

Eppur si muove: el efecto de las aspersiones aéreas con glifosato en el desplazamiento forzado en Colombia*

Angel Santiago Pardo González†

Resumen

En este estudio se analiza la relación entre el desplazamiento forzado interno y el Programa de Aspersiones Aéreas con Glifosato (PECIG) durante el Plan Colombia, utilizando Variables Instrumentales (IV) para corregir los problemas de endogeneidad causados por la asociación del programa con el conflicto armado. Esta investigación muestra que un aumento de un punto porcentual en la intensidad de aspersión está relacionado con un aumento de 3,73 puntos porcentuales en la tasa de desplazamiento en un periodo de tres meses después de asperjar. Al evaluar individualmente el efecto sobre los meses posteriores al programa, se encuentra que estos aumentos fueron de 1,28 puntos porcentuales en el mes inmediatamente posterior; 1,47 puntos porcentuales, dos meses después de la aplicación y 1,3 puntos porcentuales, después del tercer mes. Del mismo modo, las estimaciones muestran que la reiteración en las fumigaciones y un alto volumen en los cultivos de coca son un canal directo para explicar el aumento en las tasas de desplazamiento causadas por el PECIG.

Palabras clave: Desplazamiento forzado, Programa de Aspersiones Aéreas con Glifosato (PECIG), Política Antidroga, conflicto armado, Plan Colombia, cultivos de coca.

Código JEL: H4

*Agradezco a mi asesor Ignacio Sarmiento y a mi co-asesor Carlos Toruño por sus asesorías, dispoción y comentarios. A María Juliana Durán, Andres David Lagos, Edicson Luna y Mariana Posada por todo su apoyo incondicional en este trabajo. A Eduard Martínez y Manuel Fernández por sus aportes y buenas ideas al inicio de esta investigación. Al Registro Único de Víctimas (RUV) y la Dirección Nacional de Policía Antinarcóticos (DIRAN) por haber compartido sus datos. A los investigadores de la Comisión de la Verdad (CEV) por compartirme toda su guía, experiencia y conocimiento para desarrollar este estudio.

†Universidad de los Andes, facultad de Economía. Correo: as.pardo10@uniandes.edu.co.

1. Introducción

En Colombia el conflicto armado ha dejado al menos 8.391.662 víctimas de desplazamiento forzado interno registradas (RUV, 2022).¹ Esto equivale aproximadamente al 16% de la población colombiana actual. Aunque son múltiples las razones por las que una víctima decide desplazarse de su territorio, probablemente la más evidente es la violencia que generan las disputas territoriales (Arjona, 2016; Ballvé, 2012; Czaika & Kis-Katos, 2009; Deacon et al., 2019; Kalyvas, 2006; Lozano-Gracia et al., 2010). Sin embargo, también existen eventos asociados a la guerra que van más allá de la violencia e inciden sobre el bienestar de las poblaciones obligándolas a movilizarse masivamente (Ibáñez & Vélez, 2008; Steele et al., 2007). Dentro de estos eventos, se ha estudiado poco la incidencia que la lucha contra las drogas, en el marco del Plan Colombia, tuvo sobre el desplazamiento forzado, en especial el Programa de Aspersiones Aéreas con Glifosato (PECIG).²

Bajo este marco, el objetivo de este trabajo es determinar cuál fue la magnitud del efecto del PECIG sobre el desplazamiento forzado durante el Plan Colombia. A pesar que el desplazamiento está ampliamente documentado en Colombia, no sucede lo mismo con sus motivos. La dificultad de identificar a cabalidad las causas del desplazamiento tiene que ver, entre otras cosas, con que para las víctimas el proceso de registro resulta más complicado cuando no está asociado a la violencia derivada del conflicto. En el caso del PECIG, el Registro Único de Víctimas (RUV) asocia 9155 víctimas de desplazamiento forzado con fumigaciones de cultivos como su causa (anexo 1). Sin embargo, desde la ley 387 de 1997, las aspersiones con glifosato dejaron de ser una razón directa considerada dentro del registro de las víctimas.³ Esto quiere decir que la cifra mencionada es producto de un claro subregistro.

En este sentido, esta investigación busca demostrar la relación existente entre las aspersiones aéreas y los desplazamientos forzados registrados. No obstante, por el diseño del Plan Colombia, los municipios en los que se asperjó están asociados directamente con el conflicto armado, que son los que más sufren de desplazamientos forzados. Esto implica que evaluar la relación causal de las fumigaciones sobre las migraciones forzadas podría presentar sesgos en la estimación. Para corregirlos, se utilizan Variables Instrumentales (IV) que permite identificar el efecto causal de ambas variables través de un instrumento exógeno.

Para efectos de esta investigación se emplea como instrumento la fuerza de los vientos. Dentro de los lineamientos de fumigación, el viento es una variable decisiva a la hora de fumigar. El instrumento permite encontrar la variación exógena en la intensidad de las aspersiones en la medida que afectaba la probabilidad de su ejecución en ciertos territorios. Esto permite

¹El Registro Único de Víctimas empezó su registro en 1985 y continua hasta la actualidad

²El Plan Colombia fue un acuerdo de cooperación bilateral con Estados Unidos para luchar contra el narcotráfico y acabar con el conflicto armado colombiano, cuyo programa principal consistía en la erradicación aérea de cultivos de coca.

³Decreto 2562 de 2001. Donde se establece una atención especial a las víctimas de desplazamiento forzado por violencia.

establecer una relación entre las aspersiones aéreas y el desplazamiento forzado únicamente en los municipios en los que se aplicó el programa y en términos de relaciones de cambio.

Los resultados de este trabajo estiman que el aumento de un punto porcentual en la intensidad de aspersión, se relaciona con 3,73 puntos porcentuales más en la tasa de desplazamiento agregada en el tiempo. Al evaluar individualmente el efecto sobre los meses posteriores al programa, se encuentra que estos aumentos fueron de 1,28 puntos porcentuales en el mes inmediatamente posterior; 1,47 puntos más, dos meses después de la aplicación y 1,3 puntos porcentuales más, después del tercer mes. Esto, evidencia que la decisión de desplazarse no es inmediata, pero sí ocurre en el corto plazo luego de la fumigación.

Se encontró también que los municipios que tenían una mayor cantidad de cultivos de coca, tienen un efecto diferenciado en el tiempo estadísticamente mayor a los que tienen menor volumen (tomando como referencia los municipios del cuartil más bajo de coca). Los resultados sugieren que los cultivos de coca son un intensificador del conflicto armado en el momento en el que se asperjaba. Esto dado que alrededor de esta economía se establecen grupos armados que buscan proteger los cultivos y mantener su control territorial.

Frente a esto, son cuatro los canales que más se han estudiado, respecto a las consecuencias de las fumigaciones, que pueden explicar su relación con la migración forzada: las alteraciones en salud, los daños ambientales, la intensificación de la violencia y los efectos socioeconómicos adversos. En ese sentido, cuando las personas se encontraban altamente expuestas a estos contextos derivados de la aplicación del PECIG es de esperarse que su intención de permanecer en su territorio cambié. Esta investigación encuentra que a medida que aumentaba el número de aplicaciones del programa, la tasa de desplazamiento forzado en los municipios también aumentaba. Esto implica que existe un efecto diferenciado entre los municipios que estuvieron constantemente expuestos al programa respecto a los que asperjaron ocasionalmente. Por lo tanto, el canal que intensificaba el desplazamiento forzado era la re-aplicación constante del PECIG en los territorios.

La mayoría de estudios se han centrando en la relación del narcotráfico como financiador y prolongador de diferentes conflictos armados en el mundo (Angrist & Kugler, 2008; Ballvé, 2012; Cornell, 2005; Gutiérrez & Thomson, 2020; Mercille, 2011; Monteleone, 2016), más que en la evaluación de los programas de política antidroga frente a las guerras civiles. Es decir, son menos los estudios que exponen estos programas como un agravante de la violencia en los territorios (Abadie et al., 2014; Reyes, 2014; Turkoglu, 2022; Zuleta & Martínez Ferro, 2017). En consecuencia, esta investigación contribuye a esa literatura cuantificando el efecto que tuvo el principal programa de política antidroga como un intensificador del conflicto armado y explicando los posibles canales por los que se da esta relación.

Paralelamente, esta investigación ofrece elementos para el diseño de políticas públicas en dos líneas: la política antidroga y los programas para mitigar el conflicto armado. Recientemente se ha debatido la posibilidad de legalizar y retomar las aspersiones aéreas como principal

política para combatir el narcotráfico.⁴ Han sido múltiples los estudios que cuestionan su efectividad (Gaviria & Mejía, 2011; Mejía, 2016) y muestran sus consecuencias negativas sobre la población (Camacho & Mejía, 2014; Reyes, 2014; Rodríguez, 2020). Estos resultados contribuyen al debate de los costos y beneficios de este programa, en particular, muestran evidencia de las consecuencias no deseadas que las aspersiones con glifosato generan sobre la población.

La segunda línea se relaciona con los programas de seguridad. Las dinámicas del conflicto armado en los territorios son complejas y tienen múltiples elementos a considerar al formular políticas públicas. Diversos estudios demuestran que las políticas de seguridad en regiones con conflicto y baja presencia estatal, terminan incentivando el clientelismo armado y la violencia en contra de la población civil (Acemoglu et al., 2020; Ballentine & Nitzschke, 2003; Fergusson, 2017; Gutiérrez-Sanín & Wood, 2017). Este trabajo proporciona elementos que ponen en el centro de la discusión las consecuencias negativas que estos programas antidrogas tuvieron en los territorios asperjados con glifosato, que en la mayoría de casos, eran desprotegidos.

Frente a este programa, han sido múltiples las quejas de campesinos que se vieron obligados a migrar por los efectos del uso del glifosato y no han encontrado atención estatal, pues como lo afirma una lideresa social de Argelia, Cauca:

“El desplazamiento que se tuvo, que se vio en ese tiempo, fue bastante masivo. La gente salió y el territorio quedó prácticamente solo y la atención a las comunidades fue mínima por parte del gobierno. Como digo, no había un plan de contingencia para atender a las personas desplazadas por las fumigaciones; no lo hubo, ni lo hay” (Yonda, 2021)

El resto de este artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en la sección dos se exponen cuáles son las causas del desplazamiento forzado, desde lo que ya se ha abordado desde la literatura. La tercera sección es un contexto del Plan Colombia centrado en el Programa de Aspersiones Aéreas con Glifosato (PECIG). La cuarta sección trata el marco conceptual. La sección cinco determina la estrategia empírica, los problemas de identificación y la construcción de la variable instrumental. La sexta expone los datos y sus estadísticas descriptivas. La sección siete muestra los resultados. la sección ocho expone las pruebas de robustez de las estimaciones. La novena parte profundiza en los mecanismos de entendimiento de los resultados y la última sección contiene las conclusiones.

2. Causas del Desplazamiento Forzado Interno

El desplazamiento forzado interno es el hecho victimizante de mayor magnitud en las guerras civiles actuales. De acuerdo con el Centro Global de Monitoreo de Desplazamiento Interno - IDMC (2022), para finales del 2021 la cifra de personas forzadas a migrar al interior de sus

⁴Para el 2022 se debatió en el congreso sobre la posibilidad de eliminar la prohibición de las aspersiones con glifosato en Colombia. Para más información ver: <https://www.portafolio.co/internacional/estados-unidos-estaria-de-acuerdo-con-posibles-fumigaciones-aereas-en-colombia-575312>.

países ascendía a 59 millones. Esto ha enfocado los esfuerzos de política pública y los estudios sobre migración forzada a entender las causas que la producen alrededor de los diferentes conflictos armados en el mundo (Arjona, 2016; Kalyvas, 2006; Steele, 2019; Turkoglu, 2022).

La causa más directa es la violencia, que usualmente no es aleatoria. En las guerras internas la población civil es un actor clave para la supervivencia de los grupos armados, lo cual los lleva a buscar su control constatemente a través de la coacción. Por lo tanto, en los procesos de disputa por el control territorial surgen la mayoría de violaciones a derechos humanos que llevan a poblaciones a movilizarse masivamente (Arjona, 2016; Crisp, 2010; Ibáñez & Vélez, 2008; Kalyvas, 2006; Steele, 2019). Además, los procesos de recuperación de la presencia estatal en estas regiones, en muchas ocasiones, también viene acompañada de enfrentamientos que dejan a los civiles en el medio de acciones violentas. Estas políticas de seguridad basadas en violencia, en espacios de menor o nula presencia estatal, producen efectos adversos sobre los civiles que, generalmente, se convierten en desplazamientos forzados (Acemoglu et al., 2020; Comisión de la Verdad, 2022; Fergusson, 2017; Moore & Shellman, 2006; Turkoglu, 2022).

Por otra parte, las guerras civiles obedecen a patrones o dimensiones que van más allá de la violencia. Estas también se relacionan con las razones por las cuales las personas deciden abandonar sus hogares. Por ejemplo, el miedo y la incertidumbre es una causa común que motiva a las personas a movilizarse (Griffiths, 2020; Hammar, 2020). También, las redes de apoyo que pueden existir en otros territorios, incluso aquellas conformadas por personas que previamente se desplazaron, aumentan la probabilidad de que las personas en regiones vulnerables migren a ellos (Chávez-Plazas & Bohórquez-Bohórquez, 2011; Revkin, 2021; Wachter & Gulbas, 2018). En este sentido, el estudio de las causas del desplazamiento forzado debe preceder la comprensión de las dinámicas del conflicto en cada país (Steele, 2019).

En Colombia las causas del desplazamiento forzado, además de la violencia directa, se han asociado principalmente a razones económicas, sanitarias y políticas (Bandiera, 2021; CNMH, 2015; Comisión de la Verdad, 2022; Deacon et al., 2019; Grajales, 2017; Ibáñez, 2008; Steele et al., 2007). En primer lugar, la usurpación ilegal de la tierra ha sido un componente estratégico y económico para el sostenimiento de la guerra: al despoblar un territorio, los grupos armados organizados pueden aprovechar sus recursos naturales y el resto de sus activos (Grajales, 2017; Ibáñez, 2008). Relacionado a esto, estudios han mostrado que ante un aumento en los precios de los stocks en regiones vulnerables, los desplazamientos también se incrementan (Bandiera, 2021). En esa misma línea, los cultivos ilícitos y los territorios que pertenecen a corredores de comercio de droga también motivan desplazamientos masivos, con el propósito de integrar la cadena de producción del narcotráfico (CNMH, 2015).

Los factores políticos también son de importancia para la explicación de las causas de la migración forzada. Un estudio sobre las elecciones en Urabá demuestra que, en períodos electorales, la violencia aumenta y los actores armados buscan expulsar a personas pertenecientes a movimientos sociales (Steele, 2011). Por otro lado, las relaciones entre actores armados y políticos locales generan dinámicas de poder social y político, donde el desplazamiento es un mecanismo de control e intimidación (CNMH, 2015; Comisión de la Verdad, 2022).

Las causas sanitarias se pueden dividir en dos: las afectaciones medioambientales y a la salud de los campesinos. En este sentido, estudios han mostrado que en Putumayo, las voladuras de oleoductos y las aspersiones aéreas producían daños ambientales y en el bienestar de la población que los forzaba a irse de sus tierras (Comisión de la Verdad, 2022; Deacon et al., 2019). Además, varias investigaciones muestran que el conflicto armado ha intensificado las deforestaciones y la minería ilegal afectando directamente la conservación del medio ambiente y la biodiversidad de las regiones. (ICG, 2022; Mier, 2015; Rettberg et al., 2018).

De acuerdo con lo anterior, diferentes investigaciones han indagado sobre los orígenes y causas de la migración forzada. Sin embargo, a nivel cuantitativo, existen pocos estudios que analicen los efectos no deseado de las políticas de seguridad y antidroga en Colombia. Del mismo modo, no se ha cuantificado la relación entre las aspersiones aéreas como variable causal del desplazamiento forzado. Este trabajo contribuye a la literatura estimando el efecto que tuvo la política antidroga con el Programa de Erradicación Aérea con Glifosato (PECIG) sobre el desplazamiento forzado en el periodo comprendido entre 2004 y 2012.

3. Programa de Erradicación Aérea con Glifosato (PECIG)

En 1999 se estableció el Plan Colombia, un acuerdo bilateral entre Colombia y Estados Unidos con el objetivo de combatir el narcotráfico y el crimen organizado, y así, contribuir a la consecución de la paz y el desarrollo económico en Colombia (DNP, 2005). Para ello, se diseñaron cuatro etapas (anexo 2), comenzando por la reducción del 50% de los cultivos de coca en el territorio colombiano. Bajo este marco, se creó el Programa de Erradicación Aérea con Glifosato (PECIG), a cargo de la Policía Nacional Antinarcóticos de Colombia. Este fue un programa se aplicado masivamente en los municipios con mayor presencia de cultivos de coca y actores al margen de la ley (DNP, 2005).

Aunque las aspersiones aéreas con glifosato ya se habían utilizado para combatir el narcotráfico desde los años 70, con la implementación del Plan Colombia se intensificó su uso. Para minimizar los efectos ambientales de estas erradicaciones químicas de cultivos, se propuso un Plan de Manejo Ambiental (PMA) de regulación para el PECIG. Este plan se implementó desde finales de 2003⁵ y estableció parámetros en relación a la cantidad de glifosato a utilizar y los periodos para su difusión, de acuerdo a las siguientes condiciones contextuales: la velocidad del viento, la probabilidad de lluvia, la humedad del suelo, la temperatura y la altura las aeronaves (DIRAN, 2020). Además, para simplificar la aplicación del PECIG, en el PMA agruparon los municipios de acuerdo a su cercanía con los aeropuertos habilitados para la fumigación y se divieron en nucleos. Esto implicó que la decisión espacio temporal de la aplicación del programa no era solo de carácter municipal, sino que estaba condicionada por el núcleo al que pertenecía cada región (anexo 4).

⁵Resolución 1054 del 30 de septiembre del 2003.

A pesar de la existencia del Plan de Manejo Ambiental, con la aplicación del PECIG empezaron a surgir demandas nacionales e internacionales en contra del Estado colombiano por los efectos del glifosato sobre la población. Para 2005, el colectivo de abogados José Alvear Restrepo presentó una demanda colectiva de más de 1.400 personas de 58 veredas del Putumayo afectadas por el herbicida (CAJAR, 2005). Más tarde, en 2008, Ecuador presentó una demanda internacional ante la Haya por las afectaciones a la población habitante en la frontera. Esta fue resuelta en contra de Colombia en 2013 (Cardenas, 2020). Esto generó que ese mismo año se abriera el debate sobre el uso de este herbicida, lo que produjo una disminución a la mitad de su aplicación. En 2014, este debate fue estudiado por la Corte Constitucional, que prohibió su uso a partir del año 2015 a razón de los efectos en salud que causaba en la población.

Bajo este contexto, el período de estudio de análisis se extiende entre 2004, cuando se implementaron los lineamientos y parámetros del PMA para aplicar el programa; hasta 2012, el año previo a la disminución radical de las aspersiones por las denuncias de sus efectos negativos. Como resultado, este trabajo contribuye al debate del uso del glifosato en la lucha contra el narcotráfico, mostrando los efectos negativos que este tuvo sobre la población desplazada.

4. Marco Conceptual

La decisión detrás de un desplazamiento forzado no está sujeta a una sola razón. Son una suma de eventos que ocurren en un territorio que sufre la guerra. Las víctimas tienen que ponderar la disyuntiva entre irse, y enfrentarse a un nuevo contexto, o quedarse y afrontar las consecuencias de hacerlo, ambas opciones bajo situaciones de plena incertidumbre. En este sentido, Ibañez (2008) modela esta decisión como la situación en la que la utilidad esperada del desplazamiento (u^D) es mayor a la utilidad esperada de permanecer en el sitio de origen (u^O).

$$u^D > u^O \quad (1)$$

Este trabajo busca entender si las aspersiones con glifosato son una variable que afecta esa utilidad de permanecer en el sitio de origen. Es decir, se centra en estimar la derivada parcial de las aspersiones (g) respecto a la utilidad de quedarse en su hogar.

$$\frac{\partial U(g)^O}{\partial g} \quad (2)$$

No obstante, es probable que la manera en la que las aspersiones aéreas podrían impactar esta utilidad no sea inmediata, pues estas tienen distintas consecuencias que anteceden el desplazamiento.

Para comenzar, se ha demostrado que el glifosato en grandes cantidades concentradas genera problemas de salud (Camacho & Mejía, 2014; Ordoñez, 2020; Zhang et al., 2019). En segundo lugar, a nivel económico, destruye cultivos lícitos a su paso y produce daños en la fertilidad del suelo (Bromilow et al., 1996; Peres et al., 2003; Ruiz-Toledo & Sánchez-Guillén, 2014). También, a nivel ambiental el herbicida tiene efectos de largo plazo en la contaminación de ríos y lagunas, junto a daños a la biodiversidad (Brauman et al., 2011; Cox, 1995; Lajmanovich et al., 2015; Relyea, 2005). Por último, tiene efectos sobre la violencia en los territorios, dado que genera en las guerrillas la necesidad de ratificar su control territorial (Abadie et al., 2014; Reyes, 2014). La aproximación a entender mejor estos canales se presenta en la sección 9.

Dado que el interés de este trabajo es entender la relación entre las aspersiones áereas y el desplazamiento forzado. Esto incluye responder a la pregunta de si el efecto sobre el desplazamiento es inmediato u ocurre rezagadamente. En ese sentido, la medida de interés es la derivada en distintos períodos de tiempo posteriores a la fumigación con glifosato:

$$\frac{\partial U(g)_t^O}{\partial g_{t-p}} \quad (3)$$

Donde $t-p$ es el período de la aplicación y t es el periodo que se ve afectado por el programa.

En resumen, esta investigación se enfoca en medir la magnitud y dirección de $\frac{\partial U(g)_t^O}{\partial g_{t-p}}$, lo que significa que el análisis se limita a los municipios donde se implementó el programa. Por lo tanto, el objetivo no es evaluar el efecto de asignación del programa sobre el desplazamiento forzado, sino medir la relación de cambio al aumentar su intensidad de aplicación. Además, este análisis también busca responder a la pregunta de si hay efectos dinámicos en el tiempo de esta relación.

En la siguiente sección se describe la estrategia empírica utilizada para cuantificar este efecto. Esta implica medir la intensidad de aspersión y proponer un modelo que relacione la pérdida de utilidad de la población con el PECIG, utilizando como indicador, el número de desplazamientos forzados relacionados con las aspersiones aéreas con glifosato.

5. Estrategia Empírica

Para estimar la relación entre las aspersiones con glifosato y el desplazamiento forzado interno, se mide la variación a nivel municipal y mensual. Desagregar a nivel municipal es necesario porque este era el criterio división para la aplicación del programa. Además, se desagrega la información mensualmente para capturar las diferencias en el efecto según la intensidad de la aspersión. Es importante resaltar que el límite máximo de aplicación del PECIG era de tres meses en un año.⁶

⁶Una vez se aplicaba el programa era necesaria una ventana de tiempo de 4 a 6 meses para volver a fumigar.

Frente a esto, la intensidad de las aspersiones se mide de acuerdo con el número de hectáreas asperjadas en relación con el tamaño del municipio. En la figura 5 se muestra que el tamaño de los municipios es variable, por lo que el número de hectáreas asperjadas no necesariamente refleja los niveles de intensidad con los que se aplicó el programa. En cambio, al tener en cuenta el área municipal, se puede alcanzar una medida de comparación más homogénea. De este modo, la intensidad de la aspersión es entendida como la tasa de aspersión por cada 100 hectáreas del municipio. Esta se expone a continuación:

$$\text{Intensidad aspersión}_{it} = \frac{\text{Hectareas asperjadas}_{it}}{\text{Hectareas totales}_i} * 100$$

Siguiendo la misma lógica, el desplazamiento forzado está medido en tasas mensuales por cada 100 habitantes, tomando como año base el 2003, un año antes del periodo de estudio. La decisión de medir los niveles de desplazamiento por medio de tasas está relacionada con obtener una medida de intensidad que permita estandarizar las comparaciones, ya que los municipios objeto de estudio tienen una densidad poblacional radicalmente distinta. Además, la razón de tomar un año base que no se encuentre dentro del periodo de estudio está dada por la incidencia que el desplazamiento forzado tiene sobre los niveles de población, por lo que afectaría directamente la medida de estandarización. Por último, es importante tener en cuenta que la tasa de desplazamientos mide el número de hechos, más no de víctimas, debido a que hay personas que pudieron haber sido victimizada más de una vez. De este modo, la tasa se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tasa desplazamiento}_{it} = \frac{\text{Desplazamientos forzados}_{it}}{\text{poblacion}_i \text{ 2003}} * 100$$

En consecuencia, la relación entre ambas variables se modela mediante la siguiente ecuación.

$$y_{it} = \alpha + \beta_{t-p} AG_{it-p} + \theta X_{it-p} + \delta_i + \delta_{t-p} + \delta_n + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Donde y_{it} es la tasa de los desplazamientos mensuales por cada 100 habitantes en el municipio i en el mes t y AG_{it-p} es la intensidad de la aplicación del programa en ese mismo municipio pero en un periodo p previo. Es decir, si $p = 1$ las aspersiones aéreas se suministraron en el mes justamente anterior. Esto se debe a que no se puede establecer una relación temporal exacta entre los desplazamientos y el período de fumigación, ya que no hay forma de determinar cuál de los dos eventos ocurrió primero. Si el modelo se mantuviera en el mismo período t , se incurriría en un error de medición que implicaría que el coeficiente β tienda a cero (Angrist & Pischke, 2009). Además, como la decisión de desplazarse no es inmediata, medir el efecto dinámico del programa permite conocer la ventana de tiempo en la que las personas tienden a desplazarse después de la aspersión. Este efecto se ve representado por β_{t-p} el cual varía de acuerdo al periodo en el que se evalúe el modelo.

Por otro lado, la matriz de controles X_{it-p} contiene variables que influían en la asignación y la aplicación del programa. Estas también se encuentran en el periodo $t - p$ debido a que son las variables contextuales que se tenía en cuenta antes y durante el momento de aspersión. En cuanto a las variables que afectaban la asignación del programa, se incluyeron unas asociadas a la presencia de grupos armados, principalmente enfocadas en violencia contra la población civil y enfrentamientos contra el ejército.⁷ Además, dado que uno de los objetivos fijados del plan era promover el desarrollo económico en los municipios desprotegidos, se utilizó la variable de luminosidad nocturna municipal para aproximarse al desarrollo económico en cada región (Baugh et al., 2010; Elvidge et al., 1997).

Del mismo modo, existen variables que afectaban directamente la aplicación del programa determinadas por el PMA, por esto se añadió la intensidad de las lluvias como una variable que controla la probabilidad de aspersión. Además, se añadieron los choques de viento municipales, debido a que cuando estos se encuentran por encima de un rango de 7,4km/h para helicópteros y 10km/h para avionetas era prohibida la aspersión. Por lo tanto, esta variable controla los días del mes en donde los vientos eran anormales en los municipios. Por otro lado, no se incluyeron los cultivos de coca debido a que el objetivo principal del programa era la reducción de estos, lo cual significa que más que una variable de control es una variable asociada a los resultados, por lo tanto su inclusión podría generar sesgos en el modelo (Angrist & Pischke, 2009). No obstante, dado que el programa estaba enfocado en las zonas rurales donde se plantaban estos cultivos, se introdujo el uso del suelo como una variable que ayuda a medir los cambios en la vegetación y la presencia de cultivos lícitos e ilícitos.

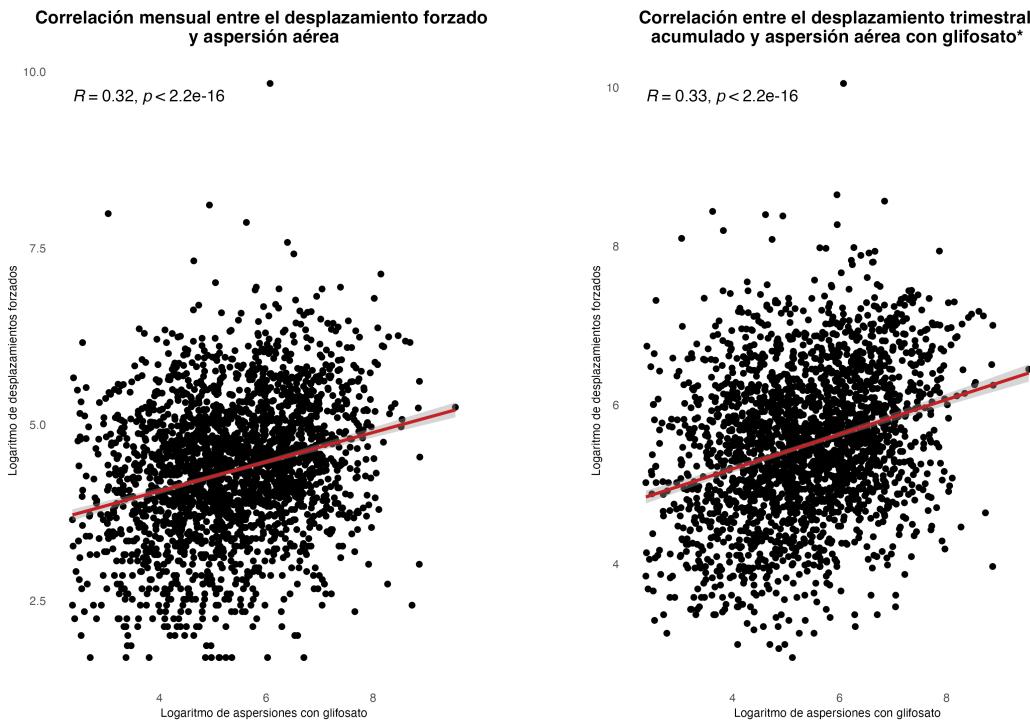
Para controlar la variabilidad sistemática relacionada con factores no observados, se aplican efectos fijos por municipio, núcleo, año y mes. Los efectos fijos por municipio (δ_i) controlan la heterogeneidad geográfica, características culturales u otros factores que no varíen en el territorio. Los efectos fijos por núcleo (δ_n) captan las diferencias en el efecto de acuerdo a la agrupación que el programa le asignó a cada región para su fumigación (anexo 4). Los efectos fijos (δ_{t-p}) por año y mes permiten controlar la posible tendencia temporal de la relación entre las variables, paralelamente también controlan la posible estacionalidad en los datos. Al incorporar estos efectos fijos, se diferencian los efectos de las variables explicativas y los factores específicos de cada unidad geográfica y temporal.

Además, ε_{it} es el error de regresión de cada municipio y cada mes. Dado que la aspersión solo se daba hasta tres veces al año, en el resto de los meses no se aplicaba el programa. Esto significa que, en las observaciones hay grupos de observación que no varían a nivel municipal. De este modo, los errores convencionales pueden subestimar la varianza de los coeficientes (Moulton, 1986), por lo tanto, para corregirlos se clusterizaron a nivel municipal.

La figura 3 muestra una regresión de Mínimos Cuadrados Ordinarios entre el desplazamiento forzado interno del mes siguiente y las aspersiones con glifosato. La línea roja representa la medida de ajuste del modelo. La figura indica que hay una correlación positiva tanto para los desplazamientos en el mes siguiente como para el acumulado en los tres meses siguientes. Sin

⁷Las variables asociadas a la violencia también se tomaron en tasas por cada 100 habitantes.

embargo, el PECIG fue implementado como parte de un acuerdo entre Colombia y Estados Unidos para combatir la guerra interna en Colombia. Dado que el desplazamiento forzado es la violación de derechos humanos a la que más recurren los actores armados en Colombia, al tener en cuenta el contexto de estos municipios, existe un sesgo de selección que podría subestimar la relación existente entre ambas variables.



*El primer mes de desplazamiento forzado acumulado se cuenta a partir del mes en el que asperjó

Figura 1: Correlación Desplazamiento y Aspersión Aérea con Glifosato

Para comprobar si existe una correlación espacial entre ambas variables, la figura 4 muestra su asociación espacial LISA. El color rojo representa los puntos en los que se aglomeró de manera fuerte la correlación, es decir, donde la tasa de desplazamiento y la tasa de aspersiones fueron altas. El color azul muestra los puntos donde ambas variables tuvieron un bajo comportamiento. El color azul claro refleja las regiones donde hubo altas tasas de desplazamiento, pero bajas tasas de aspersión; mientras que el color amarillo claro representa el caso contrario. Por su parte, los municipios en gris son aquellos donde no resultó una correlación significativa entre ambas variables.

En este caso, se observa que la correlación se aglomera en los municipios del sur país y en el Litoral Pacífico, junto con la región del Magdalena Medio y la frontera con Venezuela en Cucutá, mientras que en el centro del país no se observa ninguna correlación. Esto indica que la

dinámica de estas dos variables se concentra en regiones específicas del país que históricamente han estado fuertemente asociadas con el conflicto armado y tienen dinámicas muy diferentes a las de los municipios centrales que no recibieron el programa. Por lo tanto, los municipios donde se aplicó el programa son sistemáticamente diferentes respecto a los que no lo recibieron, lo que implica que esta correlación no se puede considerar como una relación causal.

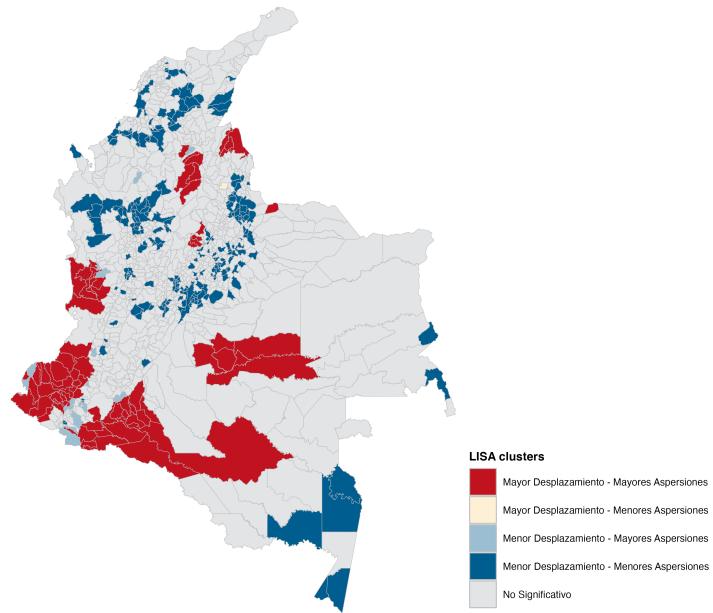


Figura 2: Correlación espacial entre desplazamiento y aspersiones (2004 - 2012)

Para corregir estos problemas de endogeneidad se utiliza un modelo de variables instrumentales que extrae aleatoriedad sobre la probabilidad en la intensidad de aspersión. Para ello, se seleccionó el promedio mensual de la velocidad del viento de cada municipio como instrumento, ya que era una variable determinante en la cantidad de hectáreas asperjadas. De esta manera, el instrumento captura la variación exógena en los cambios en la intensidad del programa de aspersión, en función de las condiciones favorables o desfavorables del viento.

5.1. Instrumento: Velocidad del Viento.

Para cumplir con el PMA (anexo 3), la Policía Antinarcóticos contaba con un sistema que proporcionaba información, en tiempo real, las condiciones climáticas y la densidad de los cultivos de coca en una grilla de 10 km (Rodríguez, 2020). La intensidad de las aspersiones se encontraba condicionada por estas variables contextuales. Dentro de estos, se requería una

velocidad del viento menor a 10 km/h⁸ para lograr una fumigación precisa, incluso cuando esta no alcanzaba su límite, la aplicación total del programa se encontraba condicionada por esta variable. En consecuencia, la velocidad del viento es un instrumento relevante en la intensidad de las aspersión en cada municipio.

La Figura 5 muestra los promedios anuales de la tasa por hectáreas asperjadas con glifosato y la velocidad del viento de cada mes a nivel municipal. En ella se puede observar que existe una relación negativa entre ambas variables, es decir, a mayor velocidad del viento, menor es la tasa de hectáreas asperjadas. Este instrumento permite capturar la variación aleatoria en el cambio de la intensidad de la aspersión en cada municipio derivada de los cambios en la velocidad del viento.

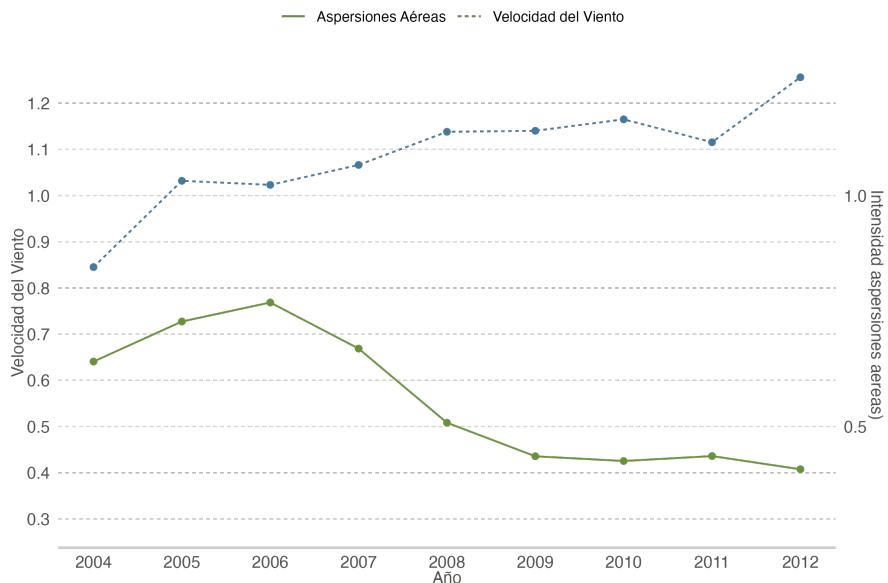


Figura 3: Velocidad del viento y Aspersiones Aéreas municipales en el tiempo

Para construir el instrumento, se utilizó la base de datos RMOBS⁹ del portal de datos GES DISC de la NASA. La base cuenta con el promedio de velocidad del viento diaria entre las 8:00 de la mañana y las 5:00 de la tarde.¹⁰ Además, se encuentra dividida por pixeles de 0.25x0.25 grados. Esta información se agregó calculando la media mensual de la velocidad del viento de cada municipio (V_{it}). La ecuación de la variable instrumental (V_{it}) se muestra a continuación:

⁸Esta era la velocidad máxima para las avionetas, en el caso de los helicópteros que son menos precisos se requería una velocidad del viento menor a 7,4 km/h.

⁹Además para pruebas de robustez se utilizaron las bases RMBOS y MERRA2 del mismo portal que estiman la velocidad del tiempo por medio de otros modelos. La base FLDAS fue utilizada porque es la que contiene información con menor número de grados, es decir es más detallada a nivel de grilla.

¹⁰Estas eran las horas a las que se permitía asperjar de acuerdo al Plan de Manejo Ambiental.

$$V_{it} = \frac{\sum_{j=1}^n WS_{ij}}{n} \quad (5)$$

Donde WS_{ij} es la velocidad del viento diaria de cada municipio i y n los números de día de cada mes.

5.2. Ecuaciones de Estimación

Para corregir el problema de endogeneidad a través de la velocidad del viento como variable instrumental, se utiliza un método de Mínimos Cuadrados en Dos Etapas (2SLS). La primera etapa representa la relación entre la tasa de aspersión aérea con glifosato por cada 100 hectáreas y la velocidad del viento junto con las demás variables del modelo. Su forma reducida se puede entender del siguiente modo:

$$AG_{it} = \gamma + \phi V_{it} + \omega X_{it-p} + \delta_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (6)$$

Donde V_{it} es la velocidad del viento en el municipio i en el mes t . Además, ϕ muestra el impacto que tiene el instrumento sobre la variable de interés. Los resultados de la primera etapa se muestran en la tabla 1.

La segunda etapa representada en la ecuación 6 expone la relación entre la variable dependiente y la variable instrumento estimada (\widehat{AG}_{it}) en la primera etapa. Esto quiere decir que el nuevo estimador β presenta la relación de la tasa de desplazamiento forzado con la intensidad de aspersiones aéreas con glifosato corregidas por la variación aleatoria que le impone la velocidad del viento.

$$y_{it} = \alpha + \beta_{t-p} \widehat{AG}_{it-p} + \theta X_{it-p} + \delta_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Finalmente, la figura 5 muestra que la tasa de hectáreas asperjadas con glifosato es distinta entre regiones. Por lo tanto, pueden existir efectos heterogéneos en cuanto a la intensidad de la aplicación. Además, también pueden existir efectos distintos de acuerdo con los niveles de cultivos de coca de los municipios, dado que era la variable central sobre la que giraba el programa. La ecuación para estimar estos efectos diferenciados es:

$$y_{it} = \delta_d + \beta_{t-p} \widehat{AG}_{it-p} + \beta \widehat{AG}_{it-p} * Int_{jt-p} + \tilde{\theta} X_{it-p} + \delta_i + \delta_t + \delta_{int} + \varepsilon_{it-p} \quad (8)$$

Donde δ_{int} son los efectos heterogéneos y Int_{jt} es una variable binaria que toma valores de 1 por cada efecto diferenciado. En este caso, el modelo toma como punto de comparación los niveles más bajos de aspersión y de cultivos, debido a que así se puede evaluar qué tanto cambia el efecto acorde al cambio en las categorías de comparación.

5.3. Supuestos de Identificación y Verificación de Validez.

Para corroborar que el instrumento puede ser utilizado dentro del modelo es necesario que se cumplan dos supuestos: la relevancia del instrumento y la restricción de exclusión.

El primero, la relevancia del instrumento significa que la variable de interés, en este caso la tasa de aspersiones aéreas con glifosato, debe estar fuertemente correlacionada con el instrumento, que es la velocidad del viento. La tabla 1, muestra el resultado de la primera etapa de la regresión. Allí se puede notar que la correlación entre la velocidad del viento y las aspersiones aéreas son estadísticamente significativas y con dirección negativa. Esto concluye que, a mayor velocidad del viento, habrá menores niveles de aspersión aérea lo cual es consistente con las condiciones del PMA.

Tabla 1: Resultados primera etapa

Variable dependiente: Aspersiones aéreas	
	(MCO) (1)
Velocidad del Viento	-0,097*** (0,022)
F estadístico	21,208
F estadístico efectivo	17,952
Efectos Fijos	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>
Observaciones	10,246
R ²	0,015

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Por otra parte, en la misma tabla observa que el valor del F estadístico es mayor a 10, lo que sugiere que el instrumento utilizado es fuerte (Stock & Yogo, 2002). Además, al considerar los problemas de heterocedasticidad y autocorrelación de los errores del modelo, por medio del F estadístico efectivo (Olea & Pfleuger, 2013), se muestra que el instrumento pierde un poco de relevancia pero no la suficiente para determinarse como un instrumento débil.¹¹ Por lo

¹¹Este tiene un valor de 17,9 y, si bien supera el umbral establecido para la hipótesis nula de que el instrumento no contiene más del 10% del sesgo de los casos más críticos, no logra superar la prueba con un umbral del 5%. Esto sugiere que el instrumento puede contener un leve grado de sesgo que puede afectar la precisión de la estimación.

tanto, la velocidad del viento no solo es relevante teóricamente, sino que en los datos también se puede considerar así

En segundo lugar, la restricción de exclusión implica que el instrumento seleccionado no debe estar relacionado con características no incluidas en el modelo que puedan afectar la tasa de desplazamiento forzado. Esto significa que la variable instrumental no debe estar correlacionada con el término de error. Además, implícitamente se asume que la velocidad del viento solo afecta al desplazamiento forzado a través de las aspersiones aéreas. Esta suposición puede formularse formalmente de la siguiente manera:

$$E[V_{it} \times \tilde{\varepsilon}_{it} | X_{it}] = 0 \quad (9)$$

A pesar de que este supuesto no puede ser testeado directamente, cuando el desplazamiento es forzado, debe darse por un motivo propio del conflicto armado; por lo tanto, la velocidad del viento no sería una razón válida para registrarse como víctima. De este modo, se puede intuir que la única forma en la que el viento puede estar asociado a la guerra es por medio de las aspersiones aéreas.

Para confirmar lo anterior, se presenta en la Tabla 2 una comparación de la regresión por MCO de la tasa de desplazamiento forzado por cada 100 habitantes y la velocidad del viento en los municipios con cultivos de coca que recibieron el programa y los municipios con cultivos de coca que no lo recibieron.¹² Aunque estos resultados no establecen una relación causal entre ambas variables, sí indican una correlación del desplazamiento con la velocidad del viento estadísticamente significativa, en los municipios donde se realizaron las aspersiones aéreas; mientras que en los municipios donde no se llevó a cabo, no es concluyente. En adición, la Tabla 2 confirma que la correlación es negativa, lo cual es coherente con la correlación entre la velocidad del viento y las aspersiones aéreas. Por lo tanto, a partir de los datos, existen indicios de que el instrumento utilizado cumple con la restricción de exclusión.

¹²El modelo se calculó con las mismas variables del modelo principal. Es decir, la misma matriz de controles aplicadas en ambas etapas de los Minimos Cuadrados en Dos Etapas (2SLS) y los mismos efectos fijos de la sección anterior.

Tabla 2: Restricción de exclusión

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado	
	(Municipios sin aspersión)	(Municipios con aspersión)
	(1)	(2)
Velocidad del Viento	0,013 (0,022)	-0,124* (0,057)
Efectos Fijos	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Observaciones	18,484	10,246
R ²	0,005	0,006

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1, **p<0,05, ***p<0,01

6. Datos y Estadísticas Descriptivas

En esta sección se presentan los datos que se utilizaron para estimar los modelos presentados en la estrategia empírica.

6.1. Desplazamiento Forzado Interno.

Para medir la tasa desplazamiento forzado interno por cada 100 habitantes se utilizó como fuente el Registro Único de Víctimas (RUV), ya que es la base de datos que mejor documenta el desplazamiento en Colombia.¹³ La Unidad de Víctimas, institución responsable del RUV, se creó con la ley 1448 del 2011 con el fin de brindar medidas de atención, asistencia y reparación a las víctimas del conflicto armado colombiano. Dicha ley acoge a las personas que hayan sufrido de algún hecho victimizante (entre estos el desplazamiento forzado) desde 1985. Para

¹³En los datos sobre violaciones a derechos humanos son notorios los problemas de subregistro, debido a que existen múltiples causas por las que una víctima no se documenta, desde razones de seguridad hasta dificultades burocráticas. Para mitigar eso, la Comisión de la Verdad (2022) recogió más de 112 bases de datos, y publicó estimaciones estadísticas del rango en el que puede encontrarse el número real de víctimas para cinco violaciones a derechos humanos, incluyendo desplazamiento. Como resultado, se estableció que el Registro Único de Víctimas es la única base representativa de datos sobre desplazamiento forzado en Colombia. Por lo tanto, esta es la mejor fuente disponible para medir el número de hechos ocurridos.

ser acogidas, las víctimas deben brindar un testimonio detallado de los hechos. Es por esto que en la base de datos puede encontrarse información a cortes diarios, mensuales y anualizados.

La figura 4 ilustra el promedio de la tasa de desplazamiento forzado por cada 10.000 habitantes a nivel municipal durante los años comprendidos para este estudio. De los 1122 municipios de Colombia 1116 registró al menos un desplazamiento. Sin embargo, como se puede notar, las intensidades han sido distintas. Las mayores magnitudes se concentran regionalmente, principalmente, en la franja del sur del país (Nariño, Guaviare, Putumayo, Caquetá, Meta); la región del Litoral Pacífico (Cauca, Valle del Cauca, Chocó); el Magdalena Medio (Santander, Antioquia, Cesar) y la frontera con Venezuela (La Guajira, Norte de Santander y Vichada).

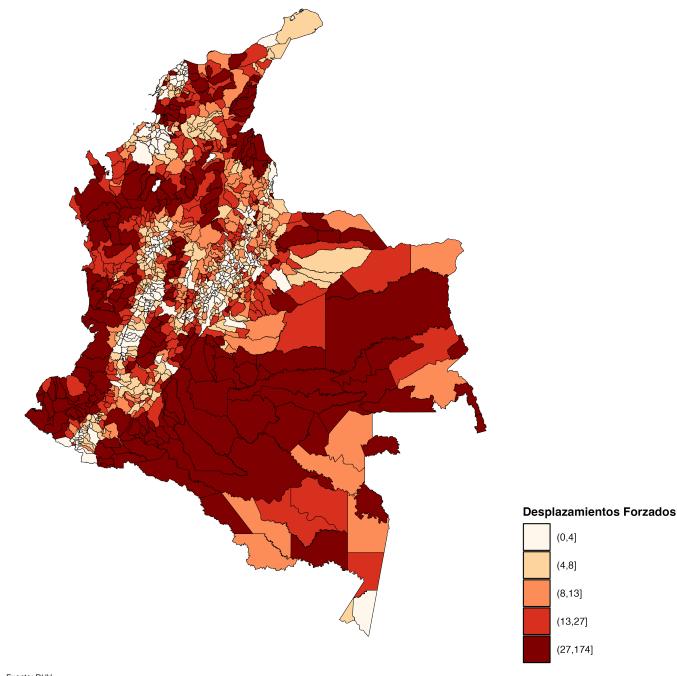


Figura 4: Hechos de desplazamiento forzado a nivel municipal en Colombia (2004 - 2012)

De la misma manera, la figura 4 muestra que último quintil contiene valores entre 27 hasta 174 desplazamientos por cada 10.000 habitantes en promedio. Esto significa que existen municipios donde la magnitud de este hecho victimizante fue diferencialmente masivo al resto del país. El municipio más afectado fue La Guadalupe en Guainía; seguido de El Charco en Nariño con un promedio de 157 desplazamientos por cada 10.000 habitantes; luego, Vista Hermosa en Metá con la misma tasa; Policarpa en Nariño con 145; y Bojayá con 129. Todos estos municipios, junto con los que estuvieron tres desviaciones estandar por encima del promedio, fueron tomados como outliers dentro del modelo. ¹⁴

¹⁴Los outliers en el modelo fueron excluidos porque afectaban las estimaciones.

6.3. Aspersiones Aéreas con Glifosato

Los datos utilizados en este estudio fueron proporcionados por la Dirección de Antinarcóticos de la Policía (DIRAN) y consistieron en mediciones mensuales de la cantidad de hectáreas asperjadas con glifosato a nivel municipal. Durante el período de interés -que abarca desde 2004 hasta 2012-; se asperjaron un promedio de 120,000 hectáreas cada año. Como se muestra en la Figura 5, la intensidad del programa se concentró principalmente en el sur del país, la región del Pacífico, el Magdalena Medio y en áreas cercanas a la frontera con Venezuela. Además, esta figura sugiere que la distribución geográfica del programa coincide en gran medida con las zonas que experimentaron un mayor desplazamiento poblacional.

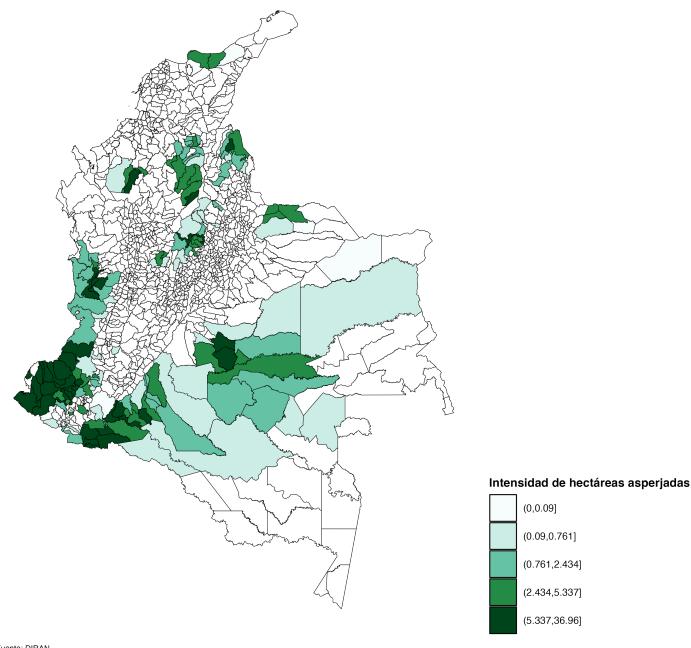


Figura 5: Aspersiones Aéreas municipales en Colombia (2004 - 2012)

Al igual que con el desplazamiento, hubo municipios donde la aspersión fue desproporcionalmente mayor, respecto al promedio de la intensidad de aplicación del programa. La mayoría de estos municipios se encuentran entre Nariño y Putumayo. Por ejemplo, municipios como Valle del Guamuez en Putumayo alcanzaron un promedio de aspersión de hasta 37 hectáreas por cada 10.000 entre 2004 y 2012; en Roberto Payan en Nariño 348 por cada 10.000; en Magüí en Nariño 340 hectáreas; en Tarazá Antioquia 328 hectáreas; y en Tumacó en Nariño 259. Esto es muestra que la aplicación del programa fue heterogénea en cada región del país.

6.3. Controles

Para incluir los controles basados en violencia, se utilizaron otras violaciones a derechos humanos dentro del Registro Único de Víctimas. Además, se complementó con información del Centro Nacional de Memoria Histórica. Es importante resaltar que estas variables presentan problemas de subregistro, por lo que no es correcto asumir que representan completamente la violencia en cada municipio.

En cuanto a las variables espaciales relacionadas con el programa, se utilizaron los datos de la frecuencia de las lluvias y la variación del uso del suelo del conjunto (Huete et al., 2002) de datos DISC de la NASA. Para medir la luminosidad, se emplearon los datos diarios proporcionados por el Earth Observation Group del Instituto de Política Pública de Payne. Por último, para medir los choques de viento a nivel municipal, se utilizaron los mismos datos que en el instrumento, pero se contabilizó el número de días en los que el viento fue anómalo, tomando en cuenta su estacionalidad.¹⁵ Todas estas variables se encontraban a nivel de píxel, por lo que se promediaron los píxeles que conformaban cada municipio y se calculó la media mensual para cada uno de ellos.

7. Resultados

El objetivo de este trabajo es mostrar la relación entre el desplazamiento forzado en Colombia y las aspersiones aéreas con glifosato. Teniendo en cuenta que la decisión de desplazarse no puede asumirse como inmediata -esta podía tomarse en una ventana de tiempo más amplia que el mes siguiente-, se evaluó la relación en un periodo de cuatro meses después de la aplicación del programa. La razón por la que escogió esta ventana de tiempo es que la re-aplicación del programa se podía dar entre cuatro y seis meses después de fumigar, dependiendo de las condiciones ambientales de cada municipio. Además, se tomaron en cuenta dos períodos anteriores como efecto placebo para confirmar que el efecto sobre el desplazamiento no existe antes de la aspersión.

En este sentido, la figura 6 muestra el efecto dinámico en el tiempo que tuvo el PECIG sobre el desplazamiento forzado. Cada periodo de tiempo contiene un intervalo de confianza estimado. Además, la línea roja representa el cero, es decir, si el intervalo toca esta línea, no se puede concluir una relación causal a un nivel de confianza del 90%.

¹⁵Esta medición tiene en cuenta la variación en el uso del suelo de acuerdo a imágenes que día a día proporcionan tamaño y las características de la vegetación.

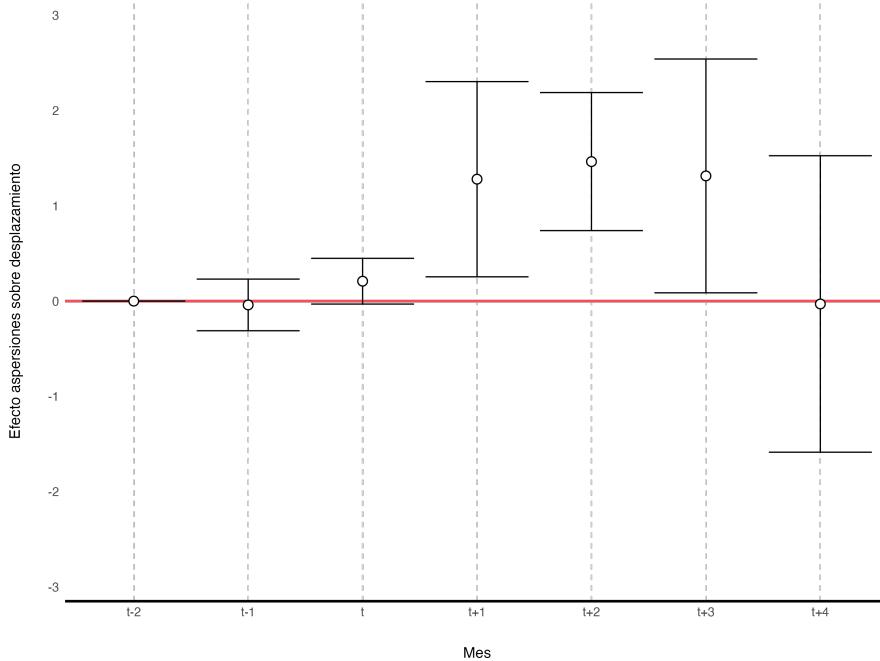


Figura 6: Correlación Desplazamiento y Aspersión Aérea con Glifosato

Esta figura muestra que existe una relación causal en el mes siguiente de la aspersión; y dos meses y tres meses después de su aplicación. Sin embargo, esta relación no se mantiene el cuarto mes, lo que significa que el efecto que produce las aspersiones sobre el desplazamiento se sostienen únicamente en el corto plazo. Por otro lado, para los meses anteriores a la aplicación del programa no existe ningún tipo de impacto. Si bien esto muestra que no hay efectos de desplazamiento anticipados al PECIG, principalmente refleja que el modelo está capturando un efecto consistente después de la aplicación del programa. Finalmente, en el período t no se espera que exista un nivel estadísticamente significativo, dado que para este período se presentan errores de medición al no reconocer cuál de los dos eventos ocurre primero.

De este modo, la tabla 3 muestra la magnitud de los efectos de las aspersiones sobre el desplazamiento de los primeros tres meses después de la aplicación del programa. Los resultados indican que en el mes inmediatamente después ($t + 1$), el desplazamiento forzado crecía 1,28 puntos porcentuales ante el aumento de un punto porcentual en la tasa de aspersión. En el segundo mes ($t + 2$), el efecto es aún mayor, pues aumenta en 1,47 puntos porcentuales. Finalmente, en el tercer mes ($t + 3$), efecto se mantiene positivo con un aumento de 1,3 puntos porcentuales.

Tabla 3: Relación entre aspersiones aéreas y el desplazamiento en meses posteriores

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(t + 1)	(t + 2)	(t + 3)
Aspersiones aéreas	1,280** (0,623)	1,464*** (0,440)	1,314* (0,746)
Efectos Fijos	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Observaciones	10,246	10,058	9,868
R ²	0,001	0,0001	0,00001

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Considerando que los efectos son dinámicos en el corto plazo, en la tabla 4 se tomó la tasa de desplazamiento acumulada de los tres meses siguientes a la aspersión como variable dependiente, para determinar un efecto agregado en el tiempo de la aplicación del PECIG. La columna (1) muestra que estimando la correlación por MCO el efecto no tiene ningún nivel de significancia. En la columna (2) al aplicar el método de Variables Instrumentales, sin controles, la relación se vuelve positiva y significativa tomando valores de un aumento de 3,74 puntos porcentuales. En la columna (3) añadiendo los controles, la magnitud no cambia, sin embargo se reduce el error estandar volviendo la estimación más precisa. De este modo, el efecto agregado en el tiempo de las aspersiones sobre el desplazamiento es de un aumento de 3,73 puntos porcentuales ante un aumento de un punto porcentual sobre la tasa de aspersión.

Los resultados de esta investigación demuestran que la aplicación del PECIG intensificó el desplazamiento forzado interno en Colombia entre los años 2004 y 2012. Sin embargo, este trabajo tiene varias limitaciones. Primero, el efecto encontrado mide los cambios en la intensidad de aspersión, lo cual no permite comparar cómo fue el desplazamiento en estos territorios con respecto a los que no recibieron nunca el programa. Segundo, las tasas de desplazamiento solo pueden ser tomadas en relación con la población del 2003, debido a que el desplazamiento está relacionado con los cambios poblacionales por lo que sería impreciso tomar la población del mismo año. Finalmente, el estudio solo tiene en cuenta el periodo comprendido entre 2004 y 2012, lo que implica que no sé puede asegurar que esta relación se mantuviese durante todo el PECIG que empezó en el año 2001 y se prohibió en el 2014.

Tabla 4: Efecto agregado de las aspersiones aéreas sobre el desplazamiento forzado

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(MCO)	(IV)	(IV)
	(1)	(2)	(3)
Aspersiones aéreas	-0,031 (0,088)	3,743** (1,760)	3,728*** (1,277)
Efectos Fijos	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Observaciones	10,246	10,246	10,246
R ²	0,169	0,00001	0,085

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

7.1. Efectos Heterogéneos

La aplicación del programa se ha presentado en volúmenes muy distintos. Como se puede notar en la figura 5, el promedio de las tasas de aspersión varía desde 0 hasta 37 hectáreas fumigadas por cada 10.000 hectáreas del municipio. Este rango indica que los efectos del PECIG sobre el desplazamiento forzado pueden variar. De este modo, la tabla 5 muestra el efecto diferenciado en el tiempo de los municipios que recibieron en mayor medida el programa. Es decir, se organizó la muestra de acuerdo a cuartiles de aspersión municipal durante todo el programa y se estimó el modelo de la ecuación 8 tomando como base los municipios del primer cuartil.¹⁶

En este caso, la variable “aspersiones aéreas” representa el efecto de la categoría base, es decir, el primer cuartil. Por su parte, las variables nombradas con los diferentes cuartiles muestran el efecto de cada uno de ellos. Las interacciones entre la variable de aspersiones aéreas y los cuartiles reflejan el efecto heterogéneo que tiene cada nivel sobre la variable de referencia. Es decir, representan el cambio en la relación entre los cuartiles dos, tres y cuatro en relación con el cuartil uno. Los resultados de la tabla 5 indican que los efectos heterogéneos no son concluyentes en ningún nivel. Por lo tanto, no se puede asegurar que los municipios donde se asperjó con mayor intensidad tengan una relación mayor con el desplazamiento forzado respecto a los municipios donde se asperjó con menor intensidad.

¹⁶El cuartil 1 es el cuartil con intensidades más bajas de aspersión.

Tabla 5: Efecto heterogéneo de las aspersiones sobre el desplazamiento en el tiempo, de acuerdo a los cuartiles de intensidad de aspersión

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(t + 1)	(t + 2)	(t + 3)
Aspersiones aéreas	-9,140 (23,686)	-4,263 (23,532)	11,854 (50,645)
Cuartil2	-0,776 (1,298)	-1,029 (1,617)	-0,324 (3,755)
Cuartil3	-0,393 (1,122)	-0,348 (1,306)	-0,649 (2,667)
Cuartil4	-0,257 (0,378)	-0,321 (0,383)	-0,164 (0,903)
Aspersiones aéreas*Cuartil2	40,491 (61,811)	47,923 (73,185)	4,584 (197,947)
Aspersiones aéreas*Cuartil3	17,284 (15,534)	11,917 (21,018)	4,066 (23,322)
Aspersiones aéreas*Cuartil4	11,312 (24,381)	7,128 (24,231)	-9,274 (53,672)
Efectos Fijos	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Observaciones	10,150	9,972	9,792
R ²	0,001	0,001	0,001

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Por otro lado, el PECIG tenía como objetivo la erradicación de los cultivos de coca, los cuales también se distribuían de manera desigual (ver anexo 7). Dado que el éxito de este programa se medía principalmente por su reducción, se evaluaron los efectos heterogéneos en el tiempo según los cuartiles de presencia de cultivos (tabla 6). Para ello, se utilizó como base el primer cuartil.¹⁷

La tabla 6 expone que, en el mes después de asperjar, todos los cuartiles tienen un efecto estadísticamente mayor a los del cuartil más bajo. Esto implica que la relación entre la intensidad de las aspersiones aéreas y las tasas de desplazamiento forzado es mayor en los municipios con tasas de cultivos de coca más altos. Para el segundo mes, las diferencias significativas se mantienen únicamente en el tercer cuartil; mientras que para el tercer mes, se da en el segundo y tercer cuartil.

Los resultados sugieren que los cultivos de coca son un intensificador del conflicto armado en el momento de asperjar. Además para ciertos municipios el aumento del efecto tiene rezagos en el tiempo. Esto se puede explicar por dos factores: la violencia que gira alrededor de los cultivos de coca; y los choques en la oferta de cultivos.

Primero, se ha mostrado que, alrededor de la economía de la droga se establecen grupos armados que buscan proteger todas las cadenas de valor de la producción de cocaína. Esto ha generado que la violencia en los municipios con alta presencia de cultivos de coca sea mayor que en el resto del país (Arias et al., 2014; Martinez Ferro & Zuleta, 2019; Mejia & Restrepo, 2013). De esta manera, cuando se asperja, estos grupos reaccionan intentando proteger el insumo, o imponiendo su control territorial ante una posible instauración del ejército, lo cual se deriva en mayores niveles de desplazamiento forzado (Abadie et al., 2014; Reyes, 2014).

Segundo, diferentes estudios han mostrado que choques a la oferta de cocaína también aumentan la violencia en los territorios (Godoy, 2018; Zuleta & Martinez Ferro, 2017). Esto se explica principalmente porque el origen de estos choques viene de esfuerzos por retomar el control territorial o afectar la producción de cocaína que termina produciendo enfrentamientos y combates. Sin embargo, también se debe a que los grupos armados, ante la necesidad de mantener su demanda, empiezan a establecer presiones sobre los cultivadores para que sigan produciendo este insumo (Comisión de la Verdad, 2022). Por lo tanto, los choques en la oferta pueden generar violencia e incertidumbre en la población que conllevan en un aumento en las tasas de desplazamiento de estos territorios.

¹⁷El primer cuartil representa los municipios con menores niveles de coca en relación con su tamaño.

Tabla 6: Efecto heterogéneo de las aspersiones sobre el desplazamiento en el tiempo, de acuerdo a los cuartiles de volumen de coca

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(t + 1)	(t + 2)	(t + 3)
Aspersiones aéreas	-0,137** (0,069)	-0,090 (0,063)	-0,162*** (0,046)
Cuartil2	0,035 (0,044)	0,041 (0,046)	0,041 (0,048)
Cuartil3	0,123** (0,053)	0,122** (0,056)	0,149*** (0,054)
Cuartil4	0,216*** (0,057)	0,225*** (0,061)	0,259*** (0,060)
Aspersiones aéreas*Cuartil2	0,523*** (0,188)	0,138 (0,138)	0,560** (0,234)
Aspersiones aéreas*Cuartil3	0,385*** (0,105)	0,259*** (0,079)	0,326*** (0,102)
Aspersiones aéreas*Cuartil4	0,131* (0,073)	0,036 (0,081)	0,090 (0,066)
Efectos Fijos	Si	Si	Si
Controles	Si	Si	Si
Observaciones	9,834	9,671	9,506
R ²	0,015	0,015	0,013

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de signifancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

8. Pruebas de Robustez

Se desarrollaron dos pruebas para evaluar la robustez del efecto encontrado. La primera agrupa las variables de control por categorías y compara el cambio en la estimación del efecto, al agregarlas o extraerlas. Esto muestra el impacto de las diferentes variables de control en la estimación. La segunda prueba consiste en cambiar la medida del instrumento, teniendo en cuenta los choques de viento en los municipios. Es decir, se calculó el efecto según el número de días en el mes en el promedio del viento superó el umbral permitido para asperjar. Este nuevo instrumento genera una variación aleatoria similar pues afecta la probabilidad de aspersión de acuerdo a las condiciones del viento. Esta prueba determina si el efecto varía, al aplicar una nueva medida que aporta variación exógena similar.

La tabla 6 muestra el efecto de las aspersiones sobre el desplazamiento forzado, agregado en el tiempo, cambiando las variables de control. Esta expone que en todas las estimaciones el efecto es estadísticamente significativo y positivo. En adición, el efecto varía poco entre los distintos modelos entre 3,74 puntos porcentuales, sin aplicar ningún control (columna 1), y 4,3 puntos porcentuales -incluyendo solo las variables asociadas a la violencia municipal-.

Tabla 7: Efecto agregado de las aspersiones aéreas sobre el desplazamiento forzado

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Aspersiones aéreas	3,74** (1,760)	4,02*** (1,206)	4,30*** (1,460)	3,74** (1,759)	3,73*** (1,277)
Efectos Fijos	Si	Si	Si	Si	Si
Controles geográficos	No	Si	No	No	Si
Controles violencia	No	No	Si	No	Si
Controles económicos	No	No	No	Si	Si
Observaciones	10,246	10,246	10,246	10,246	10,246
R ²	0,00001	0,00001	0,082	0,00001	0,085

Nota: Los errores fueron clusterizados a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estándar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Del mismo modo, las variables asociadas a la violencia son las que mayor nivel explicativo tienen en el modelo, reflejado en el R cuadrado de la columna 3. Esto es consistente ya que las otras violaciones a derechos humanos son las que impactan en mayor magnitud el desplazamiento. Además, la columna 2 muestra que las variables geográficas también generan un aumento en la estimación, pero no es mayor a 0,3 puntos porcentuales. La variable de luminosidad municipal que representa el control para desarrollo económico no produce cambios en el modelo, tal como se anota en la cuarta columna. En resumen, el efecto encontrado es consistentemente

significativo en todos los modelos, los controles no están causando perturbaciones al modelo principal (columna 5), en cambio sí están reduciendo la desviación estandar generando mayor precisión en la estimación.

Por su parte, la segunda prueba permite definir la consistencia del efecto. Para esto, se aplica como instrumento alterno los días en los que el viento promedio estuvo por encima del umbral permitido por el PMA, pues al igual que la velocidad promedio del viento, afecta la probabilidad de aspersión por las condiciones climáticas del municipio.¹⁸ Este instrumento cumple con la relevancia y la restricción de exclusión (anexo 8). La razón para no utilizarlo como el instrumento principal de esta investigación se relaciona con que al, imponer un umbral, los días que estuvieron cercanos a los máximos de la velocidad del viento, sí afectaban la decisión de asperjar quedaban por fuera, lo que puede generar algunos errores de medición que le restan eficiencia a la estimación. Sin embargo, la magnitud de los efectos es parecida, esto demuestra que, al aplicar un instrumento que en la teoría genera una variación similar, existe una congruencia con los resultados encontrados.

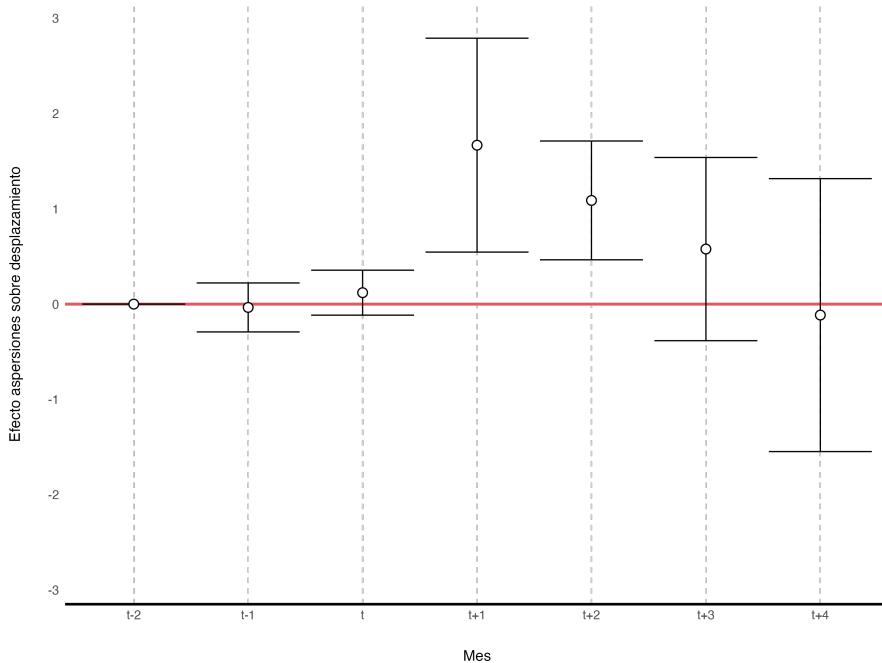


Figura 7: Efectos en el tiempo de las aspersiones y el desplazamiento forzado

La figura 9 muestra la relación entre el desplazamiento forzado y las aspersiones en el

¹⁸Este es un instrumento ya se ha utilizado antes en la literatura sobre política antidroga en Colombia (Rodríguez, 2020). Sin embargo, el instrumento utilizado en esta sección establece un umbral de acuerdo a las condiciones del PMA, más no a las desviaciones estándar por encima del promedio del viento. Es decir, toma en cuenta los días en los que por las condiciones del clima no se debió asperjar, más no el día en el que el viento tuvo un comportamiento anormal de acuerdo al histórico municipal.

tiempo con el nuevo modelo. Esta expone que la significancia de los efectos se mantienen en el tiempo, con excepción del tercer mes después de la aspersión. Además, la relación sobre el desplazamiento el primer mes es de un aumento 1,7 puntos porcentuales en los desplazamientos ante un aumento en 1 punto porcentual en la intensidad de aspersión; de 1,1 puntos porcentuales en el segundo mes; y 0,57 en el tercer mes. Al compararlos con los resultados de este estudio se puede anotar que los cambios del nuevo modelo se encuentran dentro de los intervalos de confianza de las estimaciones principales. Esto implica que la diferencia entre ambas estimaciones no es suficientemente grande para considerarse como efectos estadísticamente distintos.

Paralelamente, al estimar el efecto agregado en el tiempo, las diferencias son similares. La tabla 7 muestra que el efecto sin controles es de 3,3 puntos porcentuales, en comparación con 3,74 mostrados en la sección de resultados. Además, al aplicar los controles, el efecto es de 3,73 puntos porcentuales; es decir, igual al del modelo principal. Esto significa que, al estimar el modelo cambiando la medida en la que el viento afecta la probabilidad de aspersión, la estimación principal de esta investigación no cambia. Por lo tanto, esto demuestra la consistencia de los efectos encontrados.

Tabla 8: Efecto agregado de las aspersiones aéreas sobre el desplazamiento forzado

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(1)	(2)	(3)
Aspersiones aéreas	–0,032 (0,088)	3,320*** (1,180)	3,737*** (1,396)
Efectos Fijos	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Observaciones	10,246	10,246	10,246
R ²	0,175	0,00001	0,094

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera. *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

9. Mecanismos

Los posibles canales que explican la relación positiva entre el desplazamiento y las aspersiones aéreas con glifosato en esta investigación son cuatro: las consecuencias sobre los niveles de violencia de los municipios asperjados; los efectos en salud que sufrieron las poblaciones; los impactos ambientales; y las consecuencias económicas.

Del mismo modo, a nivel social los programas de erradicación aérea también tienen efectos positivos sobre el trabajo infantil (Rodríguez, 2020).

Finalmente, el principal mecanismo, que concatena los demás expuestos, es la reiteración en la aplicación del programa. Aunque pueden existir casos en los que una sola fumigación haya promovido el desplazamiento de varias personas, es la re-aplicación la que perturba los mecanismos expuestos en un contexto de conflicto armado. Si las personas tuvieran certeza de que no van a volver a ser asperjadas, es bastante probable que su decisión de moverse cambie.

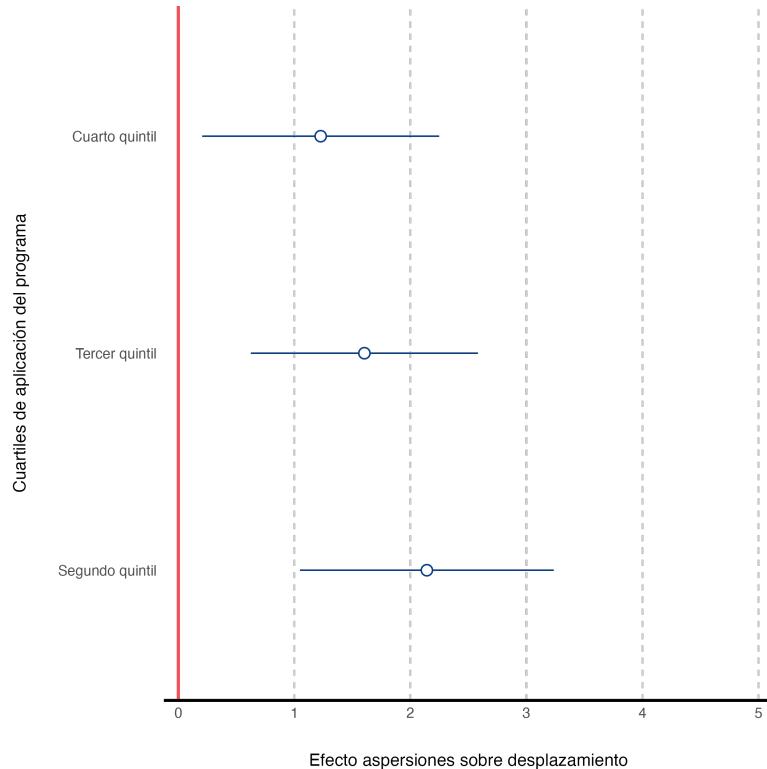


Figura 8: Efectos Heterogéneos por re-aplicación del programa

Para corroborar lo anterior, la figura 11 muestra los efectos heterogéneos agregados en el tiempo de acuerdo con el número de veces en los que se asperjó en cada municipio. Esta toma como base el primer cuartil que son los municipios que menos recibieron el PECIG.²¹ La figura 11 expone que en todos los cuartiles superiores el efecto en el tiempo es significativamente mayor. Esto significa que ante un mayor número de aplicaciones del PECIG las tasas de desplazamiento crecen. Por lo tanto, la aplicación reiterada en el tiempo del PECIG fue un agravante del conflicto armado en las regiones en términos de desplazamiento forzado interno.

²¹Estos son municipios que recibieron como máximo 8 veces el programa en el periodo estudiado.

10. Conclusiones

En este trabajo se estimó la relación entre el desplazamiento forzado y las aspersiones aéreas durante el Plan Colombia. Para esto se utilizó un modelo de variable instrumentales para corregir el sesgo de selección que presenta el programa, debido a que este se aplicaba principalmente en los municipios más afectados por el conflicto armado, el cual está directamente relacionado con la migración forzada. El instrumento utilizado fue la velocidad del viento, la cuál afectaba la probabilidad de asperjar en ciertos territorios, dado que si este se encontraba en un rango de 7,4 km/h a 10 km/h disminuían las hectáreas asperjadas en el municipio. Por lo tanto, el instrumento proporciona variación aleatoria en la intensidad de la aspersión más no en la asignación del PECIG. Por esta razón, los resultados de este trabajo toman como unidad análisis únicamente los municipios a los que se destinó el programa entre el 2004 y el 2012.

Los principales resultados de esta investigación se pueden dividir en dos: el efecto de las aspersiones sobre el desplazamiento y los mecanismos que lo explican. En cuanto al efecto, se encontró que ante un aumento de un punto porcentual, en la intensidad de aspersión, el desplazamiento forzado aumentaba 3,73 puntos porcentuales en un periodo de tres meses. Además, las estimaciones muestran que en el primer después de la aspersión el aumento era de 1,28 puntos porcentuales; 1,46 en el segundo mes y 1,3 en el tercero. Esto significa que la decisión de desplazarse no es inmediata pero si tiene un efecto de corto plazo.

Respecto a los mecanismos, esta investigación encuentra que los cultivos de coca son un intensificador del conflicto en las regiones una vez se aplica el programa. Se identificó que los municipios con alto volumen de coca tienen un efecto estadísticamente mayor a los que tienen bajos niveles. Por otro lado, se encontró que existen efectos estadísticamente mayores entre los municipios a los que se les aplicó de forma consistente el programa con respecto a los que lo recibieron de forma esporádica. Esto significa que cuando los municipios se vieron expuestos constantemente al PECIG también lo hacían a sus efectos adversos, de modo que la reiteración en las fumigaciones es un canal directo para la explicación de por qué se desplazaban las personas en sus territorios.

Por último, los resultados expuestos son una buena herramienta de política pública en dos sentidos: las políticas antidroga y las política de seguridad. El crecimiento de las tasas de desplazamiento forzado en las regiones, también son consecuencia de los efectos adversos de estos tipos de programas que, con el fin de proveer seguridad o combatir el narcotráfico, terminan afectando a la población local. Por lo tanto, este trabajo ofrece elementos para tener en cuenta al formular este tipo de política públicas. Incluso futuras investigaciones, podrían profundizar en entender los canales por los cuales estos tipos de programas intensifican el conflicto armado en los territorios. Esto con el fin de darle una solución distinta a los problemas desencadenados de la guerra que usualmente se han tratado con más violencia.

Referencias

- Abadie, A., Acevedo, M. C., Kugler, M., & Vargas, J. (2014). *Inside the war on drugs: Effectiveness and unintended consequences of*. Cambridge, MA: Harvard University. Unpublished Manuscript.
- Acemoglu, D., Fergusson, L., Robinson, J., Romero, D., & Vargas, J. F. (2020). The Perils of High-Powered Incentives: Evidence from Colombia's False Positives. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(3), 1-43. <https://doi.org/10.1257/pol.20180168>
- Angrist, J. D., & Kugler, A. D. (2008). Rural Windfall or a New Resource Curse? Coca, Income, and Civil Conflict in Colombia. *The Review of Economics and Statistics*, 90(2), 191-215. <https://doi.org/10.1162/rest.90.2.191>
- Angrist, J. D., & Pischke, J.-S. (2009). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton university press.
- Arias, M. A., Camacho, A., Ibáñez, A. M., Mejía, D., Rodríguez, C., Zárate, R. A., Castañeda, A., Vargas, J. F., Moya, A., Villa, E., et al. (2014). *Costos económicos y sociales del conflicto en Colombia*. Universidad de los Andes.
- Arjona, A. (2016). *Rebelocracy*. Cambridge University Press.
- Ballentine, K., & Nitzschke, H. (2003). Beyond greed and grievance: Policy lessons from studies in the political economy of armed conflict. *Security and Development: Investing in Peace and Prosperity*, 164.
- Ballvé, T. (2012). Everyday state formation: territory, decentralization, and the narco landgrab in Colombia. *Environment and Planning D: Society and Space*, 30(4), 603-622.
- Bandiera, A. (2021). Deliberate displacement during conflict: Evidence from Colombia. *World Development*, 146, 105547.
- Battaglin, W. A., Meyer, M. T., Kuivila, K. M., & Dietze, J. E. (2014). Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in US soils, surface water, groundwater, and precipitation. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(2), 275-290.
- Baugh, K., Elvidge, C. D., Ghosh, T., & Ziskin, D. (2010). Development of a 2009 stable lights product using DMSP-OLS data. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 30(0), 114.
- Bernal-Cáceres, K. T. (2019). *Fumigación con glifosato en Colombia: política antidrogas vs. derecho a la salud y al medio ambiente*.
- Brauman, K., Flörke, M., Mueller, N., & Foley, J. (2011). Widespread Occurrence of Glyphosate and its Degradation Product (AMPA) in US Soils, Surface Water, Groundwater, and Precipitation, 2001-2009. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2011, H44A-08.
- Bromilow, R. H., Evans, A. A., Nicholls, P. H., Todd, A. D., & Briggs, G. G. (1996). The effect on soil fertility of repeated applications of pesticides over 20 years. *Pesticide Science*, 48(1), 63-72.
- Brower, L. P., Taylor, O. R., Williams, E. H., Slayback, D. A., Zubieta, R. R., & Ramirez, M. I. (2012). Decline of monarch butterflies overwintering in Mexico: is the migratory phenomenon at risk? *Insect Conservation and Diversity*, 5(2), 95-100.
- CAJAR. (2005). Impacto de las fumigaciones Aereas Con Glifosato en el Putumayo. En

- CAJAR. <https://www.colectivodeabogados.org/impacto-de-las-fumigaciones-aereas-con-glifosato-en-el-putumayo/>
- Camacho, A., & Mejía, D. (2014). Consecuencias de la aspersión aérea en la salud: evidencia desde el caso colombiano. *Costos Económicos y Sociales del Conflicto en Colombia: ?' Cómo construir un posconflicto sostenible*, 117-138.
- Cardenas, F. (2020). Caso Ecuador C. Colombia: Aspersiones de Glifosato en la Frontera: Derecho Internacional Ambiental, Lucha contra el Terrorismo y Negociación. *Casos de América Latina ante la Corte Internacional de Justicia. Fronteras, conflictos armados, derechos humanos y medio ambiente. Manuel Becerra Ed. Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM*.
- Chávez-Plazas, Y. A., & Bohórquez-Bohórquez, M. C. (2011). Desplazamiento forzado y reconfiguraciones familiares: una mirada a la situación de madres solteras adolescentes en Soacha. *PROSPECTIVA. Revista de Trabajo Social e Intervención Social*, 289-304.
- CNMH. (2015). *Una Nación Desplazada: Informe Nacional del Desplazamiento forzado en Colombia*. Centro Nacional de Memoria Histórica.
- Comisión de la Verdad, I. F. (2022). Hasta la guerra tiene límites. En *Informe Final - Comisión de la Verdad*. <https://www.comisiondelaverdad.co/hasta-la-guerra-tiene-limites>
- Cornell, S. E. (2005). Narcotics, radicalism, and armed conflict in Central Asia: the Islamic movement of Uzbekistan. *Terrorism and Political Violence*, 17(4), 619-639.
- Cox, C. (1995). Glyphosate. 2. Human exposure and ecological effects. *Journal of pesticide reform: a publication of the Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides (USA)*.
- Crisp, J. (2010). Forced displacement in Africa: Dimensions, difficulties, and policy directions. *Refugee Survey Quarterly*, 29(3), 1-27.
- Czaika, M., & Kis-Katos, K. (2009). Civil conflict and displacement: Village-level determinants of forced migration in Aceh. *Journal of peace research*, 46(3), 399-418.
- Deacon, H., Görgens, M., et al. (2019). *Forced to leave: Determinants of slow-onset displacement in Colombia*. JSTOR.
- DIRAN. (2020). Modificación del Plan de Manejo Ambiental para el Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante Aspersión Aerea. En *DIRAN*. <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2020-05/267042020%20Capítulo%202%20-%203%20Plan%20de%20Manejo%20Amb%20oriental%20General.pdf>
- DNP. (2005). *Balance Plan Colombia 1999 – 2005*. https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/justicia%20seguridad%20y%20gobierno/bal_plan_col_espanol_final.pdf
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., & Davis, E. R. (1997). Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(6), 727-734.
- Fergusson, L. (2017). *Who wants violence? The political economy of conflict and state building in Colombia* (Documentos CEDE N.º 015890). Universidad de los Andes â€“ Facultad de Economía â€“ CEDE. <https://ideas.repec.org/p/col/000089/015890.html>
- Gaviria, A., & Mejia, D. (2011). *Políticas antidroga en Colombia: éxitos, fracasos y extravíos*. Universidad de los Andes.
- Godoy, J. F. (2018). *Violencia en la producción de cocaína: laboratorios y grupos armados*.
- Grajales, J. (2017). *Land grabbing, legal contention and institutional change in Colombia*. 75-

- Griffiths, M. (2020). Affect and Displacement. En P. Adey, J. C. Bowstead, K. Brickell, V. Desai, M. Dolton, A. Pinkerton, & A. Siddiqi (Eds.), *The Handbook of Displacement* (pp. 99-107). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47178-1_7
- Gutiérrez, J. A., & Thomson, F. (2020). Rebels-turned-narcos? The FARC-EP's political involvement in Colombia's cocaine economy. *Studies in Conflict & Terrorism*, 44(1), 26-51.
- Gutiérrez-Sanín, F., & Wood, E. J. (2017). What Should We Mean by «Pattern of Political Violence»? Repertoire, Targeting, Frequency, and Technique. *Perspectives on Politics*, 15(1), 20-41. <https://doi.org/10.1017/S1537592716004114>
- Hammar, A. (2020). Displacement Economies: A Relational Approach to Displacement. En P. Adey, J. C. Bowstead, K. Brickell, V. Desai, M. Dolton, A. Pinkerton, & A. Siddiqi (Eds.), *The Handbook of Displacement* (pp. 67-77). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47178-1_4
- Huete, D., K. M., T. R., E.P. G., & X. F. (2002). *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*. 83, 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Ibañez, A. (2008). *El Desplazamiento Forzoso en colombia: Un camino sin retorno hacia la pobreza*. Universidad de los Andes, Colombia.
- Ibáñez, A. M., & Vélez, C. E. (2008). Civil conflict and forced migration: The micro determinants and welfare losses of displacement in Colombia. *World Development*, 36(4), 659-676.
- ICG. (2022). Bosques Caídos: Deforestación y conflicto en Colombia. En *Crisis Group*. <https://www.crisisgroup.org/es/latin-america-caribbean/andes/colombia/091-broken-canopy-deforestation-and-conflict-colombia>
- IDMC. (2022). En *IDMC*. <https://www.internal-displacement.org/>
- Kalyvas, S. N. (2006). *The logic of violence in civil war*. Cambridge University Press.
- Lajmanovich, R. C., Attademo, A. M., Simonello, M. F., Poletta, G. L., Junges, C. M., Peltzer, P. M., Grenón, P., & Cabagna-Zenklusen, M. C. (2015). Harmful effects of the dermal intake of commercial formulations containing chlorpyrifos, 2, 4-D, and glyphosate on the common toad *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae). *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1-12.
- Lozano-Gracia, N., Piras, G., Ibáñez, A. M., & Hewings, G. J. (2010). The journey to safety: conflict-driven migration flows in Colombia. *International Regional Science Review*, 33(2), 157-180.
- Martinez Ferro, T., & Zuleta, H. (2019). *Cultivos de Coca y Violencia: El cambio después de iniciados los diálogos de paz*. Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE.
- Mejia, D., & Restrepo, P. (2013). Bushes and bullets: Illegal cocaine markets and violence in Colombia. *Documento CEDE, 2013-53*.
- Mejía, D. (2016). Plan Colombia: an analysis of effectiveness and costs. *Foreign Policy at Brookings*, 17.
- Mejía, D., Restrepo, P., & Rozo, S. V. (2017). On the effects of enforcement on illegal markets: evidence from a quasi-experiment in Colombia. *The World Bank Economic Review*, 31(2), 570-594.

- Mercille, J. (2011). Violent narco-cartels or US hegemony? The political economy of the «war on drugs» in Mexico. *Third World Quarterly*, 32(9), 1637-1653.
- Mier, R. E. L. (2015). Degradación medioambiental como consecuencia del conflicto armado en Colombia. *Legem*, 3(1), 59-70.
- Monteleone, C. (2016). Do terrorism, organized crime (drug production), and state weakness affect contemporary armed conflicts? An empirical analysis. *Global Change, Peace & Security*, 28(1), 35-53.
- Moore, W. H., & Shellman, S. M. (2006). Refugee or internally displaced person? To where should one flee? *Comparative Political Studies*, 39(5), 599-622.
- Moulton, B. R. (1986). Random group effects and the precision of regression estimates. *Journal of econometrics*, 32(3), 385-397.
- Olea, J. L. M., & Pflueger, C. (2013). A robust test for weak instruments. *Journal of Business & Economic Statistics*, 31(3), 358-369.
- Ordoñez, A. (2020). Efectos Negativos del Glifosato en la salud reproductiva - universidad del valle / cali, Colombia. En *Universidad del Valle*. Universidad del Valle / Cali, Colombia. <https://www.univalle.edu.co/lo-que-pasa-en-la-u/efectos-negativos-del-glifosato-en-la-salud-reproductiva/>
- Peres, T. B., Andrea, Luchini, L. C., Bazarin, S., Papini, S., Matallo, M. B., & Savoy, V. L. T. (2003). Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and soil bioactivity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 1329-1335.
- Pleasants, J. M., & Oberhauser, K. S. (2013). Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: effect on the monarch butterfly population. *Insect Conservation and Diversity*, 6(2), 135-144.
- Relyea, R. A. (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological applications*, 15(2), 618-627.
- Rettberg, A., Nasi, C., Leiteritz, R. J., & Prieto, J. D. (2018). ?' Diferentes recursos, conflictos distintos?: La economía política regional del conflicto y la criminalidad en Colombia. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.
- Revkin, M. R. (2021). Competitive Governance and Displacement Decisions Under Rebel Rule: Evidence from the Islamic State in Iraq. *Journal of Conflict Resolution*, 65(1), 46-80. <https://doi.org/10.1177/0022002720951864>
- Reyes, L. C. (2014). Estimating the causal effect of forced eradication on coca cultivation in Colombian municipalities. *World Development*, 61, 70-84.
- Rincón-Ruiz, A., & Kallis, G. (2013). Caught in the middle, Colombia's war on drugs and its effects on forest and people. *Geoforum*, 46, 60-78.
- Rodríguez, C. (2020). *Efecto de la aspersión aérea de cultivos de hoja de coca en el trabajo infantil, la asistencia a la escuela y el rezago escolar en Colombia, 2008-2012*.
- Ruiz-Toledo, J., & Sánchez-Guillén, D. (2014). Efecto de la concentración de glifosato presente en cuerpos de agua cercanos a campos de soya transgénica sobre la abeja Apis mellifera y la abeja sin aguijón Tetragonisca angustula. *Acta zoológica mexicana*, 30(2), 408-413.
- RUV. (2022). En *Unidad para las Víctimas*. <https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>
- Steele, A. et al. (2007). *Massive civilian displacement in civil war: assessing variation in*

- Colombia*. Households in Conflict Network.
- Steele, A. (2011). Electing displacement: political cleansing in Apartadó, Colombia. *Journal of Conflict Resolution*, 55(3), 423-445.
- Steele, A. (2019). Civilian resettlement patterns in civil war. *Journal of peace research*, 56(1), 28-41.
- Stock, J. H., & Yogo, M. (2002). *Testing for weak instruments in linear IV regression*. National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA.
- Turkoglu, O. (2022). Look who perpetrates violence and where: Explaining variation in forced migration. *Political Geography*, 94, 102558.
- Wachter, K., & Gulbas, L. E. (2018). Social support under siege: An analysis of forced migration among women from the Democratic Republic of Congo. *Social Science & Medicine*, 208, 107-116. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.04.056](https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.04.056)
- Yonda, L. (2021). Aspersiones Aéreas: Poco Efectivas y Nocivas para el campesinado. En *Colombia Informa*. <https://www.colombiainforma.info/asperaciones-aereas-poco-efectivas-y-nocivas-para-el-campesinado/>
- Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E., & Sheppard, L. (2019). Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: a meta-analysis and supporting evidence. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 781, 186-206.
- Zuleta, H., & Martinez Ferro, T. M. (2017). *Coca, cocaína y narcotráfico*. Universidad de los Andes.

Anexos

Anexo 1: Derecho de petición para establecer el número de desplazados registrados con fumigación aérea con glifosato como causa.

F-OAP-018-CAR

Al contestar por favor cite estos datos:
Radicado No.: 201410019513301
Fecha: 11/18/2014 2:11:52 PM

VALORACIÓN DEL HECHO DE DESPLAZAMIENTO FORZADO CON OCASIÓN A LA FUMIGACIÓN DE CULTIVOS ILICITOS

La Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas en cumplimiento de lo establecido en el artículo 258 de la Ley 5 de 1992 y por virtud de la proposición No. 42 de 2014, en la cual se cuestiona acerca del número de "victimas del desplazamiento se deben a la fumigación de cultivos ilícitos" cuantificadas por "departamentos y municipios" informa lo siguiente de manera clara, precisa y concisa.

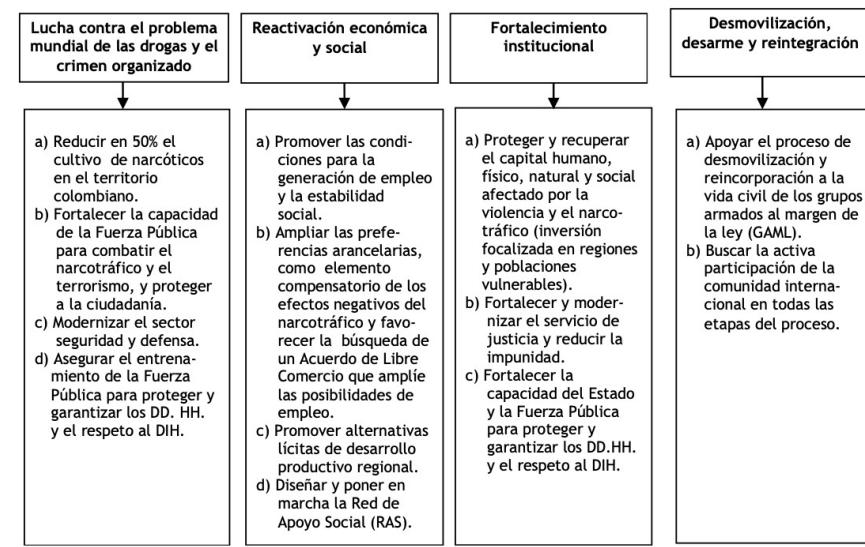
Tabla 1 Víctimas de desplazamiento forzado ocasionado por fumigaciones de cultivos ilícitos incluidas en el Registro Único de Víctimas (RUVC)

Tipo de desplazamiento	Incluido
Individual	551
Masivo	8.604
Total general	9.155

Fuente: Construcción Propia, información proceso de Registro

Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas - www.unidadavictimas.gov.co
Línea gratuita nacional: 018000 91 11 19 - Bogotá: 426 1111
PBX: (571) 796 5150 - Oficina principal: Calle 16 No. 6 - 66 Piso 19 - Bogotá - Colombia
Recepción de correspondencia: Carrera 100 No. 24D - 55

Anexo 2: Componentes del Plan Colombia.



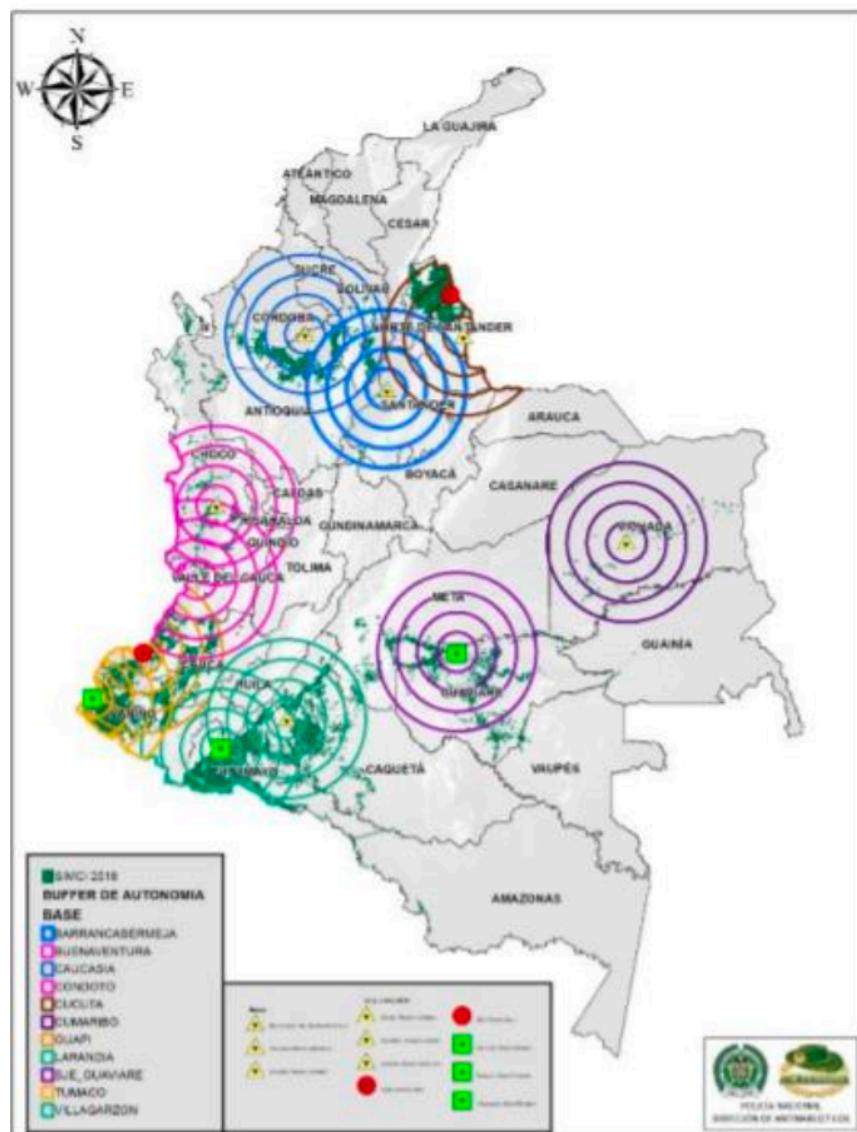
Fuente: DNP - DJS

Anexo 3: Condiciones para aplicar el PECIG

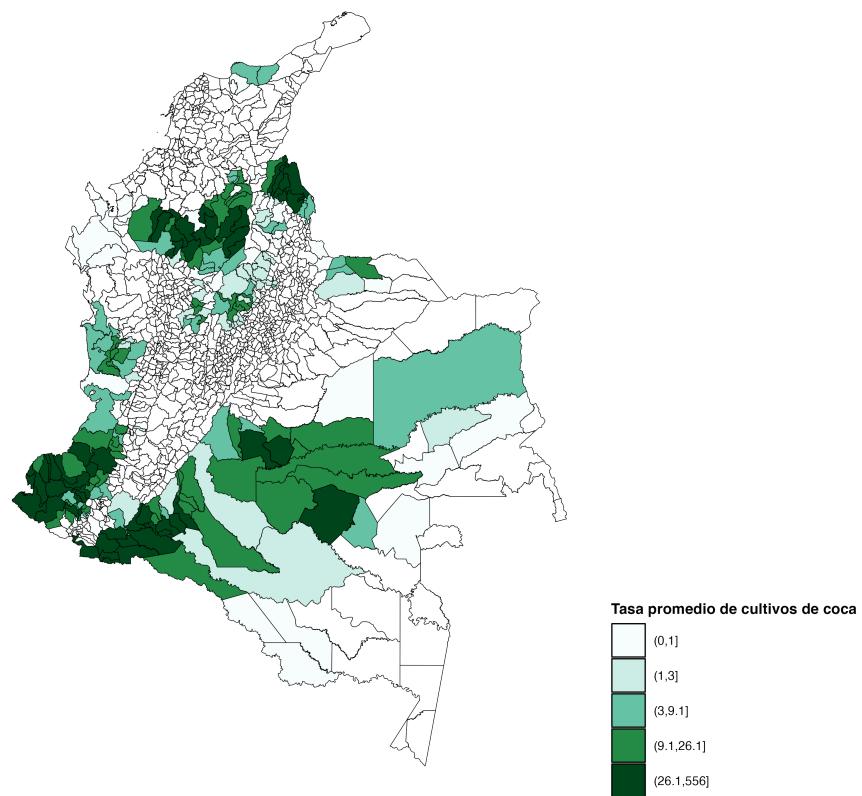
Parámetros técnicos de aspersión aérea con avión		Parámetros técnicos de aspersión aérea con helicóptero	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Altura de aplicación máxima permitida	Máximo de 30 m	Altura de aplicación máxima permitida	Hasta 30 m
Descarga máxima de glifosato	10 l/ha	Descarga máxima de glifosato	10 l/ha
Descarga máxima de mezcla	30 l/ha	Descarga máxima de mezcla	30 l/ha
Coadyuvante (aceite mineral)	1% del volumen total de la mezcla	Deriva Permisible	< 10 m
Agua	19,7 l/ha. – 65,7% de la mezcla	Temperatura Máxima	35° C
Tamaño de gota	120 - 330 micras	Velocidad Máxima del Viento	4 - 10 nudos – (7,4 -18,5 km/h)
Deriva permisible (metros)	Hasta 10 m	Capacidad mezcla (mínima)	175 gal / 662,4 L
Temperatura máxima	35° C	Velocidad (VNE) – Velocidad Nunca Exceder - Booms instalados	130 nudos (241 km/h) por el fabricante
Humedad relativa (porcentaje)	60 a 90%	Estimado ancho de faja	Dentro del disco del rotor principal
Velocidad del viento en la aplicación (Km por h)	Hasta 10 Km/h	Puertos para boquillas	68 – 92 de ¼ diámetro de boquilla
Presión de la bomba (PSI)	50 PSI (± 10)	Velocidad del helicóptero	40 - 60 nudos (74,1 – 111,1 km/h)
Tipo de boquilla	CP11 TT 0015	Tipo de boquilla	Accu-Flo 0,063-16
Velocidad de aplicación del avión -millas- (kilómetros por hora)	Hasta 150 millas (242 km/h)	Tamaño de Gota promedio	Mayores 330 micras
Ancho de faja (metros)	32 metros		

Fuente: DIRAN, 2020

Anexo 4: Núcleos de aplicación del PECIG



Anexo 5: Mapa de cultivos de cultivos de coca en relación al tamaño del municipio (2004 - 2012)



Fuente: Observatorio de Drogas de Colombia

Anexo 6: Relevancia y restricción de exclusión instrumento alterno

Tabla 9: Resultados primera etapa

Variable dependiente: Aspersiones aéreas	
Velocidad del Viento	-0,008*** (0,001)
F estadístico	79,601
F estadístico efectivo	39,503
Efectos Fijos	S
Controles	S
Observations	10,246
R ²	0,016

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

\

Tabla 10: Restricción de exclusión

Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(Municipios sin aspersión)	(Municipios con aspersión)
	(1)	(2)
Velocidad del Viento	0,003 (0,003)	-0,013*** (0,005)
Efectos Fijos	S	
Controles	S	
Observations	18,484	10,246
R ²	0,005	0,006

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Anexo 7: Efecto desplazamiento y aspersiones en el tiempo con el instrumento alterno

Tabla 11: Efecto en el tiempo de las aspersiones aéreas sobre el desplazamiento forzado

	Variable dependiente: Desplazamiento Forzado		
	(t + 1)	(t + 2)	(t + 3)
Aspersiones aéreas	1,668** (0,682)	1,088*** (0,379)	0,578 (0,584)
Efectos Fijos	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Observations	10,246	10,058	9,868
R ²	0,0005	0,0001	0,0002

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geograficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo economico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de significancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Anexo 8: Efecto desplazamiento y aspersiones agregado en el tiempo mostrando las variables asociadas a violencia

Tabla 12: Efecto agregado de las aspersiones aéreas sobre el desplazamiento forzado

Variable dependiente: Desplazamiento Forzado	
Aspersiones aéreas	3,728*** (1,277)
Tasa de combates	15,825 (12,207)
Tasa de despojo	9,927*** (2,173)
Tasa de minas	10,492* (6,047)
Tasa de reclutamiento	11,657 (19,697)
Tasa de homicidio	10,940*** (2,422)
Tasa de desaparición forzada	25,050*** (7,955)
Efectos Fijos	Si
Controles	Si
Observations	10,246
R ²	0,094

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geograficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo economico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de signifancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Anexo 9: Efectos diferenciados de acuerdo al número de re-aplicaciones del programa.

Tabla 13: Efecto heterogéneos entre aspersiones y desplazamiento de acuerdo a la constancia del PECIG

Variable dependiente: Desplazamiento Forzado	
Aspersiones aéreas	-1,207* (0,822)
Aspersiones aéreas*Intensidad 2	2,142** (0,845)
Aspersiones aéreas*Intensidad 3	1,603* (0,871)
Aspersiones aéreas*Intensidad 4	1,227* (0,911)
Efectos Fijos	<i>Si</i>
Controles	<i>Si</i>
Observations	10,203
R ²	0,069

Nota: Los errores fueron clusterizado a nivel municipal. Los valores dentro de los parentesis representan la desviación estandar. Paralelamente se aplicaron efectos fijos por municipio, año-mes y núcleo. Las variables de control asociadas a la violencia se tomaron en tasas por 100 habitantes, estas son: desaparición forzada, reclutamiento de menores, minas, combates y despojo. Las variables de control geográficas son: choques de viento, índice de vegetación y niveles de lluvia. La variable de control asociada al desarrollo económico es la intensidad de luminosidad del municipio. Además, los niveles de signifancia se ven representados de la siguiente manera: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01