



Acerca de la relación de los abortos espontáneos y la aspersión aérea con glifosato de los cultivos de hoja de coca: aportes para el desarrollo del Principio de Precaución

Erik Santiago Aparicio Zamora

Universidad Externado de Colombia

Facultad de Economía

Bogotá, Colombia

2020

Acerca de la relación de los abortos espontáneos y la aspersión aérea con glifosato de los cultivos de hoja de coca: aportes para el desarrollo del Principio de Precaución

Erik Santiago Aparicio Zamora

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Economía

Director:
Óscar Alfredo Alfonso Roa

Universidad Externado de Colombia
Facultad de Economía
Bogotá, Colombia
2020

Resumen

Existen diversas investigaciones que evidencian correlación, e incluso causalidad, entre daños en la salud reproductiva y la exposición a glifosato. Mediante el uso de un modelo SEDM se encontró que el aumento en una desviación en el área asperjada con glifosato, en promedio, está correlacionado con el aumento del número de abortos espontáneos de la población residente en los municipios asperjados en Colombia entre un 21 y un 31 % en 4 de 6 años de la muestra (2010-2015). Para la aspersión rezagada espacialmente no se encontró correlación respecto a los abortos espontáneos. Existen factores no observados que presentan una dinámica de autocorrelación municipal. El modelo propuesto es sensible a la especificación de la SWM. Además, no es posible establecer una causalidad. Sin embargo, la evidencia es significativa desde el punto de vista estadístico y pretende ser un insumo para el desarrollo del Principio de Precaución en la discusión de retomar la política de aspersión aérea con glifosato para erradicar cultivos de hoja de coca.

JEL: C31, H75, I18, K32, R12.

Palabras clave: Abortos espontáneos, aspersión aérea con glifosato, principio de precaución, spatial durbin error model.

Abstract

There are several literature which finds a correlation, even causality, between reproductive health and glyphosate exposure, without conclusively results. By using a Spatial Error Durbin Model it was found that the increment on one sample deviation of the sprayed area with glyphosate, on average, was correlated with the number of miscarriages in the municipalities of Colombia between 21 and 31 % in 4 out of 6 years analyzed (2010-2015). For the spatial lag of aerial spraying it was not found any relation with miscarriages. There are unobserved factors with an autocorrelation dynamic in the municipalities. The proposed model is sensitive to the Spatial Weight Matrix specification. Furthermore, causality cannot be established. Nevertheless, the evidence is statistically significant and it might be an input for the development of the Precautionary Principle when discussing return to the policy of aerial spraying with glyphosate to eradicate coca crops.

JEL: C31, H75, I18, K32, R12.

Keywords: Miscarriages, glyphosate aerial spraying, precautionary principle, SEDM.

Índice

Resumen	III
Gráficas	VI
Tablas	VI
1. Introducción	1
2. Coca y Erradicación	2
2.1. Panorama colombiano	3
2.2. Aspersión Aérea en Colombia	5
2.3. Algunas consecuencias de la Aspersión	6
3. Abortos Espontáneos	8
3.1. Factores asociados	8
3.1.1. Edad de la mujer	9
3.1.2. Zonas rurales y urbanas	9
3.1.3. Factores socioeconómicos	9
3.1.4. Otros	9
3.1.5. Uso de Biocidas	10
3.2. Datos de Abortos Espontáneos en Colombia	11
3.2.1. Estadística por grupos etáeros.	13
3.2.2. Estadística por zona de residencia	13
3.2.3. Estadística por Factores Socioeconómicos	13
4. Glifosato y Abortos Espontáneos	15
4.1. Evidencia Internacional	15
4.2. Evidencia en Colombia	17
4.3. AAEE y Aspersión Aérea: Datos para Colombia	18
5. Modelación	22
5.1. Modelos Espaciales Autoregresivos	23
5.1.1. Modelo SEM: Características	25

5.2. Descripción de los datos	26
5.2.1. Abortos Espontáneos	26
5.2.2. Covariables	27
5.3. Matrices de Pesos Espaciales	28
5.4. Contrastes Globales de Autocorrelación Espacial	29
5.4.1. Contrastes Individuales	29
5.4.2. Contrastes Conjuntos	30
5.5. Modelo SEDM: Estimación	31
5.5.1. Bondad de Ajuste	34
5.5.2. Efectos Directos, Indirectos y Totales	35
5.5.3. Modelo SEM por Tipología	36
5.5.4. Resumen de resultados	37
6. Derecho a un medio ambiente sano	40
7. Conclusiones	43
Bibliografía	46
A. Anexo: Fórmulas para los Contrastes	54
B. Anexo: Información Adicional	55
B.1. Estadística Descriptiva	55

Índice de figuras

1.	Hectáreas Asperjadas y Cultivadas Totales entre 2000-2015 (k -medias)	4
2.	Hectáreas Cultivadas y Asperjadas por Fuente de Información	6
3.	Distribución Espacial (Cuantiles) de la TAE	12
4.	Porcentaje de Abortos Espontáneos por Área de Residencia	14
5.	Abortos Espontáneos y Aspersión Aérea	18

Índice de cuadros

1.	Evolución de la TAE	12
2.	Evolución de la TAE por Grupo Etéreo	13
3.	Abortos Espontáneos por Tipología	20
4.	Contrastes de Autocorrelación	29
5.	Contrastes LM Robustos e I-Moran	30
6.	SEDM para Log Aspersión 2010-2015 - Toda la Muestra	31
7.	SEDM para Log Aspersión 2010-2015 - Actividad Cocalera	33
8.	Contraste LR para Aspersión y Rezago Aspersión	34
9.	Efectos Directos, Indirectos y Totales Promedios	36
10.	SEM para Log Aspersión 2010-2015 Tipología	37
11.	Estadística para Abortos 2000-2015	55

1. Introducción

En el año 2020 el gobierno colombiano tiene que tomar una decisión respecto a la política de erradicación de cultivos de hoja de coca debido al aumento sostenido que han tenido en los últimos años. El Departamento de Estado de los Estados Unidos presiona al gobierno colombiano a que retome la política de aspersión aérea con glifosato para la erradicación de los cultivos, política que ha sido bastante controversial no sólo por sus resultados, sino por la asociación que se ha encontrado entre su uso y daños en la salud respiratoria, dermatológica, reproductiva en seres humanos, además de otras afectaciones sobre el ecosistema. En este trabajo se explorará su relación con el número de casos de abortos espontáneos, con dos objetivos esenciales.

El primero es presentar la estadística descriptiva para Colombia de los abortos espontáneos y su relación con algunos factores de riesgo desde una perspectiva espacial entre los años 2000 y 2015, a partir de información obtenida del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Este apartado es crucial en tanto no existen estadísticas o cifras definitivas sobre este fenómeno en el país.

El segundo objetivo es analizar la relación, si existe, entre los abortos espontáneos experimentados por las mujeres residentes de los municipios del país y el área asperjada con glifosato entre los años 2010 y 2015. Encontrar evidencia que relacione estos dos fenómenos servirá de insumo a la discusión sobre la reanudación de la política de aspersión. A pesar de que no hay certeza científica absoluta sobre los mecanismos bioquímicos bajo los cuáles opera su toxicidad, el glifosato podría causar daños en la salud prenatal que finalicen en un aborto espontáneo, según la literatura presentada en la Sección 4. Cabe recordar que la protección de los derechos bioculturales a través del Principio de Precaución instaurado en la Sentencia T 622 de 2016 ampara las comunidades que se han visto afectadas por la aspersión en cuanto exista evidencia científica objetiva, no necesariamente certeza absoluta.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se realizará una contextualización con enfoque en la aspersión aérea como política de erradicación. En la Sección 3 se discute sobre la etiología de los abortos espontáneos y presenta las estadísticas para el país. La Sección 4 ilustra la literatura encontrada sobre la exposición a glifosato y salud reproductiva. Más adelante, en la Sección 5, se aplicará un modelo SEDM para buscar, si existe, la correlación entre abortos espontáneos y aspersión aérea con glifosato. La 6 consiste en una reflexión sobre el Principio de Precaución. Finalmente, las conclusiones y perspectivas sobre la investigación.

2. Coca y Erradicación

La palabra *coca* deriva de la lengua Aymara ¹ y significa simplemente planta. La hoja de coca ha sido parte de las culturas que han vivido en los territorios andinos desde hace al menos 5 mil años. Los efectos de su uso son, principalmente, reducir la fatiga, minimizar el apetito, brindar energía y producir un estado alterado de excitación.

En 1954, la Comisión de Estupefacientes de la OMS ² logró que Argentina, Bolivia y Colombia, entre otros países, reconocieran como adictivo el uso de la hoja de coca. Este fue uno de los primeros pasos de la política exterior prohibicionista, antecedida por medidas semejantes tomadas en los Estados Unidos con el cannabis. Unos años más tarde, la Convención Única de 1961 obligó a los países participantes del acta (74 países) a acabar de raíz con la producción si esta era la única alternativa para enfrentar el comercio y la distribución *no autorizada* de psicoactivos derivados de la hoja de coca (ONU, 1961) - incluso si su uso era de tipo cultural, como el *mambeo*.

A partir de este momento, la batalla occidental en contra de la hoja de coca y la cocaína desembocaría en una cruzada mundial de erradicación de cultivos, siendo Estados Unidos el cabecilla de la operación internacional. Durante la década de 1970 la política norteamericana, respaldada por la europea y la soviética, se centró en el cumplimiento de los parámetros de la Convención, enmendada en 1972 (ONU, 1972). Estos eran, en términos generales, la prohibición del uso de opioides, barbitúricos, alcaloides y otros psicoactivos de producción no autorizada y la eliminación gradual de cultivos de amapola, coca y marihuana, entre otros; todo mediante la financiación directa en países como Bolivia, Perú, Colombia, Nigeria, Laos, Vietnam, Irán y Turquía, entre otros (Escohotado, 1998).

Durante los últimos 50 años, la guerra contra las drogas se ha librado por medio de políticas de erradicación, destrucción de laboratorios, incautaciones de mercancía y persecución al narcotráfico, entre otras estrategias, para lograr suprimir la oferta tanto de la hoja como de la pasta de coca. Sin embargo, estas políticas han sido muy cuestionadas y las dudas alrededor de su efectividad han crecido. A pesar de la multimillonaria inversión, los niveles de producción de cocaína, pasta y crack son alarmantes, así como las cifras de consumo. Para el 2017 en Estados Unidos, hubo alrededor de 8.5 millones de personas que reportaron haber consumido cocaína durante el último año, cifra que representa la mitad de consumidores mundiales (OEA, 2019).

¹Lengua hablada por la tribu Aymara ubicada en Argentina, Bolivia, Chile y Perú

²Organización Mundial de la Salud. Ver OMS, *Serie de Informes Técnicos*, 76, 1954.

Para el 2018, la producción potencial de clorhidrato de cocaína pura sólo en Colombia fue de 1120 toneladas métricas (UNDOC, 2019).

Al tiempo, las tribus originarias del sur de América siguen consumiendo la hoja como una actividad cultural, para mambear y en sus rituales. En Colombia, muchos campesinos viven del cultivo de la hoja coca para subsistir, debido a la caída del precio internacional de cultivos como el café además del poco beneficio que brindan cultivos de larga duración como el plátano o el cacao. Mientras tanto, por medio de permisos especiales ³, en algunas ciudades se comercializan productos derivados de la hoja.

2.1. Panorama colombiano

A pesar de los esfuerzos, Colombia pasó a ser el principal cultivador de hoja de coca y el mayor productor de pasta de coca en el mundo para la década de 1980, desplazando a Perú y Bolivia del primer puesto en la producción, cuando la prohibición hizo más rentable el negocio y surgieron grupos armados y clanes que utilizaban el tráfico para financiar sus actividades ilícitas (Sánchez y Díaz, 2004).

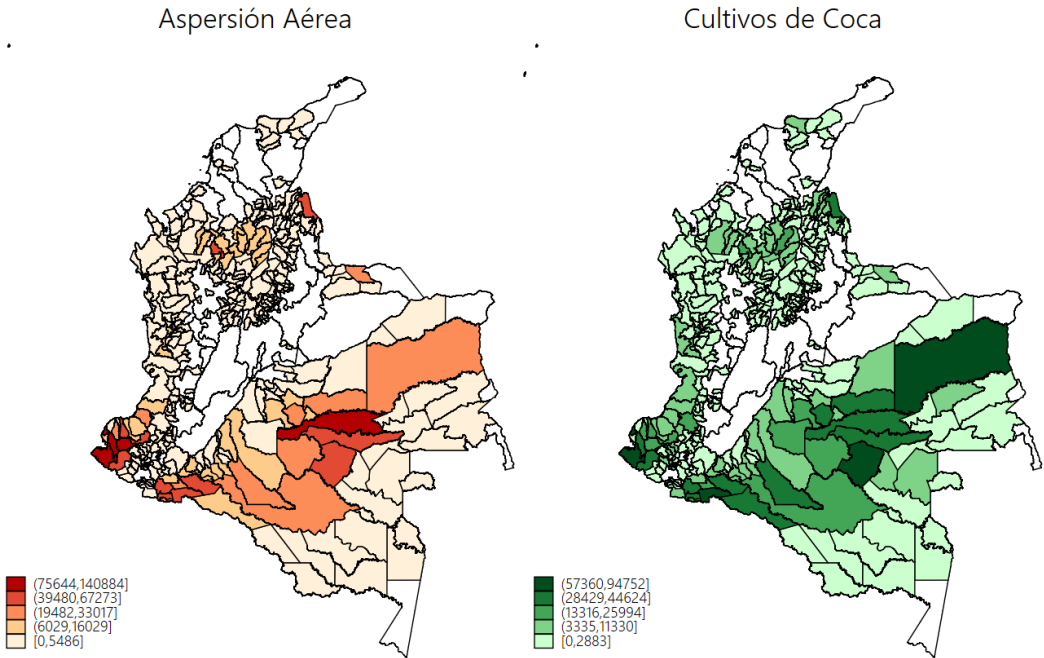
A raíz de esta dinámica se crea en 1976 el Consejo Nacional de Estupeficientes (CNE), el cual esperaba crear mecanismos de control más efectivos en la lucha contra las drogas. Las políticas del CNE estaban enfocadas en la pugna contra la comercialización de la pasta de coca, mientras el cultivo de la hoja se iba expandiendo al punto de ser declarada una actividad ilegal. Notificado el gobierno de esta dinámica, en 1986 se creó la Dirección Nacional de Estupeficientes (DNE), institución que empezó a ejecutar el mecanismo de erradicación *mata por mata* de coca y amapola mediante el uso (manual o aéreo) de pesticidas, política utilizada anteriormente para erradicar los cultivos ilícitos de marihuana durante los años setenta en el país (Sánchez y Díaz, 2004). Otras estrategias secundarias y relegadas en programas de desarrollo socioeconómico alternativo se centraron en la ejecución de operativos de incautación del producto final, la desmantelación de redes de narcotráfico y la realización de actividades de sustitución de cultivos para los campesinos.

Tales políticas, incluidas las de erradicación de cultivos, no sólo no solucionaban los problemas de fondo, sino que ahora brindaban incentivos para el aumento de los cultivos. Por ejemplo, no habían razones para sustituir los cultivos por una actividad que brindara menos ingresos, o

³Sólo una empresa en Tierradentro, Cauca, posee permisos gubernamentales para comercializar productos derivados de la hoja de coca, como bebidas energizantes, té o ungüentos.

se aumentaban los cultivos de coca para acceder a los subsidios brindados por el Estado y su política de sustitución (Escohotado, 1998; Salisbury y Fagan, 2013; Sánchez y Diaz, 2004). Otra razón importante por la cual las políticas utilizadas fueron ineficaces es debido a un proceso conocido como *efecto globo* (Romero y Silva, 2009), *difusión espacial* (Cohen y Tita, 1999) o *trashumancia* (Alfonso y cols., 2020). Esto es, el traslado de cultivos de una región a otra a partir de la erradicación aérea y la destrucción de laboratorios: una dinámica factible en un país biodiverso. De acuerdo con Romero y Silva (2009), "el éxito del efecto globo es el mayor fracaso del Plan Colombia". Los cultivos se han dispersado por el territorio, la oferta ha aumentado y el consumo también: el negocio es inteligente y se ha sabido adaptar. Otras dinámicas coyunturales, como el aumento del precio del dólar y la caída del precio internacional del oro, también contribuyeron el aumento de los cultivos ilegales por el país (PARES, 2018).

Figura 1: Hectáreas Asperjadas y Cultivadas Totales entre 2000-2015 (*k*-medias)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Observatorio de Drogas de Colombia

Este ha sido el panorama de los últimos 30 años: para el 2001, sólo Colombia cultivababa el 72 % de la coca en la región andina (Sánchez y Diaz, 2004). Para el 2017, según datos del Observatorio de Drogas de Colombia (ODC), el área cultivada de hoja de coca fue de 171.5 mil hectáreas (*ha*), lo que corresponde al 70 % de los cultivos totales entre estos tres países.

2.2. Aspersión Aérea en Colombia

La primera vez que el gobierno colombiano utilizó la aspersión aérea como política de Estado fue durante los últimos años de la década de 1970 para erradicar los cultivos de marihuana en la Sierra Nevada de Santa Marta, ubicada en los departamentos de Magdalena, La Guajira y Cesar, además de la Serranía del Perijá, ubicada en el noreste del país, en los límites con Venezuela. Más precisamente, en 1984, el Ministerio de Justicia aprobó la aspersión con glifosato (Gonzalez, 2006). Con el *boom* de la coca en el país y ante la ineficacia de las políticas contra la distribución y comercialización, el CNE aprueba en 1992 la aspersión aérea para los cultivos de amapola con el mismo herbicida y luego en 1994 para cultivos de coca, política que se expandió de tal manera que, entre 2000 y 2015, se han fumigado 1'699 029 *ha* de hoja de coca, según datos del ODC.

La aspersión con glifosato se convirtió en el método más utilizado para la erradicación de la hoja de coca. Esta política, sin embargo, ha sido muy controversial debido al potencial daño en los ecosistemas (se ha asperjado incluso en Parques Nacionales Naturales) y en los impactos que se han asociado sobre la salud de sus usuarios. Por otro lado, no ha tenido información concreta ni resultados favorables o por lo menos fiables de su eficiencia, como se evidencia en la Figura 2. Por ejemplo, en el 2003 se asperjaron 132.8 mil *ha* y los cultivos se redujeron sólo en 6 mil *ha* para el 2004, según datos de la ODC; y según datos de la ONDCP ⁴, lo que hubo fue un leve aumento en los cultivos (Walsh y cols., 2008). Para el año 2006, la situación fue más confusa. La ONDCP estimó el área sembrada alrededor de 157 mil *ha*, lo que equivale a 79 mil *ha* adicionales a las 77.8 mil reportadas por la ODC y la UNODC ⁵, pese al récord de hectáreas asperjadas: 172 mil aéreamente y 42 mil erradicadas manualmente (Walsh y cols., 2008) en el mismo año.

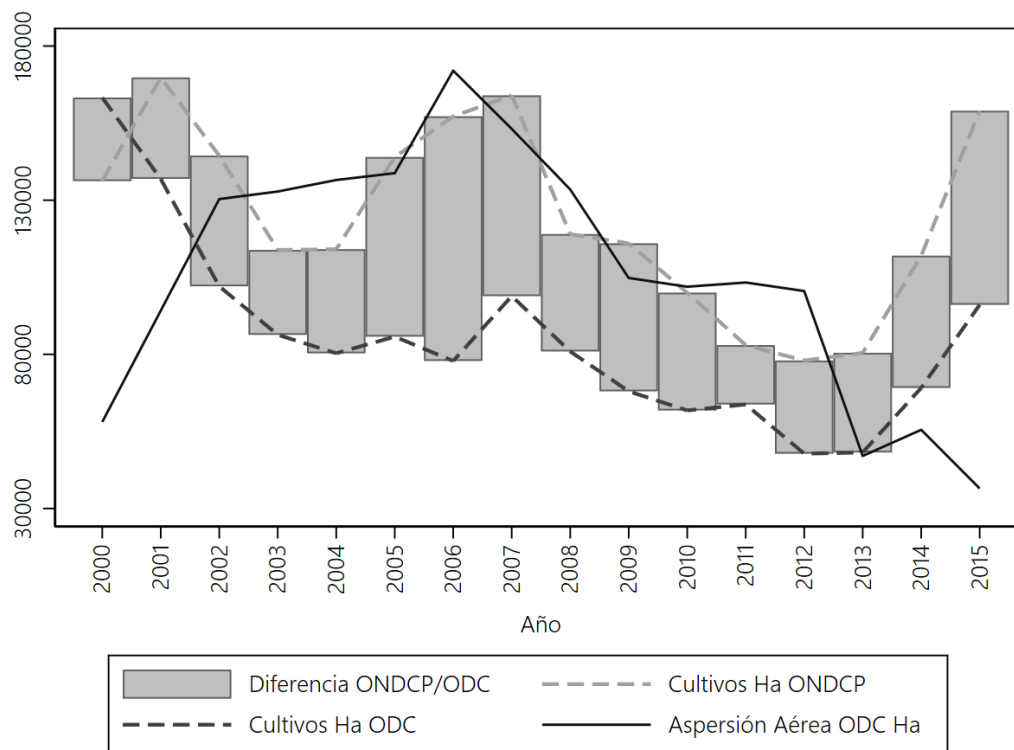
En general, la ONDCP reportó en promedio, entre el año 2000 y 2015, 39 mil *ha* cultivadas más por año de lo que reportaron la ODC y la UNODC. Como puede apreciarse en la Figura 2, los niveles de aspersión aérea suelen superar los niveles de hectáreas cultivadas, según datos de la ODC. Esto sugiere que se sobre-asperja en el territorio mientras los cultivos, si reducen, lo hacen a un costo socio-ambiental muy alto y la reducción de un año a otro no es significativa. También refuerza la hipótesis de la trashumancia: si se asperja más de lo que se cultiva, es porque el cultivo se mueve dinámicamente en el tiempo y el espacio.

Los resultados de la política de aspersión aérea con glifosato son elocuentes. Esta política absorbe recursos que podrían utilizarse en otros programas sociales de mayor impacto y el au-

⁴Oficina de la Política Nacional para el Control de Drogas de Estados Unidos.

⁵Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito.

Figura 2: Hectáreas Cultivadas y Asperjadas por Fuente de Información



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ODC y la ONDCP.

mento de la presencia estatal en los territorios cocaleros (Escohotado, 1998; Romero y Silva, 2009; Walsh y cols., 2008). Según datos obtenidos por Mejía, Restrepo, y Rozo (2015), para erradicar aéreamente una hectárea de cultivos de hoja de coca se deben asperjar alrededor de 29 hectáreas con glifosato. Además, según los mismos autores, el costo promedio de erradicar una hectárea es de USD \$ 74 000. Desde otra perspectiva, ignora casi totalmente cualquier consecuencia de tipo social, como el aumento de la violencia, el aumento de empleo informal y la perpetuación e incentivación a economías de narcotráfico, además de cualquier otra consecuencia de tipo ambiental, como la destrucción de ecosistemas y el perjuicio sobre la salud de los campesinos.

2.3. Algunas consecuencias de la Aspersión

El esquema de erradicación aérea reconoce mezquinamente elementos de juicio crítico como el deterioro ambiental, los patrones geográficos de la trashumancia, el uso de los derivados de

la hoja para usos médicos, la conservación de las costumbres indígenas ancestrales alrededor del uso de esta planta y las consecuencias en la salud de los campesinos, a pesar de los intentos por mitigar sus efectos secundarios.

Entre los daños sobre el medio ambiente, resaltan afectaciones a cultivos agrícolas aledaños, la deforestación por la trashumancia, la destrucción de ecosistemas y la pérdida de biodiversidad (Walsh y cols., 2008); además de amenazas en seguridad alimentaria, tanto en el ecocidio de cultivos como en la concentración de químicos en los alimentos (Avila y cols., 2018; Parvez y cols., 2018). Por otro lado, la trashumancia trae consecuencias no previstas por las autoridades como la creación de nuevos laboratorios, apertura a nuevas rutas de narcotráfico, desplazamiento forzado y creación de nuevas economías ilegales. La política de aspersión ha estado lejos de ser efectiva, y los cultivos y el narcotráfico no se han reducido de manera significativa. Por otra parte, la trashumancia también ha derivado en la fragmentación de los ecosistemas por donde pasa (Gutiérrez y cols., 2018). Desplaza además la contaminación, se elimina la vegetación en las rutas del narcotráfico y los químicos utilizados para crear la base o la pasta son vertidos en el ecosistema.

En el 2015, la IARC ⁶ declaró al glifosato como sustancia probablemente cancerígena en humanos, siendo clasificada en la Categoría 2A⁷. Es de interés discutir sobre la probable asociación entre la aspersión aérea con glifosato y daños sobre la salud prenatal, enfocado en la incidencia de abortos espontáneos en el país. A continuación, se presentarán los factores que podrían incrementar el riesgo de experimentar un AAEE, incluyendo una revisión acerca del uso de biocidas, dentro de los cuales se incluye, por supuesto, el glifosato.

⁶International Agency for Research of Cancer.

⁷El agente (o mezcla) es probablemente carcinógeno para el ser humano. Hay pruebas suficientes de que puede causar cáncer a los humanos, pero actualmente no son concluyentes.

3. Abortos Espontáneos

La muerte natural de un feto dentro del vientre de una mujer se considera un aborto espontáneo (AE) si sucede durante los 3 primeros meses de gestación - alrededor del 80 % de los casos (Berek y Novak, 2015) - o entre el tercer y quinto mes (AE tardío). En la práctica médica, también se identifica como aborto espontáneo la extracción de un feto sin viabilidad (Adolfsson, 2006) durante el mismo lapso de tiempo. Es la complicación más común en un embarazo (Poorolajal y cols., 2014).

La principal manera en que se desarrolla un AE es mediante alteraciones cromosómicas inviábiles dentro de las cuales el desarrollo anormal del cigoto es el hecho más frecuente. Junto a esto se han asociado factores de riesgo como el consumo de cigarrillo, alcohol, cafeína y drogas durante la gestación, sin haber todavía ningún resultado concluyente. Otras razones que han sido conectadas son la edad y el peso de la mujer, exposición a radiación y exposición a toxinas, principalmente pesticidas en el ambiente (Donado y León, 2013; Garry y cols., 2002; Naidoo y cols., 2011; Parvez y cols., 2018; Richard y cols., 2005; Taets y cols., 1998; Vorvick y cols., 2010; Zhang y cols., 2019; Zheng y cols., 2017).

Encontrar cifras definitivas sobre los casos de AE, en cualquier lugar u horizonte temporal, es una tarea complicada dada la naturaleza del asunto. En ocasiones, las mujeres experimentan el aborto antes de saber que están embarazadas. En otros escenarios, no tienen acceso a tratamiento o a un puesto de salud cercano y por lo tanto no hay manera de registrar los casos. Otra razón es el riesgo moral, que desemboca en subregistro o registro inadecuado (Adolfsson, 2006). No obstante, se tienen cifras estimadas y aproximadas. Por ejemplo, según ACOG⁸, en Estados Unidos, el 10 % de los embarazos registrados terminan en un AE. En España, la tasa está entre el 10 y el 20 %. En Suecia, oscila entre el 12 y 15 %, además de que 1 de cada 4 mujeres que da a luz ha experimentado un AE anteriormente (Adolfsson, 2006). Estudios como los de Zheng y cols. (2017) indican un rango entre 6 y 12 % de ocurrencia respecto al total de embarazos.

3.1. Factores asociados

La etiología de un AE no ha sido concensuada entre los especialistas, si bien existen ciertos factores de riesgo que se han asociado mediante estudios estadísticos y científicos (Adolfsson, 2006). Es preciso anotar que estos factores varían entre comunidades y regiones a lo largo del

⁸The American College of Obstetricians and Gynecologist.

mundo (Poorolajal y cols., 2014).

3.1.1. Edad de la mujer

Las mujeres mayores tienen una mayor probabilidad de experimentar un AE: “*se observa que en las adolescentes puede alcanzar entre 10 y 12 %, mientras que en las mayores de 40 años el porcentaje aumenta de cuatro a cinco veces*” (Donado y León, 2013, pág 5). Otros estudios afirman que después de los 39 años la tasa incrementa de 12 a 18 % y que entre los 40 y 44 años la TAE⁹ puede incluso llegar al 51 %. (Adolfsson, 2006). En general, el factor de riesgo más asociado al suceso de un AE es la edad de la mujer, principalmente mayores de 40 años (Arbuckle y cols., 2001; Hu y cols., 2018; Naidoo y cols., 2011; Poorolajal y cols., 2014)

3.1.2. Zonas rurales y urbanas

Según investigaciones como las de Zheng, Li, Wu, y Tang (2017) una mujer tiene mayor riesgo de experimentar un aborto espontáneo si vive en zonas rurales que en urbanas. Esto debido a que las afectadas del primer grupo enfrentan mayores retos, como un ambiente prenatal más frágil, que mujeres de zonas urbanas, a pesar que estas tengan condiciones asociadas con inactividad física, patrones no saludables de alimentación y mayor exposición al uso de cigarrillo, drogas y alcohol (Zheng y cols., 2017). Por otro lado, condiciones de trabajo de esfuerzo físico considerable como cargar peso o caminar largas distancias también han sido asociados como factores de riesgo de un AE (Naidoo y cols., 2011).

3.1.3. Factores socioeconómicos

Dentro de las causas socioeconómicas, figuran el nivel educativo y el nivel de ingresos del hogar. Estudios indican que mujeres con menor nivel educativo así como menor nivel de ingresos familiares poseen mayor tasa (*odds ratio*) de AAEE respecto a otros grupos de control con mayor nivel educativo y mayores ingresos (Parazzini y cols., 1997; Zheng y cols., 2017).

3.1.4. Otros

Se ha asociado el consumo de cafeína durante la gestación con un incremento en el riesgo de sufrir un AE, aunque la inferencia o causalidad no se ha estudiado y continúa en debate

⁹Tasa de Abortos Espontáneos (TAE): Número de abortos espontáneos por cada mil niños nacidos en un lugar durante un periodo de tiempo

(Parazzini y cols., 1998). Por otra parte, mujeres fumadoras activas y pasivas durante el embarazo son asociadas como individuos más susceptibles de experimentar un AE, sobretodo las pasivas (Adolfsson, 2006; Hu y cols., 2018; Parazzini y cols., 1997; Pineles y cols., 2014; Zheng y cols., 2017). El consumo de alcohol también es una de las causas más frecuentes de un AE (Parazzini y cols., 1994). Otra causa que incrementa el riesgo es el haber tenido un aborto espontáneo previamente (abortos recurrentes) (Adolfsson, 2006; Parazzini y cols., 1997; Zheng y cols., 2017).

3.1.5. Uso de Biocidas

Varios estudios, como los que se discutirán en la Sección 4, han encontrado una asociación positiva entre la exposición y/o uso de biocidas y complicaciones en materia de salud prenatal, entre las que destacan los AAEE, malformaciones y defunciones antes del primer año de nacido. A pesar de esto, no se han logrado identificar todos los mecanismos químicos específicos que explicarían tal relación y tampoco se han logrado separar de otros factores de riesgo como causales de defunciones fetales.

En la práctica agrícola, la exposición a químicos representa un riesgo para la salud reproductiva tanto para los hombres (De Cock y cols., 1994; Meeker y cols., 2008) como para las mujeres (Arbuckle y cols., 2001; De Araujo y cols., 2016; Garry y cols., 2002; Hu y cols., 2018; Meeker y cols., 2008; Naidoo y cols., 2011; Taets y cols., 1998). Mediante la obtención de muestras representativas se ha encontrado evidencia de que la exposición del hombre a ciertos tipos de pesticidas, sobretodo mezclados, aumenta el riesgo de que la mujer sufra un AE, aunque la asociación es débil (Savitz y cols., 1997). Por otra parte, el estudio de Naidoo y cols. (2011) indica que las mujeres que reportaron usarlos para fines agrícolas durante el primer trimestre de gestación fueron más susceptibles de experimentar un AE, sin establecer causalidad alguna. Arbuckle y cols. (2001) encuentran que el uso de pesticidas pre-concepción (ventana de 3 meses) con químicos combinados, herbicidas o fungicidas aumenta el riesgo relativo de sufrir un AE entre un 20 % y 40 %, con mayor riesgo de experimentarlo durante las primeras 12 semanas (Arbuckle y cols., 2001). Otros estudios muestran que el uso de primera mano de pesticidas está asociado con mayores dificultades en fecundar, debido a que ciertos tóxicos interfieren en alguno de los procesos de fecundación (Benachour y Seralini, 2009; De Cock y cols., 1994). Además, la evidencia indica que la exposición a ciertos pesticidas o herbicidas pre concepción pueden causar anomalías cromosómicas que culminen en un AE temprano y que la exposición post concepción podría dañar el feto o la placenta, además de causar anomalías o malformaciones (Arbuckle

y cols., 2001; Parvez y cols., 2018).

3.2. Datos de Abortos Espontáneos en Colombia

En Colombia, según Betancourt y cols. (2014, p. 107), "el 15 % de los embarazos clínicamente reconocidos terminan en aborto": de estos, entre el 25 y 50 % en un AE (Betancourt y cols., 2014). Un estudio del Instituto Guttmacher (Prada y cols., 2011) encontró la cifra entre 5.5 % y 8.7 %. Según el DANE, en el 2017, alrededor del 35 % de las defunciones fetales se debieron a causas naturales sin especificar el porcentaje de AAEE. Díaz (2015) realiza una revisión sobre distintas metodologías de medición y encuentra una tasa de alrededor de 450 abortos por cada mil nacidos vivos, sin diferenciar entre muertes naturales o inducidas. Fuera de esto, no existe ninguna estadística oficial del número de AAEE o la proporción respecto al total de embarazos o nacimientos por parte de alguna entidad de salud o por parte del gobierno. Esto se debe en parte al reto metodológico que supone recolectar la información: el debate legal, el debate moral, las inconsistencias y discrepancias en las encuestas de registro, además del subregistro existente en el país (Díaz, 2015).

A partir de los registros de las bases de datos de Estadísticas Vitales del DANE, se obtuvo la información de los registros administrativos de defunciones fetales correspondientes a AAEE según la clasificación CIE-10¹⁰ del Sistema de Registro Civil y Estadísticas Vitales del DANE ¹¹. Se extrajeron los registros entre los años 2000 y 2015 de AAEE que cumplieran con los siguientes requisitos:

- Causa de muerte: Registros cuyo código CIE fuese *P018 - Aborto Espontáneo*. También se incluyeron registros con código *P95 - Muerte Fetal*.
- Probable manera de muerte: la defunción ocurrió de manera natural.
- Tiempo de Gestación: el tiempo de gestación fue menor o igual a 22 semanas. En los registros del DANE, los periodos de gestación están repartidos de esta forma. Si bien en la definición de un AE indica que debe ser antes de la semana 20, no hay manera de excluir los registros entre la semana 20 y 22.

Esto garantiza que se eligieron los registros que cumplen las características de un AE. De

¹⁰Clasificación Internacional de Enfermedades - 10^{ma} edición

¹¹Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia.

acuerdo a esta información, se construyó la Tasa de Abortos Espontáneos (TAE) como el número de abortos espontáneos por cada mil nacidos vivos en un año determinado.

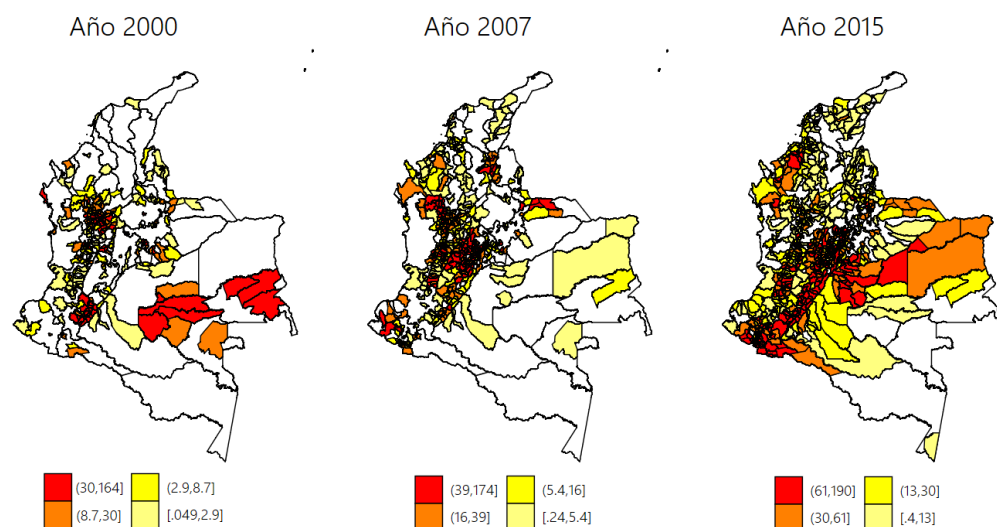
Cuadro 1: Evolución de la TAE

Periodo	2000-2005	2006-2010	2011-2015
Promedio	8.18	17.07	35.65
Desviación Muestral	2.67	3.42	5.42

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE.

En el Cuadro 1 se muestran los promedios por periodos de la TAE encontradas para el país. Esta cifra ha tenido un crecimiento sostenido desde el año 2000, pues los registros de AAEE han venido aumentando y el número de nacimientos ha decrecido.

Figura 3: Distribución Espacial (Cuantiles) de la TAE



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE

Como se aprecia en la Figura 3 se ha ampliado y mejorado la cobertura en el registro. Por ejemplo, en el 2007 habían 607 municipios que no contaban con registros de AAEE mientras que para 2015 fueron sólo 347. Dentro de estos, varios asperjados aéreamente con glifosato, como Anorí, Tarazá o Valdivia en Antioquia; Albania, La Montañita o San José del Fragua en Caquetá; Calamar, Miraflores o El Retorno en el Guaviare; Puerto Caicedo o Puerto Guzman en Putumayo, entre otros.

3.2.1. Estadística por grupos etáeros.

En el Cuadro 2 se observan los promedios por periodo de la TAE por grupos etáeros quinquenales. Se aprecia una tendencia en el crecimiento de la TAE en mujeres de 25 a 49 años. Para edades entre 50-54 años la tasa se reduce respecto al grupo etáero anterior. También es interesante notar que en la TAE, para el primer periodo, el grupo etáero 40-44 años tiene una TAE 67 % mayor que la del grupo 35-39; para el periodo 2006-2010, el mismo grupo etáero tiene una TAE 88 % mayor que la del grupo anterior; y para el último periodo, el grupo 40-44 años tiene una TAE mayor en 82 % que la del grupo etáero 35-39 años. En general, así como los resultados del Cuadro 1, la TAE ha venido creciendo a lo largo de los años.

Cuadro 2: Evolución de la TAE por Grupo Etáero

Edad / Periodo	2000-2005	2006-2010	2011-2015
De 25 a 29	7.08	15.57	33.61
De 30 a 34	7.75	17.49	39.29
De 35 a 39	10.70	23.62	55.33
De 40 a 44	17.9	44.58	101.16
De 45 a 49	26.75	65.84	158.78
De 50 a 54	27.12	20.51	41.78

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE.

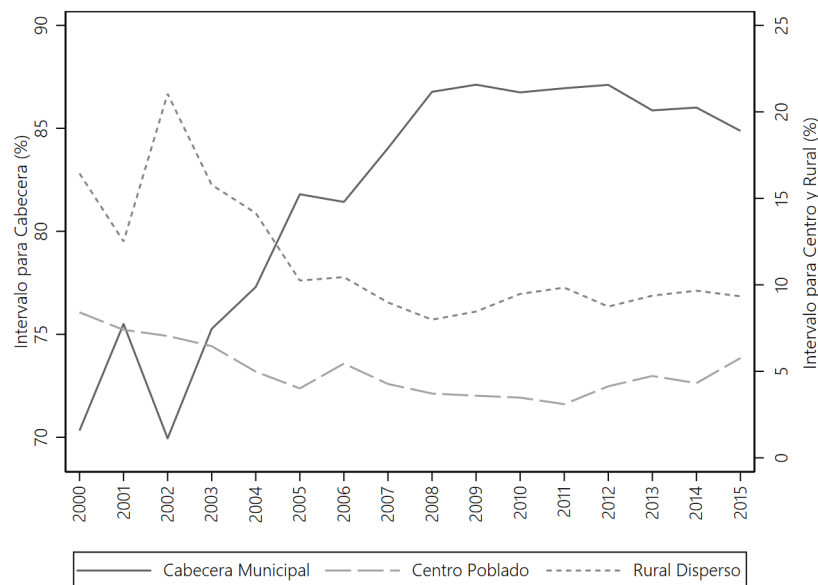
3.2.2. Estadística por zona de residencia

La Figura 4 muestra la participación porcentual por Área de Residencia del número de abortos respecto al total anual. Para cabeceras municipales, la tasa ha fluctuado entre 69 y 87 %; el resto de la participación porcentual se reparte entre centros poblados y zonas rurales dispersas. De este restante, para el periodo de estudio, ha habido un mayor porcentaje de abortos ocurridos en zonas rurales que en centros poblados, teniendo en cuenta que las diferencias fueron mayores entre el 2001 y el 2004.

3.2.3. Estadística por Factores Socioeconómicos

Los datos del DANE informan que, entre el 2008 y 2015, el promedio de la TAE fue de 23.19 AE por cada mil niños nacidos para mujeres con bachillerato como último nivel educativo.

Figura 4: Porcentaje de Abortos Espontáneos por Área de Residencia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE

Para mujeres cuyo último nivel es pregrado universitario, el promedio es de 31.85 y la TAE para observaciones en posgrado es de 27.19. Los resultados son contrarios a los de los estudios mencionados. Esto puede deberse a variaciones entre el último nivel de estudio alcanzado y la edad de la mujer. Mujeres mayores podrían estar, para la fecha, realizando un pregrado (TAE alta); o mujeres jóvenes que no han accedido a nivel de estudio superior a bachillerato (TAE baja). También podría deberse a una determinación errónea de la información: una mujer pudo haber experimentado varios AAEE en distintos años y el nivel de estudio entre años pudo variar. Sin embargo, no es posible identificar cuales son esas observaciones repetidas en la información del DANE. Por otra parte, como se verá más adelante, el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) es menor en municipios donde hay más AAEE.

Una vez mencionados los factores de riesgo y presentada la estadística para Colombia de AAEE es de interés discutir acerca de su conexión con los herbicidas a base de glifosato (GBH, por sus siglas en inglés). Se presentará la evidencia internacional que ha buscado asociar estos dos fenómenos, la cual incluso considera causalidades del uso de GBH sobre perjuicios sobre la salud prenatal, en específico, los AAEE.

4. Glifosato y Abortos Espontáneos

La N-fosfonometilglicina, más conocida como glifosato - componente activo del RoundUp y otros pesticidas-, es el herbicida no selectivo más utilizado en el mundo¹² para controlar las malezas en los cultivos, especialmente los genéticamente modificados para tolerar su uso (Richard y cols., 2005). En varios lugares del mundo como Afghanistan, Bolivia, Perú y Colombia ha sido utilizado como instrumento en la política de erradicación de cultivos de amapola, marihuana y coca mediante el método de aspersión manual y aérea. A continuación se presentará la evidencia recolectada que asocia los GBH y la probable experimentación de un AE.

4.1. Evidencia Internacional

Los estudios que han tratado de conectar mediante distintos métodos estadísticos el uso de GBH con la salud reproductiva y prenatal se dividen en dos: el primer grupo consiste en estudios experimentales y cuasi experimentales que miden el daño de los GBH sobre las células reproductivas y el ADN. En el segundo grupo de estudios se encuentran principalmente cuasi experimentos que conectan la exposición al glifosato con la incidencia de un AE.

Los estudios experimentales conectan la exposición directa e indirecta al glifosato con daños a las células involucradas en la gestación (De Araujo y cols., 2016). Se han realizado estudios en animales que reportan daño a las células reproductivas (Alvarez y cols., 2014), además de estudios que afirman que daña la estructura del ADN de la mama epitelial, las células de la placenta (Parvez y cols., 2018) y dificulta el desarrollo embrionario (Ingaramo y cols., 2016). También se han hecho experimentos *in vitro* con células involucradas en el proceso reproductivo en humanos (Alvarez y cols., 2014), encontrando que tanto el glifosato de forma aislada como el Round Up son disruptores hormonales incluso en concentraciones 100 veces menores que las recomendadas para uso agrícola (Richard y cols., 2005); también se han encontrado algunos efectos tóxicos de GBH sobre células de la placenta y del embrión, además de células umbilicales (Benachour y Seralini, 2009). Parvez y cols. (2018) encuentran una relación inversa significativa estadísticamente entre la concentración de glifosato en la orina de las gestantes y las medidas fisiológicas - como el peso en gramos o el tamaño de la corteza craneal - de los recién nacidos, además de una disminución en el tiempo de gestación. Es preciso mencionar que una reducción de las medidas fisiológicas y del tiempo de gestación se correlacionan con consecuencias adversas

¹²En Estados Unidos son aplicadas cerca de 300 millones de libras cada año (Parvez y cols., 2018).

de largo plazo, como síndromes metabólicos, hipertensión y muerte coronaria (Parvez y cols., 2018).

En el segundo grupo de investigaciones, la evidencia señala que la exposición al glifosato, tanto en hombres como mujeres antes y durante las primeras semanas de gestación, aumenta el riesgo de experimentar un AE. Por ejemplo, el estudio de Arbuckle y cols. (2001) recolectó información, mediante una muestra representativa, de mujeres que residen y trabajan en las granjas en Ontario, Canadá. La evidencia señaló que el uso de glifosato pre concepción aumenta el riesgo de sufrir un AE tardío. El riesgo se incrementa para mujeres mayores: el *odds ratio* es 3 veces más para las encuestadas que estuvieron expuestas al uso del glifosato post-concepción, que para mujeres que no lo estuvieron. (Arbuckle y cols., 2001, pág 853). Otro estudio significativo lo realizan Dias, Soares, y Rocha (2019), que a partir de datos de municipalidades obtenidos para Brasil, realizan una estimación mediante variables instrumentales encontrando que el incremento en el uso del glifosato después del 2004, año en que se implementaron los cultivos genéticamente modificados (GM por sus siglas en inglés), estaba correlacionado con unas 557 muertes adicionales de niños por año, argumentando que incluso el resultado podría estar subestimado. En Monte Maíz, Argentina, el estudio de Avila y cols. (2018) reportó que la TAE aumentó después de la implementación de cultivos GM en el año 1996. Para tratar las malezas se utilizó glifosato sobre los cultivos, como en el caso de Brasil. Para la muestra seleccionada, se encontró que la TAE fue del 10% en los 5 años de duración del estudio, mayor al promedio nacional de 0.6% anual (Avila y cols., 2018, pág 248). El estudio también encontró que la prevalencia de anomalías congénitas fue mayor en Monte Maíz (3%) que para el promedio nacional (1.4%). En Ecuador, para una muestra representativa de individuos que viven en zonas contiguas a la frontera colombiana en donde ha habido aspersión con glifosato, se encontró que hubo afectaciones sobre el ADN recolectado además de que los individuos también reportaron complicaciones de salud como quemaduras en la piel o problemas respiratorios (Paz-Miño y cols., 2007).

En general, la evidencia encuentra moderada empero evidente relación entre el uso de GBH y daños sobre la salud reproductiva, además de otras afectaciones. Por otro lado, es importante mencionar que existen estudios que no encuentran ningún patrón de asociación entre el uso del químico y afectaciones en la salud respiratoria o reproductiva, entre más afectaciones, incluido el cáncer en seres humanos. A grandes rasgos, lo que sostienen es que después de una extensa revisión de literatura no se encuentra evidencia que lleve a concluir que los GBH son tóxicos, incluso con nivel de uso mayor al recomendado, si bien admiten que en animales y plantas pueden

persistir cierto tipo de daños. Dentro de la literatura de este tipo, se mencionan los estudios de Mink y cols. (2011), A. Williams y cols. (2012), Brusick y cols. (2016) y G. Williams y cols. (2016), entre otros estudios que afirman poseer pruebas suficientes de la no toxicidad del químico. Sin embargo, las pruebas no son concluyentes y existen algunos estudios que debieron realizar un *Corrigendum*, pues aparentemente los resultados fueron sesgados debido a la intervención de Monsanto en los mismos. Los autores alegan que la multinacional, ahora dominada por la matriz Bayer, si bien dispuso el formato y facilitó la información, no intervino en los resultados y que las conclusiones son particulares de los autores. A propósito de esta discusión, ver “Corrigendum” (2018a) sobre Brusick y cols. (2016) y “Corrigendum” (2018b) sobre G. Williams y cols. (2016).

4.2. Evidencia en Colombia

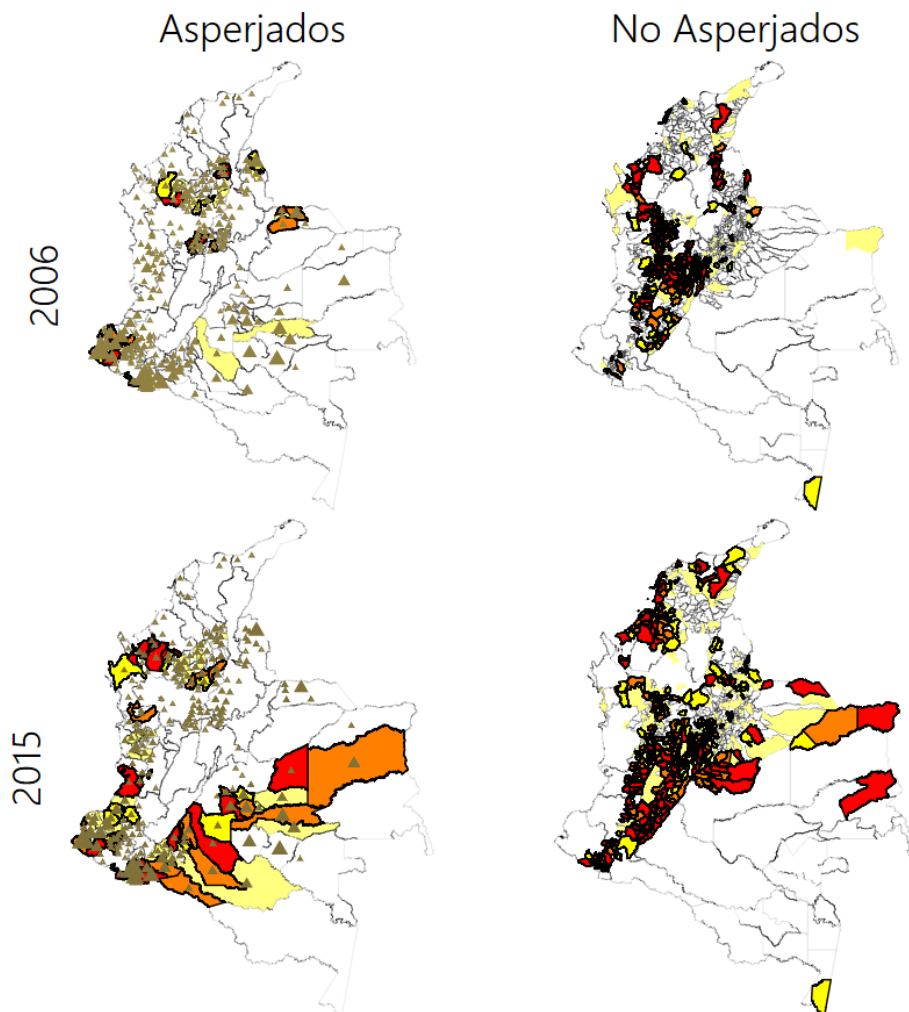
En Colombia hay pocos estudios que relacionan el uso de herbicidas y la salud reproductiva, a pesar de ser uno de los países donde más aspersión con glifosato se realiza.

Un estudio importante lo realizan Idrovo y Sanín (2007), tratando de explicar afectaciones en la salud reproductiva de mujeres floricultoras en Colombia. Los resultados indican que este trabajo se asocia con mayor aparición de AAEE y malformaciones congénitas, sin encontrar efectos aislados asociados a la exposición de plaguicidas. Sanin y cols. (2009) realizan un cohorte mediante encuestas tomadas a mujeres en departamentos con actividad cocalera y altos niveles de aspersión con glifosato y departamentos con actividad cocalera y bajos o nulos niveles de aspersión aérea. Los resultados indican que las mujeres residentes en regiones con altos niveles de aspersión tuvieron un mayor riesgo (*odds-ratio*) de tener un mayor tiempo de gestación que en otras regiones con bajo nivel de aspersión, controlando por otras variables, aunque indican que no hay una relación consistente. Finalmente, el estudio más significativo en el tema lo realizan Camacho y Mejia (2017), encontrando evidencia que relaciona el área asperjada con glifosato con el número de AAEE. Según sus resultados, el aumento en una desviación estándar del área asperjada aumenta, en promedio, un 2.9% el número de AAEE en los municipios en general y 8.7% en municipios con niveles de aspersión positivos, durante el periodo 2003-2008. Para registros de población no migrante, encuentran que el impacto del aumento del área asperjada es de 4.4% y 10.4% para los mismos escenarios, respectivamente (Camacho y Mejia, 2017, pág 157).

4.3. AAEE y Aspersión Aérea: Datos para Colombia

A partir de los datos obtenidos por ODC y DANE, se mostrarán algunas estadísticas de interés sobre los AAEE y su relación, principalmente espacial, con la aspersión aérea con glifosato para erradicar cultivos de coca.

Figura 5: Abortos Espontáneos y Aspersión Aérea



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE y ODC

El mapa de calor en la Figura 5 muestra la cantidad de AAEE ocurridos en los municipios del país por cuantiles y separa entre municipios asperjados y no asperjados para los años 2006 y 2015. En la primera columna, sólo se incluye información de AAEE en los municipios donde hubo aspersión aérea con glifosato. A mayor tamaño del triángulo ocre, mayor aspersión aérea (en escala de desviaciones estándar). La segunda columna representa los municipios donde no hubo

cultivos, y por tanto, tampoco aspersión. Se puede identificar que son la mayoría de municipios en los departamentos de Huila, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Arauca y el norte de la costa atlántica.

Hasta el día de hoy, se han asperjado 235 municipios, lo que corresponde al 21 % de los municipios del país. En la Figura 5 se puede apreciar que a lo largo de los años se han consolidado varias zonas de influencia cocalera y a gran escala pueden dividirse en Zona Pacífica, Zona Norte y Zona Orinoquía. Desde el inicio del periodo analizado se empiezan a vislumbrar las zonas de actividad cocalera mencionadas y la consolidación que han tenido a lo largo del país. Además, se aprecia que las zonas de influencia han tendido a unirse por medio de una especie de *simbiosis* espacial. La trashumancia unió alrededor del sur de Cauca y el Norte de Putumayo las zonas Pacífica y Orinoquía. Además, alrededor de los Andes centrales y occidentales la zona Norte y Pacífica se han conectado.

La columna *Asperjados* de la Figura 5 permite visualizar la evolución temporal en la relación de Abortos Espontáneos - Aspersión Aérea. El mapa indica que la aspersión se ha mantenido estable en varianza y distribución espacial, mientras que los AAEE han aumentado, por lo menos en registro y cobertura. Además, se visualiza que en municipios con niveles moderados-altos de aspersión también hay niveles medios de AAEE. La relación es más evidente para la zona Pacífica y más mesurada en las zonas Orinoquía (es una zona más dispersa y los municipios son más extensos) y Norte, habiendo algunos lugares donde no hay relación clara. Por otro lado, para los municipios que no fueron asperjados, la paleta de colores cálidos es más intensa: visualmente, hay más municipios con altos niveles de AAEE. Esta información se presenta para los años entre el 2005 y 2015 en el Cuadro 3. Algo más que debe tenerse en cuenta es que hay varios municipios para los cuales hubo aspersión pero no hay registros de AAEE¹³. Cabe recordar que este análisis es exclusivamente gráfico.

Finalmente, en el Cuadro 3 se presenta la estadística descriptiva para cada año y dividida por Tipología¹⁴. Además, se incluyen el total de observaciones (municipios), la media y desviación muestral de los AAEE, y el total de AAEE, así como el IPM promedio. Se identifica lo siguiente: Primero, el total de AAEE ha sido mayor en los municipios Tipo 3, teniendo también un número mayor de observaciones y menor IPM. Segundo, la cantidad de AAEE es mayor para 6 años en

¹³Por ejemplo, en el 2015 se asperjaron 7387 ha distribuidas en 34 municipios que no tenían registros de AAEE.

¹⁴Tipo 1: Con cultivos y asperjados / Tipo 2: Con cultivos no asperjados / Tipo 3: Sin cultivos/aspersión

Cuadro 3: Abortos Espontáneos por Tipología

	Tipología	Obs	Media	Desv.	Total	IPM medio
2005	Coca Asperjado	37	35.4	191.4	1309	78.6
	Coca no Asperjado	17	6.5	13.1	110	79.8
	Sin cultivos	386	19.7	91.7	7613	67.0
2006	Coca Asperjado	38	5.2	6.1	198	81.6
	Coca no Asperjado	22	4.6	6.6	102	76.8
	Sin cultivos	396	22.1	104.6	8761	67.0
2007	Coca Asperjado	32	9.4	15.5	301	81.7
	Coca no Asperjado	26	3.5	6.0	92	78.7
	Sin cultivos	426	24.2	171.6	10289	66.9
2008	Coca Asperjado	37	6.6	11.9	246	82.1
	Coca no Asperjado	45	8.6	21.8	385	76.9
	Sin cultivos	433	26.4	219.1	11422	66.9
2009	Coca Asperjado	39	2.5	2.3	96	82.4
	Coca no Asperjado	44	8.4	15.0	369	77.1
	Sin cultivos	457	25.5	208.6	11634	66.7
2010	Coca Asperjado	47	3.1	3.7	148	82.2
	Coca no Asperjado	48	7.8	11.9	375	78.8
	Sin cultivos	500	28.0	229.2	14022	66.8
2011	Coca Asperjado	49	6.7	11.0	329	84.2
	Coca no Asperjado	58	8.5	14.3	493	77.0
	Sin cultivos	549	30.1	226.8	16540	66.7
2012	Coca Asperjado	65	24.7	135.8	1603	82.3
	Coca no Asperjado	54	12.3	31.1	663	78.4
	Sin cultivos	587	37.7	330.7	22103	66.6
2013	Coca Asperjado	63	9.4	18.9	595	83.5
	Coca no Asperjado	68	11.5	37.7	779	78.3
	Sin cultivos	592	41.4	328.1	24491	66.6
2014	Coca Asperjado	72	18.7	39.8	1345	81.9
	Coca no Asperjado	65	11.5	27.4	745	79.1
	Sin cultivos	603	38.7	297.8	23318	66.7
2015	Coca Asperjado	76	17.8	36.4	1355	84.0
	Coca no Asperjado	65	14.2	32.1	924	75.8
	Sin cultivos	618	37.3	288.8	23074	66.8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE y ODC.

los municipios Tipo 1 y para los otros 5 es mayor en municipios Tipo 2, diferencia explicada en parte por el total de observaciones. Esto es importante porque son regiones susceptibles de ser comparadas al tener cultivos de hoja de coca. Sus promedios también fluctúan sin tener una tendencia clara. Tercero, existe sobre dispersión. La desviación muestral suele ser mayor que la media para toda la muestra obtenida.

De la información hasta aquí recolectada pueden analizarse varias cosas. Por un lado, de manera gráfica, existen 3 grandes zonas con actividad cocalera en donde los AAEE se distribuyen con relación directa pero moderada (valores medios de abortos con valores altos de aspersión o viceversa) respecto al número de hectáreas asperjadas, habiendo también lugares donde la relación es inversa o no es clara (valores altos de AAEE y bajos de aspersión o viceversa). Por otro lado, los municipios sin actividad cocalera tienen las mayores tasas y mayor número de AE. Esto podría explicarse por causas institucionales: mayor presencia estatal y de puestos de salud, mayor capacidad y seriedad en el registro, mayor población y mayor capacidad económica, entre otras causas. Por último, los municipios con cultivos suelen ser, según el IPM, más pobres o contar con mayor número de privaciones, entre estas, afiliación y atención en salud (lo que podría relacionarse con una mayor incidencia de AAEE).

A continuación se buscará la correlación estadística entre las hectáreas asperjadas con glifosato para erradicar cultivos de coca y el número de abortos espontáneos municipales mediante estimaciones con modelos de econometría espacial.

5. Modelación

La idea central de esta sección es buscar evidencia que permita determinar si existe o no una correlación estadística entre el número de abortos espontáneos municipales y la aspersión aérea con glifosato de cultivos de coca entre los años 2010 y 2015. La mayoría de los estudios mencionados anteriormente son epidemiológicos, por lo que abordan la tarea de encontrar asociaciones entre salud prenatal y exposición a GBH mediante estudios de cohortes y casos-contrroles. Estos métodos identifican distintos momentos en los que el/la participante se expone o no a un factor de riesgo, obteniendo grupos control y tratamiento, analizando las variables de interés antes y después de tal exposición. Se apoyan, principalmente, en la lectura de *odds ratios* o tasas de incidencia para encontrar correlaciones e incluso causalidad. Para los datos obtenidos, no puede realizarse esta comparación pues no se sabe el momento exacto del año en que se asperjó y tampoco se tiene información de los individuos susceptibles de ser seleccionados para el estudio, por lo que sólo se pretenderá buscar, si existe, la correlación estadística. La manera en que se puede abordar este problema es mediante modelos de regresión, que permiten encontrar tal correlación, medida como la variación promedio de los AAEE ante variaciones promedio en los niveles de aspersión, controlando con algunas covariables de interés.

Complementario a esto, también se buscan analizar las interacciones espaciales: determinar si los niveles de aspersión aérea de un municipio traspasan las fronteras y también se correlacionan con los niveles de AAEE en otros municipios vecinos. Además, existen factores no observados, capturados en el término de error, que podrían relacionarse con el número de AAEE en una unidad de estudio y las unidades cercanas: prácticas alimenticias, consumo de sustancias nocivas, factores genéticos, factores climáticos, utilización de biocidas y otros químicos, etc.

De esta forma, se utilizará un modelo de econometría espacial conocido como *Spatial Error Durbin Model* (SEDM), que es un caso especial del modelo general llamado General Nesting Spatial Model (Elhorst, 2014). Para este trabajo, el SEDM se aplicará año a año como un modelo de corte transversal. Se escogerá el periodo 2010-2015 porque existe una mayor cobertura municipal en el registro de AAEE respecto a los años anteriores a la muestra (Ver Figura 3). Segundo, porque a partir del 2012, la serie de AAEE es estable en media y varianza (los registros se mantienen entre 24.5 y 25.9 mil AAEE en el país). Por último, porque la política de aspersión fue detenida en el año 2015. A continuación se presentará una breve introducción al GNSM, la realización específica para el modelo SEDM, la descripción de los datos que se utilizarán, algunos

contrastes de dependencia espacial y otros resultados post-estimación.

5.1. Modelos Espaciales Autoregresivos

La econometría espacial, término acuñado por Paelinck y Klassen (1979), es un conjunto de técnicas que buscan cuantificar los efectos de la interacción espacial de unidades susceptibles de ser referenciadas por medio de un sistema de ubicación usando herramientas de análisis estadístico y econométrico (Moreno y Valcarce, 2000). El sistema de ubicación puede variar desde coordenadas en el espacio hasta nodos neuronales. Lo crucial es que a este sistema lo acompañe un criterio de distancia bien definido congruente con la primera Ley de la Geografía de Tobler: *'Todo está relacionado con todo, pero las cosas cercanas están relacionadas con mayor intensidad que las lejanas'* (Tobler, 1969).

Los datos **georeferenciados** o espaciales poseen un par de dinámicas específicas caracterizadas de dos maneras. Una es la heterogeneidad espacial (Anselin, 1988; Arbia, 2006) y hace referencia a que las relaciones económicas, sociales y de cualquier tipo ocurren con distinta intensidad en distintos lugares del espacio. La segunda es la dependencia espacial y esta se refiere a que una observación podría afectar o ser afectada por otras observaciones que sean cercanas a ella. En este segundo fenómeno se hará énfasis.

El proceso de incluir la estructura u organización espacial en un modelo econométrico genera patrones complejos de interacción. Dada la naturaleza multidireccional de esta información, se formalizan los efectos espaciales mediante procesos estocásticos espaciales (SSP). Sea el proceso estocástico $\{x_i, i \in I\} \in \mathbb{R}^{\mathbb{P}}$, se dice que es un SSP cuando el índice i hace referencia a un lugar en el espacio. Para inferir las características de este proceso, es decir, la función de distribución conjunta (FDC) - que debe ser la misma para cualquier subconjunto de la población - se requieren ciertos supuestos de estabilidad: Estacionariedad, Isotropía y Ergodicidad. Estos supuestos garantizan un proceso estable en sus momentos, identificable y acotado.

Dados estos principios y mediante flexibilizaciones matemáticas se puede capturar el principio de dependencia espacial mediante una serie de modelos llamados Modelos Espaciales Autoregresivos (SARAR) o GNSM (ver Anselin (1988); Arbia (2006); Elhorst (2014); LeSage y Pace (2009)). La idea es encontrar un estimador para cada uno de los parámetros poblacionales del

modelo general:

$$y = \lambda W_y + \mathbf{X}\beta + \gamma W_X + u \quad (1)$$

$$u = \rho W_u + \varepsilon \quad (2)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

en donde β es un vector de parámetros asociados al conjunto de covariables \mathbf{X} y ε es el término de error que se distribuye normal estándar. Además $W_y = W_1 \cdot y$, $W_X = W_2 \cdot \mathbf{X}$ y $W_u = W_3 \cdot u$ son los rezagos espaciales para la variable dependiente, las covariables y el error respectivamente. La matrix $W_{q=1,2,3}$ se conoce como Matrix de Ponderación Espacial¹⁵ (SWM). Define la estructura espacial para la muestra, asignando un valor w_{ij} entre dos unidades i y j ($i, j = 1, \dots, N$). De esta forma, λ , γ y ρ son parámetros poblacionales que capturan la intensidad en la relación espacial de una observación y las observaciones definidas como vecinas en W_q mediante los valores de la variable dependiente, las covariables y los factores no observados en el espacio, respectivamente.

Existen varias maneras de estimar el modelo: Método de Mínimos Cuadrados Generalizados en Dos Etapas (Arraiz y cols., 2010; Kelejian y Prucha, 1998) o mediante el Método Generalizado de Momentos (GMM) (Kelejian y Prucha, 1999). A continuación se replicará la matemática del Método de Máxima Verosimilitud (LM) (Anselin, 1988; Ord, 1975). Defínase la forma compacta $Z = [\mathbf{X}, W_X]$ con su correspondiente matriz de parámetros $\Phi = [\beta', \gamma']$ y los parámetros escalares λ y ρ . Puede reescribirse la Ecuación 1 en términos del Proceso Generador de Datos (DGP):

$$y = (I_n - \lambda W)^{-1} Z \Phi + (I_n - \lambda W)^{-1} (I_n - \rho W)^{-1} \varepsilon \quad (3)$$

Con I_n como la matriz identidad de tamaño $n \times n$. Sustituyendo $A = (I_n - \lambda W)$ y $B = (I_n - \rho W)$, se define la función de log verosimilitud no concentrada (LeSage y Pace, 2009) como:

$$LnL = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) + \ln[|A| \cdot |B|] - \frac{1}{2\sigma^2} [(Ay - Z\Phi)' B' B (Ay - Z\Phi)] \quad (4)$$

cuyo Jacobiano $J = \det \left[\frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] = |A| \cdot |B|$ permite que la distribución conjunta de y pueda ser obtenida a partir de los valores no observados en ε . Las condiciones que se desprenden para garantizar la estabilidad del modelo son que $|A| > 0$ y $|B| > 0$. Esto se traduce en que, para la

¹⁵La matriz podría ser la misma para todas las variables o distinta, sin pérdida de generalidad. En adelante se considerará el uso de una única matriz. Las condiciones sobre esta matriz es que debe ser simétrica, además de ser acotada y no divergente en la suma de sus filas o columnas.

matriz W estandarizada¹⁶, los parámetros λ y ρ cumplan que $|\lambda| < 1$ y $|\rho| < 1$. La Ecuación 4 se puede concentrar mediante sus derivadas parciales respecto a Φ y σ^2 :

$$\hat{\Phi}(\lambda, \rho) = \frac{\partial LnL}{\partial \Phi} = (Z' B' B Z)^{-1} Z' B' B A y \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}^2(\lambda, \rho) = \frac{1}{n} \left[A y - Z \hat{\Phi}(\lambda, \rho) \right]' B' B \left[A y - Z \hat{\Phi}(\lambda, \rho) \right] \quad (6)$$

Las Ecuaciones 5 y 6 representan los estimadores de Máxima Cuasi-Verosimilitud (QML). Estas dependen de los parámetros λ y ρ , lo que facilita el proceso de identificación del modelo. Reemplazando 5 y 6 en la Ecuación 4 se obtiene la función de log verosimilitud concentrada:

$$LnL_c(y|\lambda, \rho) = -\frac{n}{2} [\ln(2\pi) + 1] - \frac{n}{2} \ln[\hat{\sigma}^2(\lambda, \rho)] + \ln |A| + \ln |B| \quad (7)$$

La ventaja de trabajar con la Ecuación 7 es que maximizándola se pueden computar los estimadores para λ y ρ mediante QML y se calculan $\hat{\Phi}$ y $\hat{\sigma}^2$ como en 5 y 6, respectivamente. Otra ventaja de trabajar con la QML es que el supuesto de normalidad en ε se relaja y sólo se exigen errores independientes e idénticamente distribuidos a lo largo de la muestra (*i.i.d.*). Además, puede realizarse una estimación con errores robustos. Las propiedades asintóticas del QML se encuentran en L. Lee (2004).

5.1.1. Modelo SEDM: Características

El modelo que finalmente se estimará es el SEDM. Este modelo es un caso particular del GSNM en (1), cuando $\lambda = 0$. Es decir, sólo considera un proceso autoregresivo en el término de perturbación y en las covariables. De esta forma, se reescribe el DGP para el SEDM como:

$$y = Z\Phi + B^{-1}\varepsilon \quad (8)$$

con su función de Log Verosimilitud Concentrada:

$$LnL_c(y|\rho) = -\frac{n}{2} [\ln(2\pi) + 1] - \frac{n}{2} \ln[\hat{\sigma}^2(\rho)] + \ln[|B|] \quad (9)$$

cuyos estimadores QML para Φ y σ^2 son:

$$\hat{\Phi}(\rho) = (Z' B' B Z)^{-1} (Z' B' B y) \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}^2(\rho) = \frac{1}{n} \left[(y - Z \hat{\Phi}(\rho))' B' B (y - Z \hat{\Phi}(\rho)) \right] \quad (11)$$

¹⁶La estandarización por medio de la suma de la fila llevan al resultado $|\lambda| < 1$ y $|\rho| < 1$. Otra forma sugerida es la estandarización espectral, que lleva a las condiciones $-\frac{1}{|\xi_{min}|} < \lambda < 1$ y $-\frac{1}{|\xi_{min}|} < \rho < 1$, con $|\xi_{min}|$ como el menor eigenvalor en valor absoluto asociado a la matriz W (Anselin, 1988; LeSage y Pace, 2009).

Maximizando la Ecuación 9 respecto al parámetro ρ se encuentra el estimador QML $\hat{\rho}$. Este estimador vuelve a reemplazarse en (10) y (11) para encontrar los estimadores QML $\hat{\Phi}$ y $\hat{\sigma}^2$. Si se cumple el supuesto *iid* para los errores, entonces los estimadores del SEDM son consistentes y asintóticamente normales.

Otra ventaja del modelo es que se puede estimar el SEDM con errores estándar robustos. L. Lee (2004) encuentra las propiedades asintóticas para los parámetros del modelo construyendo los errores estándar como:

$$\begin{aligned} ee(\hat{\theta}) &= \frac{n}{h_n} \hat{\omega}^2 \\ \hat{\omega}^2 &= - \left(\frac{\partial^2 \ln L_c(\hat{\theta})}{\partial \theta^2} \right)^{-1} \end{aligned} \quad (12)$$

donde θ es algún parámetro del modelo y ee su respectivo error estándar robusto asintóticamente. Además, h_n es una secuencia (acotada o divergente) que representa la velocidad de convergencia en la sumatoria en cada fila de la matriz W . L. Lee (2004) también encuentra que, incluso cuando los errores no se distribuyen normal, los test estadísticos clásicos basados en QML pueden ser asintóticamente válidos siempre y cuando $\frac{h_n}{n}$ tienda a cero cuando n tiende a infinito.

Finalmente, se utiliza el algoritmo Newton-Rhapon para el proceso de optimización de (9).

5.2. Descripción de los datos

5.2.1. Abortos Espontáneos

Para la estimación del SEDM se obtuvo la información de los registros administrativos de defunciones fetales correspondientes a AAEE según la clasificación CIE-10¹⁷ del Sistema de Registro Civil y Estadísticas Vitales del DANE. Se utilizaron los registros de Estadísticas Vitales desde el año 2010 hasta el año 2015. Se extrajeron los registros de acuerdo a las condiciones mencionadas en la Sección 3.

Esto garantiza que se eligieron los que cumplen las características de un AE, dada la disponibilidad de la información. Algo más que debe tenerse en cuenta es que hay mujeres que experimentan más de AAEE. Por lo tanto, pueden haber varios registros de AAEE que corresponden a la misma mujer en distintos años e incluso dentro del mismo año.

¹⁷Clasificación Internacional de Enfermedades - 10^{ma} edición

5.2.2. Covariables

Dados los factores de riesgo asociados al suceso de un AAEE mencionados en la secciones 3 y 4, se incluirán algunas covariables que los permitan cuantificar, a nivel municipal y de manera aproximada, tales como la exposición a glifosato y algunos factores socioeconómicos y de salud a nivel municipal:

- **Aspersión Aérea:** Hectáreas asperjadas con glifosato para erradicar cultivos de coca en el municipio i . También se incluye el rezago espacial de esta variable. Obtenida del ODC.
- **Proporción de Mujeres mayores a 40 años.** Una mayor proporción de mujeres mayores en los municipios del país aumentaría la cuenta de AAEE, dado lo mencionado en la Sección 3. Esto asumiendo que las mujeres mayores quedan en embarazo o desean quedar en embarazo tanto como otros grupos etáreos menores. Obtenido del DANE.
- **Controles Prenatales:** Número de controles prenatales promedio en el municipio i . Esta variable podría tener dos efectos: una mujer que asiste a muchos controles porque tiene alguna complicación y al final su embarazo podría culminar en un AE, teniendo una correlación positiva; o porque está llevando un embarazo saludable y controlado, lo que llevaría a una correlación negativa. Esta variable se refiere al total de asistencia durante todo el periodo prenatal, por lo que podría haber ruido debido a mujeres en estados avanzados de su embarazo que asisten a muchos controles prenatales. Obtenida del DNP¹⁸.
- **Sedes de salud por km^2 :** Número de sedes de prestadoras de servicio de salud pública por kilómetro cuadrado en el municipio i . Se espera que un mayor número de sedes de salud pueda asistir de manera adecuada a la población en embarazo, reduciendo cualquier tipo de complicaciones, además de ser instituciones encargadas de informar sobre los cuidados y los factores de riesgo que deben tenerse en cuenta para disminuir el número de AAEE. Obtenida del CEDE¹⁹.
- **IPM:** Índice de Pobreza Multidimensional para el municipio i en el año 2005. Obtenida del DANE.
- **Cobertura del Régimen Subsidiado:** Porcentaje de individuos con régimen de seguridad social subsidiado en el municipio i . A mayor cobertura en un municipio, se esperaría que

¹⁸Departamento Nacional de Planeación.

¹⁹Panel Municipal del Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico de la Universidad de los Andes.

las mujeres accedieran a servicios de salud que prevengan el suceso de un AE. Desde otro punto de vista, a menor cobertura, las gestantes tienen menos posibilidades de ir a un centro de asistencia médica que registre su situación de salud. Obtenido del DNP.

- Logro Educativo: Proporción de mujeres en la muestra con bachillerato terminado. Según la literatura encontrada, mujeres con mayores niveles de educación son menos propensas a experimentar un AE, por lo que el agregado debería ser menor. Obtenida del CEDE.

Existen otras variables que inciden en la realización de un AAEE. Las causas principales por las cuales ocurre tienen que ver más con factores genéticos, estado actual de salud, hábitos de consumo o condiciones laborales específicas de los trabajos que realizan las mujeres²⁰, pero capturar esta información de manera agregada es una tarea complicada. Por eso es importante incluir el error rezagado dentro del modelo: las características de los municipios en estos aspectos podrían estar autocorrelacionadas espacialmente, como con la radiación solar o el uso de biocidas, y por lo tanto podría estar asociado con el número de AAEE.

Hay varios puntos que deben aclararse antes de continuar con las estimaciones para cada año. Primero, la muestra se extrajo de acuerdo a la disponibilidad de los datos de AAEE. Segundo, no se escogieron datos de municipios exclusivamente rurales: también hay información de municipios no rurales, en donde también hubo aspersión. Esto debido a dos cosas: por una parte, porque definir ruralidad puede traer abigüedades. Por otra, porque la mujer puede vivir en alguna zona urbana pero trabajar en zonas rurales y/o asperjadas. Segundo, se advierten posibles problemas de sesgo por la medición de la variable de AE. Tercero, no se cuenta con información para agrupar la información en ventanas de tiempo que permitan incluir mejor la temporalidad exposición-experimentación (por ejemplo, Arbuckle y cols. (2001) utiliza unas ventanas de 3 meses pre y 3 meses post concepción). Esto permitiría tener estimaciones más precisas.

5.3. Matrices de Pesos Espaciales

Para la estimación del modelo se eligieron dos matrices de pesos espaciales. La primera es una matriz de k vecinos más cercanos (KNN) normalizada por fila, en donde $k = 7$ en tanto el 90 % de los municipios en la muestra tienen al menos esa cantidad de vecinos contiguamente. La

²⁰Dentro de estas condiciones, se incluyen variables como radiación solar, distancias caminadas, trabajos de carga físicos, exposición a otros biocidas o toxinas, etc.

segunda matriz es una matriz inversa de distancia (DI) normalizada por fila y truncada en 25 kilómetros de distancia, es decir, $w_{i,j} = 0$ si $d_{ij} > 25$. Estas matrices son simétricas y acotadas, lo que garantiza que sus eigenvalores sean reales y por lo tanto $|\rho| < 1$. Se hace énfasis en que la SWM es el componente encargado de definir la estructura espacial para los datos. De esta forma, las matrices KNN y DI, dadas sus composiciones, tendrán en cuenta la información rezagada de los municipios colindantes. Cuando se mencione el término *rezago* se hará referencia a las observaciones de los vecinos definidos por las matrices. A diferencia del rezago temporal, que hace referencia a un movimiento hacia atrás en el tiempo, un **rezago espacial** hace referencia a un movimiento multidireccional en el espacio.

5.4. Contrastes Globales de Autocorrelación Espacial

5.4.1. Contrastes Individuales

Lo primero que se debe determinar es si las variables de interés siguen un proceso de autocorrelación individual (Moreno y Valcarce, 2000). Esto puede lograrse mediante dos contrastes de autocorrelación global, el estadístico I-Moran (Moran, 1948) y el estadístico C-Geary (Geary, 1954). La hipótesis nula que se establece para ambos tests es que los errores se distribuyen independientes e idénticamente (*iid*) ante la alternativa de que siguen algún proceso de aglomeración desconocido.

Cuadro 4: Contrastes de Autocorrelación

Contraste	Variable - Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Moran	Abortos DI	0.320	0.670	0.450	0.580	0.650	0.560
	Aspersión DI	0.300	0.110	0.210	0.040	0.040	0.010
	Aspersión KNN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C-Geary	Abortos DI	0.720	0.770	0.596	0.620	0.650	0.650
	Aspersión DI	0.040	0.019	0.010	0.000	0.000	0.010
	Aspersión KNN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 4 se presentan p -valores de los estadísticos de Moran y Geary para las variables abortos y aspersión para las matrices DI y KNN. Los resultados sugieren no rechazar que los errores de AAEE siguen un proceso *iid* para todos los años (ausencia de autocorrelación espacial),

con resultados similares (omitidos) para KNN. Por otra parte, para aspersion si existe un patrón de dependencia espacial excepto para los resultados de la matriz DI entre 2010 y 2012, al 5 % de significancia. La información obtenida sugiere una idea del tipo de modelo GNSM a estimar. Esta es una justificación para incluir la aspersion rezagada como variable explicativa en el SEDM, además de factores no observados rezagados espacialmente.

5.4.2. Contrastes Conjuntos

A continuación se pretenden mostrar algunos contrastes de autocorrelación global para el modelo conjunto, lo que permitirá tener una idea para la especificación definitiva. Para este apartado, se utilizarán las pruebas LM-robusta e I-Moran para los residuos del modelo calculado por OLS y utilizando alguna SWM estandarizada. El test LM-Robusto (Anselin, 1988; Moreno y Valcarce, 2000) se utiliza para probar las hipótesis $\lambda = 0$ (LMR Lag) y también para testear $\rho = 0$ (LMR error). También se procede a calcular el I-Moran, cuya hipótesis nula es que los errores del modelo OLS se distribuyen *iid* ante la alternativa que no lo hacen, sin especificar el tipo de proceso autoregresivo. El Cuadro 5 presenta los resultados obtenidos para estos contrastes:

Cuadro 5: Contrastes LM Robustos e I-Moran

SWM	Tipo	Test	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DI	Global	I-Moran	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Error	LMR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Lag	LMR*	0.560	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
KNN	Global	I-Moran	0.044	0.011	0.011	0.003	0.001	0.004
	Error	LMR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Lag	LMR	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia.

En general, estos contrastes permiten obtener una idea del modelo a estimar. La idea es comparar la significancia entre el LMR-Lag y el LMR-Error (Anselin y cols., 1996). Si el LMR-Error es más significativo que el LMR-Lag, entonces es preferible estimar un modelo SEM (Spatial Error Model: $\rho \neq 0; \lambda = 0$) que un modelo SAL (Spatial Lag Model: $\lambda \neq 0; \rho = 0$) (Dallérba y Le Gallo, 2008). En el Cuadro 5 el LMR-Error es igual o más significativo que el LMR-Lag para ambas matrices, lo que sugiere que es preferible estimar un modelo SEM que un modelo SAL. Por otra parte, el I-Moran para ambas matrices indica que sí existe un

proceso espacial capturado en el término de error, aunque este es desconocido. Esta evidencia final refuerza la idea de utilizar un modelo que considere efectos espaciales autoregresivos para el error. Como se pretende también incluir el rezago espacial de aspersión, el modelo a utilizar es el SEDM.

5.5. Modelo SEDM: Estimación

Se estimará el modelo utilizando como variable dependiente el logaritmo natural del número de AAEE municipales usando como covariables el área asperjada tipificada, los controles mencionados anteriormente y el rezago espacial del área asperjada. Además, se incluirá un proceso autoregresivo para el término de perturbación, pues puede que existan factores no observados en las unidades vecinas al municipio i que también expliquen la ocurrencia de un AE, como se mencionó anteriormente.

Cuadro 6: SEDM para Log Aspersión 2010-2015 - Toda la Muestra

Spatial Error Durbin Model	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015
Aspersión Tipificada	-0.155	*0.25	0.179	**0.307	**0.280	***0.423
ee	0.146	0.139	0.126	0.121	0.125	0.112
Proporción mujeres >= 40 años	-4.390	-3.923	** -6.167	0.998	-0.245	-0.981
ee	2.800	2.804	2.899	2.480	2.542	2.513
Controles Prenatales	-0.123	***-0.198	***-0.235	-0.099	-0.073	-0.048
ee	0.083	0.074	0.070	0.069	0.068	0.066
Sedes Salud por Km ²	***10.147	***10.131	***11.188	***11.119	***12.269	***11.604
ee	1.659	1.751	1.653	1.652	1.642	1.649
IPM	***-0.034	***-0.043	***-0.042	***-0.04	***-0.039	***-0.042
ee	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Cobertura Regimen Subsidiado	0.005	-0.020	0.007	0.012	-0.032	-0.025
ee	0.005	0.016	0.012	0.009	0.026	0.030
Proporción mujeres con bachillerato	-0.035	*-0.288	0.236	0.184	** -0.302	-0.055
ee	0.155	0.149	0.154	0.147	0.138	0.142
Constante	***3.752	***7.707	***5.041	***3.739	***7.986	***7.583
ee	0.651	1.627	1.326	1.101	2.443	2.871
Rezagos Matriz DI						
Aspersión Tipificada	-0.044	0.033	-0.247	-0.152	-0.030	0.095
ee	0.267	0.219	0.264	0.198	0.187	0.183
Error	***0.480	***0.496	***0.482	***0.505	***0.572	***0.546
ee	0.041	0.039	0.039	0.037	0.034	0.034
Varianza del Error	***1.199	***1.212	***1.184	***1.231	***1.211	***1.248
ee	0.088	0.082	0.079	0.079	0.077	0.069
Estadísticas						
Tamaño muestra	592	647	700	714	730	749
Pseudo R ²	0.181	0.204	0.257	0.217	0.175	0.189
Significancia Conjunta	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Test Wald para términos espaciales	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 6 se presentan los resultados del modelo SEDM para toda la muestra de municipios con registros de AAEE usando la matriz DI. Se presentan los coeficientes estimados para cada variable, junto con la estimación de su error estándar robusto ($ee(\hat{\theta})$). Según los resultados obtenidos, la aspersión con glifosato tiene una correlación positiva y significativa para el 2011, 2013, 2014 y 2015 a niveles del 10, 5, 5 y 1% de significancia ²¹, respectivamente. Es de interés analizar los rezagos espaciales. Para la aspersión, no hay resultados estadísticamente significativos. Esto puede traducirse en que la aspersión es un fenómeno local y no tiene un proceso de autocorrelación o de dependencia espacial. Para el término de error, los rezagos son significativos al 1% para todos los años y siempre positivos. Esto sugiere que, globalmente, existen factores no observados en lugares vecinos a cualquier observación que aumentan su logaritmo de AAEE. Si bien los resultados son ilustrativos, la heterogeneidad espacial resultante de utilizar todos los municipios en la muestra causa ruido y podría incrementar el sesgo en la estimación. Por lo tanto, en el Cuadro 7 se realiza una estimación que sólo incluye los municipios Tipo 1 y Tipo 2, estos son, los municipios con actividad cocalera registrada.

Según los resultados, la aspersión tipificada tiene una correlación positiva y significativa, al menos al 10% para los mismos 4 años que en el Cuadro 6, lo que indica cierta consistencia. Estos se leen de manera tradicional: para el 2015, el aumento en una desviación estándar del área asperjada ($431 \text{ ha}^{22} - 4.31 \text{ km}^2$) en el municipio i , en promedio, se correlaciona estadísticamente con una variación en el número de abortos espontáneos de 31.1% en el municipio i ²³. Para los demás controles significativos, se identifica lo siguiente: (a) Entre el 2011 y 2013 el coeficiente de controles prenatales promedio tiene el signo esperado: un mayor número de controles se correlaciona inversa y significativamente con logaritmo de AAEE; (b) entre 2012 y 2015 el número de sedes de salud pública por km^2 se asocia a un mayor número de AAEE con significancia estadística de al menos 5%. La lectura que podría derivarse de este resultado es que un mayor número de sedes por área permite llevar un seguimiento y registro más detallado del fenómeno; (c) para el IPM, en todos los años el coeficiente es negativo y significativo al 1%. La idea podría ir en concordancia con lo anterior: municipios con más privaciones, sobretodo los cocaleros, podrían llevar un registro menos adecuado o completo de los casos de AAEE que suceden. Las demás variables no presentan significancia y los signos no son estables en el tiempo.

²¹Los niveles de significancia se ilustran de la siguiente manera: *: 10% ; **: 5%; ***: 1%.

²²Para los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014 una desviación muestral fueron 1155, 1289, 1051, 450 y 756 ha respectivamente.

²³Para una mejor comprensión de los resultados, ver Cuadro 11 en Anexo B.

Cuadro 7: SEDM para Log Aspersión 2010-2015 - Actividad Cocalera

Spatial Error Durbin Model	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015
Aspersión Tipificada	-0.167	*0.254	0.071	*0.214	*0.245	**0.311
ee	0.121	0.142	0.133	0.126	0.141	0.123
Proporción mujeres >40 años	-10.375	-12.097	5.019	-6.893	-4.095	-3.427
ee	7.669	7.944	9.648	8.001	6.996	6.724
Controles Prenatales	-0.188	***-0.471	***-0.453	**0.265	0.018	-0.168
ee	0.127	0.136	0.126	0.12	0.122	0.137
Sedes Salud por Km ²	0.978	25.005	***55.523	**36.107	**41.94	***38.510
ee	14.984	18.387	17.71	18.244	17.049	14.531
IPM	***-0.034	***-0.05	***-0.049	***-0.041	***-0.032	***-0.044
ee	0.01	0.011	0.01	0.01	0.011	0.01
Cobertura Regimen Subsidiado	**0.022	0.001	0.024	0.01	0.035	0.048
ee	0.01	0.021	0.02	0.015	0.039	0.046
Proporción mujeres con bachillerato	0.313	-0.076	0.064	0.115	-0.253	-0.056
ee	0.346	0.352	0.339	0.353	0.403	0.374
Constante	*2.657	***7.574	**4.748	**5.031	0.762	1.487
ee	1.445	2.388	2.334	2.089	3.943	4.382
Rezagos Matriz DI						
Aspersión Tipificada	-0.185	-0.222	-0.025	-0.311	0.187	-0.038
ee	0.542	0.429	0.68	0.349	0.256	0.28
Error	***0.439	***0.415	***0.43	*0.218	0.184	***0.371
ee	0.12	0.121	0.12	0.114	0.116	0.093
Varianza del Error	***0.73	***1.022	***1.147	***1.169	***1.405	***1.269
ee	0.108	0.145	0.231	0.169	0.176	0.131
Estadísticas						
Tamaño muestra	95	105	117	125	132	136
Pseudo R ²	0.209	0.18	0.226	0.177	0.157	0.204
Significancia Conjunta	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Test Wald para términos espaciales	0.001	0.003	0.001	0.117	0.212	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, es de interés analizar los rezagos espaciales para la aspersión tipificada y los errores. Para la primera, no hay resultados estadísticamente significativos y los coeficientes son ambiguos. Esto puede traducirse en que la aspersión es un fenómeno local y no tiene un proceso de dependencia espacial. Es decir, el glifosato asperjado no se esparce de tal forma que afecte poblaciones más alejadas que los residentes de los lugares donde se realiza la aspersión. Para el término de error, los rezagos son significativos al 1% para todos los años y siempre positivos. Esto sugiere que, globalmente, existen factores no observados en lugares vecinos a cualquier observación que aumentan el logaritmo de AAEE. En otras palabras, existe un fenómeno de aglomeración espacial no explicado por las variables incluidas en el modelo que incrementan los AAEE, como por ejemplo, la radiación solar en cierta región, la exposición a otros pesticidas usados en ciertas regiones agrícolas, o costumbres regionales como el consumo de alcohol. Como se mencionó en la literatura revisada, separar los efectos de estos factores de riesgo del verdadero

efecto del glifosato es una tarea que no puede realizarse con la información disponible, por lo que no puede establecerse causalidad alguna.

5.5.1. Bondad de Ajuste

El Cuadro 7 también incluye algunas estadísticas de bondad de ajuste. Por un lado, el Pseudo R^2 que se construye como la correlación al cuadrado entre los valores observados de y y los valores ajustados \hat{y} del modelo en forma reducida²⁴. Para todos los modelos el Pseudo R^2 es modesto, un resultado común en modelos espaciales (Moreno y Valcarce, 2000). Por otro lado, el test de Wald clásico de Significancia Conjunta presenta los p -valores para todos los años. Se concluye que existe significancia conjunta al 1 %.

También se calculó el test de Wald para efectos espaciales (en el Cuadro 7 se presentan los p valores.). La idea es similar a la del test de Wald clásico. Testea la significancia conjunta para los efectos espaciales. La hipótesis nula es que conjuntamente son cero ante la alternativa de que son distintos de cero. Para los modelos presentados, se rechaza la hipótesis nula a favor de que tales efectos espaciales son significativos conjuntamente, excepto para los años 2013 y 2014. Otra forma de interpretar este resultado es que es preferible calcular el modelo con términos espaciales que por medio de una simple regresión por mínimos cuadrados ordinarios.

Otra forma de testear la inclusión de variables es mediante el contraste *Likelihood Ratio* (LR). Para esto, se calcula el modelo SEDM restringido (sin incluir aspersión y su rezago) y el modelo SEDM no restringido. La hipótesis nula del contraste es que los parámetros asociados a alguna variable de interés (aspersión y su rezago) son cero conjuntamente ante la alternativa que son distintos de cero. Rechazar la hipótesis nula sugiere que es mejor calcular el modelo no restringido que el restringido.

Cuadro 8: Contraste LR para Aspersión y Rezago Aspersión

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Test LR	0.535	0.187	0.283	0.038	0.061	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados del Cuadro 8, se encuentra que para los años del 2010 a 2012 no se rechaza que aspersión y su rezago no son significativos conjuntamente. Mientras que a partir

²⁴El modelo en forma reducida se calcula como $E[y|X, W] = \mathbf{X}\hat{\beta} + \hat{\gamma}W\mathbf{X}$

del 2013 fue oportuno incluir tales variables pues conjuntamente son distintas de cero al 5, 10 Y 1 % de nivel de significancia respectivamente.

5.5.2. Efectos Directos, Indirectos y Totales

En la econometría espacial, es de interés determinar los efectos o impactos que tiene una variable rezagada sobre una observación cualquiera. Para esto se definen los Efectos Directos (el impacto del coeficiente de regresión sin contar efectos espaciales), el Efecto Indirecto (el impacto de las variables rezagadas) y el Efecto Directo Total (el impacto agregado de los coeficientes de regresión del modelo). Para obtenerlos, reescriba la Ecuación 8 en términos del DGP como:

$$y = S\mathbf{X} + B^{-1}\varepsilon \quad (13)$$

donde $S = (I_n\beta + \gamma W)$. Los efectos directos e indirectos se obtienen de los componentes de S . Su diagonal representa los efectos directos (β) y lo elementos afuera de la diagonal los efectos indirectos de la observación j a la observación i ($\rho \cdot w_{ij}$)²⁵, también conocidos como efectos *spillover*. Formalmente, LeSage y Pace (2009) definen los efectos marginales promedio totales (ETP), los efectos marginales promedio directos (EDP) y los efectos marginales promedio indirectos (EIP) como:

$$ETP = \frac{S_r \cdot \iota_n}{n} \quad (14)$$

$$EDP = \frac{tr(S)}{n} \quad (15)$$

$$EIP = ETP - EDP \quad (16)$$

con ι_n como un vector de unos y tr como la traza. Así, en los resultados del Cuadro 7, se identifican los efectos directos como los coeficientes $\hat{\beta}$. Los efectos indirectos para una matriz binaria son los coeficientes $\hat{\gamma}_i$ y para una matriz inversa de distancia son el promedio ponderado por las entradas w_{ij} para $\hat{\gamma}_i$. El término de perturbación rezagado no genera efectos indirectos, por construcción matemática (LeSage y Pace, 2009).

Los resultados del Cuadro (7) identifican efectos directos para el periodo de tiempo estudiado. A continuación se presentarán los resultados de los EDP, EIP y ETP para la matriz DI en los años estudiados y para la variable aspersion tipificada, que es la única rezagada y por lo tanto la única que arroja efectos *spillovers*. Para el término de error no es posible calcular estos efectos (Elhorst, 2014).

²⁵Es importante aclarar que existen distintos efectos indirectos para cada par de observaciones i, j .

Cuadro 9: Efectos Directos, Indirectos y Totales Promedios

	Aspersión	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DI	EDP	-0.167	*0.254	0.071	*0.213	*0.245	**0.311
	EIP	-0.056	-0.061	-0.006	-0.107	0.066	-0.016
	ETP	-0.224	0.192	0.064	0.106	*0.311	*0.295

Fuente: Elaboración propia.

Del Cuadro 9 se identifican varias cosas. Por un lado, como se mencionó antes, los coeficientes para aspersión tipificada en los años 2011, 2013, 2014 y 2015 son significativos y su signo es positivo. Por otro lado, los efectos indirectos no son significativos para ningún año, lo que refuerza la idea de que en realidad la aspersión, si influyese en la determinación del número de AAEE, sólo lo hace en los lugares donde se realizó la aspersión y no se esparce en el espacio donde se ubican sus vecinos definidos en DI. Finalmente, los ETP son positivos y significativos al 10% para los años 2014 y 2015. Este resultado es ambiguo: en 2014 el EIP suma mientras que en el 2015 resta. Por ejemplo, en el 2015, de una variación en el número de AAEE promedio del 29.5% correlacionada con la variación en una desviación estándar del área asperjada, 31.1 puntos porcentuales se deben a efectos directos o locales mientras que -1.6 pp se deben a efectos *spillover* no significativos. No se pueden realizar conclusiones generales sobre los ETP.

5.5.3. Modelo SEM por Tipología

A continuación, de manera ilustrativa, se mostrarán los resultados de la regresión cambiando la variable aspersión tipificada por una variable categórica llamada *Asperjados* que toma el valor de uno (1) si el municipio tenía cultivos de hoja de coca y fue asperjado en el año t ; o cero (0) si el municipio tenía cultivos de coca pero no fue asperjado, similar a la Tipología de la Sección 4. Como no se incluye aspersión, tampoco se incluirá su rezago, de manera que el modelo resultante es el SEM.

Del Cuadro 10 se identifica que, excepto para el 2010, los municipios asperjados tienen, en promedio, un mayor nivel en el logaritmo de AAEE que los que sólo tienen cultivos. Sin embargo, sólo se encuentra significancia para los años 2014 y 2015. El resultado indica que, para el 2015, los municipios asperjados tienen, en promedio, un 66.8% más AAEE que los municipios que sólo cuentan con cultivos, coeficiente similar al del año anterior. Es un resultado interesante pero que

Cuadro 10: SEM para Log Aspersión 2010-2015 Tipología

Spatial Error Model	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015
Asperjados	-0.268	0.063	0.176	0.116	***0.686	***0.668
ee	0.183	0.229	0.219	0.208	0.226	0.243
Proporción mujeres >40 años	-10.615	-10.164	4.810	-5.767	-5.276	-3.705
ee	7.674	8.015	9.447	7.973	6.811	6.653
Controles Prenatales	-0.132	***-0.438	***-0.468	**0.243	-0.029	-0.135
ee	0.120	0.133	0.120	0.114	0.117	0.133
Sedes Salud por Km ²	-3.046	*31.492	***57.232	**37.809	***52.295	***42.626
ee	15.252	18.425	17.694	18.415	16.937	14.559
IPM	***-0.0339	***-0.0439	***-0.05	***-0.0387	***-0.0279	***-0.0442
ee	0.010	0.011	0.010	0.010	0.011	0.010
Cobertura Regimen Subsidiado	**0.023	0.000	0.023	0.009	0.051	0.061
ee	0.010	0.021	0.020	0.016	0.039	0.046
Proporción mujeres con bachillerato	0.238	-0.036	0.112	0.087	-0.320	-0.100
ee	0.346	0.356	0.345	0.357	0.395	0.372
Constante	*2.477	***6.8107	**4.8119	**4.6983	-1.242	-0.410
ee	1.425	2.402	2.331	2.058	3.943	4.445
<i>Rezagos Matriz DI</i>						
Error	***0.436	***0.403	***0.425	*0.195	*0.201	***0.3371
ee	0.120	0.122	0.120	0.116	0.115	0.097
Varianza del Error	***0.7302	***1.0572	***1.1443	***1.2008	***1.3442	***1.2696
ee	0.107	0.139	0.221	0.168	0.167	0.131
<i>Estadísticas</i>						
Tamaño muestra	95	105	117	125	132	136
Pseudo R ²	0.210	0.158	0.230	0.162	0.191	0.223
Significancia Conjunta	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Test Wald para términos espaciales	0.000	0.001	0.000	0.091	0.081	0.001

Fuente: Elaboración propia.

no se sostiene para el horizonte temporal escogido. Por último, este modelo sólo considera un proceso autoregresivo en el término de perturbación, siendo significativo y positivo para todos los años, con menos fuerza en 2013 y 2014, además de estar acotado entre los valores esperados para ρ .

5.5.4. Resumen de resultados

El periodo escogido fue entre los años 2010 y 2015, y el modelo SEDM fue estimado para cada año como un modelo de corte transversal. Como se menciona anteriormente, porque el número de AAEE es estable en media y varianza, además que la política de aspersión fue suspendida en el año 2015.

Las estimaciones realizadas sugieren varias cosas: (1) Existe una correlación estadística positiva y significativa entre el logaritmo de los AAEE y las hectáreas asperjadas (tipificada) con glifosato bajo la estructura definida en la matriz DI. Para los años 2011, 2013, 2014 y 2015,

una hectárea adicional asperjada esta correlacionada, en promedio, con el aumento del número abortos espontáneos en 25.4, 21.4, 24,5 y 31.1%, respectivamente. Para la matriz KNN, la correlación es significativa y positiva a partir del 2012; (2) El modelo es sensible a la estructura espacial definida en la matriz de ponderación: para otras SWM que incluían mayor número de vecinos (mayor distancia) no se encontraron resultados significativos. Lo que esto sugiere es que la estructura espacial definida para el modelo es local (es decir, aglomeraciones reducidas a lo largo del país). Por ejemplo, la aspersión se relaciona con los AAEE de manera local: si la causalidad existiese, la influencia sería a nivel intra-municipal. Los resultados indican que el efecto *spillover* no es significativo; (3) en cuanto a las covariables, el número promedio de controles prenatales resultó ser la única variable significativa y con signo esperado para 3 años en la muestra. Otras variables con significancia para algunos o todos los años fueron el número de sedes de salud por km^2 y el IPM. Los signos de los coeficientes estimados no eran los esperados, pero son justificables. Por ejemplo, municipios con mayor número de sedes tienen una cobertura más completa de las complicaciones en salud prenatal y, por lo tanto, registran más AAEE. Por otra parte, municipios con más privaciones también tendrán menos capacidad de registrar los verdaderos casos de AAEE ocurridos. Factores como la violencia profundizan estas insuficiencias en la recolección de la información, y esta sucede en los municipios con baja o nula presencia estatal, que son los que poseen actividades coccaleras. Para las demás covariables²⁶, los resultados son ambiguos y carecen de significancia; (4) Existen otros factores de riesgo no observados que determinan el número de abortos espontáneos en un municipio que no se incluyeron: factores genéticos, estado actual de salud, patrones de consumo, o condiciones laborales específicas, entre otros. A pesar que no puede calcularse la correlación para los errores, si puede medirse la correlación para los errores rezagados espacialmente. Estos son significativos para todos los años en el Cuadro 7, lo que sugiere que hay variables en el término error para el municipio i que están correlacionados con el número de AAEE en los municipios vecinos, además de que probablemente puedan existir interacciones entre estos, p.e. la radiación solar y las interacciones que pueda tener con las distancias recorridas como factor de riesgo de un AE. Cabe recordar que los modelo SEDM y SEM se estiman bajo el supuesto que el error es *i.i.d*; (5) Existe cierta consistencia entre los resultados encontrados para toda la muestra y sólo para los

²⁶En cuanto a problemas de multicolinealidad, se consideró el cálculo de correlaciones simples así como una prueba VIF (todas las covariables con un VIF entre 1 y 2). Por lo tanto, se concluye que no existen problemas de multicolinealidad.

municipios con actividad cocalera. Si bien la significancia de las correlaciones se disminuye, esto puede deberse a los mismos problemas de registro mencionados; (6) Realizando un SEM con la variable categórica *Asperjados*, se encuentra que, en promedio, el coeficiente estimado es mayor en los municipios que fueron asperjados (excepto en 2010) e incluso mayor en municipios donde hay cultivos pero no aspersión, respecto a los municipios donde no hubo cultivos, aunque sólo hay significancia en 2014 y 2015; (7) No pueden establecerse causalidades o relaciones directas: no es posible aislar los efectos puntuales de la aspersión aérea con glifosato de otros factores de riesgo y sus interacciones, aunque sí existe una correlación, es positiva y significativa para los años con mejor calidad en los datos; (8) Existen ciertas limitaciones en la estimación: (8.1) los posibles problemas de sesgo por la mala medición de la variable AAEE (por registro o por la depuración de datos). Surge una reflexión a partir de esto: si existiese un mejor registro, ¿estaría asociado a estimadores más aproximados al verdadero valor poblacional?; (8.2) ante los problemas de heterogeneidad espacial entre municipios rurales - no rurales, podrían surgir problemas de sesgo, y para muestras grandes, de consistencia (Moreno y Valcarce, 2000). Es por esto que el Cuadro 7 contempla sólo municipios con actividad cocalera, que en promedio, deberían tener características similares. En investigaciones futuras es importante contemplar un análisis de heterogeneidad que permita estar seguro de escoger municipios estadísticamente similares entre sí; (8.3) Otras cuestiones acerca de los datos que limitan los resultados y deben tenerse en cuenta para estudios futuros: escalar por población o incluir los abortos como una tasa (con mejores registros de AAEE será adecuado); la falta de certeza acerca del momento exacto de la aspersión, pues contar con ventanas temporales de exposición permitiría tener estimadores más precisos; tampoco se cuenta con información sobre la adhesión del químico. Cabe recordar que los químicos pueden no afectar directamente, pero se adhieren, se acumulan y perduran en el organismo durante cierto tiempo, lo que podría causar consecuencias de largo plazo indeseables.

Antes de realizar las conclusiones, es de interés mencionar algunos derechos constitucionales sobre la protección del medio ambiente. El Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia establece que “**Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano**” (*Constitución Política de Colombia*, 1991). También afirma que el Estado es la institución encargada de proteger la diversidad e integridad del medio ambiente, además de fomentar la educación para lograr tales fines, actividad que debe de ser profundizada en un país **mega diverso** como Colombia (*Constitución Política de Colombia*, 1991). Por esto, se pretende realizar una breve reflexión acerca del Principio de Precaución y los resultados presentados.

6. Derecho a un medio ambiente sano

La protección al medio ambiente incluye el deber del Estado Social de Derecho de preservar la vida y la biodiversidad. Consecuentemente, este erige otros principios constitucionales que rigen las decisiones en materia ambiental, como el respeto por la dignidad humana, la prevalencia del interés general sobre el particular y la asignación del gasto público en materia de salud en las regiones (*Corte Constitucional, Sala Sexta de Revisión, 2016, pág 30*). Así, el **medio ambiente sano** tiene relación directa e interdependiente con la garantía de los derechos a la vida, la salud, la cultura y el territorio, o como se hacen conocer en la Sentencia T 622 de 2016, los **derechos bioculturales** (*Corte Constitucional, Sala Sexta de Revisión, 2016, pág 138*).

En la sentencia se erige el **Principio de Precaución Ambiental**. Este “[...] responde a la *incertidumbre técnica y científica que muchas veces se cierne sobre las cuestiones ambientales, por la incommensurabilidad de algunos factores contaminantes, por la falta de sistemas adecuados de medición o por el desvanecimiento del daño en el tiempo*” (*Corte Constitucional, Sala Sexta de Revisión, 2016*). Con Colombia como participante, la Declaración de Río de Janeiro de 1992 (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe, 1992) se refiere al Principio de Precaución de la siguiente manera: “*Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente.*” En general, para que el principio pueda ser aplicado, se deben cumplir, según la Ley 99 de 1993 (Congreso de la República, 1993) los siguientes requisitos: (1) Existencia de peligro del daño; (2) que el daño sea grave e irreversible; (3) que exista un principio de certeza científica, así no sea absoluto; (4) que la decisión adoptada impida la degradación del medio ambiente; y (5) que exista una motivación por la cual el principio sea adoptado (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe, 1992).

Como se ha mencionado, demostrar un daño *grave e irreversible* específico sobre el uso de un producto o los daños que la exposición a este puedan causar se torna complicado por la separación de los factores de riesgo, la calidad de la información y el debate moral de experimentar sobre seres humanos. El Principio establece que si bien no puede exigirse certeza absoluta sobre las consecuencias - en materia de salud - de una política, debe existir evidencia científica objetiva que **relacione o conecte** las causas con las consecuencias, como requisito mínimo. Precisamente, la

incertidumbre es la que habilita la realización del Principio. (*Corte Constitucional, Sala Sexta de Revisión*, 2016).

En este sentido, si bien las evidencias obtenidas en este trabajo y las de la literatura revisada afirman no ser concluyentes, muestran relaciones objetivas entre el uso de GBH y afectaciones de la salud prenatal, algunos incluso estableciendo causalidades, utilizando métodos estadísticos rigurosos y advirtiendo las limitaciones en sus cálculos. Estos documentos son valiosa evidencia internacional y sus limitaciones no pueden ser una razón para ser descartados. Si esto fuera así, valiosos textos científicos a lo largo de la historia dejarían de ser una referencia y el progreso se hubiese obstaculizado.

En Colombia hay pocas investigaciones y esto ha permeado la discusión a favor de que la evidencia científica es insuficiente para ser concluyente. Camacho y Mejía (2017) ya encontraron una causalidad significativa estadísticamente y es necesario seguir investigando las probables afectaciones en salud de la política de aspersión. Los resultados contrastan y los porcentajes son disímiles por varias razones: Camacho y Mejía (2017) utilizan los registros de las RIPS para el periodo 2003-2008, consideran ventanas de 9 meses para su estimación y, entre otras cuestiones, consideran el uso de una estimación de efectos fijos, controlando por otras variables para que la condición de ortogonalidad se cumpla y puedan realizarse conclusiones de causalidad. De esta forma, controlan el sesgo positivo que en los estimadores de este trabajo podría persistir. Esto explicaría las diferencias en los coeficientes²⁷. A pesar de estas diferencias, los resultados apuntan en la misma dirección. La cuestión en Colombia es que hay pocos estudios sustanciales sobre el tema, siendo los más representativos los mencionados en la Sección 4. Esto dificulta la implementación del Principio, pues la evidencia es insuficiente para los intereses transnacionales.

Precisamente, los opositores del principio describen el potencial de la sentencia para generar regulaciones excesivas que limiten la actividad humana (*Corte Constitucional, Sala Sexta de Revisión*, 2016). Lo que aquí se discute es precisamente esto: **no limitar** la actividad humana a favor de las grandes firmas que buscan comercializar sus productos y de la política global y fallida de erradicación o **limitar** la actividad a favor de la seguridad ambiental y las comunidades

²⁷El subregistro existente en los municipios con cultivos de hoja de coca podría desembocar en estimadores con sesgo negativo. Es decir, los estimadores encontrados podrían ser mayores que lo observado, por una parte, pero dado el sesgo de variables omitidas, capturadas en el término de error espacial, también podrían ser menores que lo observado. Esta es la diferencia fundamental en los resultados contrastando con lo encontrado por Camacho y Mejía (2017).

residentes. Como resolvió la sentencia T 622/16, la prioridad debe ser el amparo de los derechos fundamentales de los colombianos, incluso por encima de la actividad económica o los intereses norteamericanos de acabar la demanda por narcóticos en ese país y combatir los grandes carteles, de los cuales incluso muchas instituciones gubernamentales han sacado provecho (Escohotado, 1998).

En países como Austria ya se ha prohibido el uso de GBH mediante el recurso del Principio de Precaución. Otros también poseen veto o restricciones parciales como Bélgica, Italia, Arabia Saudita y Vietnam (18 en total). Varios países de la Unión Europea terminan sus licencias de uso de GBH en 2022. Es por esto que los ministerios de Salud y de Ambiente deben promover la realización de estudios serios y consistentes sobre la toxicidad de los GBH, además de estudios epidemiológicos que sean objetivos y se asignen a instituciones científicas y académicas independientes.

En Colombia existen al menos 231 demandas pendientes por el uso del glifosato (Alfonso y cols., 2020). Pese a las ambigüedades y los distintos puntos de vista que puedan surgir de esta discusión, se deben tomar decisiones autónomas, enfocadas en las necesidades y el contexto particular en el que se encuentran los habitantes de las regiones más marginadas del país, acentuando los esfuerzos por la protección de los derechos bioculturales. La garantía no sólo de la vida, sino del buen vivir, es deber del Estado Social de Derecho.

7. Conclusiones

La discusión que envuelve la aspersión aérea con glifosato como política de erradicación de los cultivos de hoja de coca en Colombia toma varios matices y enfrenta dos posiciones: por un lado, están las instituciones defensoras de la aspersión como la única medida capaz de disminuir las alarmantes cifras de tráfico y consumo de cocaína y sus derivados; por otro, la comunidad científica y los defensores de derechos humanos que exponen las consecuencias nocivas para la fauna, la flora, el cultivo de alimentos, la contaminación acuífera y, lo que se ha planteado en este y otros trabajos académicos, perjuicios sobre la salud de los habitantes donde se realiza la aspersión. Esta discusión es baladí en tanto existen fórmulas constitucionales que amparan las comunidades rurales y, ante la evidencia encontrada, es perentorio y plausible que la Corte Constitucional aborde tanto el Principio de Precaución como el Principio de Prevención (*Corte Constitucional, Sala Plena, 2002*), de manera no excluyente.

En cuanto a los resultados de este trabajo, se resalta el hecho de que no puede pensarse en una relación directa en términos bioquímicos, así como tampoco puede establecerse causalidad alguna. Aislar los efectos puntuales de la aspersión con otros factores de riesgo es una tarea complicada, como se ilustró anteriormente. A pesar de esto, existe una correlación significativa estadísticamente entre el número de AAEE y los niveles de aspersión aérea en 4 de 6 años para el total de la muestra obtenida así como para la submuestra de municipios con actividad cocalera. Además, los resultados son consistentes para distintos conjuntos de covariables, para las distintas muestras y también a través de los años, con correlaciones significativas en un rango del 10%. No obstante, se exige sobriedad en las conclusiones ante las limitaciones de la investigación advertidas en la Sección de 5.5.4. Este documento sólo pretende mostrar evidencia objetiva y científica que permita contribuir a la discusión de implementar el Principio de Precaución y/o Prevención o continuar con la política de aspersión.

Desde otro punto de vista, los datos obtenidos del DANE tienen varios inconvenientes metodológicos en la recolección de la información. Es por esto que la información utilizada se filtró de la manera más objetiva posible siguiendo definiciones de un AE. Hubo varios municipios con aspersión en grandes cantidades pero sin datos. En otros municipios, los datos no eran congruentes. Las entidades de salud en compañía del Ministerio de Salud y Protección Social deben establecer una metodología bien definida que mejore los registros por afectaciones en salud y aumente la cobertura. Si bien los datos del Registro Individual de Prestación de Servicios de

Salud (RIPS) ofrecen una solución, no estuvieron disponibles durante la redacción de este texto. Debe aclararse un consenso sobre la metodología para medir el fenómeno de abortos y otras condiciones prenatales, para poder trabajar en una mejor legislación e implementar políticas públicas adecuadas (Díaz, 2015). La discusión no puede redundar en si la evidencia es suficiente o no y aislarse de otros puntos de vista: debe existir un consenso en donde las comunidades residentes de estos municipios tengan participación, especialmente las mujeres, y las políticas deben incluir una profunda discusión con enfoque de género, respondiendo a las necesidades particulares de cada grupo social y realizando una adecuada presencia estatal que ampare el cumplimiento de los derechos bioculturales, la protección de la vida y la salud, así como de los recursos naturales.

En este sentido, los argumentos regulatorios deben dejar de pensar en la aspersión como la solución a la disminución de la demanda de cocaína y la oferta de cultivos. La demanda es un problema de salud pública y la oferta es un problema económico: para muchas familias, cultivar coca es la única alternativa en un campo abandonado por el Estado colombiano; y para los narcotraficantes, la fragilidad del sistema jurídico y las grandes rentas del tráfico los incentiva a continuar con sus actividades ilícitas. Desde otra perspectiva, los hacedores de política tienen que entender que el cultivo de hoja de coca no es nocivo per se: más bien, la institucionalidad y la economía alrededor de actividades ilícitas que acaparan zonas abandonadas por el Estado debería ser el foco central del asunto: controlar la comercialización de químicos utilizados en los laboratorios de cocaína, perseguir a los traficantes, controlar e intervenir en las rutas del narcotráfico, y sobretodo, desasir a varias instituciones, tanto privadas como públicas, de sus conexiones con el narcotráfico.

Una posible solución de largo plazo es reasignar los recursos e invertir en el campo colombiano, proteger a las comunidades más vulnerables, respetar las tradiciones culturales por medio de mecanismos serios y sostenibles, garantizar la participación democrática, proteger el medio ambiente y la vida y, sobretodo, identificar las esferas del Estado que se financian o apoyan en el narcotráfico. En tanto este último apartado se siga postergando, ninguna política será suficientemente adecuada.

Respecto a esto, se debe reemplazar la idea de la ignorancia como un **estado nativo** a una visión de la ignorancia como una **construcción activa**: esta también puede ser parte de un plan diseñado en forma deliberada (Proctor, 2020). Proctor (2020) menciona ejemplos en donde esta construcción activa ha asegurado que grandes firmas e industrias continúen con sus agendas

económicas esparciendo la ignorancia sobre los potenciales daños en la salud respiratoria del consumo de cigarillo simplemente porque no había respaldo de *ciencia sólida*. Además contrataban científicos para que hicieran estudios dirigidos, similar a lo que hace Monsanto, en donde afirmaban que no existían consecuencias en la salud, cuestionando todas las afirmaciones en contra del cigarrillo y estableciendo el dogma de *ignorancia como construcción activa* (Proctor, 2020). Resulta inconcebible que en el cuarto país más biodiverso del mundo y el primero por extensión la solución sea destruir los ecosistemas sin conocer sus potenciales beneficios para la humanidad y si permitir la financiación incluso de campañas presidenciales con dineros obtenidos de narcotraficantes. Contra este tipo de agnotología es necesario combatir y debe prevenirse.

Por último, algunos comentarios acerca de las posibles líneas de investigación resultantes. Con los datos obtenidos del DANE y los RIPS, se podría estudiar la relación de la aspersión con otras afectaciones en la salud prenatal. Por otro lado, es posible implementar otros métodos estadísticos que modelen variables de conteo (como abortos o aspersión municipales) como regresiones Poisson o Binomiales negativas, o modelen la probabilidad de experimentar un AE ante los niveles de aspersión (Probit, Tobit), los cuales incluyan efectos espaciales o dinámicas autoregresivas como las mencionadas. Esto es factible utilizando métodos bayesianos (Aw y Cabral, 2019; Best y cols., 2000; Glaser, 2017; K. Lee y Bell, 2009; Lord y Park, 2010; Mcnutt, 2016; Nelder y Wedderburn, 1972; Wakefield, 2007). Estas líneas ulteriores de investigación permitirán superar los obstáculos y limitaciones del modelo econométrico aquí propuesto: pruebas de homogeneidad, estimaciones robustas, eliminación del sesgo por variable omitida, modelación de variables de conteo, entre otros. Esta discusión debe continuar y los esfuerzos por medir y estudiar este fenómeno deben agudizarse, sobretodo, si lo que se decide es retomar la política de aspersión y defenderla.

Referencias

- Adolfsson, A. (2006). *Miscarriage: Women's Experience an its Cumulative Incidence* (n.º 939). Linköping: Linkopings Universitet Medical Dissertations.
- Alfonso, O., Granados, J., y Téllez, L. (2020). Cultivos trashumantes, políticas inoperantes: Un balance de la actividad cocalera en Colombia, 1998-2017. *Revista Sociedad y Economía*, 39.
- Alvarez, C., Silva, M. R., Valdez Ramírez, C., Gallardo, D. G., León Sánchez, R., Aguirre, A. C., y Velasco, A. F. (2014). Comparison of the in vivo and in vitro genotoxicity of glyphosate isopropylamine salt in three different organisms. *Genetics and Molecular Biology*, 37(1), 105–110. doi: 10.1590/S1415-47572014000100016
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models* (Vol. 4). London: Kluwer Academic Publishers. doi: 10.1007/978-94-015-7799-1
- Anselin, L., Bera, A. K., Florax, R., y Yoon, M. J. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26(1), 77–104. doi: [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(95\)02111-6](https://doi.org/10.1016/0166-0462(95)02111-6)
- Arbia, G. (2006). *Spatial Econometrics: Statistical Foundations and Applications to Regional Convergence*. Springer. doi: 10.1007/978-3-642-17940-2
- Arbuckle, T. E., Lin, Z., y Mery, L. S. (2001). An exploratory analysis of the effect of pesticide exposure on the risk of spontaneous abortion in an Ontario farm population. *Environmental Health Perspectives*, 109(8), 851–857. doi: 10.1289/ehp.01109851
- Arraiz, I., Drukker, D. M., Kelejian, H. H., y Prucha, I. R. (2010). A spatial cliff-ord-type model with heteroskedastic innovations: Small and large sample results. *Journal of Regional Science*, 50(2), 592–614. doi: 10.1111/j.1467-9787.2009.00618.x
- Avila, M., Difilippo, F., Lean, B., Maturano, E., y Etchegoyen, A. (2018). Environmental Exposure to Glyphosate and Reproductive Health Impacts in Agricultural Population of Argentina. *Journal of Environmental Protection*, 09(03), 241–253. doi: 10.4236/jep.2018.93016
- Aw, A., y Cabral, E. (2019). Bayesian estimation of the functional spatial lag model. *Laboratory of Mathematics and Applications*, 1–15.
- Benachour, N., y Seralini, G.-e. (2009). Glyphosate formulations induce apoptosis and

- necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chemical research in toxicology*, 22(1), 97–105.
- Berek, J., y Novak, E. (2015). *Berek's and Novak's Gynecology* (15.^a ed.). Philadelphia PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Best, N. G., Ickstadt, K., y Wolpert, R. (2000). Spatial Poisson Regression for Health and Exposure Data Measured at Disparate Resolutions. *Journal of the American Statistical Association*, 95(452), 1076–1088. doi: 10.1080/01621459.2000.10474304
- Betancourt, L., Bolivar, A., Olave, C., y Contreras, G. (2014). Aborto Recurrente de Etiología Autoinmune. *Revista Médica Risaralda*, 20(2), 107–113.
- Brusick, D., Aardema, M., Kier, L., Kirkland, D., y Williams, G. (2016). Genotoxicity Expert Panel review: weight of evidence evaluation of the genotoxicity of glyphosate, glyphosate-based formulations, and aminomethylphosphonic acid. *Critical Reviews in Toxicology*, 46, 56–74. doi: 10.1080/10408444.2016.1214680
- Camacho, A., y Mejia, D. (2017). The Health Consequences of Aerial Spraying of Illicit Crops: The Case of Colombia. *Journal of Health Economics*, 54, 147–160.
- Cohen, J., y Tita, G. (1999). Difussion in Homicide Exploring a General Method for Detecting Spatial Diffusion Processes. *Journal of Quantitative Criminology*, 15(4), 451–494.
- Congreso de la República. (1993). *Ley 99 de 1993*. Diario Oficial No. 41.146 de 22 de diciembre de 1993.
- Constitución Política de Colombia*. (1991). Bogotá: 2da Ed. Legis.
- Corrigendum. (2018a). *Critical Reviews in Toxicology*, 48(10), 902–902. Descargado de <https://doi.org/10.1080/10408444.2018.1522133> doi: 10.1080/10408444.2018.1522133
- Corrigendum. (2018b). *Critical Reviews in Toxicology*, 48(10), 893–894. Descargado de <https://doi.org/10.1080/10408444.2018.1522175> doi: 10.1080/10408444.2018.1522175
- Corte Constitucional, Sala Plena*. (2002, apr). Sentencia C293. [MP Alfredo Beltrán].
- Corte Constitucional, Sala Sexta de Revisión*. (2016, nov). Sentencia T 622. [MP Jorge Palacio].

- Dallérba, S., y Le Gallo, J. (2008). Regional Convergence and the Impact of European Structural Funds Over 1989-1999 : Regional Convergence and the Impact of European Structural Funds Over 1989-1999. *Papers in Regional Science*, 87(2), 219–244.
- De Araujo, J. S., Delgado, I. F., y Paumgartten, F. J. (2016). Glyphosate and adverse pregnancy outcomes, a systematic review of observational studies. *BMC Public Health*, 16(1), 1–13. doi: 10.1186/s12889-016-3153-3
- De Cock, J., Westveer, K., Heederik, D., Te Velde, E., y Van Kooij, R. (1994). Time to pregnancy and occupational exposure to pesticides in fruit growers in The Netherlands. *Occupational and Environmental Medicine*, 51(10), 693–699. doi: 10.1136/oem.51.10.693
- Dias, M., Soares, R., y Rocha, R. (2019). Glyphosate Use in Agriculture and Birth Outcomes of Surrounding Populations Glyphosate Use in Agriculture and Birth Outcomes of Surrounding Populations. *IZA Institute of Labor Economics, Document Papers*(12164), 46.
- Díaz, M. X. (2015). *Métodos para estimar la incidencia anual del aborto inducido* (Tesis Doctoral, Universidad de los Andes). doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Donado, A., y León, H. (2013). *Guía de Atención al Aborto*. Secretaría Distrital de Salud.
- Elhorst, P. (2014). *Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. London: Springer.
- Escohotado, A. (1998). *Historia General de las Drogas*. Alianza Editorial.
- Garry, V., Harkins, M., Erickson, L., Long-Simpson, L., Holland, S., y Burroughs, B. (2002). Birth defects, season of conception, and sex of children bom to pesticide applicators living in the Red River Valley of Minnesota, USA. *Environ Health Perspect*, 110(3), 441–449.
- Geary, R. (1954). The Contiguity Ratio and Statistical Mapping. *The Incorporated Statistician*, 5(3), 115–141. doi: 10.2307/2986645
- Glaser, S. (2017). *A review for spatial econometric models for count data* (Vol. 19-2017).
- Gonzalez, S. (2006). *Programa de erradicación de cultivos ilícitos mediante aspersión*

- aérea con glifosato. Universidad del Rosario - CEODD.
- Gutiérrez, R., Ávila, F., y Canal, D. (2018). *Cultivos de coca en Colombia: impactos socio-ambientales y política de erradicación*. Elementa.
- Hu, X., Miao, M., Bai, Y., Cheng, N., y Ren, X. (2018). Reproductive factors and risk of spontaneous abortion in the jinchang cohort. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11). doi: 10.3390/ijerph15112444
- Idrovo, Á. J., y Sanín, L. H. (2007). Resultados adversos en la procreación en mujeres trabajadoras en la floricultura colombiana: un resumen de la evidencia mediante metanálisis. *Biomédica*, 27, 490–497.
- Ingaramo, P., Varayoud, J., Milesi, M., Schimpf, M., Muñoz, M., y Luque, E. (2016). Effects of neonatal exposure to a glyphosate-based herbicide on female rat reproduction. *Reproduction*, 152(5), 403–415. doi: 10.1530/REP-16-0171
- Kelejian, H., y Prucha, I. (1998). A generalized spatial two stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model with autoregressive disturbances. *Real Estate Finance Econ*, 17(1), 99–121.
- Kelejian, H., y Prucha, I. (1999). A generalized moments estimator for the autoregressive parameter in a spatial model. *Int Econ Rev*, 40(2), 509–533.
- Lee, K., y Bell, D. (2009). A Spatial Negative Binomial Regression of Individual-level Count Data with Regional and Person-Specific Covariates. *Information and Software Technology*(March). doi: 10.1016/j.infsof.2008.09.005
- Lee, L. (2004). Asymptotic distributions of quasi-maximum likelihood estimators for spatial autoregressive models. *Econometrica*, 72(6), 1899–1925. doi: 10.1111/j.1468-0262.2004.00558.x
- LeSage, J., y Pace, K. (2009). *Introduction to Spatial Econometrics*. Londres: Taylor & Francis.
- Lord, D., y Park, B.-j. (2010). *Appendix D - Negative Binomial Regression Models and Estimation Methods*.
- Mcnutt, R. (2016). Bivariate Negative Binomial Hurdle with Random Spatial Effects. *Dissertations.*, 1048.
- Meeker, J. D., Barr, D. B., y Hauser, R. (2008). Human semen quality and sperm

- DNA damage in relation to urinary metabolites of pyrethroid insecticides. *Human Reproduction*, 23(8), 1932–1940. doi: 10.1093/humrep/den242
- Mejía, D., Restrepo, P., y Rozo, S. V. (2015). On the effects of enforcement on illegal markets: Evidence from a quasi-experiment in Colombia. *World Bank Economic Review*, 31(2), 570–594. doi: 10.1093/wber/lhv051
- Mink, P., Mandel, J., Lundin, J., y Scurman, B. (2011). Epidemiologic studies of glyphosate and non-cancer health outcomes: A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 61(2), 172–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2011.07.006>
- Moran, P. (1948). The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 10(2), 243–251. doi: 10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x
- Moreno, R., y Valcarce, E. (2000). *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial*. Barcelona: Edicions de la Universitat de Barcelona.
- Naidoo, S., London, L., Burdorf, A., Naidoo, R., Kromhout, H., y Scandinavian, S. (2011). Spontaneous miscarriages and infant deaths among female farmers in rural South Africa. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(3), 227–236.
- Nelder, J., y Wedderburn, R. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 135(3), 370–384.
- OEA. (2019). *Informe sobre el consumo de drogas en las Américas* (Inf. Téc.). Washington D.C.: Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas.
- ONU. (1961). Convención Única de 1961 sobre estupefacientes.
- ONU. (1972). Convención Única de 1961 sobre Estupefacientes. En *Protocolo de 1972 de modificación de la convención única de 1961 sobre estupefacientes*. (pp. 1–51).
- Ord, K. (1975). Estimation Methods for Models of Spatial Interaction. *Journal of The American Statistical Association*, 70, 120–126. doi: 10.1080/01621459.1975.10480272
- Paelinck, J., y Klassen, L. (1979). *Spatial Econometrics* (Farnboroug ed.). Saxon House.
- Parazzini, F., Chatenoud, L., Cintio, E. D., Mezzopane, R., Surace, M., Zanconato, G., ... Benzi, G. (1998). Coffee consumption and risk of hospitalized miscarriage before

- 12 weeks of gestation. *Human Reproduction*, 13(8), 2286–2291.
- Parazzini, F., Chatenoud, L., Tozzi, L., Benzi, G., Dal Pino, D., y Fedele, L. (1997). Determinants of Risk of Spontaneous Abortions in the First Trimester of Pregnancy. *Epidemiology*, 8(6), 681–683.
- Parazzini, F., Tozzi, L., Chatenoud, L., Restelli, S., Luchini, L., y Vecchia, C. L. (1994). Pregnancy: Alcohol and risk of spontaneous abortion. *Human Reproduction*, 9(10), 1950–1953. doi: 10.1093/oxfordjournals.humrep.a138365
- PARES. (2018). *Cómo va la Paz*. Fundación Paz y Reconciliación.
- Parvez, S., Gerona, R., Proctor, C., Friesen, M., Ashby, J., Reiter, J., ... Winchester, P. D. (2018). Glyphosate exposure in pregnancy and shortened gestational length: a prospective Indiana birth cohort study. *Environmental Health*, 1–12.
- Paz-Miño, C., Sánchez, M. E., Arévalo, M., Muñoz, M. J., Witte, T., De-la Carrera, G. O., y Leone, P. E. (2007). Evaluation of DNA damage in an Ecuadorian population exposed to glyphosate. *Genetics and Molecular Biology*, 30(2), 456–460. doi: 10.1590/S1415-47572007000300026
- Pineles, B. L., Park, E., y Samet, J. M. (2014). Systematic Reviews and Meta- and Pooled Analyses Systematic Review and Meta-Analysis of Miscarriage and Maternal Exposure to Tobacco Smoke During Pregnancy. *American Journal of Epidemiology*, 179(7), 807–823. doi: 10.1093/aje/kwt334
- Poorolajal, J., Cheraghi, P., Cheraghi, Z., Ghahramani, M., y Irani, A. D. (2014). Predictors of miscarriage : a matched case-control study. *Epidemiology and Health*, 36, 1–7. doi: 10.4178/epih/e2014031
- Prada, E., Singh, S., Remez, L., y Villareal, C. (2011). *Embarazo no deseado y aborto inducido en Colombia*. New York: Guttmacher Institute.
- Proctor, R. (2020). Agnotología. *Revista de Economía Institucional*, 22(42), 15–48. doi: <https://doi.org/10.18601/01245996.v22n42.02>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe, . (1992). Declaración de Rio sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Rio de Janeiro: Naciones Unidas.
- Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N., y Seralini, G. (2005). Differential

- Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase. *Environ Health Perspect*, 716(6), 716–720. doi: 10.1289/ehp.7728
- Romero, M. F., y Silva, J. S. (2009). Erradicación de cultivos de uso ilícito : fracaso del Plan Colombia y éxito del efecto globo. *Revista Criterios*, 2(1), 235–253.
- Salisbury, D. S., y Fagan, C. (2013). Coca and conservation: Cultivation, eradication, and trafficking in the Amazon borderlands. *GeoJournal*, 78(1), 41–60. doi: 10.1007/s10708-011-9430-x
- Sánchez, F., y Diaz, A. M. (2004). *Geografía de los cultivos ilícitos y Conflicto Armado en Colombia*. CEDE, Universidad de los Andes.
- Sanin, L. H., Carrasquilla, G., Solomon, K. R., Cole, D. C., y Marshall, E. J. (2009). Regional differences in time to pregnancy among fertile women from five colombian regions with different use of glyphosate. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 72(15-16), 949–960. doi: 10.1080/15287390902929691
- Savitz, D. A., Arbuckle, T., Kaczor, D., y Curtis, K. M. (1997). Male pesticide exposure and pregnancy outcome. *American Journal of Epidemiology*, 146(12), 1025–1036. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009231
- Taets, C., Aref, S., y Rayburn, A. L. (1998). The clastogenic potential of triazine herbicide combinations found in potable water supplies. *Environmental Health Perspectives*, 106(4), 197–201. doi: 10.1289/ehp.98106197
- Tobler, W. R. (1969). Geographical Filters and their Inverses. *Geographical Analysis*, 1(3), 234–253. doi: 10.1111/j.1538-4632.1969.tb00621.x
- UNDOC. (2019). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2018*. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el delito - SIMCI.
- Vorvick, L., Storck, S., y Zieve, D. (2010). *Aborto Espontáneo*. Fundación Cuidamos Vidas - Hospital Internacional de Colombia.
- Wakefield, J. (2007). Disease mapping and spatial regression with count data. *Biostatistics*, 8(2), 158–183. doi: 10.1093/biostatistics/kxl008
- Walsh, J., Sánchez, G., y Salinas, Y. (2008). *Aspersión aérea de los cultivos en Colombia: Una estrategia fallida*. WOLA. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Williams, A., Watson, R., y DeSesso, J. (2012). Developmental and Reproductive Out-

- comes in Humans and Animals After Glyphosate Exposure: A Critical Analysis. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 15(1), 39–96.
- Williams, G., Aardema, M., Acquavella, J., Berry, C., Brusick, D., Burns, M., . . . Weed, D. (2016). A review of the carcinogenic potential of glyphosate by four independent expert panels and comparison to the IARC assessment. *Critical Reviews in Toxicology*, 46, 3–20.
- Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E., y 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 (September 2018), 186–206. Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001> doi: 10.1016/j.mrrev.2019.02.001
- Zheng, D., Li, C., Wu, T., y Tang, K. (2017). Factors associated with spontaneous abortion: A cross-sectional study of Chinese populations. *Reproductive Health*, 14(1), 1–9. doi: 10.1186/s12978-017-0297-2

A. Anexo: Fórmulas para los Contrastes

- I. I-Moran Individual: Sea w_{ij} los elementos de W , $Q = \sum_i \sum_j w_{ij}$, x la variable de interés y su media \bar{x} , se define:

$$I = \frac{N}{Q} \cdot \frac{\sum_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad ; \quad i \neq j$$

- II. C-Geary: Con las definiciones de (I.), se define como:

$$C = \frac{N-1}{2Q} \cdot \frac{\sum_{ij} w_{ij} (x_i - x_j)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad ; \quad i \neq j$$

- III. I-Moran Conjunto: Sean e los residuos obtenidos de la regresión OLS y W una matriz estandarizada, define como:

$$I = \frac{e' W e}{e' e}$$

*Los estadísticos (I-III) se distribuyen asintóticamente normal con media cero y varianza unitaria.

- IV. LMR - Error: Sea Ω la matriz de varianzas y covarianzas estimada de la regresión OLS, e los residuos de MCO y $T = tr(WW + \Omega W' \Omega^{-1} W)$, se define como:

$$LMR - Error = \frac{[e' \Omega^{-1} W e]^2}{T} \sim \chi^2(1)$$

- v. LMR - Lag: Con las definiciones de (IV.), $T_1 = tr(W' W)$ y $T_2 = tr(WW' WW')$, siendo s^2 la estimación de la varianza residual de MCO, se define como:

$$LMR - Lag = \frac{\left[\frac{e' W' W e}{s^2} - T_1 \right]^2}{2 \left[T_2 - \frac{T_1^2}{n} \right]} \sim \chi^2(1)$$

- vi. Test de Wald: Sea θ_0 el valor hipotético del parámetro de interés, $\hat{\theta}$ su estimador(es) de ML y F la matriz de información de Fisher evaluada en el estimador ML, se define el estadístico de Wald como:

$$W_T = F(\hat{\theta}) \left[\hat{\theta} - \theta_0 \right]^2 \sim \chi^2(k)$$

donde k es el número de variables a testear conjuntamente.

VII. Likelihood Ratio: El estadístico para el contraste LR se construye definiendo L_0 como el valor de log-verosimilitud asociado al modelo no restringido y a L_1 como el valor de log-verosimilitud asociado al modelo restringido:

$$LR = -2(L_1 - L_0) \sim \chi^2(k)$$

donde k es la diferencia entre los grados de libertad del modelo no restringido y el restringido.

B. Anexo: Información Adicional

B.1. Estadística Descriptiva

Sea Pr el r -ésimo percentíl, se presenta información adicional que permite tener una idea más clara de los estimadores hallados en el Cuadro 7.

Cuadro 11: Estadística para Abortos 2000-2015

Año	Obs	P50	P75	P90	P99	Media	Desv. Est.
2010	95	2	6	12	58	5.50	9.12
2011	105	3	7	24	58	7.79	12.96
2012	117	3	10	40	217	19.33	103.23
2013	125	4	9	18	123	10.92	30.71
2014	132	5	10	34	185	15.78	35.09
2015	136	5.5	15.5	75	201	16.69	34.88