

---

# Análisis de afectación de coberturas vegetales en seis zonas de Bogotá por Modelo Data Panel

---

Presentado por  
**Diego Andrés Benítez Duarte**  
**Adriana Palacios Manrique**

**Fundación Universitaria Los Libertadores**

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C, Colombia

2019

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

---

# Análisis de afectación de coberturas vegetales en seis zonas de Bogotá por Modelo Data Panel

---

Presentado por  
**Diego Andrés Benítez Duarte**  
**Adriana Palacios Manrique**

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título

de

## **Especialista en Estadística Aplicada**

*Dirigida por*

**Heivar Yesid Rodríguez Pinzón**

Profesor

**Fundación Universitaria Los Libertadores**

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C, Colombia

2019

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

**Notas de aceptación**



---

---

---

---

---

# LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C., Junio de 2019.

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.



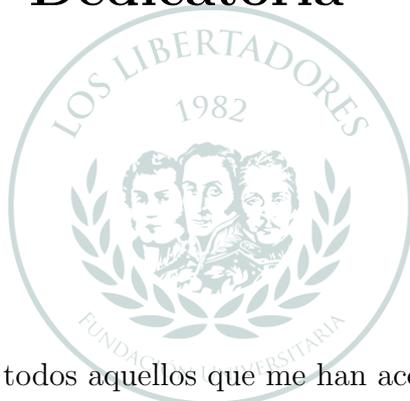
# LOS LIBERTADORES

## FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

# Dedicatoria



Dedico este trabajo a todos aquellos que me han acompañado en este proceso de aprendizaje y me han enseñado y apoyado para seguir adelante, especialmente Nathalie, quien ha sabido creer en mí y acompañarme, principalmente en la parte final de este proceso donde su apoyo fue fundamental.

LOS LIBERTADORES  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

*Diego*

Este trabajo lo dedico en primera instancia a DIOS, por mostrarme el camino por medio de pequeñas señales, asimismo, a mi familia, especialmente a mi esposo e hijo, por darme la energía en los momentos difíciles y apoyarme en las todas las decisiones, además de estar para mí en cada momento y ser mi luz en este camino.

*Adriana*

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

# Índice general

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Planteamiento del Problema</b>	<b>5</b>
2.1	Objetivos . . . . .	7
2.1.1	Objetivo General . . . . .	7
2.1.2	Objetivos Específicos . . . . .	7
2.2	Justificación . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Marco Conceptual</b>	<b>9</b>
3.1	Incendios . . . . .	9
3.1.1	Incendios superficiales . . . . .	9
3.1.2	Incendios de copa . . . . .	10
3.1.3	Incendio subterráneo . . . . .	11
3.1.4	Incendios según el patrón de propagación . . . . .	12
3.1.5	Incendios por extensión . . . . .	13
3.2	Cobertura vegetal . . . . .	13
3.2.1	Categorías De Cobertura Vegetal . . . . .	13
3.3	Altitud . . . . .	14
3.4	Datos Panel . . . . .	15
3.4.1	Modelo de efectos fijos . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Marco Metodológico</b>	<b>19</b>
4.1	Definición del área de estudio . . . . .	19
4.2	Obtención y análisis de datos . . . . .	22
4.2.1	Obtención y organización de los datos . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Análisis y Resultados</b>	<b>25</b>
5.1	Análisis descriptivo . . . . .	25
5.1.1	Análisis descriptivo del área afectada por incendios forestales . . . . .	25
5.1.2	Análisis descriptivo de la altitud en m.s.n.m. de los incendios forestales . . . . .	26
5.1.3	Análisis descriptivo de la cantidad de incendios forestales . . . . .	26

5.1.4	Análisis descriptivo de la cobertura Vegetación Nativa . . . . .	27
5.1.5	Análisis descriptivo de la cobertura Pastos . . . . .	27
5.1.6	Análisis descriptivo de la cobertura Retamo . . . . .	28
5.1.7	Análisis gráfico preliminar . . . . .	29
5.2	Contrastes de medias y varianzas . . . . .	30
5.2.1	Resultados del contraste de medias y varianzas para el área afectada por incendios forestales . . . . .	31
5.2.2	Resultados del contraste de medias y varianzas para la altitud en m.s.n.m. de incendios forestales . . . . .	32
5.2.3	Resultados del contraste de medias y varianzas para el número de incidentes de incendios forestales . . . . .	34
5.2.4	Resultados del contraste de medias y varianzas para los pastos afec- tados por incendios forestales . . . . .	36
5.2.5	Resultados del contraste de medias y varianzas para el retamo afec- tado por incendios forestales . . . . .	37
5.2.6	Resultados del contraste de medias y varianzas para la vegetación nativa afectada por incendios forestales . . . . .	38
5.3	Modelo por efectos fijos . . . . .	39
5.3.1	Construcción del modelo . . . . .	39
5.3.2	Validación del modelo . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Referencias</b>	<b>49</b>

# Índice de figuras

3.1	Incendios superficiales . . . . .	10
3.2	Incendios de copa . . . . .	11
3.3	Incendio subterráneo . . . . .	11
3.4	Incendio conducidos por viento . . . . .	12
4.1	Temperatura y precipitación reportada en Bogotá D.C. . . . .	20
4.2	Ubicación geográfica de la ciudad a estudiar, demarcando sus municipios vecinos . . . . .	21
4.3	Localidades escogidas para verificar la ocurrencia de incendios forestales . .	23
5.1	Parámetros de evaluación del modelo . . . . .	30
5.2	Resultado de la prueba de igualdad de medias . . . . .	32
5.3	Resultado de la prueba de igualdad de varianzas . . . . .	33
5.4	Resultado de la prueba de igualdad de medias . . . . .	33
5.5	Resultado de la prueba de igualdad de varianzas . . . . .	34
5.6	Resultado de la prueba de igualdad de medias . . . . .	35
5.7	Resultado de la prueba de igualdad de varianzas . . . . .	35
5.8	Resultado de la prueba de igualdad de medias . . . . .	36
5.9	Resultado de la prueba de igualdad de varianzas . . . . .	37
5.10	Resultado de la prueba de igualdad de medias . . . . .	37
5.11	Resultado de la prueba de igualdad de varianzas . . . . .	38
5.12	Resultado de la prueba de igualdad de medias . . . . .	39
5.13	Resultado de la prueba de igualdad de varianzas . . . . .	40
5.14	Parámetros de evaluación del modelo . . . . .	41
5.15	Evaluación de los residuales del modelo . . . . .	44
5.16	Prueba de redundancia de efectos fijos . . . . .	44
5.17	Ajuste del modelo frente a los datos . . . . .	45

# Índice de cuadros

4.1	Áreas de afectación por incendios forestales en seis localidades de Bogotá. . . . .	20
5.1	Estadística descriptiva del área afectada por incendios forestales . . . . .	25
5.2	Estadística descriptiva de la altitud en m.s.n.m. de los incendios forestales	26
5.3	Estadística descriptiva el número de eventos presentados . . . . .	27
5.4	Estadística descriptiva de la vegetación nativa comprometida en incendios forestales . . . . .	28
5.5	Estadística descriptiva del pasto comprometido en incendios forestales . . .	28
5.6	Estadística descriptiva del pasto comprometido en incendios forestales . . .	29
5.7	Contribución en el área de afectación de incendios por localidad en un modelo data panel de efectos fijos . . . . .	42
5.8	Efecto por periodo dentro del modelo data panel . . . . .	43

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

---

# Análisis de afectación de coberturas vegetales en seis zonas de Bogotá por Modelo Data Panel

## Resumen

Resumen: Los incendios forestales son un fenómeno en el cual se afecta la vegetación y distintas coberturas vegetales, teniendo como principal impacto la biodiversidad y servicios ecosistémicos que pueda prestar el área o cobertura vegetal afectada. En este tipo de fenómenos la vegetación funciona como material combustible para la propagación del fuego, por lo que es de gran interés determinar que tipo de coberturas vegetales pueden estar generando un aporte a la propagación de las llamas, además de sus factores altitudinales, por lo que este trabajo suministra un análisis por medio de un modelo Data Panel en tres tipos de coberturas vegetales y en diferentes altitudes en la ciudad de Bogotá para así dar un acercamiento a los factores que son importantes en la propagación del fuego y afectación de área rural, para así fijar a futuro posibles planes de manejo contra este tipo de incendios. .

**Palabras claves:** Incendio forestal, Data Panel, Coberturas vegetales, Altitud, Retamo.



# Capítulo 1

## Introducción

Los incendios forestales son un tipo de perturbación sobre diferentes coberturas vegetales, en los cuales se afecta la integridad del ecosistema y de los habitantes de este, así como de áreas circundantes. Los incendios forestales son eventos que se pueden presentar de manera cíclica en algunos tipos de ecosistemas, permitiendo el recambio de vegetación, pero, por acciones antrópicas se han venido incrementando y presentando en nuevos ecosistemas, comprometiendo la flora y fauna de otras regiones, así como la calidad de vida de las personas (FAO, 2001). En ciudades como Bogotá los estos eventos han venido aumentando en los últimos años (CDPMIF, 2017), comprometiendo sensiblemente la calidad de vida de sus habitantes y la vegetación nativa del sector; las entidades territoriales de la ciudad reportan que en la causa más común de este tipo de eventos está asociada a perturbaciones de tipo antrópico, siendo una de sus posibles causas la pobre educación ambiental y el rápido crecimiento poblacional, ya que no se tiene un manejo adecuado de las posibles perturbaciones en áreas forestales.

A pesar de los aportes realizados por la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales (CDPMIF), aún no se han realizado investigaciones a nivel regional sobre la relación entre los tipos de coberturas y topográfica a partir de métodos estadísticos, ni se ha determinado los tipos de factores que presentan mayor contribución frente al fenómeno del estudio. Sin embargo, se han realizado investigaciones sobre las incidencias de incendios sobre la vegetación en el departamento de Cundinamarca y Bogotá en la primera década del siglo XXI, analizando la distribución temporal y espacial, la baja precipitación y dependencia del tipo de vegetación con base en el patrón espaciotemporal de los incendios mediante el uso de imágenes del satélite Modis de la Nasa (Amaya-Villabona, D. & Armenteras, D., 2012). Además, se han publicado documentos sobre los incendios forestales a nivel nacional, evaluando las condiciones climáticas y las coberturas vegetales afectadas por departamento desde entre el año 2002 al año 2013 (IDEAM, 2013).

A pesar de los esfuerzos presentados por entender las dinámicas de los incendios forestales es pertinente buscar nuevas metodologías que den cuenta del comportamiento de este fenómeno en la ciudad de Bogotá, buscando entender principalmente sus posibles tendencias en el tiempo, por lo que en este trabajo se pretende determinar la incidencia de los incendios forestales en diferentes coberturas vegetales presentes en la ciudad y, por medio de un análisis modelos Data Panel, ver la incidencia de los incendios forestales en diferentes coberturas vegetales junto a factores altitudinales en seis localidades dentro de la ciudad de Bogotá entre los años 2013 y 2017, buscando entender qué tipo de coberturas y factores altitudinales pueden incidir en la propagación de los incendios en áreas rurales de la ciudad.

## Capítulo 2

# Planteamiento del Problema

Se considera como incendio forestal a aquellos eventos donde el fuego se extiende a través de una cobertura vegetal, usando las especies de flora como combustible, en un proceso de propagación de las llamas. Si bien el fuego es un elemento importante en la regulación del crecimiento y desarrollo de algunas comunidades vegetales en determinados ecosistemas, desde el siglo XIX se han venido acelerando los procesos normales ligados a los incendios forestales, tales como la temperatura global, cambio en la frecuencia del fenómeno de El Niño y cambios en las dinámicas vegetales establecidos por las actividades humanas (cambios en las coberturas vegetales dominantes y ampliación en su distribución altitudinal), lo cual ha generado un escenario donde los incendios forestales son una amenaza para muchos bosques y la diversidad que representan (FAO, 2001).

A escala global, las problemáticas asociadas a incendios forestales no son menores, debido a que son una fuente de emisión de CO<sub>2</sub>, agilizando el proceso de calentamiento global y, en escala local un incendio sobre una cobertura vegetal representa la pérdida de biomasa en el ecosistema, menor productividad vegetal y disminución de rendimiento de sistemas agrícolas aledaños debido a la baja en la tasa de fotosíntesis, además del detrimento de la salud de animales por el aumento de material particulado en el aire (Nasi, R. *et. Al*, 2002).

En Colombia la preocupación por los incendios forestales no es menor, debido a que en su territorio se concentra gran cantidad de especies nativas y de distribución única en el planeta (Moreno, L. *et Al*, 2018), por lo que sus pérdidas pueden afectar susceptiblemente el patrimonio y potencial biológico de la nación, siendo de vital importancia tener un monitoreo constante sobre los posibles incendios forestales, principalmente en los 210494 km<sup>2</sup> de área vegetal altamente susceptible a los incendios forestales reportadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (SIAC, 2019).

Bogotá, es una ciudad con un área rural de cerca del 81 %, donde gran parte de sus

dinámicas están integradas con dicha área, ofreciendo servicios ecosistémicos muy importantes tales como el suministro de agua y un “pulmón urbano” que incide en la calidad del aire de la ciudad. Existe información histórica sobre el incremento de los incendios forestales en Bogotá (IDIGER, 2019), lo cual compromete el área rural de la ciudad, afectando los servicios ecosistémicos y, a su vez, comprometiéndolos diferentes tipos de coberturas vegetales, las cuales parecen ser representativas en el aumento del área de los incendios forestales, teniendo que algunas coberturas crecen a la vez que los episodios de incendios forestales aumentan, por lo cual sería prudente relacionar estos crecimientos por medio de un análisis de tipo estadístico para lograr un mejor entendimiento de los incendios forestales en la ciudad.

## **2.1 Objetivos**

### **2.1.1 Objetivo General**

Determinar la incidencia de algunas coberturas vegetales y la altitud en las áreas afectadas por incendios forestales en la ciudad de Bogotá entre los años 2013 a 2017.

### **2.1.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un modelo panel con efectos fijos aplicando las pruebas en las variables de interés para el área de afectación dada por los incendios en Bogotá
- Identificar los tipos de coberturas que presentan mayor incidencia en seis sectores de Bogotá.
- Reconocer los efectos generados por la altitud en los incendios presentados en seis sectores de Bogotá.

## **2.2 Justificación**

Los estudios sobre el cambio climático y la conservación de los grandes ecosistemas mundiales toman cada día más relevancia, incluso ocupando ahora parte importante de las agencias de cooperación internacional y organismos supranacionales, teniendo como una de las metas dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU al año 2030 velar por la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, así como adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales (ONU, 2015), por lo que un análisis que permita conocer los factores que favorecen los incendios forestales en diferentes coberturas vegetales podría ser significativo para cumplir los objetivos de conservación planteados por la ONU.

Existen estudios en Latinoamérica referentes a análisis de tipo espaciotemporal sobre la ocurrencia de incendios forestales, principalmente por análisis de autocorrelaciones espaciales (Pérez, G. *et Al.*, 2013), pero en Colombia no hay muchos estudios de carácter espaciotemporal que permiten dar cuenta de la incidencia de los incendios forestales y su comportamiento a lo largo del tiempo.

Los incendios forestales en Bogotá han venido aumentando en los últimos años, principalmente por factores ambientales y antrópicos. Para la ciudad se han realizado muy pocos estudios de seguimiento a los incendios forestales, pero aún no se ha determinado cuáles son los factores directos e indirectos que puedan indicar el origen de estos eventos. Por tal motivo, es necesario realizar un análisis de los incendios forestales que contemple las variables de coberturas vegetales y algunas características del terreno dentro del área de afectación para poder determinar si existe alguna relación entre estas variables a lo largo del tiempo y su tipo de incidencia en los incendios forestales

Un análisis de tipo dinámico permite analizar la incidencia de diferentes variables para explicar el comportamiento de los incendios forestales, así, como un modelo de tipo Data Panel es pertinente para evaluar los efectos individuales de diferentes variables dentro de un periodo de tiempo (Baronio & Vianco, 2014), además, como no se tienen estudios que segmenten los incendios forestales ni sus causas en diferentes sectores de Bogotá, se ve la necesidad de aplicar uno de estos modelos que permita determinar los factores individuales que contribuyen en los incendios, dado que la heterogeneidad de sus posibles causas no se puede detectar fácilmente por series de tiempo ni por técnicas de corte transversal.

# Capítulo 3

## Marco Conceptual

El presente trabajo desea analizar factores como las coberturas vegetales y características del terreno que inciden en los incendios forestales en Bogotá D.C. a partir de métodos estadísticos, por lo cual, se definen los conceptos básicos, los cuales permitirán comprender las perturbaciones y sus variables para el caso de estudio.

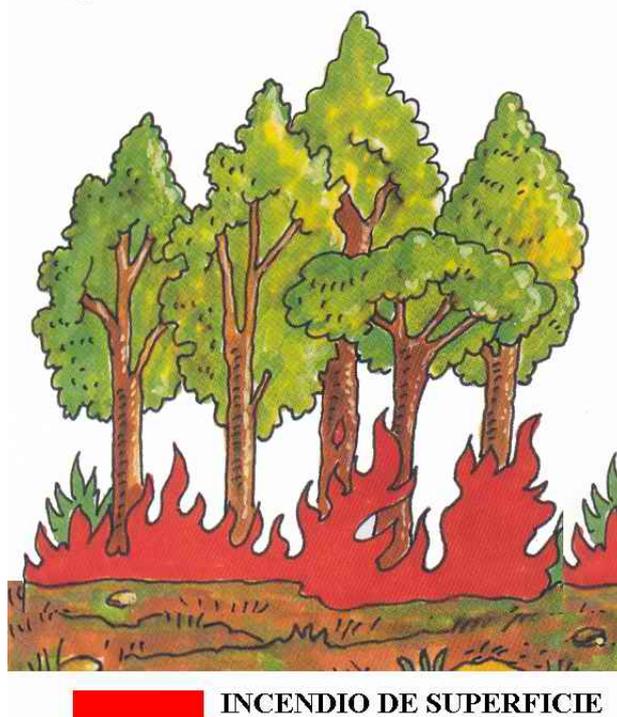
### 3.1 Incendios

Los incendios forestales se definen como la ampliación del fuego sin control en un área forestal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011), donde se presenta afectación a la diversidad biológica, los recursos y el accionar humano. Clasificándose por la extensión, la velocidad con que se pueda extender, cambio de dirección y superación de obstáculos.

#### 3.1.1 Incendios superficiales

Son incendios que consumen material combustible que se encuentre situado a ras del suelo y debajo de la copa de los árboles, este tipo de incendios es comprendido por hierbas, hojarasca, matorrales, vegetación herbácea y restos de talas (Incendios forestales, 2016). Se clasifican por que se encuentran entre la superficie del suelo y llegan a una altura de 1.5 m. (Comisión Nacional Forestal, 2010) Así mismo, los incendios superficiales se pueden dar en el sotobosque el cual se puede determinar como el área del bosque donde se encuentran las plántulas y arboles jóvenes, matorrales y las zonas de pastizales y prados (Figura 3.1).

Figura 3.1: Incendios superficiales



*Fuente:* Ureta, C., 2019

### 3.1.2 Incendios de copa

Son incendios que alcanzan alturas mayores de 1.5 metros (Figura 3.2), caracterizado por que la velocidad de propagación y desprendimiento calórico es alta, el cual dependerá de las condiciones topográficas y meteorológicas, proporción de combustible secos y finos y la cantidad de combustibles aéreos (Comisión Nacional Forestal, 2010). Son incendios muy peligrosos y difíciles de controlar (Centro de Prevención de Desastres Secretaria de Gobernación, 2008). Se presenta en bosques de coníferas definidos como arboles evolutivamente muy antiguos las cuales se caracterizan por poseer una estructura reproductiva denominada cono. Este tipo de incendio se puede presentar como pasivo o activo.

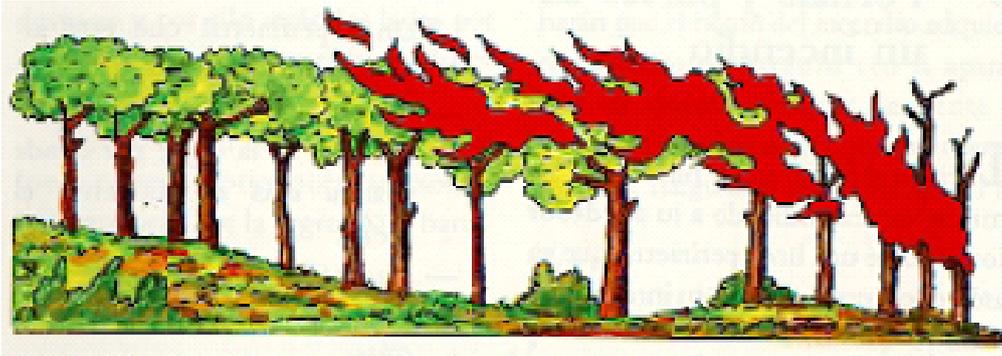
#### Incendio de copa activo

Se caracteriza por que la combustión se genera tanto en la copa como el estrato de la superficie, fomentado por el calor y las llamas del fuego que provienen del incendio superficial (Incendios forestales, 2016), proporcionando la energía suficiente para sostener la propagación, también por las copas de los árboles, donde el avance se da por todo el frente abarcando todos los estratos, denominado “copas continuo o dependiente”.

### Incendio de copa pasivo

Se caracterizan por que son incendios intermitentes que se generan debido al calor que procede del frente del incendio que fluye en el sotobosque llamado incendio superficial, el cual avanza por las copas de los árboles.

Figura 3.2: Incendios de copa



*Fuente:*Ureta, C., 2019

### 3.1.3 Incendio subterráneo

Son incendios que se caracterizan por afectar la materia orgánica, quemando las raíces, la microfauna y capa de humus del suelo, los cuales se presentan en suelos de origen glacial o volcánico, no producen llamas visibles

Figura 3.3: Incendio subterráneo



*Fuente:*Ureta, C., 2019

### 3.1.4 Incendios según el patrón de propagación

Los incendios pueden clasificarse según el patrón de propagación los cuales se pueden determinar por tres factores básicos identificados como factores dominantes. (Castellnou & Miralles, 2009).

#### Incendios de combustible

Se caracterizan por el lugar donde se desarrollan donde hay alta acumulación y distribución de combustibles, los cuales son los responsables de la intensidad, ocasionado grandes longitudes de llama e intensidad en el frente que hacen imposible su ataque directo. (Castell, 2012).

#### Incendios topográficos

Son incendios definidos por su relieve, los cuales se caracterizan porque al tener mayor pendiente las llamas se acercan más a los combustibles, las secan y el fuego avanza más rápido. (USAID/OFDA, 2010). Este tipo de incendios sigue las laderas soleadas y la intensidad del viento. (Castellnou & Miralles, 2009).

Figura 3.4: Incendio conducidos por viento



*Fuente:*USAID/OFDA, 2010

## **Incendios conducidos por viento**

Se definen como incendios de propagación lineal el cual va en la dirección del viento (Figura 3.4), por lo que tienen solo una dirección, se expanden rápidamente y la forma del perímetro es alargado. Se caracterizan por la dirección, duración y fuerza, además la columna de humo es un clasificador de los incendios conducidos por viento. (Castell, 2012). Los cuales pueden depender de las altas temperaturas y la humedad que se presente en la zona, donde hay poca humedad y mayor temperatura mayor facilidad de propagación o por el contrario donde hay mayor humedad y menor temperatura menor propagación. (USAID/OFDA, 2010).

### **3.1.5 Incendios por extensión**

Según la facilidad en el control de la conflagración, el tipo de combustible involucrado, el tamaño y los atributos del área afectada, en Bogotá, la CDPMIF ha clasificados los incidentes forestales así (IDIGER, 2019):

#### **Incendios**

Son un tipo de eventos donde el fuego se propaga sin control sobre una superficie de material vegetal, usando esta como combustible y vehículo de propagación, consumiendo la vegetación circundante al punto de origen, ubicada en áreas rurales, principalmente de tipo forestal, la cual puede cumplir una función ambiental; la principal característica de estos eventos es que consumen coberturas vegetales en extensiones superiores a 0.5 ha (IDIGER, 2019).

#### **Conatos**

Son un tipo de eventos donde el fuego se propaga sin control, afectando pastos, residuos de talas y poda y demás tipos de vegetación, contando con todas las características de un incendio, pero, debido a que su área de afectación está entre 0 y 0.5 ha, la cual depende en gran medida de las acciones de mitigación, no es considerado como tal (IDIGER, 2019).

## **3.2 Cobertura vegetal**

Se define como la vegetación natural que cubre la superficie terrestre, con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales, así mismo; la definen como una práctica que permite la protección del suelo, además de aporte de nutrientes (Martinez, R., 2007).

### **3.2.1 Categorías De Cobertura Vegetal**

#### **Pastos**

Se encuentran en zonas cubiertas de especies herbáceas y rasantes, siendo principalmente encontradas especies pertenecientes a la familia *Poaceae*. Las especies herbáceas

son principalmente encontradas en un contexto de actividad económica relacionada con el pastoreo permanente por un periodo de dos o más años. Este tipo de cobertura suele encontrarse en áreas de alta intervención humana, principalmente en zonas de pastoreo y ganadería (IDEAM, 2010).

### **Retamo**

Este tipo de cobertura es aquella dominada parcial o totalmente por las especies arbustivas *Ulex europaeus* (Retamo espinoso) y *Teline monspessulana* (Retamo liso), las cual pueden llegar a medir hasta 4 m de altura, con flores amarillas propias de la familia Fabaceae, rápido crecimiento, alta capacidad de dispersión y gran potencial de reproducción vegetativa, están registradas entre los 2000 a 3500 m.s.n.m. (Torres-Rodríguez, 2009). Estas especies arbustivas son susceptibles a incendiarse en épocas secas. (Camelo-Salamanca, 2015).

### **Vegetación nativa**

Las especies de vegetación nativas son aquellas restringidas a una ubicación geográfica puntual (Bohorquez & Pinilla, 2013). Para Bogotá D.C. se destacan el bosque andino, los humedales, entre otros.

#### *Bosques andino*

Este tipo de vegetación está comprendida entre los 2550 hasta 3300 m.s.n.m., compuesta por una gran variedad de especies arbóreas adaptadas al exceso de humedad, se identifica porque presenta fragmentos de bosque natural aún existentes en los cerros orientales. Las especies clasificadas se pueden diferenciar por su altura y la cantidad de humedad. (Calvachi, 2002).

#### *Humedales*

Es una superficie de tierra plana susceptible de inundaciones temporales o permanentes, teniendo como característica la alteración del suelo por la poca profundidad de los niveles freáticos. Suelen tener vegetación cuyos tejidos captan y liberan grandes cantidades de agua (vegetación hidrófita), aunque en algunos casos, donde el agua se encuentra de forma subterránea, se encuentra vegetación propia del ecosistema circundante o del sector (García, F., 2001).

## **3.3 Altitud**

Se denomina altitud a la distancia en el plano vertical existente entre cualquier punto de la Tierra con respecto al nivel del mar. Para calcular la altitud, se toma como referencia

el nivel del mar, y es por ello que la altitud se expresa con como m.s.n.m. (‘metros sobre el nivel del mar’).

La altitud esta en estricta relación con las temperaturas medias a las cuales se tienen que someter los seres vivos, además, de incidir en las relaciones meteorológicas de cada sector. De esta manera, la altitud juega un papel importante en la distribución de seres vivos en el planeta, dado que esta fijando las condiciones a las cuales se verán sometidos y sobre las cuales se generarán patrones de adaptación, siendo especialmente importante en las comunidades vegetales, dado que los diferentes tipos de coberturas vegetales estarán vinculadas a patrones altitudinales.

### 3.4 Datos Panel

Un modelo panel es aquel en el que se incluye una muestra de agentes de interés para un determinado tiempo, es decir, combina datos de tipo estructural y temporal. El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos en panel, es capturar la heterogeneidad no observable, ya sea de los agentes de estudio o de tiempo, dado que la heterogeneidad no se puede detectar fácilmente por series de tiempo ni por técnicas de corte transversal (Mayorga, M. & Muñoz, E., 2000).. Además, la aplicación de este tipo de modelos permite analizar los efectos individuales específicos (aquellos que afectan de manera desigual a cada uno de los agentes) y los efectos temporales (aquellos que afectan de la misma manera a cada uno de los agentes) (Payares, D., 2012)

Algunas de las fuentes de variabilidad dentro de un modelo Data Panel son:

- **Efectos individuales específicos:** Son aquellos que afectan de manera desigual a cada uno de los agentes de estudio contenidos en la muestra, los cuales son invariables en el tiempo y afectan de manera directa la valoración que pueda presentarse en dichas unidades, generalmente invariante en el tiempo. Representa el impacto directo de todas las características individuales no observables e invariantes en el tiempo sobre  $Y_{it}$ .

- **Efectos Temporales:** Son aquellos que afectan por igual a todas las unidades individuales del estudio pero que no varían en el tiempo. Este tipo de efectos puede asociarse, por ejemplo, a los choques macroeconómicos que pueden afectar por igual a todas las unidades. que puede asumirse invariante entre individuos; cada periodo tiene efectos específicos no observables.

- **c) Efecto individuo-tiempo:** Son aquellos efectos cambiantes que pueden ser tan-

to determinísticos como estocásticos.

La estructura de este tipo de modelos busca determinar si las variaciones observadas se deben a cambios en las variables explicativas, tomando en cuenta las diferencias individuales (Perazzi, J. & Merli, G., 2013), construyendo dicha estructura a partir de la siguiente ecuación:

$$Y_{it} = \beta X_{it} + \epsilon_{it} \quad (3.0)$$

Donde  $\beta$  es el vector de los parámetros,  $X_{it}$  es un vector de  $k$  variables explicativas,  $i$  denota las unidades muestrales,  $t$  describe los periodos,  $k$  representa las covariables y  $\epsilon_{it}$  son los errores aleatorios dentro del modelo.

Los métodos estadísticos, de forma tradicional, intentan explicar un fenómeno observado a través de una serie de variables que han sido tratado mediante regresiones lineales, usando el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Sin embargo, existen muestras a las que se debe aplicar la metodología Data Panel ya que estas explican el comportamiento de las variables a través de efectos individuales y variaciones en el tiempo, pudiendo emplear modelos para medir los efectos individuales, bien sea como efectos aleatorios o fijos.

### **3.4.1 Modelo de efectos fijos**

Un análisis de datos por un modelo de efectos fijos busca comprender de manera dinámica la interacción entre variables, considerando que existe un fenómeno constante y diferente que afecta a cada individuo y a la vez se asume que los efectos individuales son independientes entre sí. Con este modelo se considera que las variables explicativas afectan de igual manera a las unidades de corte transversal (variables estudiadas), la vertiente temporal (tiempo) y los datos longitudinales de sección cruzada (individuos) capturando su efecto individual en el modelo y su variación teórica (o pronóstico en el modelo) respecto a lo observado en los datos. (Balestra, P., 1996; Kiefer, N., 1980; Nickell, S., 1981; Mayorga, M., 2000).

Este tipo de modelos implican el reconocimiento de las variables omitidas que por su parte pueden generar cambios en los interceptos, ya sea a través del tiempo o entre unidades de corte transversal, en este caso el modelo de efectos fijos trata de aproximar estos cambios con variables de tipo dummy. Al aplicar efectos fijos de datos de panel, es interesante averiguar si los coeficientes del modelo de regresión son los mismos para todas las unidades de corte transversal en un período dado o son distintos para diferentes perio-

dos de tiempo. Para el caso de un panel de datos con componente temporal dominante, importa averiguar si los coeficientes del modelo de regresión son distintos para cada unidad de corte transversal cada variable explicativa pero constante a través del tiempo. Este tipo de modelo emplea un el estimador intragrupal, el cual asume que el efecto individual está correlacionado con las variables explicativas, con la ventaja de que permite conocer los  $\alpha_i$  de manera independiente, lo cual contribuye a entender mejor el modelo. Además, evita una sobrestimación del parámetro  $\beta$ , lo que ocurre cuando se aplica el estimador de efectos aleatorios. (Labra, R., & Torrecillas, C. 2014), por lo tanto, el modelo se puede representar de la siguiente manera:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + e_{it} \quad (3.0)$$

Donde,  $Y_{it}$  es la variable dependiente,  $i$  representa a cada individuo (corte transversal) y  $t$  a la dimensión (tiempo),  $\alpha_i$  es un vector de intercepto de  $n$  parámetros,  $\beta$  es un vector de  $k$  parámetros,  $X_{it}$  es la  $i$ -ésima observación al momento  $t$  para las  $p$  variables explicativas y  $e_{it}$  es el error del individuo  $i$  en el periodo.

Además, este modelo asume que las diferencias entre los individuos pueden ser capturadas a través de diferencias en el término constante, lo que equivale a asumir estas variaciones como determinísticas, por lo tanto, se establece el siguiente supuesto:

$$cov(X_i, X) \neq 0 \quad (3.0)$$

Al tratarse de variables no observadas, la heterogeneidad individual se recoge a través de un conjunto de  $n - 1$  variables dicotómicas ( $d_i$ ), cuyos coeficientes asociados  $\alpha_i$  se estiman de manera conjunta con las pendientes de  $\beta_k$  (Perazzi, J. & Merli, G., 2013).

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

# Capítulo 4

## Marco Metodológico

### 4.1 Definición del área de estudio

El área de estudio comprende los cerros orientales y la zona rural del Distrito Capital, en el departamento de Cundinamarca, para la definición del área de estudio, se obtiene la geodatabase oficial de la Infraestructura de datos Espaciales del Distrito Capital – IDE-CA, compuesta por varios *feature Dataset*, en el cual se identifica el área "Planeamiento", discriminado por tres *Feature class*, las cuales son:

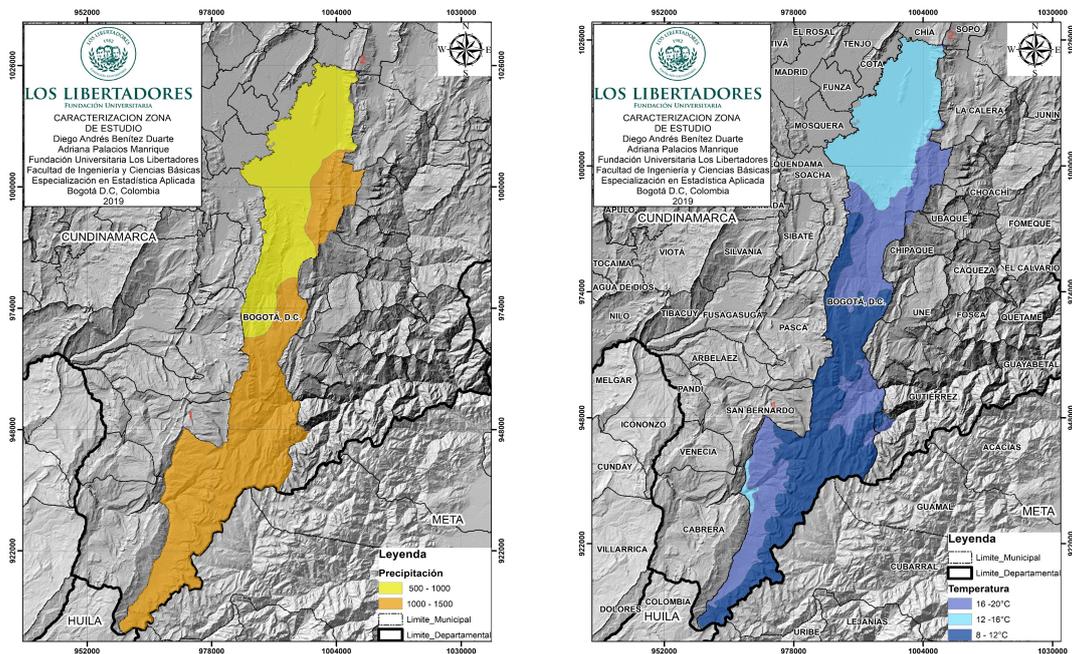
- *Área de Expansión Urbana*
- *Área Rural*
- *Área Urbana*

Esta zona geográfica está ubicada en las coordenadas geográficas 4°35'56" Latitud Norte y 74°04'51" Longitud Oeste, con una altitud entre 2.625 a 3.316 m.s.n.m., la temperatura media anual es de 12.0°C, con una precipitación anual entre 500 a 1.500 mm (Figura 4.1), la humedad relativa es 72% con un área de 1587 km<sup>2</sup>. (Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias -FOPAE, s.f.).

Bogotá D.C. está delimitada por el norte con el Municipio de Chía, por el oriente limita con el Municipio de la Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez, por el sur con el departamento del Meta y Huila y por el occidente limita con el Río Bogotá, Municipio de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibaté, Soacha, Mosquera, Funza y Cota (Figura 4.2).

Para la elaboración del modelo estadístico, se seleccionaron 6 localidades de Bogotá,

Figura 4.1: Temperatura y precipitación reportada en Bogotá D.C.



Fuente:Elaboración propia

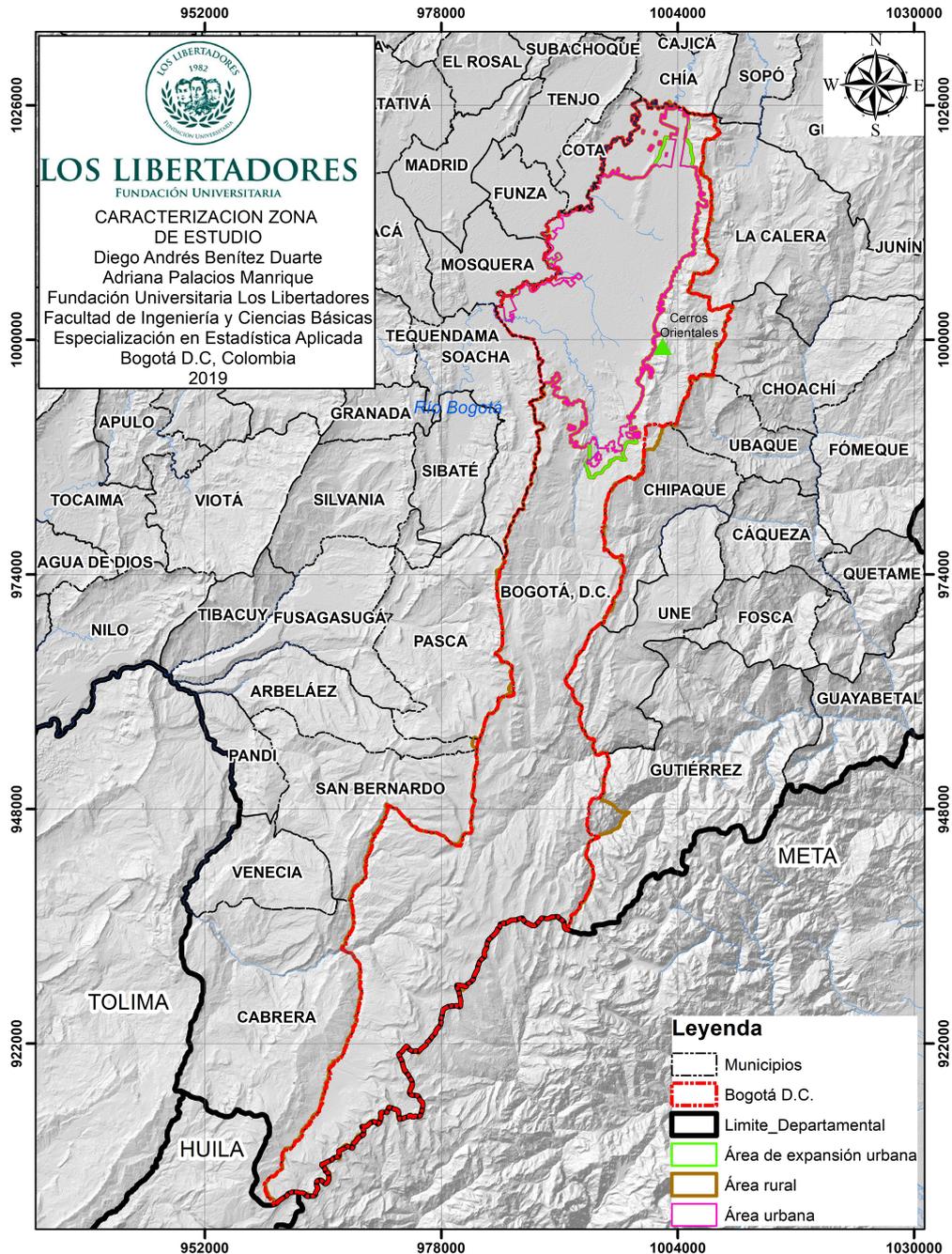
buscando lograr una cobertura relativamente amplia de distintos sectores de la ciudad, con áreas clasificadas dentro de los *Feature class* de área rural y área de expansión urbana y enmarcando distintos tipos de coberturas vegetales, además, garantizando que los datos se encontraran con la totalidad de registros dentro del periodo de 2013 a 2017.

Adicionalmente, se trazaron los polígonos de coberturas involucradas en incendios de los cuales se obtuvo los valores del área total afectada (Cuadro 4.1) y valores altitudinales de los eventos presentados, incluyendo dichos valores dentro del modelo.

Localidad	Área (Ha)
Tunjuelito	990.3
Usaquen	1729.73
Ciudad Bolívar	12989.9
Kennedy	3855.9
Engativa	3585.23
Suba	10048

Cuadro 4.1: Áreas de afectación por incendios forestales en seis localidades de Bogotá.

Figura 4.2: Ubicación geográfica de la ciudad a estudiar, demarcando sus municipios vecinos



Fuente:Elaboración propia

## **4.2 Obtención y análisis de datos**

### **4.2.1 Obtención y organización de los datos**

Los datos utilizados en el presente trabajo provienen de los informes de gestión de la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, donde se incluye la cartografía de los eventos para los periodos 2000 al 2017, esta información fue suministrada por Secretaria Distrital de Ambiente.

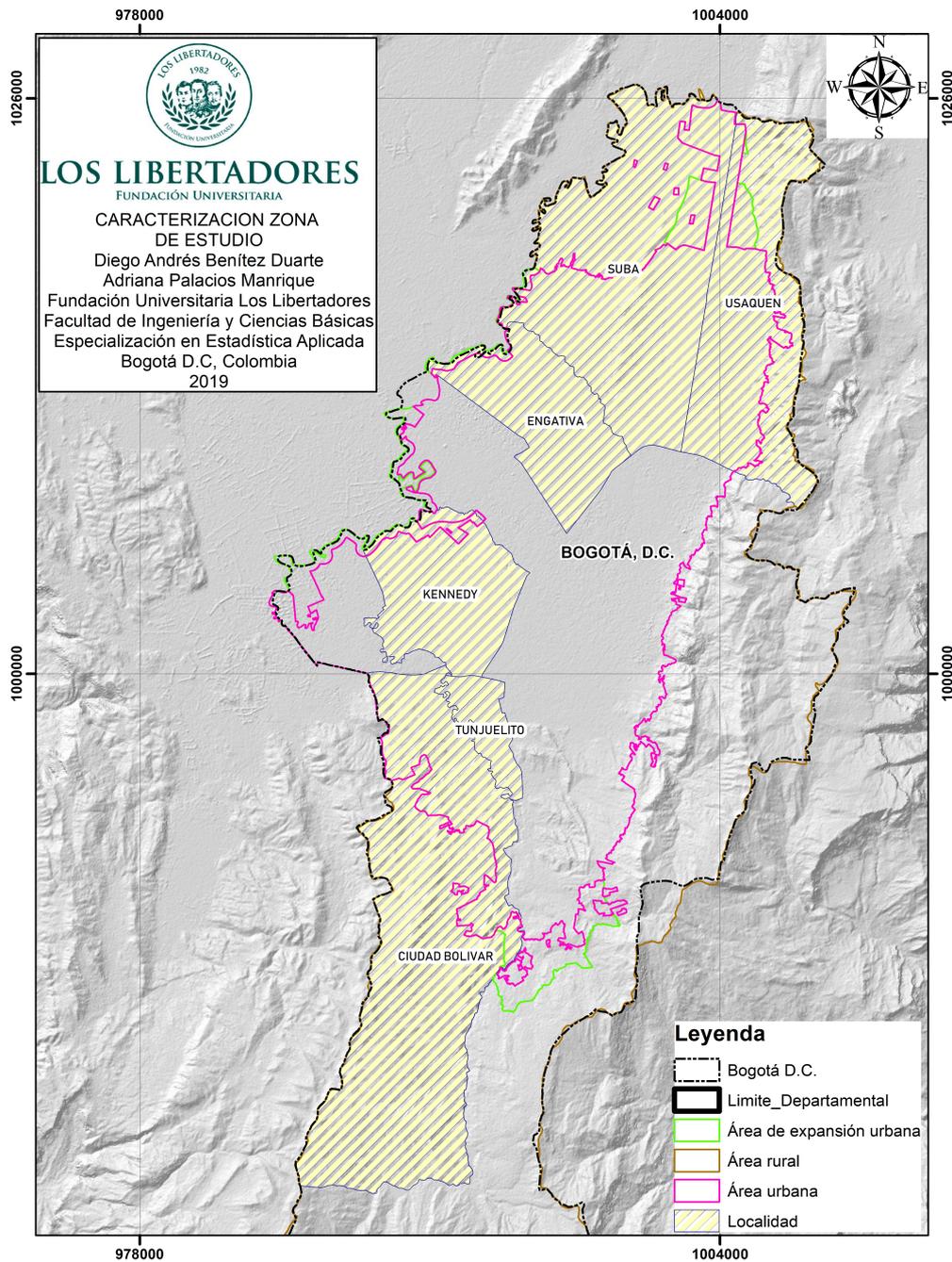
Al realizar el análisis se hace la depuración de la información para que cumpla con la secuencialidad y organización de los datos de acuerdo a lo requerido en un modelo de datos panel. Se toman los datos del periodo 2013 al 2017, los cuales presentan la mayor cantidad de información relevante, donde se pueden identificar las áreas y coberturas afectadas por incendios, cantidad de conatos e incendios y, se pueden organizar los datos por localidades.

Para la selección de las localidades de Bogotá se tomó como criterio la mayor cantidad de información disponible en cada una de éstas, así como distribución espacial de las mismas respecto a las áreas rurales de la ciudad; en este proceso se seleccionaron las localidades de Usaquen, Suba, Engativa, Ciudad Bolívar, Kennedy y Tunjuelito (Figura 4.3). Posteriormente, se determina la altitud de cada una de las localidades, utilizando el Modelo Digital de Elevación de 12 metros de ALOS PALSAR descargado del aplicativo Alaska Satellite Facility y la capa de localidades obtenida de la plataforma de Infraestructura de datos Espaciales del Distrito Capital – IDECA.

Las coberturas vegetales a trabajar fueron aquellas de amplia presencia en diferentes sectores de Bogotá, además, de considerarse el uso de aquellas coberturas que tuvieran un patrón de crecimiento no demarcado principalmente por actividades humanas, principalmente coberturas de plantaciones, dado que éstas tienen controles más estrictos y, si bien pueden ser susceptibles a presentar incendios forestales, también el manejo de la vegetación no permitiría estimar de manera pertinente el área afectada por incendios forestales.

Los tipos de incendios forestales a manejar son aquellos definidos por su extensión, centrando este estudio en la cantidad de eventos presentados, esto debido a que dentro de la información presentada por la Secretaría Distrital de Ambiente se presenta el número de eventos por localidad, discriminando entre conatos e incendios y su número de ocurrencia, pero no mostrando el área afectada en cada cobertura por cada uno de estos eventos. Adicional, debido a que la cantidad de eventos definidos como incendios son muy pocos, se realizó la adición con los conatos y se trabajó como total de eventos reportados.

Figura 4.3: Localidades escogidas para verificar la ocurrencia de incendios forestales



Fuente:Elaboración propia

Una vez determinadas las coberturas vegetales a utilizar y el tipo de incendios sobre los cuales se podría trabajar, se fijaron las coordenadas de los incendios por medio del

trazado de polígonos y se realizó la estimación de la altitud, teniendo en cuenta que el patrón altitudinal representaría el *Feature class* de área de expansión urbana, dado que las coberturas vegetales en Bogotá son dominantes en los Cerros Orientales de la ciudad y representan una barrera para la expansión de la ciudad, además, la altitud puede estar dando cuenta de la interacción de la población con las coberturas vegetales, siendo más fácil acceder a las que presenten menores elevaciones sobre el nivel del mar.

Una vez definidas las coberturas, áreas afectadas, el número de eventos por cobertura y los factores altitudinales, se procedió a procesar estos datos con ayuda del programa estadístico EViews 10 (*Econometric Views*).

# Capítulo 5

## Análisis y Resultados

### 5.1 Análisis descriptivo

Las variables de interés en el análisis del área de afectación por incendios forestales son de tipo cuantitativo, a continuación, se describe cada una de ellas y se presentan sus características respecto al tipo de variable correspondiente.

#### 5.1.1 Análisis descriptivo del área afectada por incendios forestales

A continuación se describen el área de cobertura vegetal afectada en los incendios forestales presentados en seis localidades de Bogotá D.C. entre el periodo comprendido desde el 2013 al 2017.

Se identificó que el área afectada por incendios forestales está entre 0.04 ha (Engativa) y 57.86 ha (Ciudad Bolívar), con una media de 7.11 ha; se observa que la mayoría de los datos se encuentran por debajo de la media, por lo que se puede decir que la mayoría de episodios de incendios forestales afectaron pequeñas extensiones de cobertura vegetal. Adicional, se realizó una prueba de Jarque-Bera, con la cual se rechaza la normalidad de los datos con un  $p\text{-valor} < 0.05$  (Cuadro 5.1).

Estadístico	Valor (ha)
Media	7.1186
Mediana	2.0978
Máximo	57.8679
Mínimo	0.0400
Desviación Estándar	13.8436
Jarque-Bera	0.0000

Cuadro 5.1: Estadística descriptiva del área afectada por incendios forestales

Se observa que los incendios forestales suelen obedecer a episodios pequeños donde se queman pequeñas coberturas más frecuentemente, pero en algunos casos se suelen presentar incendios que suelen afectar grandes coberturas, debido a que una vez el incendio no es controlado a tiempo se puede desbordar, afectando grandes áreas, por lo que la varianza del área afectada puede ser muy grande. La localidad más afectada por incendios forestales fue Ciudad Bolívar y la que menos afectación tuvo fue Engativa, seguida de Kennedy, pudiendo incidir que éstas últimas son las que menores áreas de coberturas vegetales tienen por el acelerado proceso de urbanización que han presentado.

### 5.1.2 Análisis descriptivo de la altitud en m.s.n.m. de los incendios forestales

La altitud, como valor importante que puede demarcar el tipo de *Feature class* entre zona rural y zona de expansión urbana, muestra que los incendios se encuentran entre los 2562 m.s.n.m. (Kennedy) y los 3167 m.s.n.m.(Usaquén), con una media de 2679.277 m.s.n.m., mostrando que los incendios se presenta de manera más frecuente en zonas de menor elevación, a pesar que en Usaquén y Ciudad Bolívar presentan incendios forestales en grandes elevaciones. Adicional, se realizó una prueba de Jarque-Bera, con la cual se rechaza la normalidad de los datos con un p-valor < 0.05 (Cuadro 5.2).

Estadístico	Valor (m.s.n.m)
Media	2679.227
Mediana	2581.182
Máximo	3167.106
Mínimo	2562.001
Desviación Estándar	168.9909
Jarque-Bera	0.001713

Cuadro 5.2: Estadística descriptiva de la altitud en m.s.n.m. de los incendios forestales

Se observa que los incendios forestales se están presentando en menores altitudes, pudiendo estar relacionados con una mayor interacción con la población del área urbana, haciendo más fuerte la hipótesis presentada en los informes de la Secretaria Distrital de Ambiente, de los que se obtuvo la información, donde se menciona que la mayoría de los incendios forestales tienen un origen antrópico.

### 5.1.3 Análisis descriptivo de la cantidad de incendios forestales

Los conatos son los episodios de incendio forestal con un área entre 0 ha y 0.5 ha y los incendios aquellos de mayores extensiones, por lo que, de acuerdo a lo observado en el análisis del área afectada, se espera que los conatos sean numerosos y los incendios escasos. Estos presentan una media de 47.76667, con un mínimo de 5 conatos en la localidad de

Engativa y un máximo de 165 conatos más 5 incendios para un mismo periodo en la localidad de Ciudad Bolívar. Adicional, se realizó una prueba de Jarque-Bera, con la cual se rechaza la normalidad de los datos con un p-valor < 0.05 (Cuadro 5.3).

Estadístico	Total eventos	Conatos	Incendios
Media	47.76667	40.96667	0.8
Mediana	31.5	31.5	0
Máximo	170	165	5
Mínimo	5	5	0
Desviación Estándar	35.68124	34.26316	1.808028
Jarque-Bera	0.0000	0.0000	0.0000

Cuadro 5.3: Estadística descriptiva el número de eventos presentados

Se tiene que los conatos son relativamente numerosos, pero Ciudad Bolívar presenta una gran cantidad de estos eventos con respecto a las demás localidades, lo cual también puede influir que esta sea la localidad que tenga mayor área afectada, a pesar que los conatos no representan grande extensiones de tierra, además de ser la localidad que si presenta varios eventos que pueden considerarse como incendios forestales.

#### 5.1.4 Análisis descriptivo de la cobertura Vegetación Nativa

La vegetación nativa es un tipo de cobertura de gran importancia, ya que en esta se alberga la biodiversidad vegetal de la ciudad, además, este tipo de coberturas son de las más afectadas por fenómenos como El Niño y el calentamiento global, por lo que al llegar a estar comprometida con incendios forestales, se estaría comprometiendo de manera sensible la biodiversidad del país y la ciudad. Este tipo de cobertura tiene un área media de afectación de 23029.94 ha, con un mínimo de afectación de 0 ha en las localidad de Engativa, Kennedy y Tunjuelito, y siendo la localidad más comprometida con la perdida de este tipo de cobertura Ciudad Bolívar con 377552.3 ha. Adicional, se realizó una prueba de Jarque-Bera, con la cual se rechaza la normalidad de los datos con un p-valor < 0.05 (Cuadro 5.4).

Se tiene que todas las localidades del estudio presentan una perdida de vegetación nativa, pero destaca Ciudad Bolívar, donde la frontera del área urbana va cediendo y a la vez se compromete un tipo de cobertura con vegetación propia de Bogotá, además, los episodios de perdida de esta cobertura no son tan grandes en cantidad de área, excepto en Ciudad Bolívar.

#### 5.1.5 Análisis descriptivo de la cobertura Pastos

Los pastos son un tipo de cobertura vegetal que pueden estar delimitando el limite de expansión de la zona urbana, por lo que su afectación debería ser poca, ya que es

Estadístico	Valor (ha)
Media	23029.94
Mediana	1725
Máximo	377552.3
Mínimo	0.00
Desviación Estándar	73988.15
Jarque-Bera	0.0000

Cuadro 5.4: Estadística descriptiva de la vegetación nativa comprometida en incendios forestales

una cobertura que se esta generando en detrimento de las demás, pero su contribución a los incendios forestales debería ser alta, ya que en este tipo de cobertura se acumulan matorrales, desechos de material vegetal y demás elemento con alto potencial combustible. Presenta una media de 4449.54 ha, con un mínimo de 0 ha en varias localidades y un máximo de 131326.2 ha en la localidad de Ciudad Bolívar, teniendo que, en general, los episodios de quema de pastos tienen pequeñas áreas de afectación, pero se presento un episodio de gran impacto en Ciudad Bolívar que afecto directamente esta cobertura. Adicional, se realizó una prueba de Jarque-Bera, con la cual se rechaza la normalidad de los datos con un p-valor < 0.05 (Cuadro 5.5).

Estadístico	Valor (ha)
Media	4449.54
Mediana	1.2e-10
Máximo	131326.2
Mínimo	0.00
Desviación Estándar	23964.65
Jarque-Bera	0.0000

Cuadro 5.5: Estadística descriptiva del pasto comprometido en incendios forestales

Se observa que la localidad de Ciudad Bolívar pasó por un proceso de amplia afectación de los pastos, repercutiendo negativamente en este tipo de cobertura, al punto que es el tipo de cobertura más afectada en este estudio.

### 5.1.6 Análisis descriptivo de la cobertura Retamo

El retamo es un tipo de cobertura dominado por dos especies exóticas invasoras, principalmente el retamo espinoso, una especie que produce componentes pirogénicos, los cuales pueden favorecer el inicio de incendios forestales, es un tipo de cobertura que se ve favorecida en crecimiento con los incendios forestales, ya que esos fenómenos le permiten abrirse campo a las plantas que la componen para invadir nuevas áreas y establecerse.

Es un tipo de cobertura presente en todas las localidades, con una afectación mínima de 0 ha en todas las localidades, excepto Usaquén y Suba, y con una afectación máxima por incendios de 24793.73 ha en la localidad de Ciudad Bolívar. Adicional, se realizó una prueba de Jarque-Bera, con la cual se rechaza la normalidad de los datos con un  $p\text{-valor} < 0.05$  (Cuadro 5.6).

Estadístico	Valor (ha)
Media	2195.6
Mediana	25
Máximo	24793.73
Mínimo	0.00
Desviación Estándar	6260.614
Jarque-Bera	0.0000

Cuadro 5.6: Estadística descriptiva del pasto comprometido en incendios forestales

Se observa que se presentan episodios de quemas grandes, comprometiendo amplias extensiones de tierra con este tipo de cobertura, pero debido a su potencial de propagación en incendios, puede que con el tiempo no se vea la afectación al retamo, pero sí que este en su crecimiento comprometa coberturas vegetales aledañas.

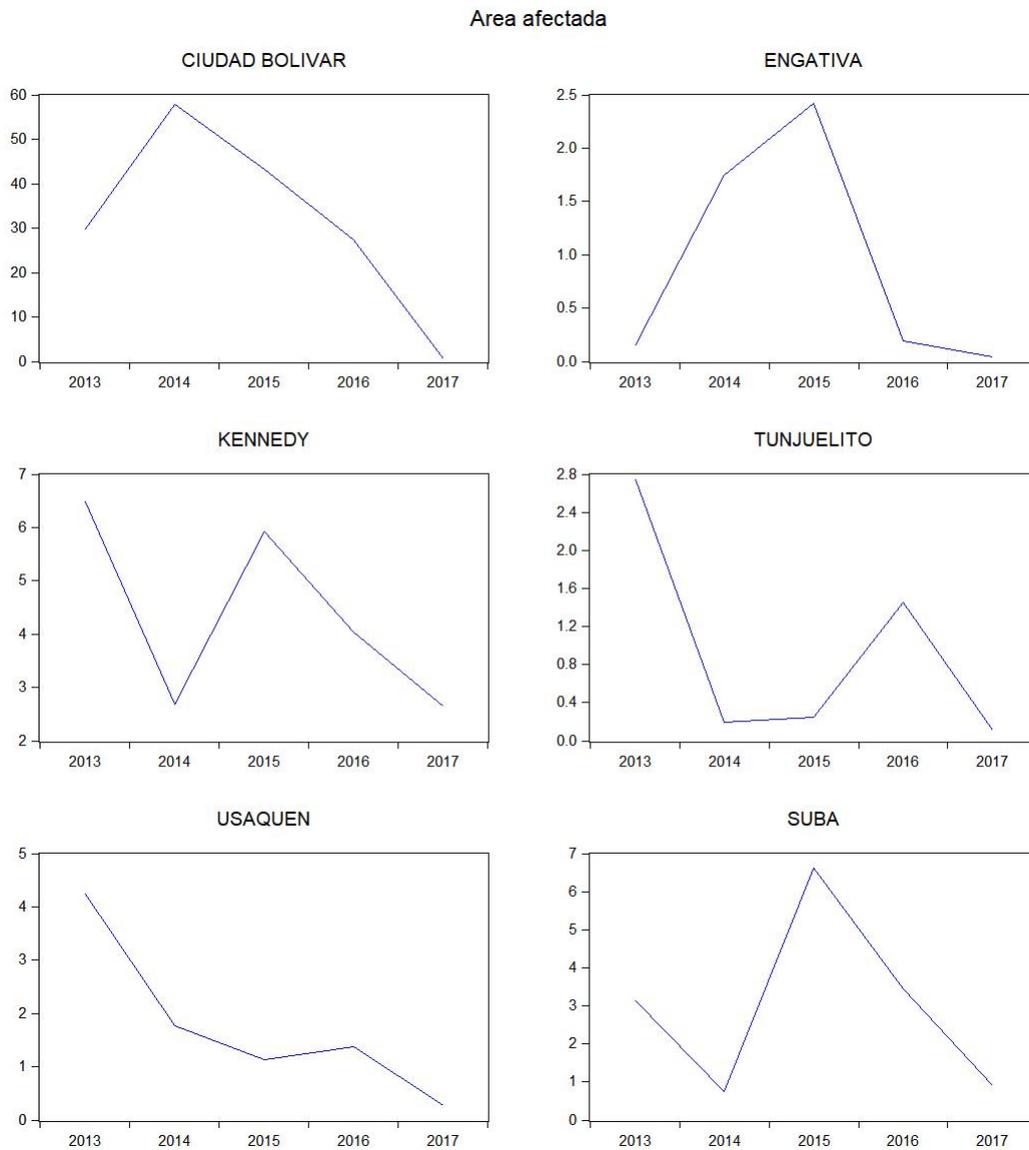
### 5.1.7 Análisis gráfico preliminar

Si los incendios forestales obedecieran enteramente a factores de calentamiento global o fenómenos como El Niño, se esperaría que tuvieran un comportamiento similar en todas las localidades de Bogotá, pero, en las 6 localidades de estudio se observan picos de mayor afectación en diferentes temporadas, reforzando así el reporte de Secretaría Distrital de Ambiente que la mayoría de los incendios forestales en Bogotá tienen como origen actividad antrópica.

Algo común en todas las variables es una tendencia a la baja en el tiempo (Cuadro 5.1) del área afectada, acentuada para el año 2017, pero con picos de crecimiento diferentes en cada una dentro del periodo de estudio, lo que nos puede estar indicando que los incendios aumentaron en otras localidades o que el aumento de los incendios forestales en Bogotá no ha implicado en un aumento del área afectada, además, esos crecimientos en cada localidad refuerzan la idea del origen antrópico dada la aleatoriedad con la que aparentemente se presentan esos crecimientos en el área afectada.

Puede ser pertinente evaluar con respecto a los datos históricos de los incendios forestales en Bogotá para ver cómo se comportan los datos para permitir entender la tendencia al aumento en los incendios que reporta la Secretaría Distrital de Ambiente, aunque el

Figura 5.1: Parámetros de evaluación del modelo



problema radica en que esos datos no están discriminados por localidad en el tiempo, por lo que terminaría siendo una comparación con respecto al registro para el total de eventos en Bogotá.

## 5.2 Contrastes de medias y varianzas

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante el contraste de medias y varianzas, indispensable para evaluar la igualdad de las medias y varianzas para las coberturas evaluadas y la altitud dentro del modelo, indicando si las muestras son independientes o dependientes entre sí, en función de si las observaciones de las muestras se

han obtenido de los mismos o diferentes individuos u objetos, por lo que deben realizar test que comprueben la independencia de las observaciones. Para el test de las medias se emplea el estadístico F para la prueba de Anova (Gómez, H., 2009), y sobre la homogeneidad o igualdad de las varianzas el estadístico de Bartlett, Levene y Brown-Forsythe (Correa, *et Al*, 2006).

•**Test de Medias:** Se tienen muestras independientes e idénticamente distribuidas de varios individuos (localidades de Bogotá), por tanto para el contraste de hipótesis que se denota de este modo:

$$H_0 = \mu_i = \mu_k \quad (5.0)$$

$$H_1 = \mu_i \neq \mu_k \quad (5.0)$$

Donde  $H_0$  es la hipótesis nula que denota la igualdad de medias  $\mu$  entre el i-ésimo individuo y el k-ésimo individuo.

•**Test de Varianzas:** Este tipo de contraste de hipótesis se denota como:

$$H_0 = \sigma_i^2 = \sigma_k^2 \quad (5.0)$$

$$H_1 = \sigma_i^2 \neq \sigma_k^2 \quad (5.0)$$

Donde  $H_0$  es la hipótesis nula que denota la igualdad de varianzas  $\sigma$  entre el i-ésimo individuo y el k-ésimo individuo.

### 5.2.1 Resultados del contraste de medias y varianzas para el área afectada por incendios forestales

En la figura 5.2 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de medias aplicadas (Anova-F y Welch-F), los cuales permiten contrastar la hipótesis de que las medias son iguales, en ambos casos con un p-valor < 0,05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las medias de los individuos (localidades) para la variable "área afectada" son diferentes.

Por otra parte la figura 5.2, también se puede evidenciar dos estimadores de la varianza poblacional que se obtienen a partir de la variación existente entre las medias de los grupos (Between) y de la variación existente entre las puntuaciones de cada grupo (Within), así como la cuantificación de ambas fuentes de variación (Sum of Sq.), los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados (df) y el valor concreto de cada estimador de

Figura 5.2: Resultado de la prueba de igualdad de medias

Test for Equality of Means of AREA\_AFECTADA  
 Categorized by values of AREA\_AFECTADA  
 Date: 06/29/19 Time: 09:52  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Anova F-test	(2, 27)	343.3888	0.0000
Welch F-test*	(2, 1.45535)	146.1559	0.0210

\*Test allows for unequal cell variances

Analysis of Variance

Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.
Between	2	5347.489	2673.745
Within	27	210.2314	7.786348
Total	29	5557.720	191.6455

Category Statistics

AREA_AFE...	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[0, 20)	26	2.124039	2.004540	0.393123
[20, 40)	2	28.59520	1.821924	1.288295
[40, 60)	2	50.57210	10.31782	7.295803
All	30	7.118653	13.84361	2.527486

la varianza (Mean Sq.) Además, la tabla muestra las categorías estadísticas organizadas en intervalos de frecuencias de la variable "área afectada", evidenciando los resultados de la media, la desviación estándar y el error estándar de la media de cada intervalo de frecuencia y de la variable como tal.

En la figura 5.3 se muestran los resultados obtenidos de los estadísticos (Levene y Brown-Forsythe) los cuales permiten contrastar la hipótesis de varianzas iguales. Se observa que el p-valor de las pruebas de Levene y Brown-Forsythe presentan un p-valor < 0.05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las varianzas del área de afectación son diferentes.

### 5.2.2 Resultados del contraste de medias y varianzas para la altitud en m.s.n.m. de incendios forestales

En la figura 5.4 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de medias aplicadas (Anova-F y Welch-F), los cuales permiten contrastar la hipótesis de que las medias son iguales, en ambos casos con un p-valor < 0,05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las medias de los individuos (localidades) para la variable "altitud" son diferentes.

Por otra parte la figura 5.4, también se puede evidenciar dos estimadores de la varianza poblacional que se obtienen a partir de la variación existente entre las medias de los

Figura 5.3: Resultado de la prueba de igualdad de varianzas

Test for Equality of Means of AREA\_AFECTADA  
 Categorized by values of AREA\_AFECTADA  
 Date: 06/29/19 Time: 09:52  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Anova F-test	(2, 27)	343.3888	0.0000
Welch F-test*	(2, 1.45535)	146.1559	0.0210

\*Test allows for unequal cell variances

Analysis of Variance

Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.
Between	2	5347.489	2673.745
Within	27	210.2314	7.786348
Total	29	5557.720	191.6455

Category Statistics

AREA_AFE...	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[0, 20)	26	2.124039	2.004540	0.393123
[20, 40)	2	28.59520	1.821924	1.288295
[40, 60)	2	50.57210	10.31782	7.295803
All	30	7.118653	13.84361	2.527486

Figura 5.4: Resultado de la prueba de igualdad de medias

Test for Equality of Means of ALTITUD  
 Categorized by values of ALTITUD  
 Date: 06/29/19 Time: 10:21  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Anova F-test	(3, 26)	159.8426	0.0000
Welch F-test*	(3, 3.34305)	39.14563	0.0043

\*Test allows for unequal cell variances

Analysis of Variance

Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.
Between	3	785585.1	261861.7
Within	26	42594.42	1638.247
Total	29	828179.6	28557.92

Category Statistics

ALTITUD	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[2400, 2600)	18	2575.068	5.992117	1.412355
[2600, 2800)	5	2668.575	42.55978	19.03331
[2800, 3000)	5	2896.793	79.94607	35.75297
[3000, 3200)	2	3099.381	95.77676	67.72440
All	30	2679.227	168.9909	30.85337

grupos (Between) y de la variación existente entre las puntuaciones de cada grupo (Within), así como la cuantificación de ambas fuentes de variación (Sum of Sq.), los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados (df) y el valor concreto de cada estimador de la varianza (Mean Sq.) Además, la tabla muestra las categorías estadísticas organizadas

en intervalos de frecuencias de la variable "área afectada", evidenciando los resultados de la media, la desviación estándar y el error estándar de la media de cada intervalo de frecuencia y de la variable como tal.

En la figura 5.5 se muestran los resultados obtenidos de los estadísticos (Levene y Brown-Forsythe) los cuales permiten contrastar la hipótesis de varianzas iguales. Se observa que el p-valor de las pruebas de Levene y Brown-Forsythe presentan un p-valor < 0.05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las varianzas de la altura de los incendios son diferentes.

Figura 5.5: Resultado de la prueba de igualdad de varianzas

Test for Equality of Variances of ALTITUD				
Categorized by values of ALTITUD				
Date: 06/29/19 Time: 10:21				
Sample: 2013 2017				
Included observations: 30				
Method	df	Value	Probability	
Levene	(3, 26)	29.82218	0.0000	
Brown-Forsythe	(3, 26)	16.54266	0.0000	

Category Statistics				
ALTITUD	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[2400, 2600)	18	5.992117	5.414102	5.014157
[2600, 2800)	5	42.55978	34.41015	32.82084
[2800, 3000)	5	79.94607	65.42945	62.62247
[3000, 3200)	2	95.77676	67.72440	67.72440
All	30	168.9909	24.40335	23.43067

### 5.2.3 Resultados del contraste de medias y varianzas para el número de incidentes de incendios forestales

En la figura 5.6 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de medias aplicadas (Anova-F), los cuales permiten contrastar la hipótesis de que las medias son iguales, en ambos casos con un p-valor < 0,05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las medias de los individuos (localidades) para la variable "total incidentes" son diferentes.

Por otra parte la figura 5.6, también se puede evidenciar dos estimadores de la varianza poblacional que se obtienen a partir de la variación existente entre las medias de los grupos (Between) y de la variación existente entre las puntuaciones de cada grupo (Within), así como la cuantificación de ambas fuentes de variación (Sum of Sq.), los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados (df) y el valor concreto de cada estimador de la varianza (Mean Sq.) Además, la tabla muestra las categorías estadísticas organizadas en intervalos de frecuencias de la variable "área afectada", evidenciando los resultados

Figura 5.6: Resultado de la prueba de igualdad de medias

Test for Equality of Means of TOTAL\_INCIDENTES  
 Categorized by values of TOTAL\_INCIDENTES  
 Date: 06/29/19 Time: 10:26  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Anova F-test	(3, 26)	73.48198	0.0000

Analysis of Variance

Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.
Between	3	33026.17	11008.72
Within	26	3895.197	149.8153
Total	29	36921.37	1273.151

Category Statistics

TOTAL_IN...	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[0, 50)	22	24.77273	10.32303	2.200877
[50, 100)	6	70.66667	18.20623	7.432661
[100, 150)	1	114.0000	NA	NA
[150, 200)	1	170.0000	NA	NA
All	30	41.76667	35.68124	6.514473

de la media, la desviación estándar y el error estándar de la media de cada intervalo de frecuencia y de la variable como tal.

En la figura 5.7 se muestran los resultados obtenidos de los estadísticos (Levene y Brown-Forsythe) los cuales permiten contrastar la hipótesis de varianzas iguales. Se observa que el p-valor de las pruebas de Levene y Brown-Forsythe presentan un p-valor  $< 0.05$ , por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las varianzas del número total de incidentes son diferentes.

Figura 5.7: Resultado de la prueba de igualdad de varianzas

Test for Equality of Variances of TOTAL\_INCIDENTES  
 Categorized by values of TOTAL\_INCIDENTES  
 Date: 06/29/19 Time: 10:29  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Levene	(3, 26)	6.136905	0.0027
Brown-Forsythe	(3, 26)	5.169042	0.0062

Category Statistics

TOTAL_IN...	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[0, 50)	22	10.32303	8.884298	8.863636
[50, 100)	6	18.20623	16.00000	16.00000
[100, 150)	1	NA	0.000000	0.000000
[150, 200)	1	NA	0.000000	0.000000
All	30	35.68124	9.715152	9.700000

## 5.2.4 Resultados del contraste de medias y varianzas para los pastos afectados por incendios forestales

En la figura 5.8 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de medias aplicadas (Anova-F y t-test), los cuales permiten contrastar la hipótesis de que las medias son iguales, en ambos casos con un p-valor < 0,05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las medias de los individuos (localidades) para la variable "Pastos" son diferentes.

Figura 5.8: Resultado de la prueba de igualdad de medias

Test for Equality of Means of PASTOS				
Categorized by values of PASTOS				
Date: 06/29/19 Time: 10:37				
Sample: 2013 2017				
Included observations: 30				
Method	df	Value	Probability	
t-test	28	-477.2922	0.0000	
Anova F-test	(1, 28)	227807.8	0.0000	
Analysis of Variance				
Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.	
Between	1	1.67E+10	1.67E+10	
Within	28	2046803.	73100.12	
Total	29	1.67E+10	5.74E+08	
Category Statistics				
PASTOS	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[0, 50000)	29	74.48276	270.3703	50.20651
[100000, 1...	1	131326.2	NA	NA
All	30	4449.540	23964.65	4375.326

Por otra parte la figura 5.8, también se puede evidenciar dos estimadores de la varianza poblacional que se obtienen a partir de la variación existente entre las medias de los grupos (Between) y de la variación existente entre las puntuaciones de cada grupo (Within), así como la cuantificación de ambas fuentes de variación (Sum of Sq.), los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados (df) y el valor concreto de cada estimador de la varianza (Mean Sq.) Además, la tabla muestra las categorías estadísticas organizadas en intervalos de frecuencias de la variable "área afectada", evidenciando los resultados de la media, la desviación estándar y el error estándar de la media de cada intervalo de frecuencia y de la variable como tal.

En la figura 5.9 se muestran los resultados obtenidos de los estadísticos (Levene y Brown-Forsythe) los cuales permiten contrastar la hipótesis de varianzas iguales. Se observa que el p-valor de las pruebas de Levene y Brown-Forsythe presentan un p-valor < 0.05,

por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las varianzas del pasto son diferentes.

Figura 5.9: Resultado de la prueba de igualdad de varianzas

Test for Equality of Variances of PASTOS  
 Categorized by values of PASTOS  
 Date: 06/29/19 Time: 10:38  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Levene	(1, 28)	0.314774	0.5792
Brown-Forsythe	(1, 28)	0.073362	0.7885

Category Statistics

PASTOS	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[0, 50000)	29	270.3703	133.4174	74.48276
[100000, 1...	1	NA	0.000000	0.000000
All	30	23964.65	128.9701	72.00000

### 5.2.5 Resultados del contraste de medias y varianzas para el retamo afectado por incendios forestales

En la figura 5.10 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de medias aplicadas (Anova-F y t-test), los cuales permiten contrastar la hipótesis de que las medias son iguales, en ambos casos con un p-valor < 0,05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las medias de los individuos (localidades) para la variable Retamo”son diferentes.

Figura 5.10: Resultado de la prueba de igualdad de medias

Test for Equality of Means of RETAMO  
 Categorized by values of RETAMO  
 Date: 06/29/19 Time: 10:44  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Anova F-test	(2, 27)	1347.508	0.0000

Analysis of Variance

Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.
Between	2	1.13E+09	5.63E+08
Within	27	11274699	417581.4
Total	29	1.14E+09	39195294

Category Statistics

RETAMO	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[0, 5000)	27	369.0000	658.4159	126.7122
[5000, 10000)	1	6400.000	NA	NA
[20000, 25...	2	24752.50	58.31800	41.23706
All	30	2195.600	6260.614	1143.027

Por otra parte la figura 5.10, también se puede evidenciar dos estimadores de la varianza poblacional que se obtienen a partir de la variación existente entre las medias de los grupos (Between) y de la variación existente entre las puntuaciones de cada grupo (Within), así como la cuantificación de ambas fuentes de variación (Sum of Sq.), los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados (df) y el valor concreto de cada estimador de la varianza (Mean Sq.) Además, la tabla muestra las categorías estadísticas organizadas en intervalos de frecuencias de la variable "área afectada", evidenciando los resultados de la media, la desviación estándar y el error estándar de la media de cada intervalo de frecuencia y de la variable como tal.

En la figura 5.11 se muestran los resultados obtenidos de los estadísticos (Levene y Brown-Forsythe) los cuales permiten contrastar la hipótesis de varianzas iguales. Se observa que el p-valor de las pruebas de Levene y Brown-Forsythe presentan un p-valor > 0.05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para aceptar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95%, es decir, las varianzas del retamo son iguales.

Figura 5.11: Resultado de la prueba de igualdad de varianzas

Test for Equality of Variances of RETAMO				
Categorized by values of RETAMO				
Date: 06/29/19 Time: 10:45				
Sample: 2013 2017				
Included observations: 30				
Method	df	Value	Probability	
Levene	(2, 27)	1.362738	0.2730	
Brown-Forsythe	(2, 27)	0.378519	0.6885	

Category Statistics				
RETAMO	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[0, 5000)	27	658.4159	471.1852	369.0000
[5000, 10000)	1	NA	0.000000	0.000000
[20000, 25...]	2	58.31800	41.23706	41.23706
All	30	6260.614	426.8158	334.8491

### 5.2.6 Resultados del contraste de medias y varianzas para la vegetación nativa afectada por incendios forestales

En la figura 5.12 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de medias aplicadas (Anova-F y t-test), los cuales permiten contrastar la hipótesis de que las medias son iguales, en ambos casos con un p-valor < 0,05, por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95%, es decir, las medias de los individuos (localidades) para la variable "Vegetación Nativa" son diferentes.

Por otra parte la figura 5.12, también se puede evidenciar dos estimadores de la varianza poblacional que se obtienen a partir de la variación existente entre las medias de los

Figura 5.12: Resultado de la prueba de igualdad de medias

Test for Equality of Means of VEG\_NAT  
 Categorized by values of VEG\_NAT  
 Date: 06/29/19 Time: 10:52  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Anova F-test	(2, 27)	653.2863	0.0000

Analysis of Variance

Source of Variation	df	Sum of Sq.	Mean Sq.
Between	2	1.56E+11	7.78E+10
Within	27	3.21E+09	1.19E+08
Total	29	1.59E+11	5.47E+09

Category Statistics

VEG_NAT	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err. of Mean
[0, 100000)	28	5199.040	10910.71	2061.930
[100000, 2...	1	167772.9	NA	NA
[300000, 4...	1	377552.3	NA	NA
All	30	23029.94	73988.15	13508.33

grupos (Between) y de la variación existente entre las puntuaciones de cada grupo (Within), así como la cuantificación de ambas fuentes de variación (Sum of Sq.), los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados (df) y el valor concreto de cada estimador de la varianza (Mean Sq.) Además, la tabla muestra las categorías estadísticas organizadas en intervalos de frecuencias de la variable "área afectada", evidenciando los resultados de la media, la desviación estándar y el error estándar de la media de cada intervalo de frecuencia y de la variable como tal.

En la figura 5.13 se muestran los resultados obtenidos de los estadísticos (Levene y Brown-Forsythe) los cuales permiten contrastar la hipótesis de varianzas iguales. Se observa que el p-valor de las pruebas de Levene y Brown-Forsythe presentan un p-valor  $> 0.05$ , por lo que se puede concluir que existe evidencia estadísticamente significativa para aceptar  $H_0$  con un  $\alpha$  del 95 %, es decir, las varianzas de la vegetación nativa son iguales.

## 5.3 Modelo por efectos fijos

### 5.3.1 Construcción del modelo

Se trabajó con un modelo data panel de efectos fijos para evaluar el áreas de afectación de incendios con respecto a las coberturas afectadas, la cantidad de conatos e incendios, además, de la definición de las localidades como las unidades individuales durante el periodo de 2013 al 2017, ya que el modelo se compone por una base de datos mixtos de corte transversal (Mayorga M. & Muñoz S., 2000).

Figura 5.13: Resultado de la prueba de igualdad de varianzas

Test for Equality of Variances of VEG\_NAT  
 Categorized by values of VEG\_NAT  
 Date: 06/29/19 Time: 10:53  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Levene	(2, 27)	0.484786	0.6211
Brown-Forsythe	(2, 27)	0.221904	0.8024

Category Statistics

VEG_NAT	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[0, 100000)	28	10910.71	6339.274	5066.897
[100000, 2...	1	NA	0.000000	0.000000
[300000, 4...	1	NA	0.000000	0.000000
All	30	73988.15	5916.656	4729.104

Se estableció que el modelo para determinar los factores incidentes en el área afectada por incendios forestales es el siguiente:

$$Y_{Afc} = \alpha + \beta_1 Alt_{it} + \beta_2 Inc_{it} + \beta_3 Pst_{it} + \beta_4 Ret_{it} + \beta_5 Vnt_{it} + \epsilon \quad (5.0)$$

donde

- Afc: representada como el área de afectación dada por los incendios y definida como la variable respuesta.
- Alt: determina la altitud de cada una de las localidades para cada uno de los años escogidos.
- Inc: representa la cantidad de conatos e incendios registrados para cada localidad.
- Pst: describe el área de la cobertura de pastos incendiados.
- Ret: es el área registrada de la cobertura de retamo.
- Vnt: representa el área de afectación de la cobertura de vegetación nativa.

### 5.3.2 Validación del modelo

#### Evaluación de parámetros

Los parámetros para tener en cuenta la validez del modelo data panel son la prueba de Durbin-Watson, prueba de que los residuales son independientes, teniendo en cuenta que el valor obtenido en el modelo para la prueba Durbin-Watson es de 2.66 se concluye que los residuales no están autocorrelacionados (Montgomery, Peck, & Vining, 2001). Se obtuvo un  $R^2$  de 99.5 %, lo cual garantiza un buen ajuste del modelo data panel, adicional, el modelo se ajusta a una distribución normal de acuerdo a la prueba de Jarque-Bera con un p-valor de 0.7440. (Figura 5.14)

Se evalúan las variables dentro del modelo a partir de una prueba t-student, partiendo

Figura 5.14: Parámetros de evaluación del modelo

Dependent Variable: AREA\_AFECTADA  
 Method: Panel Least Squares  
 Date: 06/29/19 Time: 05:23  
 Sample: 2013 2017  
 Periods included: 5  
 Cross-sections included: 6  
 Total panel (balanced) observations: 30

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ALTITUD	-0.013053	0.004999	-2.611126	0.0197
TOTAL_INCIDENTES	0.120409	0.021348	5.640233	0.0000
RETAMO	-0.000881	0.000202	-4.370864	0.0005
VEG_NAT	0.000184	1.56E-05	11.76397	0.0000
PASTOS	0.000319	4.90E-05	6.510382	0.0000
C	33.34422	13.27881	2.511084	0.0240

Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)			
Period fixed (dummy variables)			
R-squared	0.989699	Mean dependent var	7.118653
Adjusted R-squared	0.980085	S.D. dependent var	13.84361
S.E. of regression	1.953606	Akaike info criterion	4.484083
Sum squared resid	57.24862	Schwarz criterion	5.184682
Log likelihood	-52.26125	Hannan-Quinn criter.	4.708211
F-statistic	102.9433	Durbin-Watson stat	2.618427
Prob(F-statistic)	0.000000		

de la siguiente hipótesis:

$$H_0 : \beta_i = 0 \tag{5.0}$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 \tag{5.0}$$

Donde cada uno de los parámetros fue evaluado con un  $\alpha$  de 0.1 prefijado para evitar astringencia en el modelo. Con un  $\alpha$  de 0.1 se tiene que todas las variables evaluadas dentro del modelo son significativas, lo cual nos indica que el modelo puede explicarse por cada una de sus variables (Figura 5.14). Dado que todas las variables presentan un  $p$ -valor  $< 0.1$ , se tiene evidencia estadísticamente significativa para aceptar  $H_0$ , por lo que se puede decir que todas las variables son significativas en el modelo, es decir, todas las variables permiten explicar la variable dependiente.

Por lo tanto, la ecuación del modelo sería la siguiente:

$$Y_{Afc} = \alpha - 0,013053Alt + 0,120409Inc + 0,000319Pst - 0,000881Ret + 0,000184Vnt + 33,34 \tag{5.0}$$

Donde 0.013053 es lo que tiene que disminuir la altitud para contribuir a un mayor área de afectación en incendios forestales, 0.120409 es lo que tiene que aumentar la altitud para contribuir a mayores áreas de afectación, 0.000319 es el área de pastos que tiene que

aumentar para contribuir al área afectada por un incendio forestal, 0.000881 es el área de retamo que tiene que disminuir para contribuir a la pérdida de coberturas vegetales por un incendio forestal y 0.000184 es lo que debería aumentar en cobertura para aumentar el área afectada por un incendio forestal (Figura 5.14).

Dentro de los efectos de especificación para el modelo se tiene que el  $R^2$  de la ecuación se evidencia que el 98,95 % de variabilidad de la variable "Área Afectada" (Y) es explicada por el modelo, por tanto, el modelo presenta un muy buen ajuste ya que está cercano a 100 % y con un  $R^2$  ajustado de 98,008 %.

### Efectos fijos del modelo

#### •Efectos por individuo

A partir del modelo de datos panel de efectos fijos, donde la variable respuesta depende de los individuos, los factores y el tiempo, hay dos efectos, el primero es el efecto de cada uno de los individuos, donde se identifica el aporte negativo o positivo y el segundo efecto es el tiempo donde se puede determinar en qué periodo hay más aporte o menos aporte (Cuadro 5.7), teniendo que los efectos positivos provienen de las localidades de Ciudad Bolívar y Usaquén, pero en general, en el último año las áreas afectadas por incendios forestales son menores.

Localidad	Efecto
Ciudad Bolívar	2.571719
Engativa	-0.952215
Tunjuelito	-1.356423
Kennedy	-0.377274
Usaquen	1.635617
Suba	-1.511423

Cuadro 5.7: Contribución en el área de afectación de incendios por localidad en un modelo data panel de efectos fijos

De esto se puede decir que la contribución positiva de Ciudad Bolívar y Usaquén puede ser debida a que fueron de las localidades con más episodios presentados y son de las que más área rural tuvieron comprometida, distinto al caso de localidades como Engativa, Kennedy y Tunjuelito donde su incidencia fue menor. El caso de Suba es interesante, porque si bien tuvo bastantes áreas comprometidas, éstas no comprometían todo tipo de coberturas, lo cual puede estar generando ese efecto negativo en el modelo.

●Efectos por periodo

Además, se identifica que el año en el cual hay un mayor efecto positivo de los incendios forestales en las seis localidades de estudio de acuerdo al modelo de efectos fijos fue el año 2013 (Cuadro 5.8).

Año	Efecto
2013	1.085189
2014	0.419404
2015	-0.955316
2016	0.180075
2017	-0.729352

Cuadro 5.8: Efecto por periodo dentro del modelo data panel

En el anterior cuadro se observa que los años de mayor incidencia son 2013 con un efecto positivo, dado que es el año donde varias de las localidades presentan sus mayores áreas de afectación y los años de 2015 y 2017 por presentar una clara tendencia a la baja, lo cual da un aporte negativo al modelo.

**Autocorrelación**

El Estadístico de Durbin -Watson (DW), permite evaluar el supuesto de correlación de los residuos, donde un valor de DW = 2, significa que no existe autocorrelación, en la figura 5.14 se muestra que DW = 2.61, valor con el que se puede decir que el modelo no tiene problemas de autocorrelación.

**Varianza de los residuales**

Para evaluar el supuesto de varianza constante se parte de la hipótesis de los residuos tienen varianza constante, es decir, son homocedasticos:

$$H_0 : \sigma_i^2 = \sigma_j^2 \tag{5.0}$$

$$H_1 : \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \tag{5.0}$$

Donde se busca aceptar  $H_0$ , demostrando que los residuales son homocedasticos, es decir, la varianza del error condicional a las variables explicativas es constante a lo largo de las observaciones.

En la figura 5.15 se ve que el p-valor es mayor a 0.1, por lo que se puede haber evidencia a favor de aceptar la hipótesis nula, es decir, los residuales son homocedasticos.

Figura 5.15: Evaluación de los residuales del modelo

Test for Equality of Variances of RESID  
 Categorized by values of RESID  
 Date: 06/08/19 Time: 15:53  
 Sample: 2013 2017  
 Included observations: 30

Method	df	Value	Probability
Levene	(3, 26)	3.926419	0.0195
Brown-Forsythe	(3, 26)	2.454561	0.0857

Category Statistics

RESID	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[-4, -2)	1	NA	0.000000	0.000000
[-2, 0)	17	0.486140	0.388117	0.379507
[0, 2)	11	0.727523	0.644100	0.628574
[2, 4)	1	NA	0.000000	0.000000
All	30	1.298505	0.456103	0.445531

Bartlett weighted standard deviation: 0.590769

### Prueba de redundancia de efectos fijos

Esta prueba permite constatar si los efectos fijos del área afectada pueden o no pueden considerarse iguales, determinando si la variable dependiente es redundante para el modelo, se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0 : \text{”El área afectada es redundante para el modelo”} \quad (5.0)$$

$$H_1 : \text{”El área afectada no es redundante para el modelo”} \quad (5.0)$$

El estadístico de las pruebas aplicadas para la sección cruzada (Chi cuadrado) tiene un p-valor de 0.0995, en el resultado se observa que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar  $H_0$  con un  $\alpha$  0.1, es decir, la variable área afectada no es redundante para el modelo, por tanto se puede afirmar que los efectos fijos para las localidades son diferentes (Figura 5.16 ).

Figura 5.16: Prueba de redundancia de efectos fijos

Redundant Fixed Effects Tests  
 Equation: Untitled  
 Test cross-section and period fixed effects

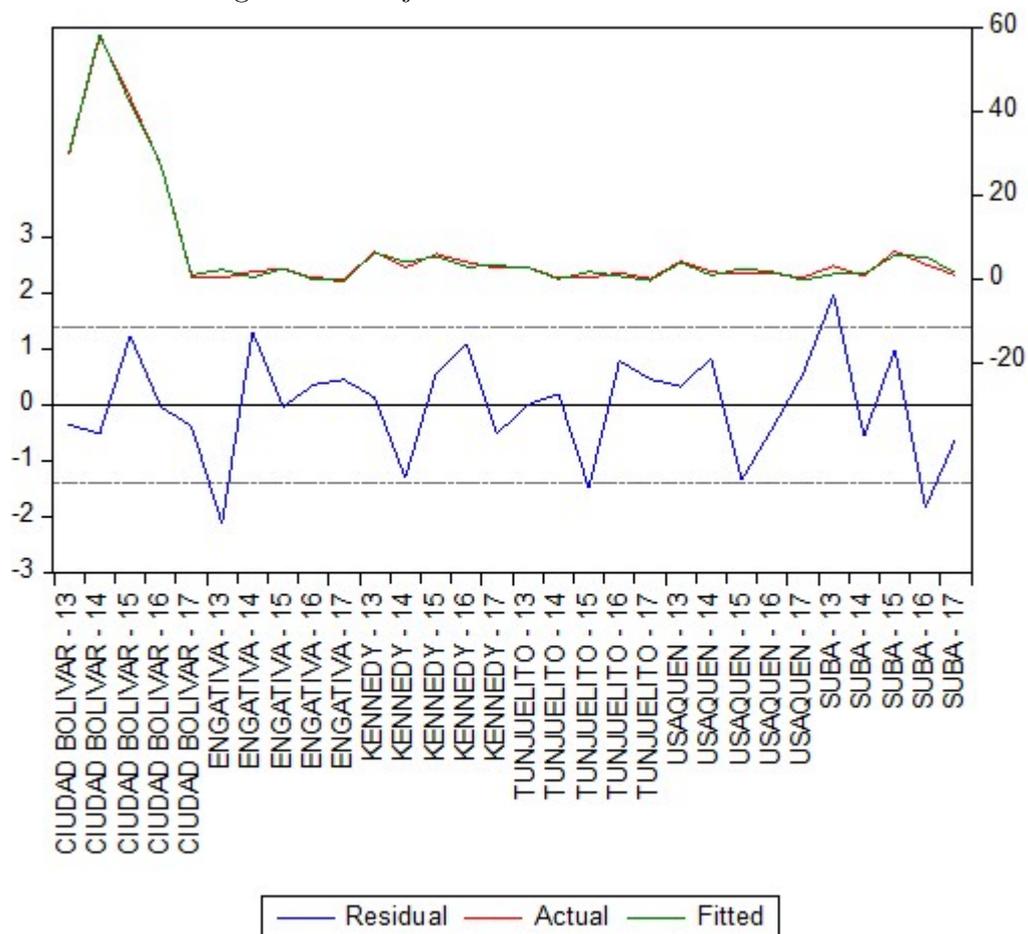
Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Cross-section Chi-square	8.504429	5	0.0995

### Ajuste del modelo

Finalmente, se observa como el modelo estimado tiene un muy buen ajuste (línea verde) con respecto a los datos originales (línea roja), por lo que se puede decir que es un

modelo bien comportado para este tipo de datos y cumple con los supuestos establecidos para el mismo (Figura 5.17), teniendo así un modelo que describe de una manera muy fiel el fenómeno de los incendios forestales respecto a su área de afectación.

Figura 5.17: Ajuste del modelo frente a los datos



Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

## Capítulo 6

# Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo data panel por efectos fijos se concluye que se puede tener un modelo bien comportado que describa de manera eficiente el fenómeno, además de permitir realizar análisis e interpretaciones del fenómeno observado.

Las localidades con efecto positivo dentro del modelo son Ciudad Bolívar y Usaquen y el periodo con mayores efectos fue el comprendido por el año 2013.

La cobertura que presenta mayor incidencia en los incendios forestales dentro del modelo para las localidades evaluadas son los pastos, tal vez por la disposición de residuos vegetales sobre estos o por la condición lignificada de los pastos nativos.

La variable altitud, si bien es representativa dentro del modelo, presenta una incidencia negativa en el mismo, implicando que a mayores altitudes, menores incidencias de los incendios forestales para las seis localidades analizadas.

Se recomienda realizar un seguimiento detallado de la afectación de coberturas vegetales por incendios forestales para las localidades no evaluadas y en periodos de tiempo más frecuentes.

Página dejada en blanco intencionalmente - No forma parte del cuerpo del trabajo.

# Capítulo 7

## Referencias

Pérez Verdín, G., Márquez Linares, M., Cortés Ortiz, A., & Salmerón Macías, M. (2013). Análisis espaciotemporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera bosques* vol.19 no.2, 37-58.

Adhikari, R., & Agrawal, R. (2013). *An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting*.

Amaya-Villabona, D., & Armenteras Pascual, D. (2012). INCIDENCIA DE INCENDIOS SOBRE LA VEGETACIÓN DE CUNDINAMARCA Y BOGOTÁ D.C. (COLOMBIA), ENTRE 2001 Y 2010. *Acta biológica Colombiana*, 143 - 158.

Balestra, P. (1996). Fixed effect models and fixed coefficient models, in: Mátyás, L., Sevestre, P., editors, *The Econometrics of Panel Data*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Ch. 3.

Baronio, A., & Vianco, A. (Noviembre de 2014). Datos panel -Guía para el uso de Eviews

Bohorquez Herrera, M., & Pinilla Rivera, E. (2013). Macroproyecto: Conociendo Las Plantas Nativas Conservamos La Biodiversidad- Estudio De Caso “Escuela Francisco José De Caldas”, En La Vereda Campo Alegre En El Municipio De Villahermosa Tolima.

Botia Flechas, C., Vargas Vargas, W., & Rincón Villalba, M. (2011). *Altimetría*. Bogotá

Calvachi Zambrano, B. (2002). Una mirada regional -La biodiversidad bogotana. *Revista La Tadeo* No. 67, 89 - 98

Camelo Salamanca, D. (Junio de 2015). Evaluación del estado sucesional actual de las áreas restauradas y con invasión previa de *Ulex europaeus L.* en los Cerros Orientales de Bogotá.

Castell, R. (2012). Incendios Forestales. Tipos de incendios Triangulo del fuego forestal. Curso básico de Bomberos de Navarra.

Castellnou, M., & Miralles, M. (2009). Patrones de propagación de incendios forestales y su uso para la planificación.

Castillo Vera, F., & Loayza Vallejos, N. (2016). Determinantes de la rentabilidad de las cajas rurales de ahorro y crédito 2010-2014. Trujillo - Perú.

Centro de Prevención de Desastres Secretaria de Gobernación. (2008). Incendios Forestales

Comisión Nacional Forestal. (2010). Incendios forestales Guía práctica para comunicadores. México

Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. Revista Colombiana de Estadística, 29(1), 57–76.

EL DINAMO. (2015). Incendios subterráneos: el extraño fenómeno que afecta a la Región de Los Lagos calentando la tierra a 600 grados. EL DINAMO, AMBIENTE

FAO (2001). The Global Forest Resources Assessment 2000 - main report. Estudio FAO Montes N° 140. Roma.

Garcia, F. (2001). Reconocimiento hidrogeológico de humedales en la cuenca del Segura. VII Simposí de Hidrogeología. Murcia.

Gómez, H. (2009). Estadística, 271. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2010/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias -FOPAE. (s.f.). Estudio de la caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo. Bogotá D.C

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER (2019). Ca-

racterización General del Escenario de Riesgo por Incendio Forestal. Recuperado de <https://www.idiger.gov.co/rincendiof> el 08/06/2019

Kiefer, N. (1980), Estimation of fixed effect models for time series of cross-sections with arbitrary intertemporal Covariance. *Journal of Econometrics*, 14: 195–202. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304407680900901>

Kirchässner, G., & Wolters, J. (2007). *Introduction to modern time series analysis*. Germany

Labra, R., Y Torrecillas, C. (2014). Guía CERO para datos de panel . Un enfoque práctico. Cátedra UAM-Accenture En Economía Y Gestión de La Innovación. 16. 1–61.

Mayorga M., & Muñoz S., E. (2000). *La técnica de datos de panel - Una guía para su uso e interpretación*. Costa Rica: Banco Central de Costa Rica.

Moreno, L. A., Rueda, C. y Andrade, G. I. (Eds.). 2018. *Biodiversidad 2017. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 84p.

Nasi, R., Dennis, R., Meijaard, E., Applegate, G. & Moore P. (2002). Los incendios forestales y la diversidad biológica. FAO. Artículo se ha adaptado de un documento preparado por los autores para la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y3582s/y3582s08.htm>

Nickell, S. (1981). Biases in Dynamic Models with Fixed Effects. *Econometrica*, 49(6), 1417–1426.

ONU (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment-desarrollo-sostenible/>

Payares, D. (2012). Estimación del potencial de valorización del suelo en Barranquilla en el periodo 2001-2011. Estimación de efectos fijos en datos de panel. *Revista de Economía Del Caribe*, 10, 65–91.

Perazzi, J., Y Merli, G. (2013). Modelos de regresión de datos panel y su aplicación en la evaluación de impactos de programas sociales. *Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 15(1), 119–127.

Perez, G., Marquez, M., Cortez, A. & Salmeron, M (2013). Análisis espaciotemporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera Bosques*. Vol 19(2) pp 37-58.

SIAC (2019). Sistema de Información Ambiental de Colombia - Incendios de la cobertura vegetal. Recuperado de <http://www.siac.gov.co/incendios>