

Políticas y estrategias para la reactivación económica **gradual, segura y controlada** en tiempos de COVID-19

Alejandro Torres García
Coordinador Académico

3. Análisis de redes para la identificación de municipios insulares que puedan iniciar una **reactivación de sus economías** en medio de la crisis del COVID-19

.....

*Juan C. Duque*¹

*Daniel E. Restrepo*²

*Juan P. Ospina*³

1. Research in Spatial Economics (RiSE-group), Universidad EAFIT.

2. Departamento de Matemáticas, Universidad de Texas en Austin.

3. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín



Introducción

A escala macro, es bien sabido que una de las primeras medidas para contener la expansión de una pandemia consiste en el cierre de fronteras nacionales para aislarse. Esta estrategia permite que aquellos países que no han reportado casos positivos, minimicen la probabilidad de tener contagios en su interior (o, por lo menos, retardan la aparición de contagios). Lo mismo sucede a escala micro con medidas como las cuarentenas, por medio de las cuales se minimiza el flujo de personas al interior de la ciudad para minimizar la probabilidad de contagios.

Cuando se logra un aislamiento exitoso de un área geográfica (país, municipio, ciudad, etc.) los individuos en su interior pueden circular con menos restricciones y riesgo de contagio. Sin embargo, en un mundo cada vez más interconectado, lograr el aislamiento de un área geográfica no es una tarea fácil. Por ejemplo, considerando los viajes que se hacen en un día promedio al interior de Antioquia, cerca de 647.839 viajeros cruzan alguna frontera municipal por diferentes motivos (estudio, laboral, recreación, entre otros). Es por este motivo que la cuarentena resulta ser la medida más apropiada, pero, después de un tiempo, dicha medida comienza a afectar seriamente la estabilidad económica y mental de los habitantes.

Cuando exploramos más a fondo los datos de movilidad intermunicipal en Antioquia observamos que el dato promedio va acompañado de una variabilidad en el nivel de flujos intermunicipales. Según la encuesta Origen-Destino (O-D) proporcionada por la Gobernación de Antioquia a nuestro equipo de trabajo, un promedio diario de 241.650 viajes cruzan las fronteras del municipio de Medellín; mientras que en el municipio de Murindó este promedio baja a 1,3. Esta diferencia en los niveles de flujos intermunicipales nos hace pensar en la posibilidad de que existan municipios en Antioquia con un nivel tan elevado de aislamiento (o “insularidad”) que, con un apropiado control de fronteras, podrían levantar su cuarentena sin que esto represente un alto riesgo para sus habitantes y, de esta forma, no someterlos a una parálisis completa de sus economías.

En esta sección presentamos los resultados de un ejercicio exploratorio que tiene por objetivo la identificación de los municipios más insulares de Antioquia con el objetivo de evaluar la posibilidad de considerar su reactivación económica temprana y levantamiento de cuarentena en su interior, mientras se mantiene estricto control de sus fronteras para evitar la importación del COVID-19.



Datos

Encuesta Departamental Origen Destino de carga y pasajeros -EOD-, (2014): Encuesta realizada por la Gobernación de Antioquia en 2014. Los datos contenidos en dicho estudio corresponden a aquellos viajes encuestados en vía (terrestre, fluvial, aérea), es decir que no incluye los viajes intraurbanos para los municipios de Antioquia o para el Valle de Aburrá, ya que éstos generalmente se hacen por cuenta de cada municipio o área metropolitana. En consecuencia, la EOD departamental incluye los viajes que se originan y terminan en cabeceras municipales del departamento, los viajes que se originan en la cabecera de un municipio y terminen en su zona rural o en otras zonas rurales y finalmente, los viajes que se originan o terminan en zonas externas al departamento. De acuerdo a la información de la EOD departamental, cerca del 84,5% de los viajes son intradepartamentales, el 7,5% llegan desde otras zonas por fuera de Antioquia, el 7,3% se originan en Antioquia y van hacia otras zonas y el 0,7% restante corresponde a viajes de paso.

Para nuestro estudio, a partir de la información contenida en la EOD departamental se construyó la matriz de viajes totales para un día promedio en el departamento. Esta matriz de viajes corresponde al promedio de los tres días para los cuáles se realizó la encuesta EOD departamental. Posteriormente, la matriz fue filtrada en función de los motivos de viaje de tal forma que pudiéramos consolidar la información para los dos escenarios evaluados en el presente estudio, los cuáles se muestran en la Tabla 1. Ambos escenarios excluyen el motivo “Estudio”, ya que la directriz nacional indica que los establecimientos educativos deben permanecer cerrados y que sus actividades académicas se desarrollen de manera virtual. En el caso del escenario 1, se incluyen todos los motivos de viaje restantes. De acuerdo con este primer escenario en el departamento se realizan un total de 786.654 viajes cotidianos en promedio , de los cuales el 80% cruza alguna frontera municipal, mientras que el 20% restante corresponde a aquellos viajes que



permanecen al interior de la zona donde son generados. Por su parte, el escenario 2 se asume que algunas actividades cotidianas deben seguir funcionando tales como: ir al médico, hacer diligencias y trabajar. Bajo este escenario 2 se estima que cerca de 293.000 viajes cotidianos son realizados en el departamento, de los cuales aquellos viajes con motivo trabajo son los más importantes con cerca del 67%.

Tabla 1. Tipos de desplazamientos considerados en cada uno de los dos escenarios considerados.

Motivo	Todos	Trabajo
Cita médica	Si	Si
Compras	Si	No
Diligencias	Si	Si
Otros	Si	No
Recreación	Si	No
Trabajo	Si	Si
Visitar a alguien	Si	No
Estudio	No	No



Metodología

Para medir los niveles de insularidad, entendido como el grado de aislamiento de un municipio específico reflejado en la baja movilidad en su población entrante y saliente, procedimos a representar los flujos intermunicipales de Antioquia como una red o grafo no dirigido. Los nodos de la red representan los municipios y las líneas entre nodos representan flujos de personas entre pares de municipios medidos como número promedio de personas/día. Cada línea tiene un peso asignado que corresponde a la suma de los flujos en ambas direcciones. En ese punto, la red es un gran componente interconectado, es decir, todos los nodos municipios están conectados a la red.

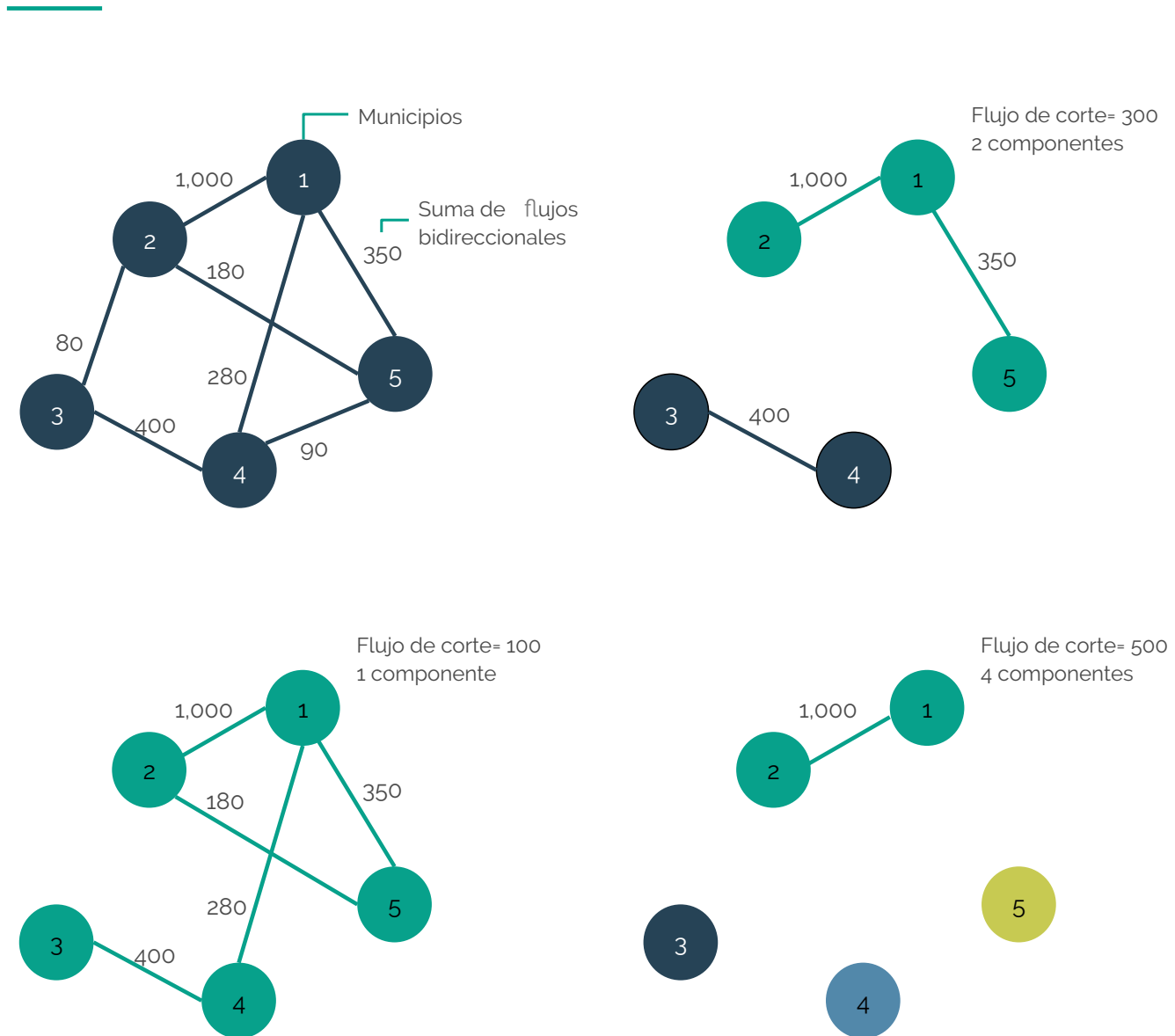
A continuación se fija un valor, o punto de corte, en términos de personas/día, de tal forma que los flujos menores al punto de corte son eliminados. A medida que se incrementa el punto de corte, la eliminación de líneas genera que algunos nodos, o grupos de nodos (conocidos como componentes) comiencen a desconectarse de la

red. Cuando un nodo se separa, implica que ninguno de los flujos de personas/día hacia y desde otros municipios es superior al punto de corte que provocó la separación del nodo de la red principal. Por otro lado, cuando el punto de corte genera la separación de un conjunto de nodos, indica que los flujos entre ese conjunto de municipios es superior al punto de corte, pero que los flujos desde ese grupo de municipios hacia otros municipios de Antioquia están por debajo del punto de corte. Dicho subconjunto de municipios se irá dividiendo a medida que el punto de corte aumenta. Al final del proceso todos los nodos quedan aislados. Cada nodo o grupo de nodos que se separa de la gran red se conoce con el nombre de componente. El resultado de este proceso es el punto de corte en el que cada municipio se separa de la gran red (o componente principal). Entre más bajo el punto de corte más aislado o insular es el municipio. La Figura 1 presenta un ejemplo ilustrativo de la forma como se definen los niveles de insularidad de cada nodo en una red.

Análisis de redes para la identificación de municipios insulares que puedan iniciar una reactivación de sus economías en medio de la crisis del COVID-19



Figura 1. Ejemplo ilustrativo para la identificación de niveles de insularidad: el ejemplo muestra cómo a medida que se incrementa el punto de corte se van desprendiendo nodos de la componente principal. Los nodos más insulares son el 3 y el 4 (flujo de corte=100); luego el nodo 5 (flujo de corte=500); y por último los nodos 1 y 2 (flujo de corte=1000).



En los resultados se guarda el peso del vínculo que genera la desconexión de la componente principal y se ordena de mayor a menor, de esta manera los municipios que encabezan la lista son los más insulares o aislados: nodo 3: 280; nodo 4: 280; nodo 5: 350; nodo 1: 1,000; nodo 2: 1,000



En los resultados se guarda el peso del vínculo que genera la desconexión de la componente principal y se ordena de mayor a menor, de esta manera los municipios que encabezan la lista son los más insulares o aislados:

nodo 3: 280; nodo 4: 280; nodo 5: 350; nodo 1: 1,000; nodo 2: 1,000

Figura 1. Ejemplo ilustrativo para la identificación de niveles de insularidad: el ejemplo muestra cómo a medida que se incrementa el punto de corte se van desprendiendo nodos de la componente principal. Los nodos más insulares son el 3 y el 4 (flujo de corte=100); luego el nodo 5 (flujo de corte=500); y por último los nodos 1 y 2 (flujo de corte=1000).





Resultados

Las Figuras 2 y 3 muestran la representación en red de la encuesta O-D de Antioquia para cada uno de los dos escenarios considerados. La representación en red permite generar una serie de descriptivos propios del área de topología de redes que caracterizan la red en términos de su conectividad. En la Tabla 2 se presentan algunos descriptivos que miden el grado de conectividad de la red. El grado promedio indica el promedio de conexiones de cada municipio en la red de flujos. La densidad de la red indica el porcentaje de conexiones que exhibe la red respecto al número posible de conexiones que puede soportar la red (es decir, en el escenario en que todos los municipios estu-

viesen conectados). Finalmente, el coeficiente de concentración ofrece una medida de cuán concentrados son los flujos en pequeños grupos de municipios. En términos generales, los valores obtenidos indican que ambas redes están muy conectadas (hay un alto grado de interconexión municipal). Obviamente resulta sustancialmente más conectada la red del escenario 1 en la que se consideran todos los motivos de viaje, pero el coeficiente de concentración no cambia significativamente entre escenarios, eso indica que los clusters que se puedan encontrar en cada escenario tenderán a ser los mismos.



Figura 2. Representación de los flujos intermunicipales de personas en Antioquia

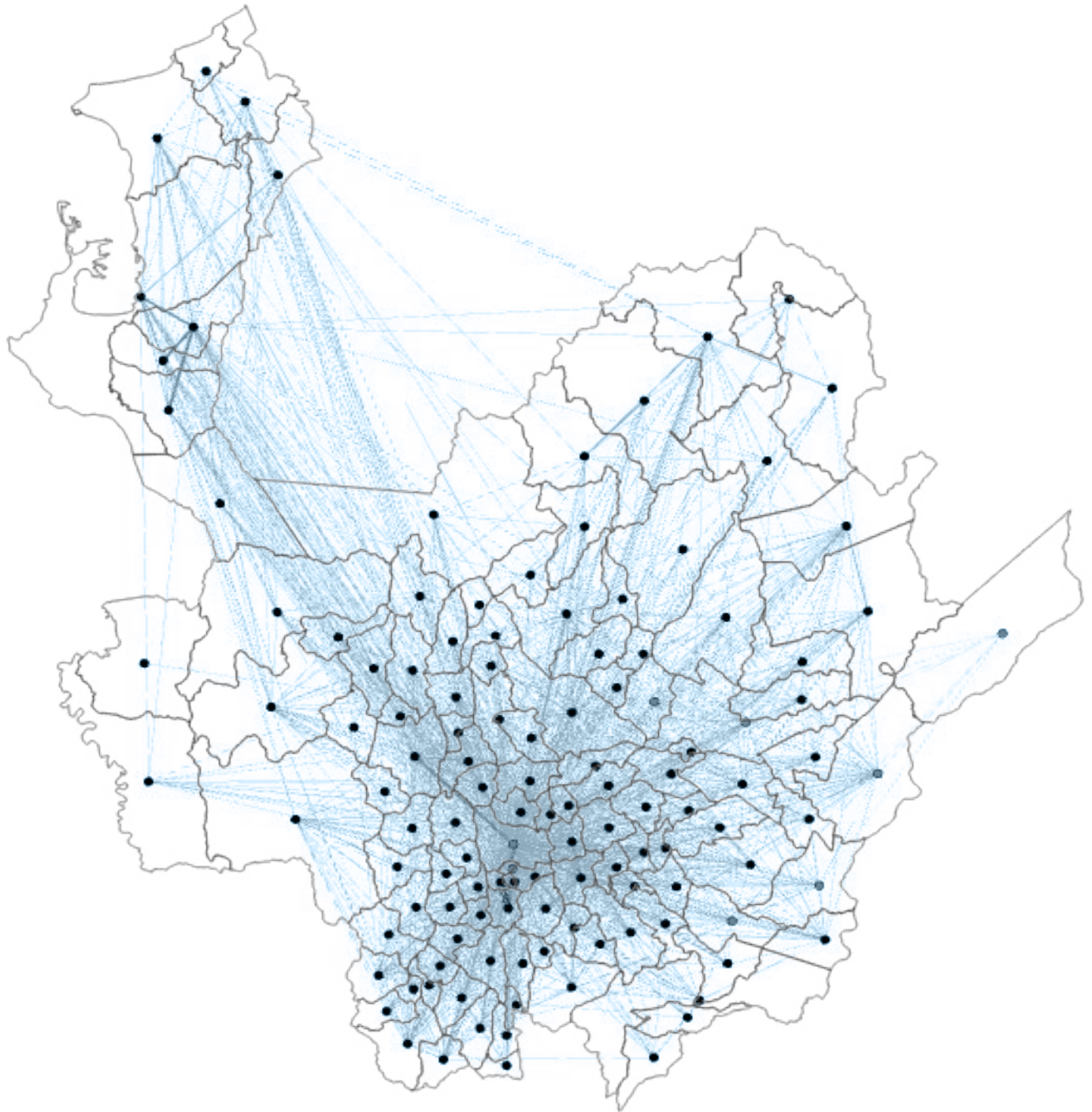




Figura 3. Representación de los flujos intermunicipales de personas en Antioquia

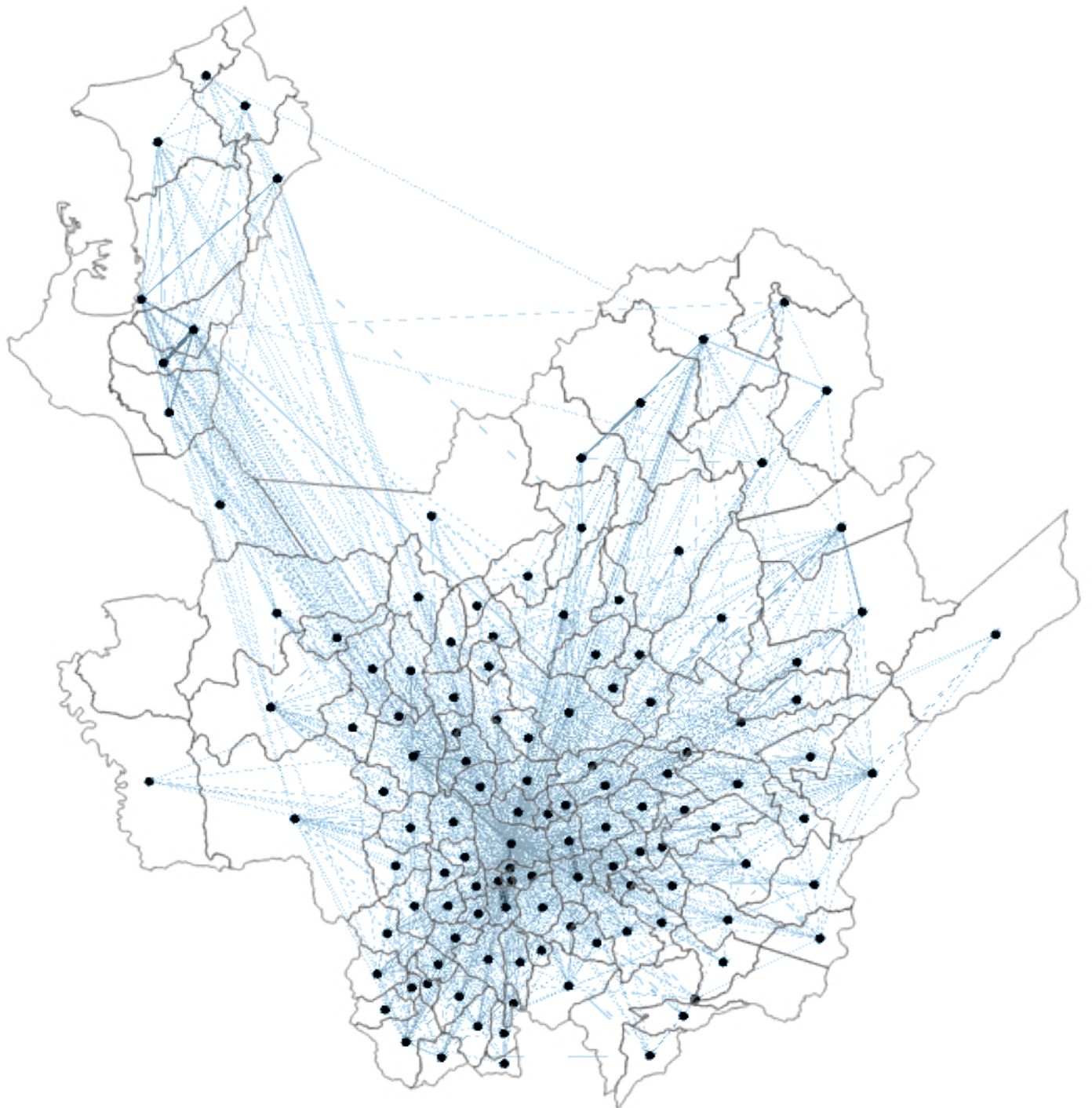




Tabla 2. Descriptivos básicos de la red de flujos intermunicipales en Antioquia.

Indicador	Todos	Trabajo
Grado promedio	30.64	22.94
Densidad de la red	24.70%	18.60%
Coefficiente de concentración	0.61	0.58

El siguiente paso será definir los puntos de corte en los que cada municipio se desconecta de la gran componente. Dicho valor será nuestro indicador de insularidad medido en número de personas/día. Los municipios con menor valor de corte son los más insulares o aislados; es decir, aquellos en los que un bajo número de personas cruzan sus fronteras a diario. Es de esperar que para el escenario 2 (TRABAJO) los puntos de corte sean menores a los obtenidos en el escenario 1 (TODOS), pues el escenario 2 es un subconjunto del escenario 1 y, por lo tanto, los flujos en general serán siempre menores.

Las Figuras 4 y 5 resumen los resultados obtenidos en cada escenario. El color de cada municipio indica su nivel de insularidad. Un tono verde oscuro indica un alto grado de insularidad o aislamiento. Un tono rojo indica un muy bajo grado de insularidad o aislamiento. Los bordes de color en el perímetro del Departamento de Antioquia indican el grado de porosidad de la frontera con el resto de Colombia. Los bordes verdes indican que hay un bajo cruce de personas a través de la frontera y los bordes rojos indican que dicha frontera tiene un elevado flujo de personas de y hacia otros municipios de Antioquia.



Figura 4. Resultados para el escenario 1.

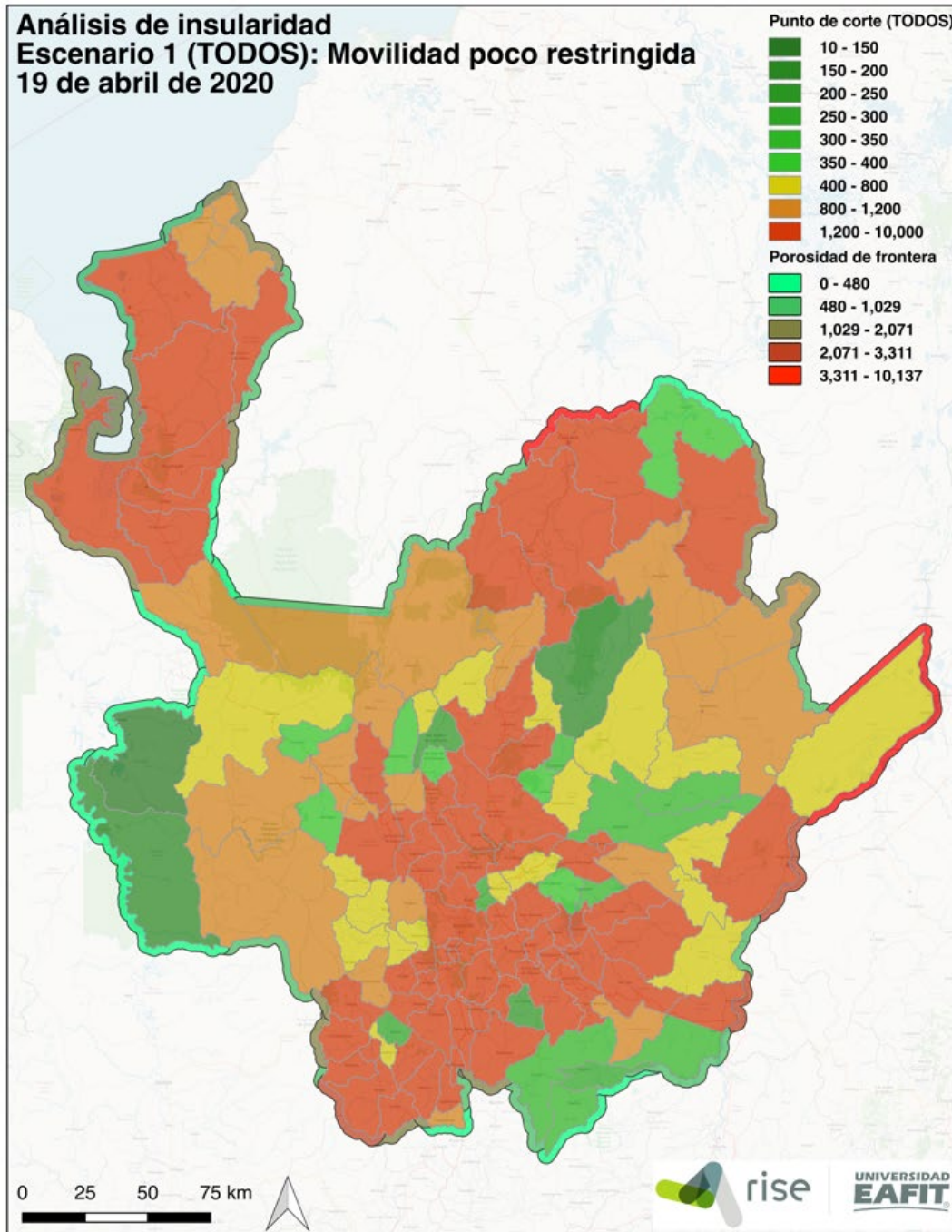
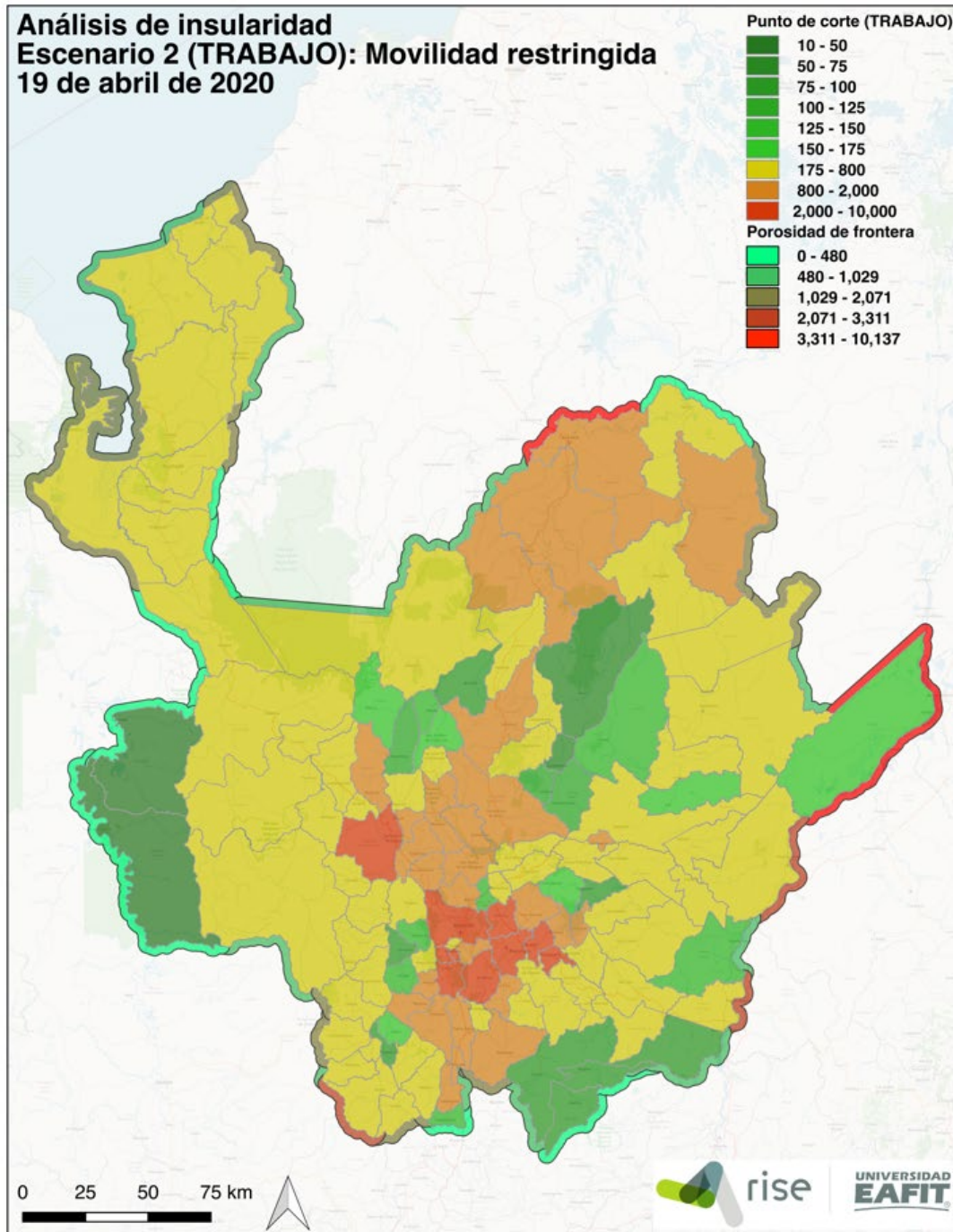




Figura 5. Resultados para el escenario 2.





Análisis de resultados

Frente a los resultados obtenidos, la pregunta a contestar es: ¿cuáles serían entonces los municipios a considerar como candidatos a reactivar en un entorno seguro? Para responder a esta pregunta implementamos dos pasos:

Paso 1: Identificar el punto de corte más seguro.

Sabemos al definir un punto de corte determinado un subconjunto de municipios se separará de la componente principal. Ese grupo de municipios serían los primeros candidatos a activar. Por otro lado, somos conscientes de que una vez se activa un municipio, sería muy complicado restringir la movilidad en función del motivo del desplazamiento (trabajo, diligencia, visita, etc.). Por esta razón, decidimos establecer el punto de corte utilizando el escenario 1 (TODOS) en el cual, una vez se activa un municipio, el flujo de personas circulando al interior del municipio o grupo de munic-

pios aislados es el mayor posible. Esta decisión equivale a tomar la decisión con mayor aversión al riesgo, pues si tomamos la decisión basados únicamente en los flujos de trabajo, es posible que los flujos reales terminen siendo muy superiores a los utilizados para la toma de decisión, incurriendo así en un riesgo mayor.

La Figura 6 y la Tabla 3 presentan la distribución y estadísticos descriptivos de los puntos de corte del escenario 1 (TODOS) dividiendo los municipios en función de su nivel de riesgo COVID-19, tomando como referencia la información disponible al 19 de abril de 2020. Como se puede observar, la hipótesis de partida de este estudio se confirma: hay una relación directa entre la probabilidad de contagio por COVID-19 y el volumen de flujos intermunicipales. Municipios con muchas personas cruzando sus fronteras tienen un mayor nivel de contagio, mientras que municipios con alto nivel de aislamiento o insularidad han estado

Análisis de redes para la identificación de municipios insulares que puedan iniciar una **reactivación de sus economías** en medio de la crisis del COVID-19



más protegidos contra el COVID-19. Los municipios que ya tiene casos de COVID-19 tienen flujos diarios de aproximadamente 4 mil personas atravesando sus fronteras. Los municipios que no han reportado casos de COVID-19 tienen flujos diarios de aproximadamente 1,200 personas atravesando sus fronteras.

El punto de corte se fijó como el mínimo entre el percentil 25 de grupo de alto riesgo, el percentil 50 del grupo de riesgo medio y el percentil 75 del grupo de riesgo bajo:

$$\text{corte} = \min(Q_{25}^{\text{Alto}}, Q_{50}^{\text{Medio}}, Q_{75}^{\text{Bajo}}) = \min(1,540; 1,435; 1,198) = 1,198$$

Figura 6. Relación entre el nivel de insularidad y el nivel de riesgo COVID-19.

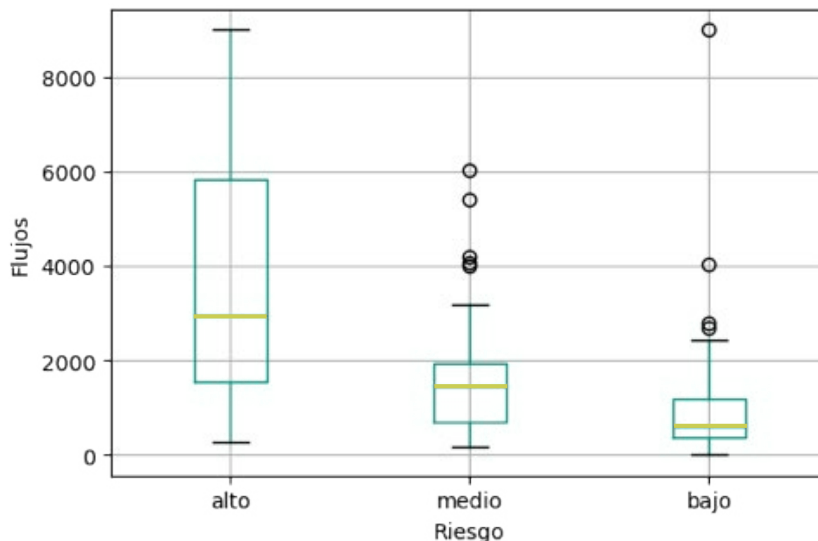


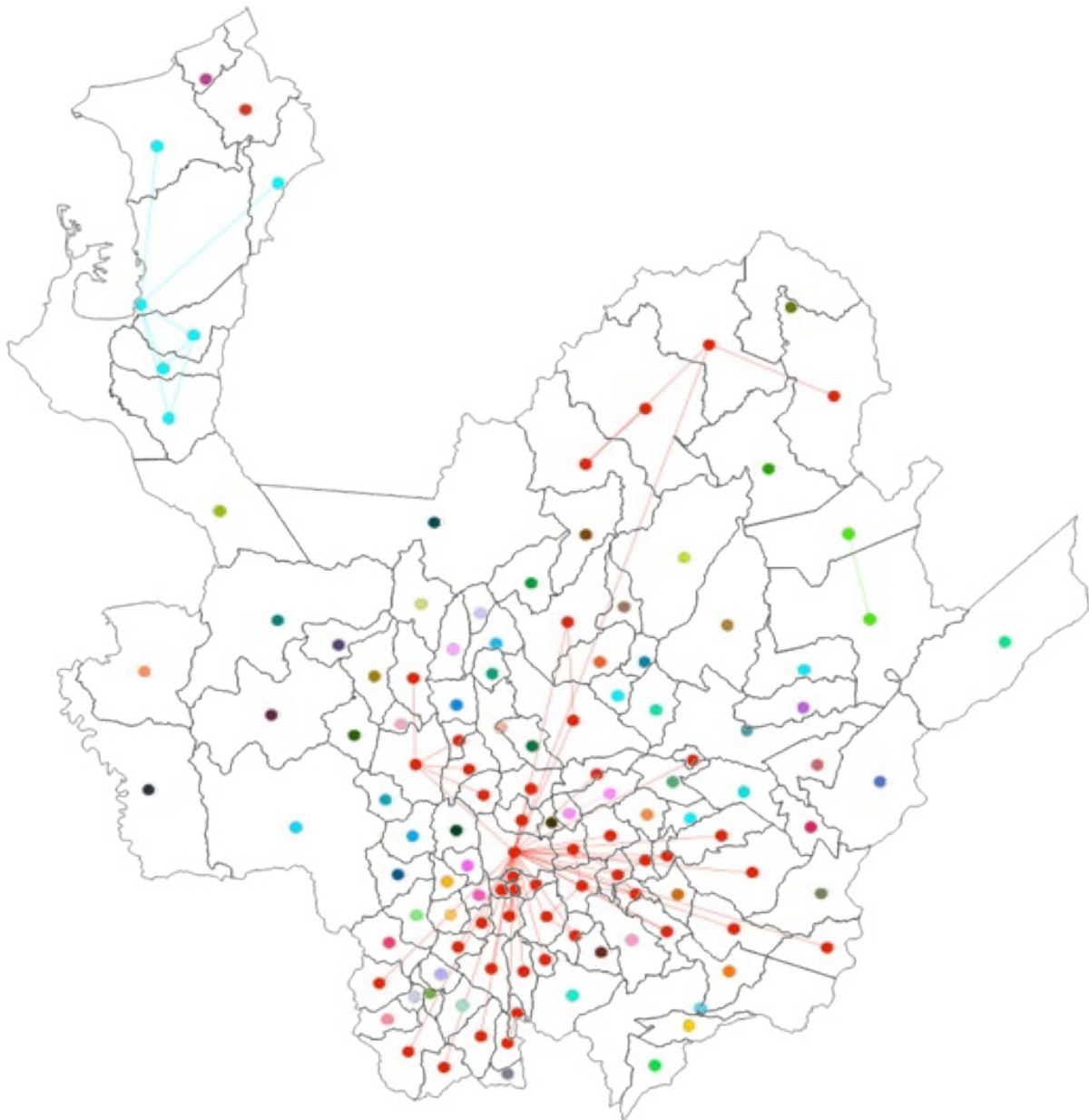
Tabla 3. Descriptivos de flujos por nivel de riesgo COVID-19.

Riesgo ->	Alto	Medio	Bajo
Número de municipios	25	64	36
Flujo de corte promedio	4,024	1,573	1,209
Desviación estándar	3,139	1,205	1,619
Flujo de corte mínimo	260	180	10
Primer cuartil (Q1)	1,540	683	365
Segundo cuartil (Q2)	2,950	1,435	595
Tercer cuartil (Q3)	5,840	1,930	1,198
Flujo de corte máximo	9,000	6,050	9,000



La Figura 7. Presenta la red de interconexiones municipales una vez se han eliminado los flujos menores a 1,198. El número de componentes (municipios o grupos de municipios que se separan de la red principal) es de 57, que contienen un total de 59 municipios.

Figura 7. Componentes generados con un punto de corte de 1,080 (Escenario TODOS).





La Tabla 4 presenta los 59 municipios que cumplen con el primer requisito de activación. Nótese que con el punto de corte en 1,198 aparecen cuatro municipios que tiene un elevado nivel de insularidad y ya reportaron casos de COVID-19: Copacabana, Girardota, San Francisco y Frontino. Con respecto a los dos primeros, Copacabana y Girardota, se puede argumentar que su cercanía al Área Metropolitana del Valle de Aburrá incrementa considerablemente el riesgo de contagio. San Francisco y Frontino, quedan entonces como dos municipios que a pesar de su algo grado de aislamiento terminaron siendo infectados por el COVID-19. Esta misma información queda

reportada en la Figura 8 en donde se puede apreciar la distribución espacial de los municipios más insulares de Antioquia. Sobre los polígonos se indica con líneas diagonales el nivel de riesgo por COVID-19 a 19 de abril de 2020. Los municipios con líneas negras son aquellos con alto riesgo: municipios con casos positivos de COVID-19; los municipios con líneas amarillas son aquellos con riesgo medio: sin casos confirmados de COVID-19 y casos notificados en alertas; y los municipios sin líneas son aquellos municipios sin riesgo: Sin casos confirmados de COVID-19 y sin notificación de alertas.



Análisis de redes para la identificación de municipios insulares que puedan iniciar una **reactivación de sus economías** en medio de la crisis del COVID-19



Tabla 4. Municipios más insulares de Antioquia y nivel de riesgo COVID-19

MURINDO	10	VEGACHI	540
ANORI	180	AMALFI	550
VIGIA DEL FUERTE	180	ANZA	580
LA UNION	230	BRICENO	590
SAN ANDRES DE CUERQUIA	240	PUERTO NARE	590
ARGELIA	260	ARMENIA	600
COPACABANA	260	CARACOLI	610
TARSO	290	CAICEDO	710
NARINO	320	CAMPAMENTO	710
SONSON	320	MACEO	730
YALI	320	SAN ROQUE	820
YOLOMBO	320	EBEJICO	910
GUADALUPE	340	MUTATA	910
ALEJANDRIA	350	PEQUE	920
CONCEPCION	370	VALDIVIA	920
SABANALARGA	370	ARBOLETES	930
SAN JOSE DE LA MONTANA	370	CANASGORDAS	930
NECHI	390	SAN JUAN DE URABA	930
URAMITA	390	ZARAGOZA	990
ABRIAQUI	400	LIBORINA	1020
CAROLINA	400	URRAO	1020
BARBOSA	410	CONCORDIA	1040
GIRARDOTA	410	ITUANGO	1060
GOMEZ PLATA	420	CARAMANTA	1070
TOLEDO	420	GIRALDO	1080
YONDO	430	SAN FRANCISCO	1160
PUEBLORRICO	450	FRONTINO	1170
DABEIBA	470	REMEDIOS	1180
BETULIA	530	SEGOVIA	1180
HELICONIA	530		

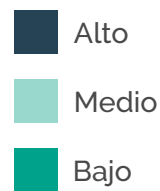
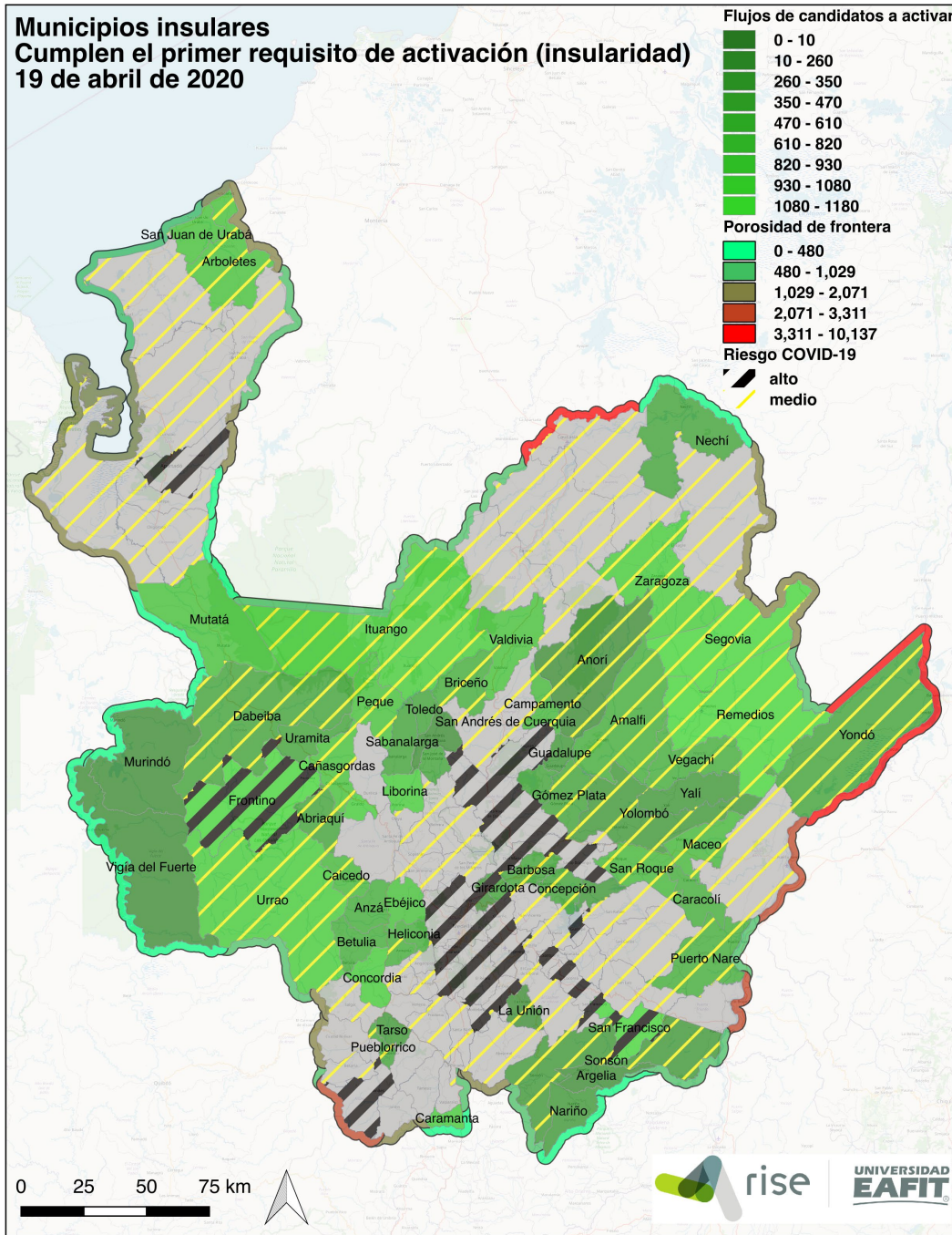


Figura 8. distribución espacial de los municipios más insulares de Antioquia junto con el riesgo COVID-19 asociado.





Paso 2: Otras consideraciones para asegurar una activación segura.

Dado el alto nivel de contagio del COVID-19, nuestro equipo propone las siguientes consideraciones adicionales para la activación económica de un municipio:

Condición 1: Ningún municipio candidato debe estar localizado en una frontera departamental con alto grado de porosidad: Dado que Antioquia no es una isla, es necesario considerar los flujos de entrada y salida del departamento. Un municipio con alto grado de porosidad (indicado en los mapas con un segmento de frontera departamental en tonos rojos) significa que por dicha frontera entra y sale un alto volumen de personas desde otros municipios por fuera de Antioquia. Un municipio con bajo grado de porosidad (indicado en los mapas con un segmento de frontera departamental en tonos verdes) significa que por dicha frontera entra y sale un bajo volumen de personas desde otros municipios por fuera de Antioquia y por lo tanto tiene una probabilidad de infección por COVID-19 menor que una frontera porosa.

Condición 2: Ningún municipio candidato debe estar localizado al lado de un municipio de alto riesgo, es decir, al lado de municipios que ya tienen casos confirmados de COVID-19: La cercanía espacial a municipios que ya tienen casos confirmados de COVID-19 podría poner en serio riesgo la salud de los habitantes de un municipio que se decida activar en este piloto.

Condición 3: Ningún municipio candidato debe estar localizado en una zona de riesgo medio de COVID-19: Observaciones realizadas por nuestro equipo, indican que la transición de riesgo medio a riesgo elevado altamente probable en un contexto en el que no hay buenas herramientas de trazabilidad de los casos sospechosos y escasas de pruebas para laboratorio para COVID-19.

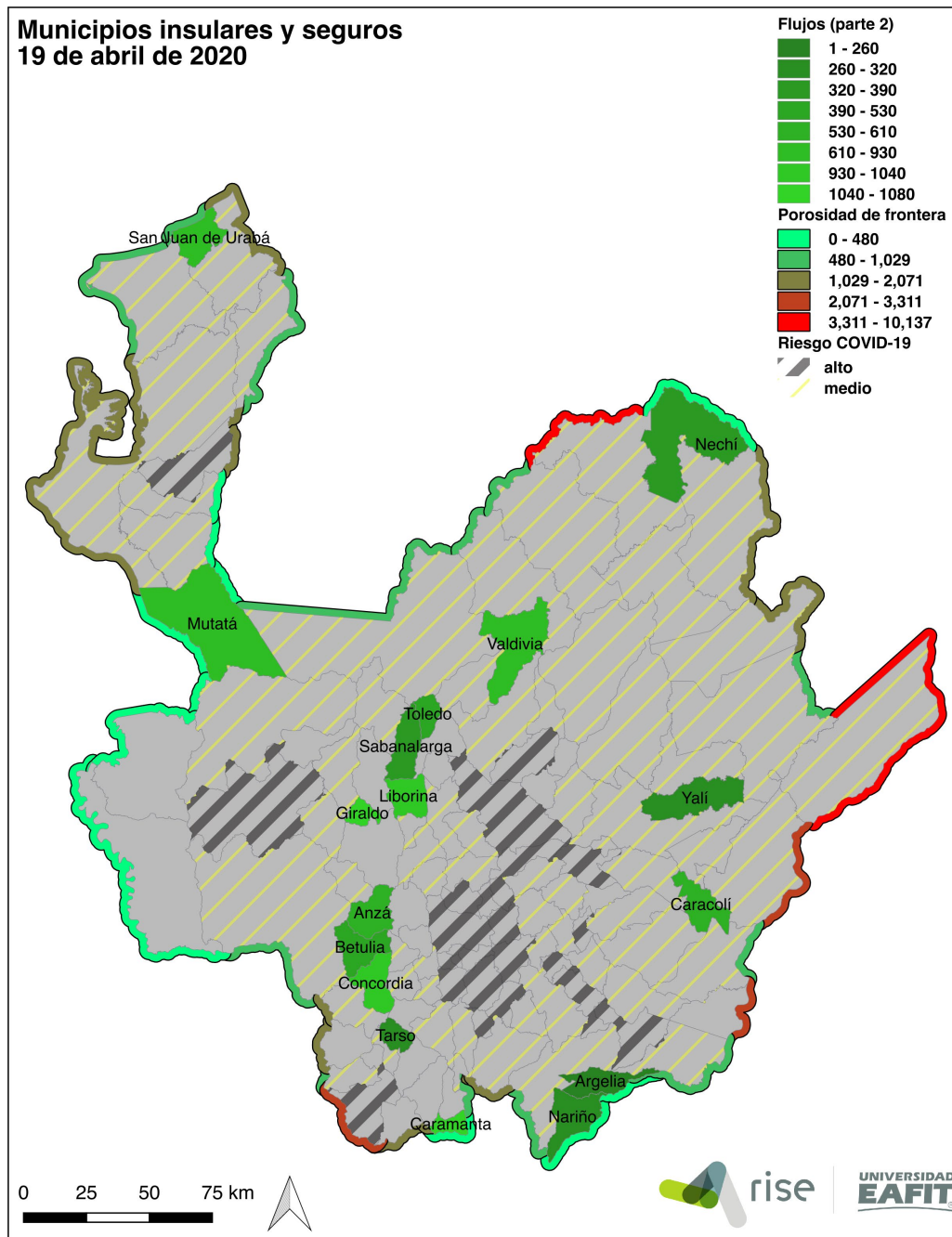


Recomendación de política pública

Una vez aplicadas las otras consideraciones para asegurar una activación segura llegamos a la lista final de 17 municipios candidatos para la implementación de un programa de activación económica segura. Los municipios son presentados en la Figura 9. En caso de contar con un apropiado control de fronteras, se podría considerar la eliminación de las condiciones 1 y 2 lo cual posibilitaría la activación económica de 10 municipios adicionales (27 en total), los cuales se presentan en la Figura 10. Estos 27 municipios corresponden a aquellos marcados en verde en la Tabla 4.



Figura 9. Recomendación de 17 municipios a activar en un entorno de bajo riesgo



Análisis de redes para la identificación de municipios insulares que puedan iniciar una reactivación de sus economías en medio de la crisis del COVID-19

Figura 10. Recomendación de 27 municipios a activar en un entorno de bajo riesgo sujeto a control de fronteras.

