inicial de los arbustos antes del tratamiento (altura media 80 cm) indicó que había algunas diferencias significativas entre los tratamientos. El análisis del área de la elipse de cada arbusto indicó también algunas diferencias iniciales y sistemáticas a lo largo del experimento, independientemente de haber dispuesto los lotes en bloques. Los lotes que recibieron los tratamientos 4 y 8 (Glifosato + Intake; Roundup Biactive + Silwet L-77) tuvieron los arbustos más pequeños, mientras que los lotes con los tratamientos 6 y 11 (Glifosato + Silwet L-77; Rodeo + Silwet L-77) tuvieron las plantas más grandes. Estos resultados confirmaron que era necesario utilizar covariadas que representaran el tamaño de la planta en tratamiento en el análisis estadístico.



Tres semanas después del tratamiento, el 21 de agosto de 2007, se midió la altura de las plantas. El análisis empleando el volumen del arbusto como covariada indicó que los tratamientos y las dosis de aplicación eran factores significativos, pero que no había interacción. Las dosis más altas de glifosato dieron plantas más bajas. Las alturas de las plantas en los lotes que habían sido tratados con Glyphos + Silwet L-77 y Rodeo + LI-700 (Figura 1) no fueron significativamente menores que las de los controles no tratados. Las plantas más bajas se encontraron en los lotes tratados con Glyphos + Intake, Roundup Biactive sólo y Roundup Biactive + Silwet L-77.

*Fig. 1 cerca de esta ubicación*

### **Calificación de los síntomas**

Una semana después del tratamiento, se desarrollaron síntomas de glifosato en las plantas tratadas. Hubo diferencias muy significativas entre los tratamientos y las dosis de glifosato (Tabla 2). Todos los tratamientos, excepto el de dosis baja de Roundup Biactive + LI-700, fueron significativamente diferentes de los controles y las calificaciones más altas se obtuvieron con las dosis más altas del herbicida. A la menor dosis de glifosato (1 kg/ha), los tratamientos con los productos Glyphos y Roundup Biactive con Silwet L-77 tuvieron calificaciones más altas que otros adyuvantes. El tratamiento con Roundup Biactive + Mixture B también mostró buena actividad. A 2 kg/ha, Glyphos con Silwet L-77 y Glyphos sólo, tuvieron la mayor actividad; mostrando también buena actividad con Roundup Biactive sólo o con Mixture B.

*Tabla 2 cerca de esta ubicación*

Tres semanas después del tratamiento, el 21 de agosto de 2007, se habían desarrollado claramente los síntomas de glifosato y las plantas se estaban muriendo y sufriendo caída de las hojas. De nuevo los análisis estadísticos mostraron efectos significativos del tratamiento y las dosis y además mostraron interacción. Todos los tratamientos mostraron efectos del glifosato (Tabla 3), en comparación con los controles. A la menor dosis de glifosato, las mayores calificaciones de síntomas y, por consiguiente, la mayor actividad las mostraron Glyphos + Intake y Roundup Biactive con Silwet L-77 y Mixture B. A 2 kg/ha, la mayor actividad la mostraron Glyphos sólo, Roundup Biactive sólo, Glyphos con Silwet L-77 o Mixture B y Roundup Biactive con Mixture B. A la mayor dosis de 4 kg/ha, el tratamiento más pobre fue Rodeo + LI-700. Al comparar las formulaciones de

glifosato, Rodeo proporcionó menores calificaciones de vitalidad que Glyphos o Roundup Biactive entre todos los tratamientos adyuvantes, indicando una menor actividad global. Se presentó una tendencia en Roundup Biactive a dar mayores calificaciones a la dosis más baja, en comparación con las otras formulaciones.

*Tabla 3 cerca de esta ubicación*

### **Peso en fresco**

Sólo en seis tratamientos, todos ellos a la dosis de 1kg/ha de glifosato, el peso en fresco de la coca no fue significativamente diferente al de los controles (coeficiente de variación = 21%). Estos tratamientos fueron Glyphos sólo, Glyphos con Cosmo-Flux, Mixture B o Silwet L-77 y las dos mezclas de LI-700 con Roundup Biactive y Rodeo. A 2 kg/ha, la menor biomasa se encontró en los lotes tratados con Glyphos y Silwet L-77 o Mixture B (1.62 kg). Llamativamente, los únicos tratamientos de 2 kg/ha que fueron estadísticamente mayores que éste fueron los otros dos tratamientos con Silwet L-77 y el control. A 4 kg/ha, la menor biomasa se encontró con el tratamiento con Glyphos + Cosmo-Flux, pero ninguno de los lotes fue estadísticamente diferente uno del otro. Sólo los lotes de Rodeo + LI-700 tuvieron pesos en fresco estadísticamente diferentes a los de Glyphos + Cosmo-Flux a esta dosis.

*Tabla 4 cerca de esta ubicación*

### **Recuperación**

Después de haber cortado todos los arbustos de coca, los lotes se dejaron en recuperación, con riego ocasional. El 5 de octubre de 2007, el número de brotes por arbusto mostró que la mayoría de tratamientos con glifosato ofrecían buen control, pero estos datos (no se presentan) fueron demasiado variables (coeficiente de variación > 50%). Sólo la dosis baja de Glyphos + Mixture B fue similar a los lotes de control no tratados. La formulación de Rodeo fue menos activa que las otras formulaciones probadas. Hubo indicios de que a las dosis de 2 y 4 kg/ha de glifosato, la formulación de Glyphos era igual de eficaz sola, comparada con las mezclas con adyuvantes. A 2 kg/ha, las mejores mezclas fueron Glyphos y Roundup Biactive con los adyuvantes Silwet L-77 y Mixture B.



En términos del número de plantas supervivientes, después de nueve semanas de tratamiento sólo la mitad de las plantas control estaban creciendo activamente (Figura 2). En términos de supervivencia, la actividad de glifosato fue pobre en la formulación de Rodeo, respecto a los otros tratamientos. La formulación de Glyphos actuó bien a las dosis de 2 y 4 kg/ha. Roundup Biactive dio una supervivencia global ligeramente mayor, pero a la dosis de 4 kg/ha, el control fue equivalente a la formulación de Glyphos con cualquiera de los adyuvantes. El tratamiento estándar del programa de erradicación es Glyphos + Cosmo-Flux, por lo que la comparación con éste es apropiada. Glyphos + Silwet L-77 se desempeñó igual que Cosmo-Flux, a las diferentes dosis. Roundup Biactive ofreció similar control a las dosis más altas, cuando se mezcló con Silwet L-77 o con Mixture B.

*Figura 2 cerca de esta ubicación*

## **DISCUSIÓN**

En términos de la eficacia del tratamiento, hay varios factores a considerar. Una de las medidas es 'Planta completamente muerta', interpretada a partir de los datos de supervivencia. Sin embargo, la velocidad del efecto es otro factor a considerar. Ésta se puede evaluar a partir de la vitalidad una y tres semanas después del tratamiento y de la biomasa a las tres semanas. Los datos de supervivencia (Figura 2) muestran que el glifosato no formulado Rodeo no actúa tan bien como los otros dos productos. El tratamiento estándar del programa de erradicación, Glyphos + Cosmo-Flux y Glyphos + Silwet L-77, ofreció un buen control a las dosis de 2 y 4 kg/ha. Un control equivalente fue dado por Roundup Biactive cuando estaba mezclado con Silwet L-77 o Mixture B a las dosis más altas. No hubo mayores ventajas en agregar adyuvantes extras a la formulación estándar de Glyphos. El adyuvante LI-700 no fue particularmente efectivo para aumentar la actividad del glifosato. Estos patrones se repitieron en el número de brotes por planta.

La evaluación de la vitalidad de las plantas una semana después del tratamiento indicó que la adición de Silwet L-77 al Glyphos y de Silwet L-77 y Mixture B a Roundup Biactive determinaba mayores síntomas de daño herbicida en las plantas de coca (Tabla 2) en comparación con los otros tratamientos. En la aspersión, el comportamiento de Silwet L-77 fue notoriamente diferente al de los otros tratamientos. La mezcla de aspersión formó una película uniforme sobre las hojas asperjadas, más que un patrón de gotas extendidas.

Después de tres semanas, las calificaciones fueron ligeramente mayores (la vitalidad de la planta fue menor) en los lotes de Glyphos + Silwet L-77 en comparación con Glyphos

sólo o el estándar con Cosmo-Flux a dosis de 4 kg/ha. Las ventajas de adicionar adyuvantes a los productos de glifosato formulado fueron marginales, en términos de la actividad de glifosato observada en esta etapa. El peso de los arbustos de coca tres semanas después de la aplicación también indicó que la actividad del glifosato se modificaba sólo ligeramente con la adición de adyuvantes a los productos formulados (Tabla 4).

Han sido reportados otros estudios extensos sobre las interacciones entre glifosato y los adyuvantes (Collins & Helling, 2002). La adición de adyuvantes podría aumentar cuatro veces la toxicidad del glifosato en la coca, en comparación con el glifosato no formulado. Su investigación mostró los mejores resultados con dos sistemas de glifosato-surfactante, siendo uno una mezcla de concentrado de crop oil y la organosilicona, Silwet L-77, y el otro, una mezcla de surfactante catiónico y surfactantes aniónicos. Collins y Helling, (2002) anotaron que el programa de erradicación en Colombia se había modificado exitosamente a la luz de sus estudios.

Los resultados aquí presentados indican que el glifosato no formulado (Rodeo), incluso cuando se le adicionan adyuvantes, no proporciona un control adecuado de la coca. Para el objetivo de un control total de la coca, la dosis de 4 kg/ha de glifosato da efectos más consistentes; el control total sólo se registró para Glyphos, sólo o con cosmo-Flux o Silwet L-77. No obstante, el 95% del control se alcanzaría también con Roundup Biactive sólo o mezclado con Silwet L-77 o Mixture B. En términos de eficacia herbicida, los resultados indican que las ventajas de adicionar adyuvantes alternos a los dos productos formulados de glifosato, son escasas y usualmente no significativas. De hecho, en este estudio pareció haber poca ventaja en adicionar Cosmo-Flux al producto Glyphos. Lo anterior puede reflejar los resultados conservadores de este estudio con volúmenes de aspersión más grandes, en comparación con el trabajo de Collins and Helling (2002). Sin embargo, en términos de reducir el riesgo ambiental del programa de erradicación aérea, los resultados proporcionan información útil.

Se requiere una evaluación cuidadosa de los riesgos ambientales relativos que poseen los diferentes componentes de las formulaciones de glifosato y los adyuvantes adicionados en el programa de erradicación aérea. Si el mayor riesgo es el que presenta Cosmo-Flux, las alternativas para mezclar con Glyphos, que podrían someterse a pruebas adicionales son Silwet L-77 y Mixture B. Si hay riesgos asociados con el Glyphos formulado, el Roundup Biactive proporciona niveles de control similares, ya sea sólo o mezclado con Silwet L-77 o con Mixture B. Este producto es vendido en Europa por Monsanto Europe S.A., donde está



autorizado también para uso en malezas acuáticas flotantes y emergentes (Monsanto Europe 2007).

Aunque los resultados de nuestra investigación son reveladores, representan tan sólo un estudio único, en un año, en un lugar. Adicionalmente, los tratamientos fueron aplicados utilizando equipos de aspersión terrestre experimentales, relativamente precisos. Los resultados pueden señalar hacia dónde se deben dirigir nuevos trabajos de desarrollo, pero la extrapolación a las condiciones de aplicación aérea podría ser prematura. El comportamiento herbicida puede cambiar con los volúmenes; algunos estudios que comparan las aplicaciones de glifosato a 23, 47, 94 o 190 L/ha han mostrado mejor control de los pastos con los menores volúmenes (Ramsdale et al., 2003). Los volúmenes bajos aparentemente maximizan la eficacia del glifosato, principalmente a través de una alta concentración herbicida en el depósito de aspersión. Por consiguiente, se podría esperar un mayor control de la coca con los volúmenes característicos de la aplicación aérea y un aumento de las diferencias entre los adyuvantes. Sólo se cultivó y probó una variedad de coca; otras variedades podrían ser más o menos susceptibles a las formulaciones probadas.

Con base en este único ensayo de campo, parece haber cierta orientación a reducir la dosis actual de 3.7 kg/ha de glifosato en el programa de erradicación aérea. Se requerirían pruebas adicionales para evaluar este aspecto y para evaluar otros cambios en el actual tratamiento de erradicación. Dichas pruebas comprenderían evaluaciones de campo en diferentes lugares y con diferentes variedades de coca, seguidas de experimentos de aplicación aérea. El comportamiento de las mezclas de adyuvantes cuando son aplicadas a través de boquillas del tamaño de una gota de lluvia puede ser diferente que en las máquinas de aplicación terrestre, por lo que es esencial hacer pruebas adicionales.

### **Conclusiones y recomendaciones**

- La adición de los adyuvantes Silwet L-77 o LI-700 al glifosato no formulado (Rodeo) no fue suficiente para proporcionar un control aceptable de la coca.
- El Roundup Biactive sería una formulación de glifosato apropiada para utilizar, en caso de tener que reemplazar el Glyphos.
- De requerir reemplazo de Cosmo-Flux, los adyuvantes Silwet L-77 y Mixture B podrían ser sustitutos apropiados.

Los tratamientos actuales de la erradicación aérea están funcionando bien en el terreno. Antes de hacer cualquier recomendación de cambio de la mezcla de aspersión, se requiere por lo menos un proceso de dos etapas que a) evalúe los componentes que orientan los

riesgos claves en la formulación actual, seguido del b) establecimiento de estudios de campo apropiados para las alternativas aplicadas desde el aire.

## References

- Bernal, M. H., and Solomon, K. R. 2008a. Toxicity of glyphosate and Cosmo-Flux® to larval and juvenile Colombian frogs 2. Field and laboratory microcosm acute toxicity, *J. Toxicol. Environ. Hlth.*, In this series.
- Bernal, M. H., and Solomon, K. R. 2008b. Toxicity of glyphosate and Cosmo-Flux® to larval Colombian frogs 1. Laboratory acute toxicity, *J. Toxicol. Environ. Hlth.*, In this series.
- Collins, R. T., and Helling, C. S. 2002. Surfactant-enhanced control of two *Erythroxylum* species by glyphosate, *Weed Technol.*, 16:851–859.
- Cosmoagro. 2004. Cosmo-Flux® 411F Label, Cosmoagro S.A., Accessed, October 20, 2004, [www.cosmoagro.com](http://www.cosmoagro.com)
- Ferreira, J. F. S., Smeda, R. J., and Duke, S. O. 1997. Control of coca plants (*Erythroxylum coca* and *E. novogranatense*) with glyphosate, *Weed Sci.*, 45:551-556.
- Monsanto Europe. 2007. Roundup Biactive, Monsanto Europe, Accessed, January 29, 2008. [http://www.monsanto-ag.co.uk/layout/crop\\_pro/portfolio/biactive.asp](http://www.monsanto-ag.co.uk/layout/crop_pro/portfolio/biactive.asp)
- Ramsdale, B. K., Messersmith, C. G., and Nalewaja, J. D. 2003. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy, *Weed Technol.*, 17:589-598.
- Solomon, K. R., Anadón, A., Carrasquilla, G., Cerdeira, A., Marshall, E.J.P, and Sanin, L.-H. 2007. Coca and poppy eradication in Colombia: Environmental and human health assessment of aerially applied glyphosate, *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 190:43-125.
- UNODC. 2007. World Drug Report 2007, United Nations Office on Drugs and Crime, Accessed, January 29, 2008. <http://www.unodc.org/>



**TABLA 1**

Calificación de síntomas para medir el estado de salud de las plantas

Calificación	Efecto	Síntomas
1	Ninguno	Hojas verdes, sanas; Pocas hojas tornándose amarillas, bordes marrón; hojas nuevas
2	Leve	sanas
3	Moderado	Mitad de las hojas amarillas o marrón; algunas recuperándose
4	Fuerte	Mayoría de las hojas amarillas, marrón o desprendidas; ninguna recuperación
5	Muerta	Todas las hojas marrón o caídas

**TABLA 2**

Calificación de síntomas (0-5) para las plantas de coca una semana después del tratamiento con diferentes formulaciones de glifosato y adyuvantes y tres dosis de glifosato (SED = 0,11; df = 2.041)

Producto de glifosato	Adyuvante		Dosis de glifosato		
	Nombre	Concentración (%v/v)	1 kg/ha	2 kg/ha	4 kg/ha
	Agua				
Ninguno	control	-	2,2	2,2	2,0
Glyphos	-	-	2,6	3,2	3,3
Glyphos	Cosmo-Flux	2,3	2,7	3,0	3,7
Glyphos	Intake	0,5	2,8	2,7	3,2
Glyphos	Mixture B	2	2,5	3,0	3,2
Glyphos	Silwet L-77	1	3,2	3,3	3,5
Roundup Biactive	-	-	2,7	3,1	2,8
Roundup Biactive	Silwet L-77	1	3,0	2,9	3,3
Roundup Biactive	LI-700	0,5	2,3	2,9	3,2
Roundup Biactive	Mixture B	2	3,1	3,1	3,3
Rodeo	Silwet L-77	1	2,9	3,0	3,1
Rodeo	LI-700	1	2,5	2,6	2,6

LSD global (P=0,05) = 0,21

**TABLA 3**

Calificación de síntomas (0-5) para las plantas de coca tres semanas después del tratamiento con diferentes formulaciones de glifosato y adyuvantes y tres dosis de glifosato (SED = 0,12; df = 2.041)

Producto de glifosato	Adyuvante		Dosis de glifosato		
	Nombre	Concentración (%v/v)	1 kg/ha	2 kg/ha	4 kg/ha
	Agua				
Ninguno	control	-	2,2	2,4	2,2
Glyphos	-	-	2,5	4,1	4,2

*Los adyuvantes del glifosato afectan el control de la coca (Erythroxylum coca)*

Glyphos	Cosmo-Flux	2,3	2,5	3,5	4,4
Glyphos	Intake	0,5	3,2	3,3	4,3
Glyphos	Mixture B	2	2,7	3,7	4,5
Glyphos	Silwet L-77	1	3,1	3,8	4,5
Roundup Biactive	-	-	3,1	3,8	4,1
Roundup Biactive	Silwet L-77	1	3,3	3,4	4,4
Roundup Biactive	LI-700	0,5	2,7	3,3	4,0
Roundup Biactive	Mixture B	2	3,2	3,7	4,3
Rodeo	Silwet L-77	1	2,8	3,2	3,9
Rodeo	LI-700	1	2,7	3,1	3,4

LSD global (P=0,05) = 0,23

**TABLA 4**

Peso en fresco (kg) de 20 arbustos de coca tratados con diferentes formulaciones de glifosato y adyuvantes y tres dosis de glifosato. Plantas recolectadas el 22 de agosto de 2007, tres semanas después del tratamiento (SED = 0,44; df = 64)

Producto de glifosato	Adyuvante		Dosis de glifosato		
	Nombre	Concentración (%v/v)	1 kg/ha	2 kg/ha	4 kg/ha
Ninguno	Agua control	-	3.84	3.63	3.99
Glyphos	-	-	3.64	1.84	1.68
Glyphos	Cosmo-Flux	2.3	3.12	1.83	1.20
Glyphos	Intake	0.5	2.38	2.15	1.48
Glyphos	Mixture B	2	3.02	1.62	1.38
Glyphos	Silwet L-77	1	3.02	1.62	1.48
Roundup Biactive	-	-	2.59	1.74	1.66
Roundup Biactive	Silwet L-77	1	2.59	2.48	1.59
Roundup Biactive	LI-700	0.5	3.27	1.96	1.21
Roundup Biactive	Mixture B	2	2.24	1.89	1.55
Rodeo	Silwet L-77	1	2.81	2.76	1.65
Rodeo	LI-700	1	3.47	2.25	2.23

LSD global (P=0.05) = 0.874



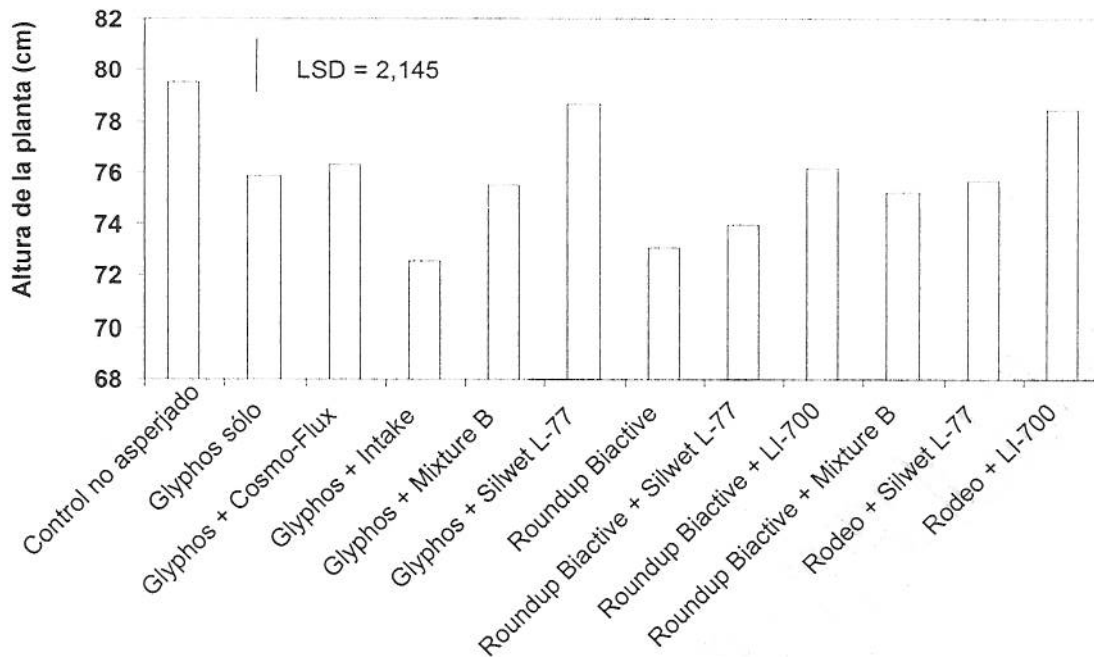


FIGURA 1. Altura media de las plantas de coca (cm) en los lotes tratados con diferentes formulaciones de glifosato y adyuvantes tres semanas antes. (SED=1,094; df=2.041)

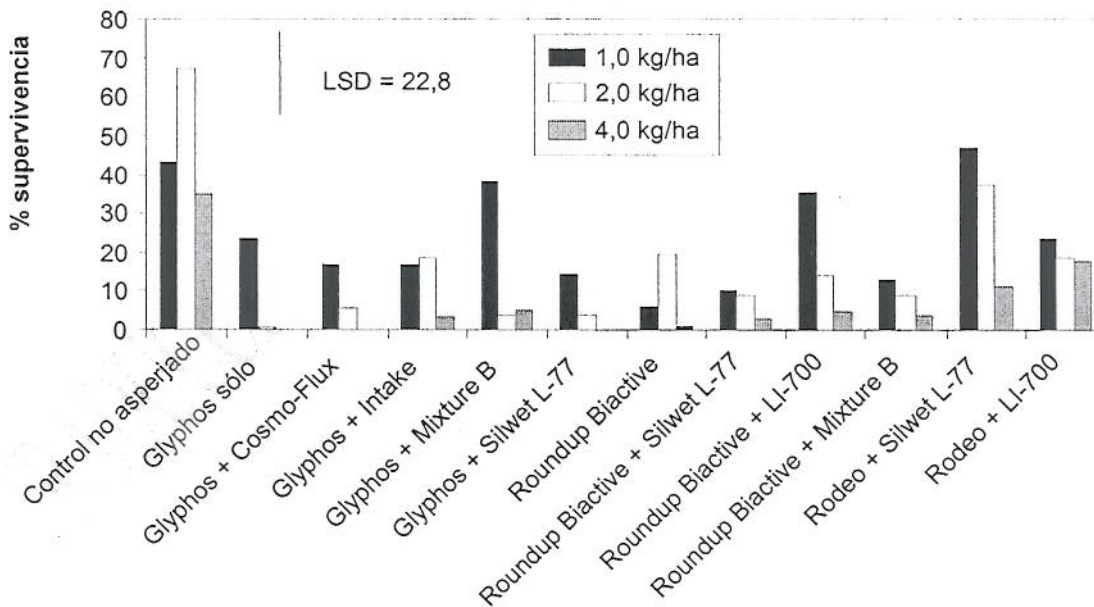


FIGURA 2. Porcentaje de supervivencia de arbustos de coca después del tratamiento con diferentes formulaciones de glifosato y adyuvantes y tres dosis de glifosato. Datos recolectados nueve semanas después de la aplicación y seis semanas después de que las plantas fueron cortadas hasta el suelo.

