



*Análisis espacial de incendios forestales en la provincia del Azuay*

*Spatial analysis of forest fires in the province of Azuay*

*Análise espacial de incêndios florestais na província de Azuay*

Edwin Estalin Garzón-Vergara<sup>I</sup>

[estalin74@hotmail.es](mailto:estalin74@hotmail.es)

<https://orcid.org/0000-0001-9051-4416>

Milton Alfredo Campoverde-Molina<sup>II</sup>

[mcampoverde@ucacue.edu.ec](mailto:mcampoverde@ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5647-5150>

**Correspondencia:** [estalin74@hotmail.es](mailto:estalin74@hotmail.es)

Ciencias de las ingenierías

Artículo de investigación

\***Recibido:** 26 de noviembre de 2019 \***Aceptado:** 30 diciembre de 2019 \* **Publicado:** 17 de enero 2020

<sup>I</sup> Ingeniera en Sistema, Jefatura de Posgrados. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

<sup>II</sup> Ingeniera de Sistemas, Docente de la Unidad Académica de Tecnologías de la Información y Comunicación de la Universidad Católica de Cuenca, Jefatura de Posgrados, Cuenca, Ecuador

## Resumen

Los incendios forestales en la actualidad constituyen un grave problema ambiental, por la pérdida de fauna y flora. Además de producir altos niveles de dióxido de carbono, los que contribuyen a los gases de efecto invernadero y al cambio climático. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis espacial de incendios forestales, ocurridos en la provincia del Azuay en el Periodo 2014-2018. En la provincia del Azuay la mayoría de incendios son causados por la intervención humana, por su uso en la agricultura o muchas veces por acciones mal intencionadas. Para este trabajo se utilizaron datos de incendios forestales proporcionados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, de los años 2014 al 2018. Para ello, se realiza un análisis de patrones de distribución espacial, partiendo de una hipótesis nula, que establece que los puntos de los incendios forestales se presentan de forma aleatoria, índice de Moran, puntos calientes. Los resultados muestran que los incendios forestales en la provincia del Azuay se presentan de forma agrupada, con tendencia en dirección noreste. La parroquia Molleturo es una de las más afectas con 23% del área total quemada. Se concluye que este análisis puede ser utilizado para iniciar campañas de educación ambiental en zonas de mayor incidencia, área de gran afectación y áreas sensibles, como paramo y bosques nativos.

**Palabras clave:** Incendios forestales; sistemas de información geográfico; autocorrelación; índice de moran; puntos calientes.

## Abstract

Today, forest fires are a serious environmental problem due to the loss of fauna and flora. In addition to producing high levels of carbon dioxide those contributing to greenhouse gases and climate change. The objective of this work is to carry out a spatial analysis of forest fires that occurred in the province of Azuay in the period 2014-2018. In the province of Azuay, most of the fires are caused by human intervention due to their use in agriculture or many times by malicious actions. For this work, we used forest fire data provided by the National Service for Risk and Emergency Management from 2014 to 2018. For this purpose, an analysis of spatial distribution patterns is carried out starting from a null hypothesis that establishes that the points of forest fires are presented randomly, Moran index, hot spots. The results show that forest fires in the province of Azuay are presented in a grouped manner, with a tendency in a northeastern direction. Molleturo

parish is one of the most affected with 23 % of the total burned area. It is concluded that this analysis contributes to initiate environmental education campaigns in areas of greater incidence, areas of great affectation and sensitive areas such as moorland and native forests.

**Keywords:** Forest fires; geographic information systems; autocorrelation; Moran index; hot spots.

## Resumo

Atualmente, os incêndios florestais constituem um grave problema ambiental, devido à perda de fauna e flora. Além de produzir altos níveis de dióxido de carbono, aqueles que contribuem para os gases de efeito estufa e as mudanças climáticas. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise espacial dos incêndios florestais ocorridos na província de Azuay no período 2014-2018. Na província de Azuay, a maioria dos incêndios é causada por intervenção humana, por seu uso na agricultura ou frequentemente por ações mal intencionadas. Para este trabalho, utilizamos dados de incêndios florestais fornecidos pelo Serviço Nacional de Gerenciamento de Riscos e Emergências, de 2014 a 2018. Para isso, é realizada uma análise dos padrões de distribuição espacial, com base em uma hipótese nula, que afirma que Os pontos de incêndio florestal são apresentados aleatoriamente, índice de Moran, pontos quentes. Os resultados mostram que os incêndios florestais na província de Azuay são apresentados de forma agrupada, com tendência na direção nordeste. A Paróquia de Molleturo é uma das mais afetadas, com 23% da área total queimada. Conclui-se que esta análise pode ser utilizada para iniciar campanhas de educação ambiental em áreas de maior incidência, áreas de grande impacto e áreas sensíveis, como florestas paramo e nativas.

**Palavras-chave:** Incêndios florestais; sistemas de informação geográfica; autocorrelação; índice padrão; pontos críticos.

## Introducción

El fuego, al igual que otros fenómenos, se presentan de forma natural en diferentes ecosistemas y paisajes, llegando a ser vitales para varios de ellos (Whelan, 1995). A pesar de ello el mal manejo del fuego suele ser el causante de diferentes tipos de incendios, entre ellos los incendios forestales. El cambio climático es el principal causante de alteraciones en diferentes regiones del planeta, afectando especialmente a los incendios forestales que cada vez son más grandes, de mayor intensidad, duración y causan más daño al planeta tanto en flora y fauna (Rodríguez-Trejo, 2012).

En el Ecuador la principal causa de incendios forestales es ocasionada por acción del hombre; debido a que el fuego se considera como una herramienta de trabajo para la preparación de terrenos de cultivos. Así como por actos mal intencionados o mal manejo del fuego y en menor medida por fenómenos naturales como caída de rayos (Ministerio del Ambiente, 2015). En la provincia del Azuay en el año 2018 se ha producido el incremento de incendios forestales en 2.960 hectáreas aproximadamente, de las cuales el 95% son provocados por el hombre; causando daños económicos, ambientales y sociales. Los bosques son fuente de vida, albergan la mayor fuente de biodiversidad, nos brindan oxígeno, purifican el agua, enriquecen el suelo y regulan el clima.

Por otro lado, la Constitución de la República del Ecuador en su art. 71 establece que, “la naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos” (Constitución del Ecuador, 2008). El Código Orgánico Integral Penal en su art. 246 establece sanciones concernientes a incendios forestales y de vegetación “la persona que provoque directa o indirectamente incendios o instigue la comisión de tales actos, en bosques nativos o plantados o páramos, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años” (Código Integral Penal, 2014).

La información de los incendios forestales no se encuentra en un sistema de información geográfico para ser analizadas y determinar zonas de mayor ocurrencia, tipo de afección a la cobertura vegetal e identificar futuras zonas de riesgo. La importancia de este trabajo es contribuir al análisis de ocurrencia de incendios forestales en la provincia del Azuay; para la elaboración de planes de contingencia y educación ambiental en los sitios de mayor afectación.

Esta investigación tiene como objetivo realizar un análisis espacial de incendios forestales ocurridos en la provincia del Azuay en el periodo 2014-2018. Con este fin, buscamos respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las parroquias de la provincia del Azuay con mayor área de afectación?
- ¿Qué tipos de cobertura vegetal es afectada por los incendios forestales en la provincia del Azuay?
- ¿Cuáles son los cantones de la provincia del Azuay con mayor frecuencia de incendios forestales?

En cuanto a la estructura del artículo, en la sección 2 se muestra los conceptos relacionados de la investigación. En la sección 3 se presenta los trabajos relacionados con la investigación. En la sección 4 se detalla la metodología que se utilizó para el desarrollo de la investigación. En la sección 5 se exponen los resultados de la investigación. En la sección 6 se exponen las conclusiones en base a los resultados obtenidos.

## **Desarrollo**

### **Conceptos Relacionados**

#### **Sistemas de información geográfica**

Según Bosque Sendra (1988), manifiesta que el desarrollo de la tecnología ha contribuido a la creación de computadoras más complejas que permiten un correcto funcionamiento de los sistemas de información geográfica tanto en hardware, software y procesamiento de gran cantidad de información. Los sistemas de información geográfica permiten realizar varias operaciones como: creación de bases de datos, análisis y plasmarlos en forma cartográfica. Por otro lado, Tulla (1993), expresa que los SIG surgen como una revolución en el almacenamiento, desarrollo y análisis de bancos de datos georreferenciados y permite su uso en la gestión y el análisis territorial. Ahora bien., el principal objetivo de los SIG es la recolección, almacenamiento, análisis, manipulación y la presentación de los datos que son de interés para la sociedad (Lleopart, 1990).

#### **Autocorrelación**

La necesidad de atender ante un control de variables que participen dentro de los sistemas de información geográfica, tal es el caso de la autocorrelación espacial; la cual se puede definir como la agrupación o separación de valores de una variable en un plano geográfico. Para así poder establecer la categoría en que los datos se pueden representar gráficamente son similares a otros datos geográficamente próximos (Goodchild, 1987). Este concepto que se ha explicado en esta parte, tiene sus principios en la primera ley geográfica que afirma "todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes" (Tobler, 1970).

#### **Índice de Moran**

El Índice de Moran es uno de los cálculos más antiguos y utilizado para medir y comprobar la autocorrelación espacial desde su creación en el año 1950. Este calcula la autocorrelación

espacial para un grupo de datos conectados geográficamente, la aplicación de esta técnica permite afirmar o negar la primera ley geográfica de Tobler (Ramírez & Falcon, 2015). Este análisis se encuentra incorporado en la mayoría de los sistemas de información geográfica como ArcGIS, en esta herramienta devuelve cinco valores, el índice I de Moran, el índice esperado, la varianza, la puntuación z y el valor P (Esri, 2018a).

Los cálculos de los valores oscilan entre -1 y +1, donde el número positivo muestra una correlación positiva o agrupación. En cambio, el número negativo muestra una correlación negativa o dispersión. El número cero muestra un modelo completamente aleatorio, para este cálculo partimos de una hipótesis nula que establece que los valores de una variable se distribuyen de forma aleatoria y así poder precisar una significativa autocorrelación espacial (Esri, 2018).

En ese sentido, si el valor de p es estadísticamente significativo se puede rechazar la hipótesis nula, caso contrario se comprueba la hipótesis nula (Esri, 2018). Para realizar un análisis detallado se utiliza el Índice Local de Asociación Espacial (LISA) que se descompone a partir del índice de Moran y tiene por objetivo que el estadístico obtenido para cada sector entregue información de la importancia de valores similares alrededor de la misma (Anselin, 1995).

## **Puntos Calientes**

La estadística local  $G_i^*$  de Getis-Ord es llamada también análisis de puntos calientes, se utilizan para identificar la concentración de clústeres espaciales relevantes y el cálculo de probabilidad estadística de valores altos o puntos calientes y valores bajos o puntos fríos (Ord, 1992). Esta herramienta calcula la estadística  $G_i^*$  de Getis-Ord (que se pronuncia G-i-estrella) para cada entidad en un dataset. Las puntuaciones z y los valores P resultantes indican dónde se agrupan espacialmente las entidades con valores altos o bajos. Esta funciona mediante la búsqueda de cada entidad dentro del contexto de entidades vecinas. Una entidad con un valor alto es interesante, pero es posible que no sea un punto caliente estadísticamente significativo. Para ser un punto caliente estadísticamente significativo, una entidad debe tener un valor alto y también estar rodeada por otras entidades con valores altos. La suma local para una entidad y sus vecinos se compara proporcionalmente con la suma de todas las entidades; cuando la suma local es muy diferente de la esperada, y esa diferencia es demasiado grande como para ser el resultado de una opción

aleatoria, se obtiene como consecuencia una puntuación  $z$  estadísticamente significativa (Esri, 2019).

Cuando se aplica la corrección FDR (Índice de descubrimientos falsos), la importancia estadística se ajusta para dar cuenta de la dependencia espacial y la realización de varias pruebas (Esri, 2019). La estadística  $G_i^*$  devuelve un valor en cada entidad del dataset con una puntuación  $z$ . Para las puntuaciones  $z$  positivas que son estadísticamente significativas, mientras más grande es la puntuación  $z$ , más intenso es el clustering de valores altos (punto caliente). Para las puntuaciones  $z$  negativas que son estadísticamente significativas, mientras más pequeña es la puntuación  $z$ , más intenso es el clustering de valores bajos (punto frío) (Esri, 2019).

### **Análisis de Densidad de Kernel**

El análisis de Densidad de Kernel calcula la densidad de las entidades de punto de alrededor de cada celda ráster de salida. (Esri, 2016). Conceptualmente, se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada punto. El valor de superficie es más alto en la ubicación del punto y disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto y se aproxima a cero en la distancia radio de búsqueda desde el punto. Sólo es posible un vecindario circular. El volumen bajo la superficie es igual al valor de la población para el punto, o 1 si se especifica NONE. Para calcular la densidad de cada celda ráster de salida, se agregan los valores de todas las superficies de kernel en donde se superponen con el centro de la celda ráster. La función kernel se basa en la función kernel cuadrática que se describió en Silverman en 1986 (Esri, 2016).

### **Trabajos relacionados**

En el año 2010, se realizó un análisis exploratorio sobre la distribución de incendios forestales en Durango México con datos de la Comisión Nacional Forestal para un periodo de 5 años los mismos que fueron analizados mediante el coeficiente de Moran y el indicador de asociación espacial. Los resultados indicaron una alta correlación espacial entre las áreas donde ocurrieron los incendios. Por otra parte, el análisis de Moran indica 98.3% de asociación de longitud y altitud. Los autores concluyeron que esta técnica es una herramienta útil para investigar este tipo de fenómenos (Ávila-Flores, Pompa-García, & Vargas-Pérez, 2010).

Así mismo, en el año 2011 se realizó un trabajo en la ciudad de Vigo España, se desarrolló una herramienta informática utilizando software libre gvSIG y R, utilizando la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica para su representación gráfica y combinarlo con análisis estadístico. Esta herramienta fue creada con el fin que pueda ser utilizado por servicios de emergencia para combatir los incendios, así como para emplearlos en la prevención de los mismos, se estudió la autocorrelación espacial y se determinaron puntos calientes en zonas de potencial peligro (Ordóñez, Varela, & Reyes, 2011).

Del mismo modo, en el año 2013 se realizó un análisis espacio temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, utilizando el índice de Moran para el análisis de distribución espacial y análisis de estacionalidad. Estos análisis se efectuaron tomando datos del periodo del 2000 al 2011. Aplicando regresiones geográficamente ponderadas la misma que aplica pesos geográficos en función de la distancia. Los resultados determinaron que los incendios se distribuyen de forma agregada y no están correlacionados temporalmente. El tamaño de los incendios es proporcional a la densidad poblacional confirmando el factor antropogénico (Pérez-Verdín, Márquez-Linares, Cortés-Ortiz, & Salmerón-Macías, 2013).

Por otro lado, en el año 2015 se efectuó un trabajo sobre la creación de un modelo de regresión logística para la predicción de incendios en el Rio Balsas en México de forma diaria con datos para el periodo 2006 a 2009. Los resultados muestran una efectividad espacial y temporal superior al 86%. La probabilidad de ocurrencia de incendios es del 85% clasificándose en una escala alta. Los autores concluyeron que esta metodología puede usarse para mejorar los servicios de emergencia, así como su ubicación en sitios estratégicos (Vilchis-Francés, Díaz-Delgado, Magaña-Lona, Bâ, & Gómez-Albores, 2015).

En el año 2016, se publicó un trabajo que consiste en un análisis espacio-temporales de afectación por incendios forestales en la región Maule Chile en el periodo 1986 al 2012. Manteniendo estabilidad de incidentes por año en el periodo de análisis, sin embargo, mostro un aumento de incendios menores a 5 hectáreas en áreas colindantes a la red vial y las ciudades con mayor población esto se debe a la actividad humana, es trabajo aporta información para elaborar estrategias de mitigación, control, políticas de ordenamiento territorial y el uso de tierra (Díaz-Hormazábal & González, 2016).

## Metodología

A continuación, se describen los pasos utilizados en esta investigación.

1. **Recolección de la información:** Esta investigación se realiza con los datos de incendios forestales de la provincia del Azuay. Los datos fueron suministrados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del periodo 2014 – 2018 en una hoja de cálculo.
2. **Depuración de la información:** Se elimina las coordenadas erróneas, se hace la rectificación de ubicaciones geográficas utilizando la operación Spatial Join (une los atributos de una entidad con otra), se consolidan los datos en un archivo shapefile (formato de datos vectorial), para su representación gráfica y los incendios se presentan como puntos para su análisis.
3. **Cálculo de la distribución direccional o elipse de desviación estándar:** Realizando el cálculo de desviación de las coordenadas (X, Y), desde el centro para definir los ejes de la elipse; permite observar si tiene orientación particular. Para ello se utiliza el archivo shapefile de la provincia del Azuay delimitado por parroquias y el archivo shapefile de incendios previamente depurado.
4. **Análisis de autocorrelación utilizando el índice de Moran:** Aquí se realiza el análisis de índice local de asociación espacial (LISA). Este análisis permite conocer el tipo de distribución espacial de los datos que puede ser agrupada o dispersa.
5. **Análisis de puntos calientes:** Este análisis permite identificar los puntos calientes y fríos en un nuevo shape resultante, en este caso se determinan en base al área afectada por incendios y la cobertura vegetal. Así mismo se realiza el análisis de Kernel que permite ubicar zonas de mayor frecuencia de incendios forestales en la provincia del Azuay.

## Resultado

### Recolección de la información

Para el desarrollo de esta investigación se solicitaron los datos de los incendios forestales al Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del periodo 2014 – 2018 de la provincia del Azuay, institución que se encarga de coordinar acciones frente a desastres naturales con los diferentes servicios de emergencia. Esta mantiene un registro de los incendios forestales como

fecha, ubicación, coordenadas, área de vegetación afectada, días que fueron necesarios para sofocar los incendios entre otros. En la Tabla 1, se muestra el número de incendios forestales por año y su porcentaje en los últimos cinco años.

Tabla 1. Incendios forestales en la provincia del Azuay.

AÑO	NÚMERO	PORCENTAJE
2014	78	7%
2015	63	6%
2016	399	35%
2017	241	21%
2018	348	31%
<b>TOTAL</b>	<b>1.129</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se muestra el mapa de la provincia del Azuay por parroquias, sobre el cual se realiza el análisis de los incendios forestales.

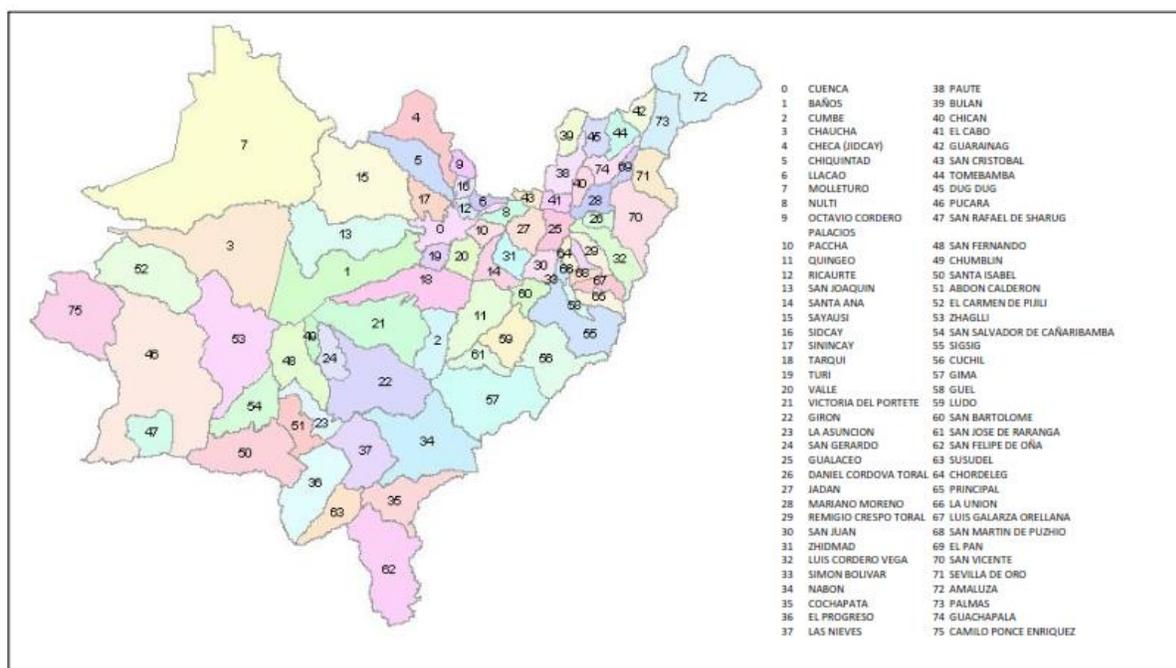


Figura 1. Mapa de la provincia de Azuay.

Fuente: Elaboración propia.

## Depuración de la información

En la fase de depuración de la información iniciamos eliminando 20 registros erróneos, esto debido a que existía inconsistencias en las coordenadas X longitud y en las coordenadas Y latitud,

estos registros equivalen al 1.77% del total de incendios forestales en la provincia del Azuay en el periodo 2014 – 2018. Luego, hicimos la rectificación de ubicaciones de incendios, utilizando la operación Spatial Join, para ello tomamos los atributos del shape de la provincia del Azuay, que se encuentra delimitado por parroquias, rectificando 695 equivalente al 61,56% del total de registros de incendios forestales en la provincia del Azuay. Las coordenadas y la información de los incendios forestales ocurridos en la provincia del Azuay se representaron geográficamente en un archivo shapefile, un formato utilizado para guardar ubicaciones y propiedades geográficas (Esri, 2016), el mismo que se puede ver en la Figura 2.

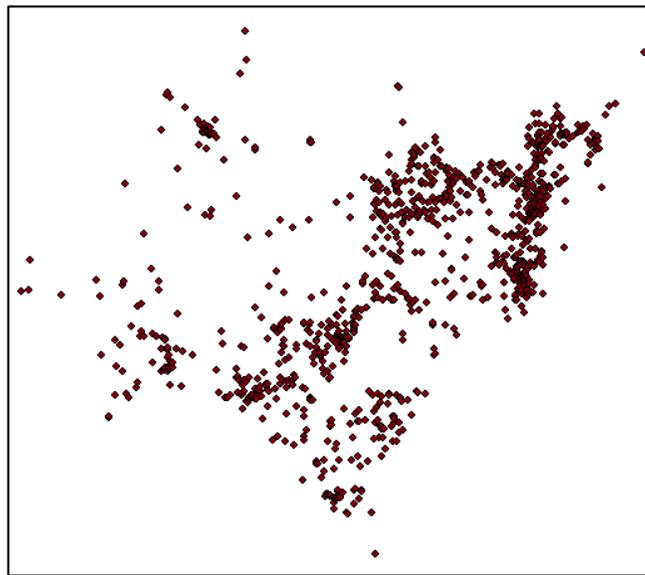


Figura 2. Incendios forestales en la provincia del Azuay

Fuente: Elaboración propia.

### Cálculo de la Distribución Direccional

Otro de los factores importantes durante la ejecución del presente estudio es el cálculo del coeficiente direccional; en la Figura 3, se muestra la elipse de desviación estándar de las coordenadas longitud y latitud, mostrando la tendencia en dirección noreste.

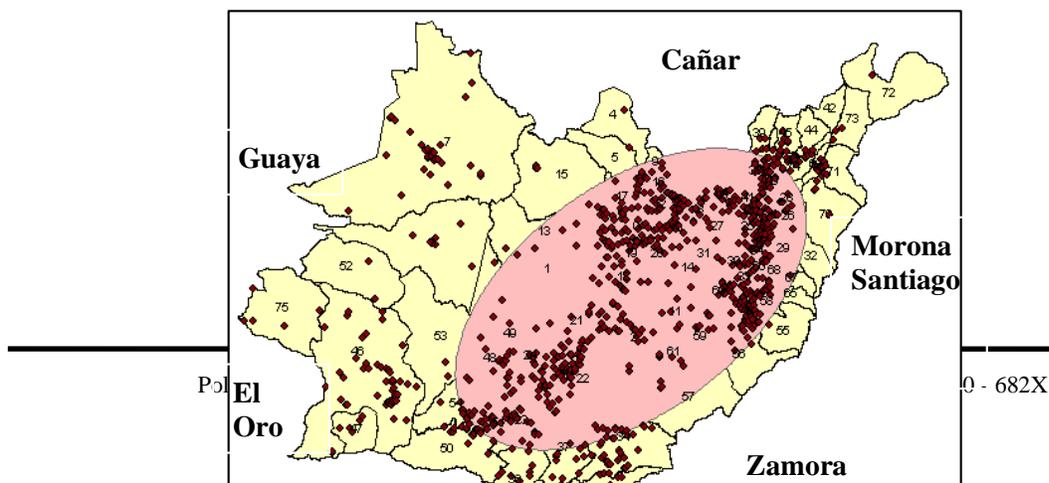


Figura3. Elipse de tendencia de concentración de incendios en la provincia del Azuay.

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis de autocorrelación índice de Moran

Empleando el índice de Moran se evalúa la autocorrelación espacial de las variables longitud y latitud. Los resultados muestran que existe una correlación positiva con valores de 0,9267 y 1,3218 respectivamente, estos resultados indican que se rechaza la hipótesis nula debido a que los valores de Z-score fueron 11,080 en X y 15,796 en Y.

Es decir, los incendios se distribuyen de forma agrupada manteniendo alta concentración en determinados sectores, como se muestra en la Figura 4.

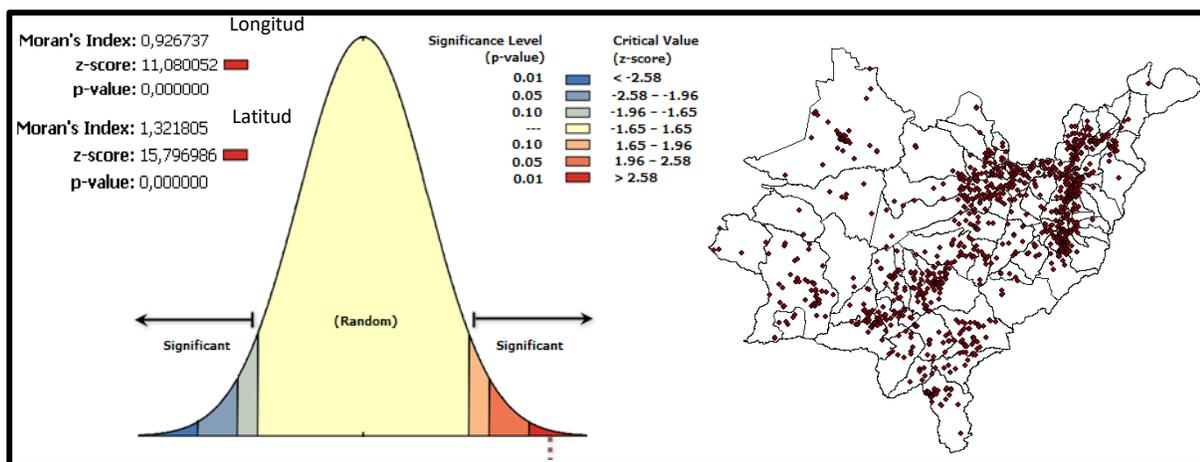


Figura 4. Índice de Moran de las variables longitud y latitud.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, en la Figura 5, se observa el mapa de significancia de indicadores locales de las zonas de alta concentración de incendios Alto-Alto representadas de color rojo, del mismo modo,

se identificaron zonas de incendios con presencia Bajo-Bajo representadas de color azul y zonas no significativas o sin asociación espacial representas de color blanco.

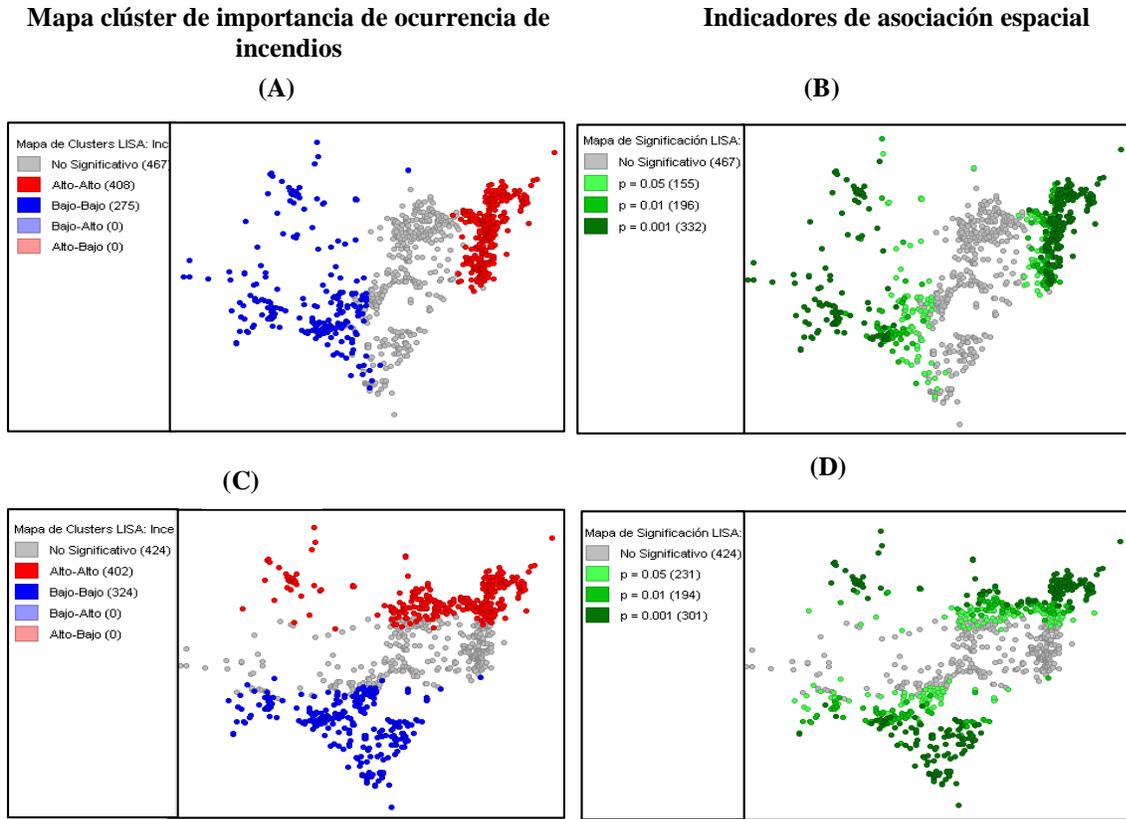


Figura 5. Mapa de significancia de los indicadores locales de asociación espacial.

Fuente: Elaboración propia.

## Análisis de puntos calientes

Por otro lado, se han desarrollado los análisis de puntos calientes (hotspots) los cuales se aprecian en la Figura 6, se aprecian los focos rojos o puntos calientes (hot spots) de acuerdo al área afectada por los incendios, siendo estos de 360 hasta 656 hectáreas, los puntos naranjas muestran una afectación desde las 60 hasta 360 hectáreas, así como los puntos fríos (cold spots), donde la afectación varía desde 0 hasta 3,5 hectáreas, representados de color azul y los puntos verdes desde 3.5 hasta 60 hectáreas.

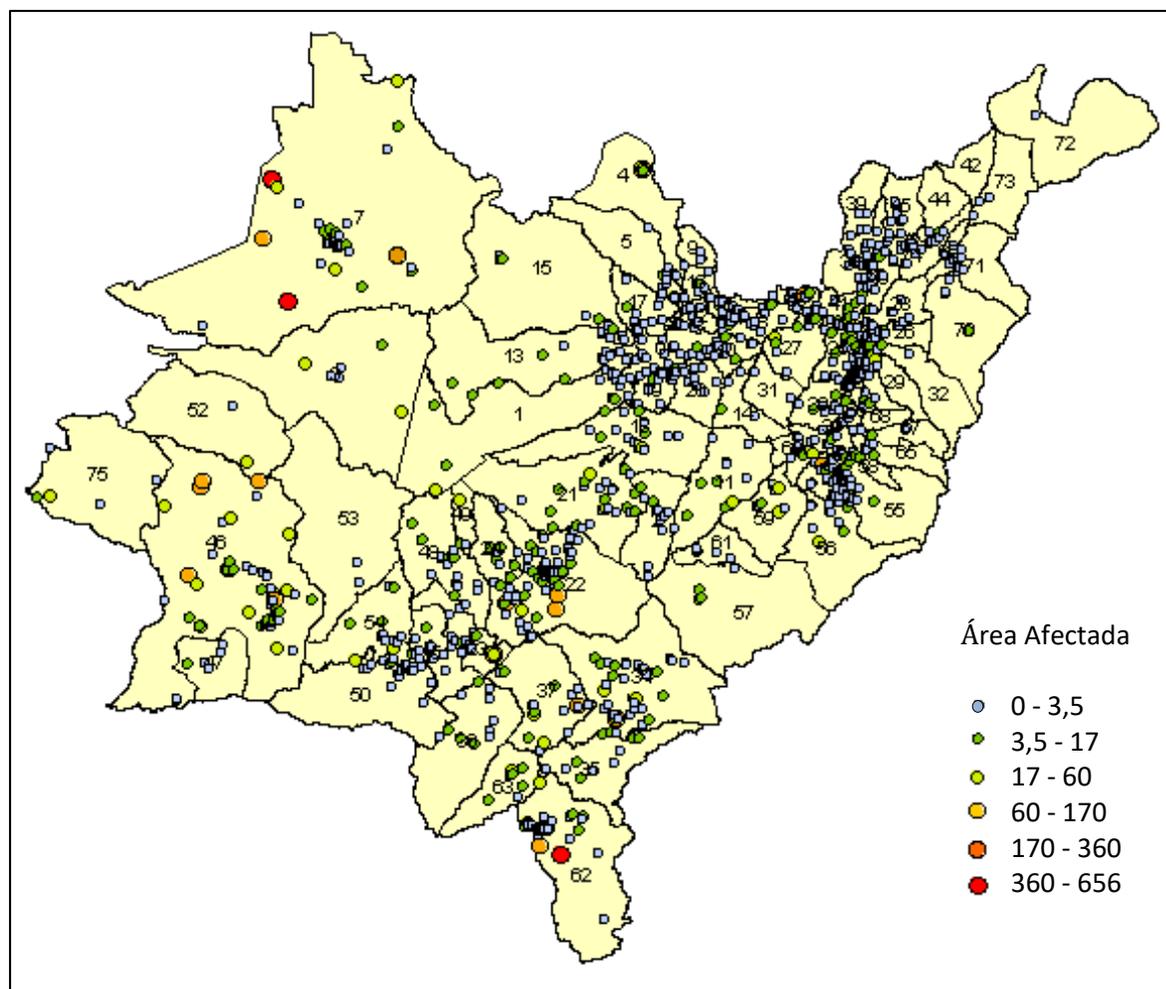


Figura 6. Mapa de los puntos calientes por área afectada debido a los incendios.

Fuente: Elaboración propia.

En base a este análisis se puede determinar las parroquias que tiene mayor área de afectación en la provincia del Azuay; teniendo una afectación de 8.639 hectáreas entre los años 2014 al 2018.

Tabla 2. Porcentajes y proporciones de áreas afectadas por parroquia.

Parroquia	Área afectada	Porcentaje
Molleturo	1.996,68	23,11%
Pucara	930,42	10,37%
Oña	896,09	10,77%
Girón	509,38	5,90%
Nabón	388,69	4,50%
Sigsig	260,47	3,02%
<b>Total</b>		<b>57,67%</b>

Fuente: Elaboración propia.

El páramo es uno de los ecosistemas más importantes del planeta debido a su gran biodiversidad. Es fuente de agua, almacena y ayuda a su conservación mediante el agua que recibe de la niebla y la lluvia. Así como guarda gran cantidad de carbono que en caso de destrucción se libera, siendo este causante de los gases de efecto invernadero y cambio climático. A pesar de su importancia y de todos los beneficios que engloba es uno de los ecosistemas menos conocidos (Llambí, 2012).

Por lo tanto, esta investigación analiza al páramo como el tipo de cobertura vegetal más sensible, seguido de bosque nativo ya que suelen limitar ambos tipos de cobertura vegetal. En la Figura 7, se muestran los focos rojos puntos calientes (hotspots) de acuerdo a la Cobertura y Uso de la Tierra, tomando al páramo, bosque nativo y vegetación arbustiva como zonas de mayor sensibilidad, así como los puntos fríos (coldspots) representados de color verde.

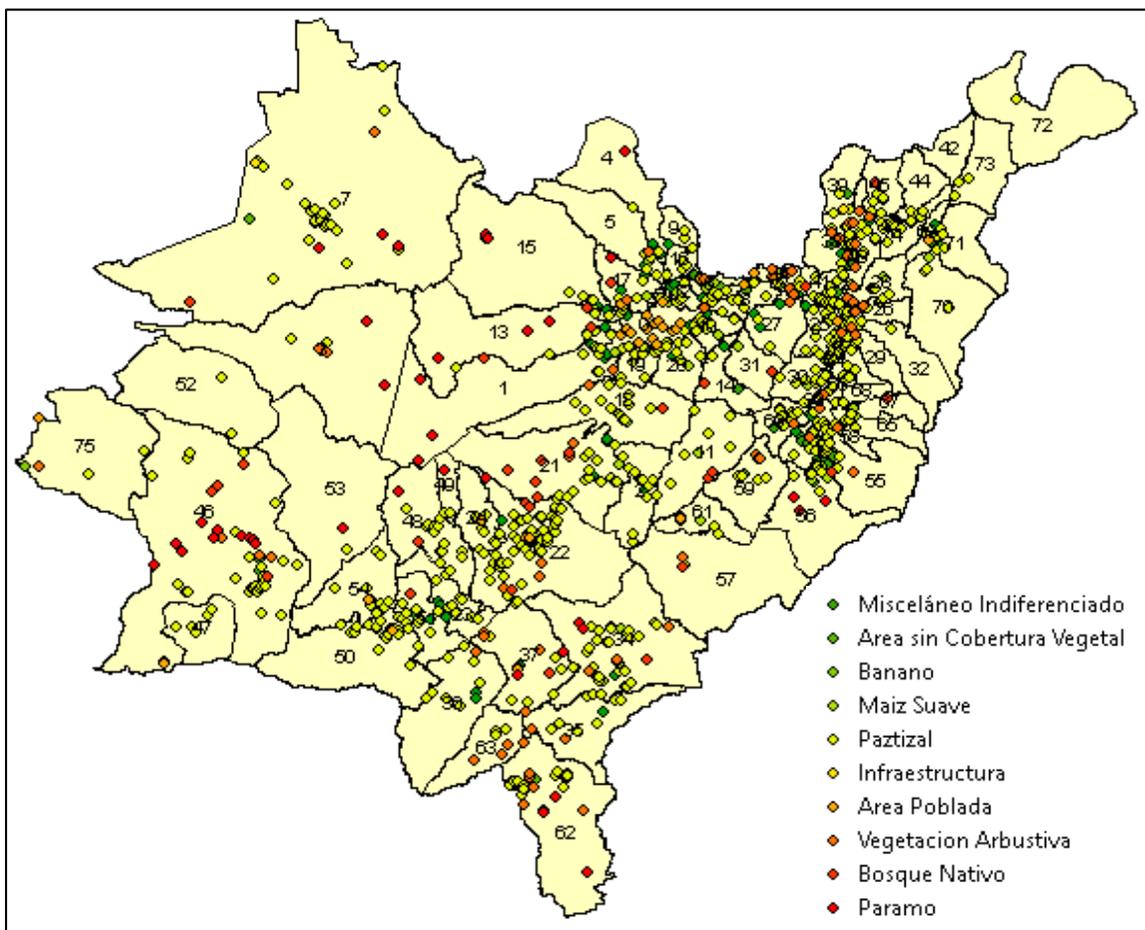


Figura 7. Mapas de puntos calientes en base a cobertura y uso de la tierra.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestran los datos proporcionales y métricos de las áreas afectadas en base a la cobertura vegetal.

Tabla 3. Cobertura vegetal vs área afectada (porcentaje).

<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Área afectada</b>	<b>Porcentaje</b>
Paramo	1.743,3	20,18%
Vegetación Arbustiva	643,46	7,45%
Bosque Nativo	195,22	2,26%
Pastizal	4.856,47	56,22%
<b>Total</b>		<b>86,10%</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se puede observar un mapa de calor el cual indica la mayor concentración de puntos (incendios forestales). Las zonas con mayor cantidad de puntos indican la mayor concentración de incendios en la provincia del Azuay, se encuentran representados de color rojo y representan las zonas calientes, donde se producen con mayor frecuencia incendios forestales.

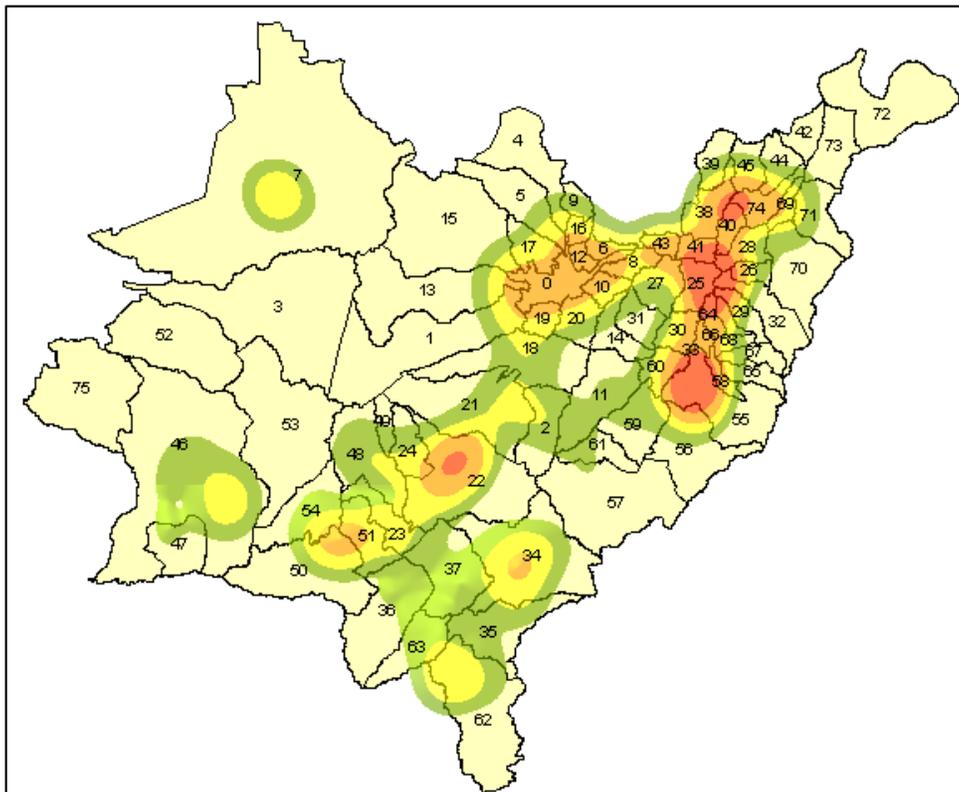


Figura 8. Mapa de densidad por concentración de incendios.

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

- Se realizó el análisis espacial de incendios forestales del periodo 2014-2018 en la provincia del Azuay siendo esta una técnica útil para el estudio de este fenómeno. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten centrarse en la presencia de estos incendios forestales, dando un punto de partida para posteriores análisis y trabajos de investigación.
- El cálculo de la elipse de desviación estándar para las coordenadas longitud y latitud indica la tendencia y agrupación de los incendios en la provincia del Azuay, tendiendo hacia el noreste de la provincia, donde existe zonas de bosque nativo y pastizal.
- El cálculo del Índice de Moran y el análisis de asociación espacial LISA, muestran la presencia de asociación espacial, la cual niega nuestra hipótesis nula y afirma que los incendios forestales se producen de forma agregada mostrando que los incendios se encuentran relacionados.
- El cálculo de los puntos calientes permitió determinar las parroquias que tienen mayor área de afectación, siendo estas Molleturo con 23.11%, Oña con el 10.77% y Pucara con el 10.37% del total de área afectada, así como la cobertura más sensible con 20.18% de Paramo que fue afectado por los incendios forestales entre los años 2014 y 2018.
- Los resultados del cálculo de densidad muestran las zonas con mayores frecuencias de incidencia de incendios forestales, ubicándose estas en los cantones de Gualaceo, Sigsig, Paute, Chordeleg, Guachapala y Girón.
- Esta investigación puede ser usada como punto de partida para trabajos futuros de análisis, centrados en predicciones de incendios forestales, tomando en cuenta variables como clima, altitud, nivel de precipitaciones, distancia de centros poblados, cercanía a vías.

## Referencias

1. Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis* 27(2), 93-115. Recuperado de <https://cutt.ly/freBYoX>
2. Archivos de Información Geográfica - Sistema Nacional de Información. Recuperado de <https://sni.gob.ec/coberturas>

3. Ávila-Flores, D. Y., Pompa-García, M., & Vargas-Pérez, E. (2010). Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2), 253-260. Recuperado de <https://cutt.ly/4reBPtJ>
4. Bosque Sendra, J. (1988). Aplicaciones de la informática a la geografía y ciencias sociales (No. 528.8 APL). Recuperado de <https://cutt.ly/XreBDkf>
5. Código Orgánico Integral Penal (2014). Recuperado de [www.registroficial.gob.ec](http://www.registroficial.gob.ec)
6. Constitución Del Ecuador (2008). Recuperado de [https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp\\_ecu-int-text-const.pdf](https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf)
7. Díaz-Hormazábal, I., & González, M. E. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 147-158. Recuperado de <https://cutt.ly/creBJaX>
8. Esri. (2016). Qué es un shapefile—Ayuda | ArcGIS for Desktop. Recuperado de <https://cutt.ly/BreBKAO>
9. Esri. (2018a). Autocorrelación espacial (I de Moran). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <http://cort.as/-SuE6>
10. Esri. (2018). Cómo funciona Autocorrelación espacial (I de Moran global). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <http://cort.as/-SsQd>
11. Esri. (2018b). Distribución direccional (Elipse de desviación estándar). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <https://cutt.ly/KreBL6G>
12. Lleopart, A. (1990). Sistemes d'informació geogràfica. *Revista Catalana de Geografia*, 4(11). Recuperado de <https://cutt.ly/KreBB8m>
13. Ministerio del Ambiente. (2015). Prevención y control de incendios una prioridad nacional. Recuperado de <https://cutt.ly/xreNEOL>
14. Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics, *Geographical Analysis*, 24.

15. Esri. (2016). Qué es un shapefile—Ayuda | ArcGIS for Desktop. Recuperado de <https://cutt.ly/sreNYAE>
16. Esri. (2018). Cómo funciona Autocorrelación espacial (I de Moran global). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <http://cort.as/-SsQd>
17. Esri. (2019). Cómo funciona Análisis de puntos calientes (Gi\* de Getis-Ord). (A. Pro, Ed.). Recuperado de <https://cutt.ly/6reNK0K>
18. Llambí, L. D. (2012). Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino. Proyecto Páramo Andino. Recuperado de <https://cutt.ly/9reNMqk>
19. Ramírez, L., & Falcon, V. (2015). Autocorrelación espacial: Analogías y diferencias entre el índice de Moran y el índice de Getis y Ord. Aplicaciones con indicadores de acceso al agua en el norte argentino. Ponencia presentada en las Jornadas Argentinas de Geotecnologías, Universidad Nacional de San Luis, 2. Recuperado de <http://cort.as/-SsOB>
20. Rodríguez-Trejo, D. A. (2012). Génesis de los incendios forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 357-373. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62926234008>
21. Ordóñez, C., Varela, M. R., & Reyes, A. (2011). Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (11), 1-18. Recuperado de <https://cutt.ly/nreN4dd>
22. Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A., & Salmerón-Macías, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y bosques*, 19(2), 37-58. Recuperado de <https://cutt.ly/mreN7Hb>
23. Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/143141>
24. Tulla, A. F. (1993). Los sistemas de información geográfica de ámbito local en las áreas rurales. *Documents d'anàlisi geogràfica*, (23), 111-127. Recuperado de <https://cutt.ly/sreN6w8>

25. Vilchis-Francés, A. Y., Díaz-Delgado, C., Magaña-Lona, D., Bâ, K. M., & Gómez-Albores, M. Á. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del río Balsas. *Agrociencia*, 49(7), 803-820. Recuperado de <https://cutt.ly/LreN65v>
26. Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge university press. Recuperado de <https://n9.cl/3ezb>

## References

1. Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association — LISA. *Geographical analysis* 27 (2), 93-115. Recovered from <https://cutt.ly/freBYoX>
2. Geographic Information Archives - National Information System. Recovered from <https://sni.gob.ec/coberturas>
3. Ávila-Flores, D. Y., Pompa-García, M., & Vargas-Pérez, E. (2010). Spatial analysis of the occurrence of forest fires in the state of Durango. *Chapingo Magazine. Forest and environmental sciences series*, 16 (2), 253-260. Recovered from <https://cutt.ly/4reBPtJ>
4. Bosque Sendra, J. (1988). Applications of computer science to geography and social sciences (No. 528.8 APL). Recovered from <https://cutt.ly/XreBDkf>
5. Organic Integral Criminal Code (2014). Recovered from [www.registroficial.gob.ec](http://www.registroficial.gob.ec)
6. Constitution of Ecuador (2008). Recovered from [https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp\\_ecu-int-text-const.pdf](https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf)
7. Díaz-Hormazábal, I., & González, M. E. (2016). Spatio-temporal analysis of forest fires in the Maule region, Chile. *Forest (Valdivia)*, 37 (1), 147-158. Recovered from <https://cutt.ly/creBJaX>
8. Esri. (2016). What is a shapefile — Help | ArcGIS for Desktop. Recovered from <https://cutt.ly/BreBKAO>
9. Esri. (2018a). Spatial autocorrelation (Moran's I). (A. Desktop, Ed.). Recovered from <http://cort.as/-SuE6>
10. Esri. (2018). How spatial autocorrelation works (Moran global I). (A. Desktop, Ed.). Recovered from <http://cort.as/-SsQd>

- Esri. (2018b). Directional distribution (Ellipse standard deviation). (A. Desktop, Ed.).  
Recovered from <https://cutt.ly/KreBL6G>
12. Lleopart, A. (1990). Sistemes d'informació geogràfica. *Catalan Magazine of Geography*, 4 (11). Recovered from <https://cutt.ly/KreBB8m>
13. Ministry of Environment. (2015). Fire prevention and control a national priority.  
Recovered from <https://cutt.ly/xreNEOL>
14. Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics, *Geographical Analysis*, 24.
15. Esri. (2016). What is a shapefile — Help | ArcGIS for Desktop. Recovered from <https://cutt.ly/sreNYAE>
16. Esri. (2018). How spatial autocorrelation works (Moran global I). (A. Desktop, Ed.).  
Recovered from <http://cort.as/-SsQd>
17. Esri. (2019). How Hot Spot Analysis works (Getis-Ord Gi \*). (A. Pro, Ed.). Recovered from <https://cutt.ly/6reNK0K>
18. Llambí, L. D. (2012). Ecology, hydrology and moorland: Andean Paramo Project. *Andean Paramo Project*. Recovered from <https://cutt.ly/9reNMqk>
19. Ramírez, L., & Falcon, V. (2015). Spatial autocorrelation: Analogies and differences between the Moran index and the Getis and Ord index. Applications with indicators of access to water in northern Argentina. Paper presented at the Argentine Geotechnology Conference, National University of San Luis, 2. Recovered from <http://cort.as/-SsOB>
20. Rodríguez-Trejo, D. A. (2012). Genesis of forest fires. *Chapingo Magazine. Forest and Environmental Sciences Series*, 18 (3), 357-373. Recovered from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62926234008>
21. Ordóñez, C., Varela, M. R., & Reyes, A. (2011). Development of a GIS for the analysis of spatial fire patterns in homes. *GeoFocus International Journal of Geographical Information Science and Technology*, (11), 1-18. Recovered from <https://cutt.ly/nreN4dd>
22. Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A., & Salmerón-Macías, M. (2013). Spatio-temporal analysis of the occurrence of forest fires in Durango, Mexico. *Wood and forests*, 19 (2), 37-58. Recovered from <https://cutt.ly/mreN7Hb>
23. Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234. Retrieved from <https://doi.org/10.2307/143141>

24. Tulla, A. F. (1993). Geographic information systems at the local level in rural areas. Documents d'anàlisi geogràfic, (23), 111-127. Recovered from <https://cutt.ly/sreN6w8>
25. Vilchis-Francés, A. Y., Díaz-Delgado, C., Magaña-Lona, D., Bâ, K. M., & Gómez-Albores, M. Á. (2015). Spatial modeling for forest fire hazard with daily prediction in the Balsas river basin. *Agrociencia*, 49 (7), 803-820. Recovered from <https://cutt.ly/LreN65v>
26. Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge University Press Recovered from <https://n9.cl/3ezb>

## Referências

1. Anselin, L. (1995). Indicadores locais de associação espacial - LISA. *Análise geográfica* 27 (2), 93-115. Recuperado de <https://cutt.ly/freBYoX>
2. Arquivos de Informação Geográfica - Sistema Nacional de Informação. Recuperado de <https://sni.gob.ec/coberturas>
3. Ávila-Flores, D.Y., Pompa-García, M., & Vargas-Pérez, E. (2010). Análise espacial da ocorrência de incêndios florestais no estado de Durango. *Revista Chapingo. Série de ciências florestais e ambientais*, 16 (2), 253-260. Recuperado de <https://cutt.ly/4reBPtJ>
4. Bosque Sendra, J. (1988). Aplicações da ciência da computação à geografia e ciências sociais (nº 528.8 APL). Recuperado de <https://cutt.ly/XreBDkf>
5. Código Penal Integral Orgânico (2014). Recuperado em [www.registroficial.gob.ec](http://www.registroficial.gob.ec)
6. Constituição do Equador (2008). Recuperado de [https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp\\_ecu-int-text-const.pdf](https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf)
7. Díaz-Hormazábal, I. & González, M. E. (2016). Análise espaço-temporal de incêndios florestais na região de Maule, Chile. *Floresta (Valdivia)*, 37 (1), 147-158. Recuperado de <https://cutt.ly/creBJaX>
8. Esri. (2016). O que é um shapefile - Ajuda | ArcGIS para Desktop. Recuperado de <https://cutt.ly/BreBKAO>
9. Esri. (2018a). Autocorrelação espacial (I de Moran). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <http://cort.as/-SuE6>
10. Esri. (2018). Como funciona a autocorrelação espacial (Moran global I). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <http://cort.as/-SsQd>
11. Esri. (2018b). Distribuição direcional (desvio padrão da elipse). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <https://cutt.ly/KreBL6G>

12. Lleopart, A. (1990). Sistemas de informação geográfica. *Revista Catalã de Geografia*, 4 (11). Recuperado de <https://cutt.ly/KreBB8m>
13. Ministério do Meio Ambiente. (2015). Prevenção e controle de incêndio uma prioridade nacional. Recuperado de <https://cutt.ly/xreNEOL>
14. Getis, A., & Ord, J. K. (1992). A Análise da Associação Espacial por Uso de Estatísticas de Distância, *Análise Geográfica*, 24.
15. Esri. (2016). O que é um shapefile - Ajuda | ArcGIS para Desktop. Recuperado de <https://cutt.ly/sreNYAE>
16. Esri. (2018). Como funciona a autocorrelação espacial (Moran global I). (A. Desktop, Ed.). Recuperado de <http://cort.as/-SsQd>
17. Esri. (2019). Como a Análise de Hot Spot funciona (Getis-Ord Gi \*). (A. Pro, Ed.). Recuperado de <https://cutt.ly/6reNK0K>
18. Llambí, L. D. (2012). Ecologia, hidrologia e charneca: Projeto Andino Paramo. Projeto Andino Paramo. Recuperado de <https://cutt.ly/9reNMqk>
19. Ramírez, L., & Falcon, V. (2015). Autocorrelação espacial: analogias e diferenças entre o índice de Moran e o índice de Getis e Ord. Aplicações com indicadores de acesso à água no norte da Argentina. Artigo apresentado na Conferência Argentina de Geotecnologia, Universidade Nacional de San Luis, 2. Recuperado em <http://cort.as/-SsOB>
20. Rodríguez-Trejo, D. A. (2012). Gênese de incêndios florestais. *Revista Chapingo. Forest and Environmental Sciences Series*, 18 (3), 357-373. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62926234008>
21. Ordóñez, C., Varela, M. R. e Reyes, A. (2011). Desenvolvimento de um SIG para análise de padrões espaciais de incêndio em residências. *GeoFocus Revista Internacional de Ciência e Tecnologia da Informação Geográfica*, (11), 1-18. Recuperado de <https://cutt.ly/nreN4dd>
22. Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A. e Salmerón-Macías, M. (2013). Análise espaço-temporal da ocorrência de incêndios florestais em Durango, México. *Madeira e florestas*, 19 (2), 37-58. Recuperado de <https://cutt.ly/mreN7Hb>

23. Tobler, W.R. (1970). Um filme de computador simulando o crescimento urbano na região de Detroit. *Geografia Econômica*, 46, 234. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/143141>
24. Tulla, A.F. (1993). Sistemas de informação geográfica em nível local em áreas rurais. *Documentos d'análisi geographic*, (23), 111-127. Recuperado de <https://cutt.ly/sreN6w8>
25. Vilchis-Francés, A.Y., Díaz-Delgado, C., Magaña-Lona, D., Bâ, K.M. & Gómez-Albores, M. Á. (2015). Modelagem espacial para risco de incêndio florestal com previsão diária na bacia do rio Balsas. *Agrociencia*, 49 (7), 803-820. Recuperado de <https://cutt.ly/LreN65v>
26. Whelan, R.J. (1995). *A ecologia do fogo*. Cambridge University Press Recuperado de <https://n9.cl/3ezb>

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).