

**SEMILLERO DE INVESTIGACION: ANALISIS DE VULNERABILIDAD  
AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE TUNJA UNA HERRAMIENTA PARA LA  
GESTION DEL RIESGO**

**DANIEL FELIPE BUITRAGO GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS- SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**TUNJA**

**2019**

**SEMILLERO DE INVESTIGACION: ANALISIS DE VULNERABILIDAD  
AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE TUNJA UNA HERRAMIENTA PARA LA  
GESTION DEL RIESGO**

**DANIEL FELIPE BUITRAGO GONZALEZ**

**INFORME DE GRADO SEMILLERO DE INVESTIGACION PARA OPTAR POR  
EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**ASESOR(A): ING. LAURA NATALIA GARAVITO RINCON**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS-SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**TUNJA**

**2019**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

---

**Director**

Tunja, 12 de Noviembre de 2019

A Dios toda la honra y la gloria para él, a mis padres y hermano por su apoyo incondicional y amor. A mi novia, por su confianza en mí y por su amor incondicional para conmigo. Igualmente, a los habitantes encuestados y las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial de la ciudad de Tunja por su tiempo y disposición.

## CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	8
INTRODUCCION	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
3. ESTADO DEL ARTE	12
4. METODOLOGIA	18
4.1 ZONA DE ANÁLISIS	18
4.2 EXPOSICIÓN AMBIENTAL	19
4.3 SENSIBILIDAD AMBIENTAL	22
4.4 CAPACIDAD ADAPTATIVA AMBIENTAL	24
4.5 VULNERABILIDAD AMBIENTAL	24
5. RESULTADOS	26
5.1 EXPOSICIÓN AMBIENTAL	26
5.2 SENSIBILIDAD AMBIENTAL	27
5.3 CAPACIDAD ADAPTATIVA AMBIENTAL	29
5.4 VULNERABILIDAD AMBIENTAL	30
6. DISCUSION Y CONCLUSIONES	33
ANEXOS EN MEDIO MAGNETICO	36
BIBLIOGRAFIA	37

## LISTA DE TABLAS

	Pag
<b>Tabla 1.</b> Proyección de población de las zonas urbanas de la ciudad de Tunja	20
<b>Tabla 2.</b> Cálculo de la exposición ambiental de la ciudad de Tunja por indicador	21
<b>Tabla 3.</b> Peso de exposición ambiental adicional con respecto a la cantidad de habitantes por zona	21
<b>Tabla 4.</b> Cantidad de encuestas por zona con respecto al porcentaje de población correspondiente	23
<b>Tabla 5.</b> Matriz de valoración de vulnerabilidad ambiental (Christopher & Vicente, 2014 )	25
<b>Tabla 6.</b> Matriz de exposición ambiental de la ciudad de Tunja	26
<b>Tabla 7.</b> Valoración porcentual de la exposición ambiental de la ciudad de Tunja	26
<b>Tabla 8.</b> Valoración de exposición ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja	27
<b>Tabla 9.</b> Matriz de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja	28
<b>Tabla 10.</b> Valoración porcentual de la sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja	28
<b>Tabla 11.</b> Valoración de sensibilidad ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja	29
<b>Tabla 12.</b> Matriz de capacidad adaptativa ambiental de las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial de la ciudad de Tunja	30
<b>Tabla 13.</b> Matriz de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja	30
<b>Tabla 14.</b> Valoración porcentual de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja	31
<b>Tabla 15.</b> Valoración de vulnerabilidad ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja	31

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag</b>
<b>Figura 1.</b> Metodología de análisis de vulnerabilidad ambiental	18
<b>Figura 2.</b> Mapa de zonificación y localización de la ciudad de Tunja	19
<b>Figura 3.</b> Mapa de exposición ambiental de la ciudad de Tunja	27
<b>Figura 4.</b> Mapa de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja	29
<b>Figura 5.</b> Mapa de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja	31

## RESUMEN

El presente trabajo, establece el grado de vulnerabilidad de la ciudad de Tunja a través de la evaluación de 13 indicadores ambientales distribuidos en exposición ambiental, sensibilidad ambiental y capacidad adaptativa ambiental como ejes fundamentales de análisis de vulnerabilidad ambiental. El análisis de la vulnerabilidad ambiental, se desarrolló con base en una combinación metodológica constructivo-determinista a través del procesamiento geográfico y la aplicación de encuestas de sensibilidad y capacidad adaptativa ambiental a una muestra poblacional de 390 habitantes de la ciudad de Tunja y 20 funcionarios de las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial locales, respectivamente. Los indicadores fueron procesados para obtener como productos, matrices de evaluación de vulnerabilidad ante los ejes de análisis mencionados y el producto cartográfico correspondiente a estos. El desarrollo de la metodología, dio como resultado que tres de las diez zonas urbanas de la ciudad presentan un ALTO valor de vulnerabilidad ambiental ,específicamente, barrios como Mirador Escandinavo, Sierra y Ciudad Jardín son los más vulnerables, esto debido a una exposición ambiental ALTA en indicadores como inundación e incendios forestales, una BAJA sensibilidad ambiental en cuanto al indicador correspondiente al conocimiento ambiental y una BAJA capacidad adaptativa ambiental en indicadores como cobertura normativa y educación ambiental

**Palabras clave:** Vulnerabilidad ambiental, exposición ambiental, sensibilidad ambiental, capacidad adaptativa ambiental

## INTRODUCCION

En décadas recientes, el análisis de vulnerabilidad ambiental se ha convertido en el punto de partida para la optimización de la gestión del riesgo en las grandes urbes de Latinoamérica y del mundo<sup>1</sup>. Dada la complejidad del cambio climático actual y las características intrínsecas del medio social, el estudio de vulnerabilidad ambiental es un proceso cada vez más complejo y objetivo<sup>2</sup>, que recurre a metodologías de evaluación rigurosas y tecnificadas, dependientes de la profundidad del análisis y su dimensión valorativa ya sea en el ámbito social, económico o ambiental<sup>3</sup>.

Recientemente, las metodologías de evaluación se han estandarizado dentro de dos categorías<sup>4</sup>, la primera referida como constructivista, la cual tiende a ser de contexto cualitativo que cuenta con procedimientos como la encuesta y las aproximaciones etnográficas<sup>5</sup>, la segunda como categoría determinista<sup>6</sup>, la cual tiende a tomar un contexto cuantitativo que opta por procedimientos de modelación dosis-respuesta, modelación integrada y aproximaciones basadas en escenarios. A estas metodologías, responden los estudios que se han hecho a nivel internacional en donde Pardowitz<sup>7</sup>, recurriendo a información primaria de indicadores ambientales y físicos de la ciudad de Berlín – Alemania, establece una probabilidad de ocurrencia de incendios forestales locales y lo procesa en un modelo cartográfico en línea. Igualmente, en esta misma zona geográfica se encuentra la metodología constructivista desarrollada por CARE<sup>8</sup>, en donde la

---

<sup>1</sup>Comité, M., Recursos, R. De, Universidad, G., Rica, D. C., & Ramírez, P. (2013). *Gestión del riesgo ambiental, amenazas y pronósticos*. 44–49.

<sup>2</sup>Durán Gil, C. A. (2017). Análisis espacial de las condiciones de vulnerabilidad social, económica, física y ambiental en el territorio colombiano. *Perspectiva Geográfica*, 22(1).  
<https://doi.org/10.19053/01233769.5956>

<sup>3</sup>Sanchez-Rodriguez, R. (2013). El cambio climático y las áreas urbanas de América Latina: a manera de introducción. *Respuestas Urbanas Al Cambio Climático En América Latina*, 9–24. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Respuestas+urbanas+al+cambio+clim+o+en+Am+rica+Latina#4>

<sup>4</sup>IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2017. Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

<sup>5</sup>Ibid.

<sup>6</sup>IPCC. (2001). IPCC. Retrieved from Vulnerabilidad y Cambio climático website: <https://www.ipcc.ch/>

<sup>7</sup>Pardowitz, T. (2018). A statistical model to estimate the local vulnerability to severe weather. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(6), 1617–1631. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1617-2018>

<sup>8</sup>CARE International. (2010). Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática. *Manual Para El Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática (CVCA)*, 52. Retrieved from [www.careclimatechange.org](http://www.careclimatechange.org)

población de estudio es el instrumento guía de diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad ambiental frente a los factores hidroclimatológicos y socio-naturales que los atañe. Los casos Latinoamericanos, basan sus metodologías de evaluación en una combinación equitativa entre las dos categorías de evaluación<sup>9</sup>. Es el caso de Aguirre *et al*<sup>10</sup>, en la que la valoración de vulnerabilidad ambiental, opta por la adaptación de información climática y correlacionarla con la proyección de población, identificando “estresores” y “amortiguadores” del cambio climático hacia los habitantes de la región sur de Ecuador. En Colombia, ciudades como Bogotá, Medellín y Neiva lideran, la evaluación de vulnerabilidad ambiental a través de la conjugación de las categorías de valoración<sup>11</sup>, tomando escenarios de proyección climática y correlacionando los datos con el índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI) en las localidades de las ciudades en mención. Naturalmente, el aporte significativo de esta investigación incidirá en los ámbitos sociales y ambientales de la ciudad y sus habitantes, pues hará de la calidad de vida, en un futuro, un valor creciente, siempre y cuando, se tenga en cuenta los resultados del proyecto de investigación y las medidas de gestión y manejo que este sugiera. La investigación tiene como objetivo principal, establecer el grado de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja, con el fin de suministrar una información actualizada del estado ambiental de la ciudad enmarcado dentro de los ejes de exposición ambiental, sensibilidad ambiental y capacidad adaptativa ambiental.

---

<sup>9</sup>Edenhofer, O., Pichs, R., & Sokono, Y. (2014). Cambio climático 2014. *Resumen Para Las Responsabilidades Políticas*, 33. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>

<sup>10</sup>Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda Luna, T., & Aguirre Mendoza, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. *Serie de estudios de biodiversidad I*, 39-44.

<sup>11</sup>IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Op cit

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer el grado de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja con el fin de suministrar una información actualizada del estado ambiental de la ciudad enmarcado dentro de los ejes de exposición ambiental, sensibilidad ambiental y capacidad adaptativa ambiental.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Realizar un análisis de vulnerabilidad ambiental zonificado a partir de los resultados de la información obtenida de las encuestas de sensibilidad y capacidad adaptativa ambiental y la correlación cartográfica

Sugerir medidas de corrección y mitigación ambiental con base en los resultados del procesamiento de la información obtenida de las encuestas de sensibilidad y capacidad adaptativa ambiental y la correlación cartográfica.

Mostrar los resultados del análisis de vulnerabilidad ambiental a través de modelos cartográficos digitales.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Para este apartado, la evaluación de vulnerabilidad ambiental en distintos contextos ha permitido contemplar y entender el marco metodológico para dicha evaluación.

Adamo<sup>12</sup>recurre a una metodología de evaluación de vulnerabilidad ambiental tomando como ejes de estudio los impactos ambientales potenciales hacia la población. Primero, se integraron fuentes de información tanto espacial como indicativa del sistema de información geográfica local, luego, se escogieron las variables de análisis y estudio, estas deben permitir dar cuenta de las características de la amenaza y riesgo que se tiene en la zona de análisis y por último el procesamiento de los datos en un modelo SIG. Como resultado de la investigación localizada en Argentina y Uruguay dan cuenta de la heterogeneidad de las vulnerabilidades ambientales encontradas y distribuidas espacialmente, donde dichos resultados se correlacionan con la afectación de la población respecto a los riesgos y amenazas presentes.

En el contexto europeo se logró encontrar un estudio similar al anterior realizado por Pardowitz<sup>13</sup> donde, presenta un análisis espacial de los eventos hidroclimatológicos extremos que se dan en las inmediaciones de la ciudad de Berlín - Alemania. Esto se desarrolló a partir de una metodología estadística y analítica, recurriendo a información primaria de indicadores ambientales y físicos de la ciudad, entre ellos, valores de temperatura, precipitación, topografía y uso del suelo; luego, por medio de técnicas estadísticas procedieron a determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, en especial, incendios forestales locales. Por último, concibieron el modelo cartográfico, acoplado dichos datos obtenidos con el proyecto OPENSTREETMAP. Como resultado, el autor logro obtener que las amenazas hidroclimatológicas eran las más incidentes en la problemática del indicador de incendio forestal que allí ocurría, de acuerdo con el análisis, se trata de que las muy bajas temperaturas y las inundaciones dan cuenta de dicha vulnerabilidad.

El estudio de Duran<sup>14</sup> trata la temática de vulnerabilidad global, desde ópticas económicas, físicas, demográficas y ambientales, conjugando un análisis espacial, el cual se sustenta en una metodología estadística y probabilística de alta complejidad. Dicha metodología comprende en primer lugar , obtención de datos (indicadores) de todos los ámbitos analizados , debido a la diferencia marcada de los indicadores desde cada uno de los ámbitos , se normalizaron dichos datos con métodos estadísticos como Z-score , "I" de Morón y P-valor , que permitieron a estos

---

<sup>12</sup> Adamo, S. B. (n.d.). *Riesgo ambiental, vulnerabilidad social y cambio poblacional en Argentina: explorando asociaciones entre heterogeneidades espaciales* 1 Susana B. Adamo 2. 16–17.

<sup>13</sup> Pardowitz, Op.cit

<sup>14</sup> Durán Gil, C. A Op.cit

datos , convertirse en nuevos indicadores , que se mayoraron con valores ponderados con el fin de poder determinar un índice general por cada aspecto siendo el de interés el "IVA" (Índice de Vulnerabilidad Ambiental ).Por último, procesaron los datos en un sistema de información geográfica , para su mejor comprensión espacial. El artículo se acopla íntegramente con la investigación, debido a que la metodología utilizada, permite visualizar la vulnerabilidad ambiental de una manera pragmática en el sentido cartográfico y la complejidad de la metodología hace que dichos valores de vulnerabilidad sean más confiables.

Cabe destacar que estos últimos estudios se concentran geográficamente en Colombia, luego se puede deducir que potencialmente el territorio colombiano, es un área de explotación investigativa sobre el tema, debido a la necesidad que hay de prevenir y mitigar los impactos ambientales originados por la propia configuración hidrometeorológica del país, el cambio climático y la acción antrópica en el territorio.

Así mismo , existen metodologías con una concepción más social e interactiva con las características socio-naturales de una comunidad, llevando a cabo, un análisis cualitativo de los factores hidroclimáticos y socio-naturales que inciden en la sociedad de estudio, los cuales son tomados a partir de registros históricos de eventos hidroclimatológicos o a través de la respuesta generada por la población, esta última dada, por medio de encuestas, talleres y juntas de participación ciudadana que vislumbren una aproximación de la vulnerabilidad ambiental de la región de estudio. Es el caso que expone CARE<sup>15</sup>, una agencia humanitaria dedicada a la ayuda en emergencias con comunidades vulnerables ante el cambio climático y asesoría en proyectos internacionales de desarrollo social. A través del manual llamado "Manual para el análisis de la capacidad adaptativa y vulnerabilidad al cambio climático", insiste en una metodología en la cual, la población de estudio es el instrumento guía de diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad ambiental frente a los factores hidroclimatológicos y socio-naturales que los atañe. Profundizando en la metodología expuesta, CARE<sup>16</sup> sigue la línea de los tres grandes ejes de análisis de la vulnerabilidad ambiental (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa). Como elemento de estudio ante la exposición ambiental se tiene a los habitantes de la comunidad, barrio, junta, etc. pues son ellos mismos los primordialmente afectados a raíz de las consecuencias del cambio climático en el entorno geográfico y social en el que se encuentran. En cuanto al elemento de sensibilidad, se tienen como elementos de estudio, las actividades económicas desarrolladas por la población y su ubicación geográfica en el área de estudio, en donde la información pertinente para el desarrollo de la evaluación de sensibilidad, la provee la población de acuerdo con las incidencias del cambio climático que han tenido que sortear y las dificultades en los sectores más susceptibles de su área de ocupación y desarrollo económico. Para el elemento de capacidad adaptativa, da cuenta a partir de la resolución de interrogantes como: ¿Qué tiene la comunidad para ajustarse a los cambios?, ¿Las instituciones locales tienen la capacidad de

---

<sup>15</sup> CARE, Op.cit

<sup>16</sup> Ibid.

solventar estos cambios a partir de políticas y gestión de los recursos medioambientales? Como se puede apreciar, las instituciones competentes y la comunidad, son los protagonistas de la adaptabilidad al cambio climático de la comunidad y su área habitable, sea rural o urbana.

Volviendo al contexto nacional sobre las metodologías de evaluación de vulnerabilidad ambiental, el Gobierno Distrital de la ciudad de Bogotá ha implementado un Plan Distrital para el Cambio Climático, en donde, describen una metodología global de vulnerabilidad a partir de aspectos como el cambio climático, medio ambiente, sismicidad, economía e institucionalidad para si poder elaborar un plan proyectado al 2050 de manejo de estos aspectos desde el punto de vista de la vulnerabilidad y el riesgo. En cuanto al manejo y evaluación de vulnerabilidad al cambio climático y del medio ambiente, el Instituto de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER)<sup>17</sup>, plantea una serie de variables o factores de evaluación, en las que se encuentran, temperatura, sequías, deslizamientos, incendios forestales, vulnerabilidad hídrica, vulnerabilidad por inundación. Como desarrollo de la evaluación de esta vulnerabilidad, IDIGER<sup>18</sup> tuvo en cuenta la densidad poblacional de la ciudad de Bogotá, pues es para este plan, el eje de estudio ante la exposición ambiental, así por medio de la superposición de la información obtenida a partir de los datos dispuestos por el IDEAM, el PRICC, desarrollaron cartografía de proyección de vulnerabilidad hídrica y cobertura del suelo al año 2050. Igualmente, desarrollaron un análisis de la incidencia de los factores junto con las localidades más pobladas de Bogotá, dando como resultado:

- Las localidades de Tunjuelito, Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá y Suba son las más expuestas ante la vulnerabilidad por inundación, esto debido, según IDIGER<sup>19</sup> por la alta probabilidad de desbordamiento de los principales afluentes del río Bogotá, como lo son el río Fucha, río Salitre y río Tunjuelito, a la deforestación que produce impermeabilización del suelo y a inadecuada descarga de líquidos contaminantes a los afluentes.
- En cuanto a la remoción en masa, las localidades con mayor exposición son Usaquén, Chapinero, San Cristóbal, Suba, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar, de acuerdo con IDIGER<sup>20</sup> la causa primordial de este factor, es la construcción de asentamientos humanos en zonas donde se explotaba canteras de material fino o taludes originados por la explotación humana del material, adicionalmente estas construcciones se encuentran sobre las rondas de las quebradas que allí circulan.
- En cuanto al factor de incendios, IDIGER<sup>21</sup> concluye que las localidades de Chapinero y Usaquén son las más expuestas a este posible evento, esto causado

---

<sup>17</sup> Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático*. 2015–2050.

<sup>18</sup> Ibid.

<sup>19</sup> Ibid.

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> Ibid.

a partir del aumento en la anomalía en las temperaturas medias anuales de la ciudad y la localización geográfica de las localidades, pues son estas las que se encuentran en mayor cercanía a los cerros orientales.

En cuanto a la capacidad adaptativa, IDIGER<sup>22</sup> desarrollo una evaluación de vulnerabilidad institucional, teniendo en cuenta las CAR, PNUD, IDEAM, Alcaldía de Bogotá, CORPOGUAVIO, MADS y DNP evaluando mediante indicadores de identificación del riesgo, reducción del riesgo, manejo de desastres y protección financiera. Así, IDIGER<sup>23</sup> termina la investigación, dando cuenta de las localidades más vulnerables ante el cambio climático, las cuales son Suba, Kennedy, Barrios Unidos, Usaquén debido a la alta densificación poblacional existente en ellas y la incidencia de los factores hidroclimatológicos y socio - naturales que puede afectar a la población y a su sistema de producción.

Es pertinente ver que estas dos últimas investigaciones, ejecutan las evaluaciones de vulnerabilidad ambiental desde una óptica más cualitativa, dejando ver, que estas metodologías son funcionales para la población de estudio, como se ha dicho reiteradamente, son los habitantes de una ciudad o zona rural quienes sufren las consecuencias de la vulnerabilidad ambiental convirtiéndose en escenarios de riesgo y amenaza para la región y sus habitantes.

Aguirre *et al*<sup>24</sup>, trata acerca de cómo las ciudades en la Latinoamérica y el Caribe responden ante las vulnerabilidades e impactos que causa el cambio climático en general. En el capítulo 4 de este libro, expone que el diagnóstico de vulnerabilidad ambiental de una ciudad es un instrumento útil para la planificación del desarrollo urbano y sostenible de una ciudad. Así mismo, el documento ofrece un marco metodológico completo del tema de vulnerabilidad, aclarando que la misma requiere de seguimiento y actualización periódica y de un desarrollo multidisciplinario transversal. La metodología de evaluación es interesante, debido a que plantea dos conceptos clave, que describen los ejes fundamentales de evaluación de vulnerabilidad, es decir, condensa en “Estresores” a los factores de exposición y sensibilidad que evalúa y a la capacidad adaptativa la condensa en el concepto de “Amortiguador”. En contexto con Aguirre *et al*<sup>25</sup> los “estresores” los identifica como aquellos que provocan un cambio o influencia negativa sobre los elementos de evaluación, los cuales, para este estudio son uso del suelo, red vial, deforestación, minería, erosión, deslizamientos. Dentro de este concepto también entra el cambio espacio-temporal de las variables hidroclimatológicas entre el año 2015 al 2050 basándose en las proyecciones dispuestas por los organismos de planificación y gestión ambiental del Ecuador. Como “amortiguadores”, los autores<sup>26</sup> los define como los elementos que contribuyen a la protección medioambiental, en especial,

---

<sup>22</sup> Ibid.

<sup>23</sup> Ibid.

<sup>24</sup> Aguirre et al, Op. Cit

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> Ibid.

aquellos relacionados con la gestión y planificación gubernamental, como, por ejemplo, identificación de áreas protegidas, desarrollo de estrategias ambientales y planes de contingencia para eventos hidrológicos extremos que se puedan presentar. Otro detalle interesante de la metodología, es recurrir a profesionales expertos en el tema de dinámica ambiental y cambio climático, con el fin de obtener un puntaje de vulnerabilidad de alta confiabilidad que permite una evaluación más rigurosa y estricta en saber qué factores son los más incidentes en el contexto local.

La vulnerabilidad ambiental es un proceso que es dinámico en el tiempo y gracias a esta característica, se ha ido puliendo este concepto. La aproximación a estos nuevos conceptos la hizo Villalobos & Navarro <sup>27</sup>, en donde presenta una serie de conclusiones acerca del impacto de la vulnerabilidad ambiental en la población de estudio (Latinoamérica) tomando en cuenta factores hidrológicos y profundizando en los aspectos propios de la vulnerabilidad, como lo son, la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Como ideas principales del apartado se tienen los siguientes:

- El criterio de exposición se relaciona directamente con la sociedad, comunidad y sistemas ecológicos
- Consecuencias irreversibles producto de un alto grado de vulnerabilidad que está presente en la sociedad
- La importancia de la vulnerabilidad en los aspectos de cambio climático de acuerdo a su variación en el tiempo y espacio
- Afectación de los elementos primarios de calidad de vida en la sociedad gracias a los factores de vulnerabilidad presentes
- La limitada capacidad adaptativa o de respuesta a los cambios y/o eventos que inciden en la sociedad de una región.

Como apoyo a este concepto, Edenhofer, Pichs & Sokono<sup>28</sup> nos presentan un resumen acerca del estado de vulnerabilidad ambiental mundial en la última década, algunas causas y consecuencias del cambio climático en el mundo, respecto con los grados de vulnerabilidad de cada continente. El documento también presenta cuadros resúmenes acerca de riesgos y vulnerabilidades claves, relacionándolos con motores hidrológicos y una proyección en un marco temporal a 2030, esto dado para cada uno de los continentes. El informe, es pertinente, pues expone algunas otras variables que tomar, así como datos relevantes de proyección cronológica ante las vulnerabilidades y los riesgos que rodean a la región, lo que

---

<sup>27</sup> Villalobos, A., & Navarro, G. A. (2016). Gobernanza y legislación forestal en la región tropical. *Recursos Naturales y Ambiente*, (68), 1–16. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>

<sup>28</sup> Edenhofer, O., Pichs, R., & Sokono, Y, Op. Cit

nos da una idea de cuáles serían las variables tendría mayor incidencia en los sistemas socio-naturales (ANEXO A)

.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 ZONA DE ANÁLISIS

El análisis de vulnerabilidad ambiental se desarrolló con base en una combinación de las metodologías constructivista y determinista propuesta por (IDEAM , PNUD , MADS, DNP, CANCELLERIA, 2017), resumida en la Figura 1.

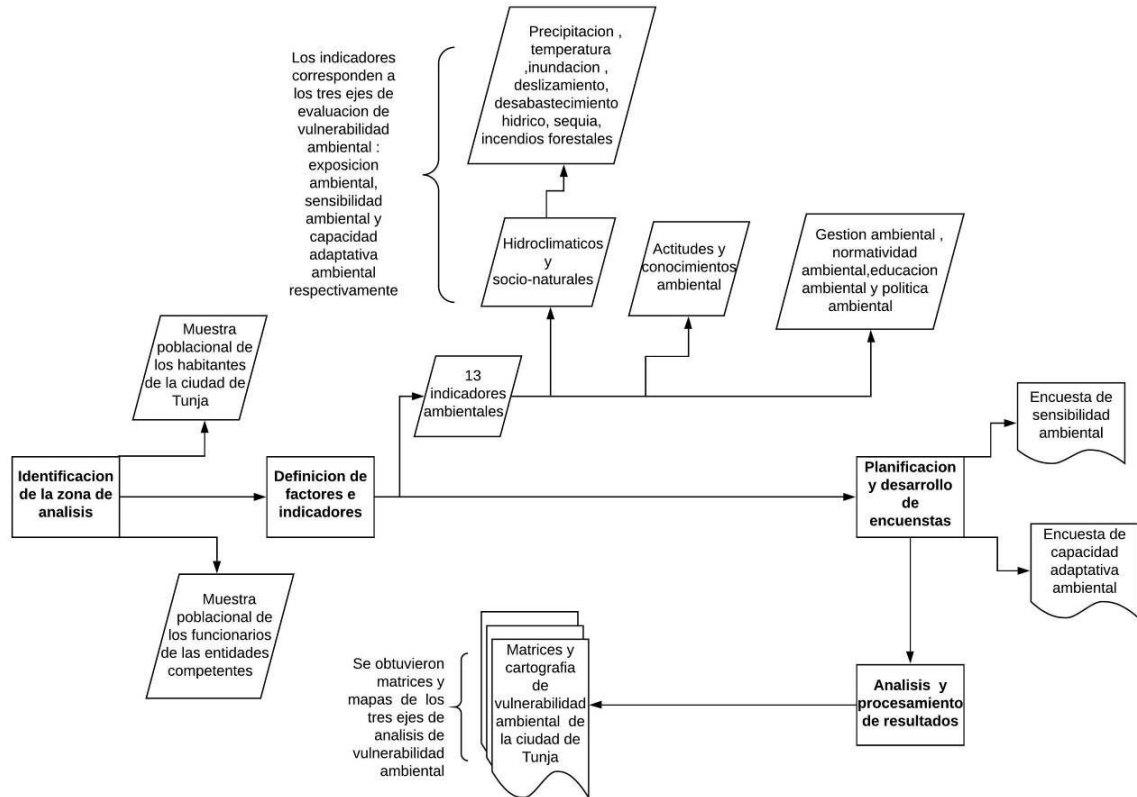


Figura 1. Metodología de análisis de vulnerabilidad ambiental

La zona de análisis, se encuentra determinada por una muestra poblacional de los habitantes de la ciudad de Tunja, dividida en diez zonas urbanas dispuestas por el POT de la ciudad de Tunja del año 2014 (ANEXO B), y las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial de la misma, tales como la Alcaldía Mayor de Tunja, Corporación Autónoma Regional de Boyacá y la Oficina para Gestión del Riesgo de Desastres.

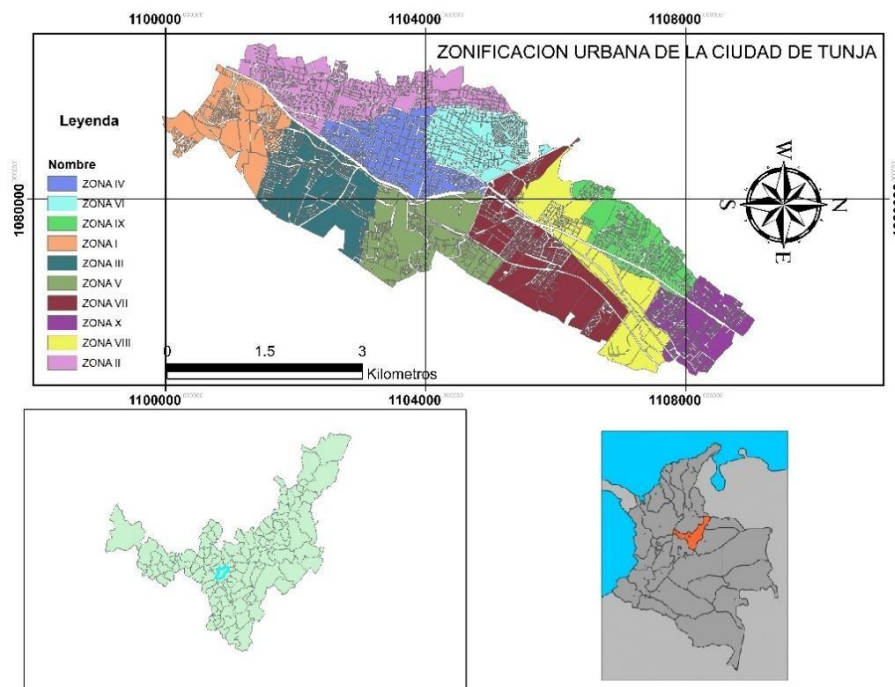


Figura 2. Mapa de zonificación y localización de la ciudad de Tunja

## 4.2 EXPOSICIÓN AMBIENTAL

Para la evaluación de exposición ambiental, fue necesaria la selección de los indicadores que cubrieran el eje ambiental de la ciudad, para ello, se adoptó la elección de indicadores hidroclimáticos y socio-naturales, que el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático<sup>29</sup> desarrollo en la evaluación de vulnerabilidad ambiental para la ciudad de Bogotá D.C. Consecutivamente, se seleccionaron subindicadores que incidieran positiva o negativamente en los indicadores principales, estos últimos, fueron seleccionados a partir de la disponibilidad de información cartográfica de la ciudad y criterios de dependencia<sup>30</sup> con los indicadores principales. Para la evaluación de cada uno de los indicadores, se adoptó como criterio principal de evaluación, **los atributos de la información cartográfica de cada uno de los subindicadores que conforman los indicadores principales en cada una de las zonas urbanas de la ciudad.** Posteriormente, se obtuvieron valores numéricos de acuerdo con el nivel de significancia cualitativa (Alto-Medio-Bajo) (ANEXO C).

<sup>29</sup> Secretaría Distrital de Ambiente, Op. Cit

<sup>30</sup> Villalobos, A., & Navarro, G. A, Op. Cit

Para el proceso metodológico de este eje, fue indispensable obtener el número de habitantes que conforman cada una de las zonas urbanas de la ciudad de Tunja, para obtener estos datos, se recurrió a fuentes institucionales locales como Planeación Territorial del municipio. La información correspondía al año 2002, año del penúltimo POT de la ciudad de Tunja. Debido a la evidente caducidad de los datos y a la falta de información actualizada, se optó por proyectar la población de cada una de las zonas a partir de una tasa de crecimiento urbano de 1.55<sup>31</sup> como se puede evidenciar en la Tabla 1. La indispensabilidad de obtener los datos de la población mencionada, trasciende en el concepto de que la población misma es la protagonista de esta valoración de exposición<sup>32</sup>, pues son los habitantes de las ciudades, quienes padecen de las consecuencias del inadecuado manejo de las vulnerabilidades ambientales convertidas en riesgo o amenaza<sup>33</sup>. Por esta razón, como se muestra en la Tabla 3, se asignó un peso a cada una de las zonas con base en la cantidad de habitantes<sup>34</sup>, peso que se verá reflejado como un porcentaje adicional al valor de exposición ambiental que cada una de las zonas obtuvo.

**Tabla 1.** Proyección de población de las zonas urbanas de la ciudad de Tunja

ZONAS	POBLACION AÑO 2002	
	POT	POBLACION PROYECTADA 2019
Zona 1	8.316	15.268
Zona 2	35.361	42.313
Zona 3	19.054	26.006
Zona 4	6.121	13.073
Zona 5	6.809	13.761
Zona 6	22.878	29.830
Zona 7	5.452	12.404
Zona 8	3.327	10.279
Zona 9	10.461	17.413
Zona 10	7.878	14.830
TOTAL	125.657	195177

<sup>31</sup> DANE. (2019). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 Sogamoso-Tunja*.

<sup>32</sup> Edenhofer, O., Pichs, R., & Sokono, Y, Op. Cit

<sup>33</sup> IPCC, Op. Cit

<sup>34</sup> Villalobos, A., & Navarro, G. A, Op. Cit

Para dar con el cálculo numérico de la exposición ambiental de la ciudad de Tunja, como se muestra en la Tabla 2, se ejecutó el cálculo, con promedios aritméticos a partir de los resultados de la correlación cartográfica de los subindicadores que conforman cada uno de los indicadores respectivamente<sup>35</sup>, exceptuando los indicadores hidroclimáticos, pues los atributos de los mismos son únicos y no requieren este tipo de procesamiento matemático.

**Tabla 2.** Cálculo de la exposición ambiental de la ciudad de Tunja por indicador

CALCULO DE LA EXPOSICION AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE TUNJA POR INDICADOR	
INDICADOR	CALCULO DE LA EXPOSICION AMBIENTAL
Deslizamiento	$\frac{Exp\ Des + Exp\ por\ pendientes + Exp\ por\ erosion}{2}$
Sequia	$\frac{Exp\ Seq + Exp\ por\ hidrogeo + Exp\ por\ deman.\ hid}{2}$
Incendios forestales	VER ANEXO C
Desabastecimiento hídrico	$\frac{Exp\ Desab + Exp\ por\ hidrog + Exp\ por\ fenom.\ niño}{2}$
Inundación	VER ANEXO C

Luego, para establecer el valor total de exposición ambiental por cada zona se establece **un peso por cantidad de habitantes por zona**, debido a que el elemento esencial de la evaluación de exposición ambiental es la población<sup>36</sup>.

**Tabla 3.** Peso de exposición ambiental adicional con respecto a la cantidad de habitantes por zona

ZONAS URBANAS	POBLACION PROYECTADA	PESO POR CANTIDAD DE HABITANTES (Wpob)
ZONA 1	15.268	30%
ZONA 2	42.313	50%
ZONA 3	26.006	40%
ZONA 4	13.073	15%

<sup>35</sup> Edenhofer, O., Pichs, R., & Sokono, Y, Op. Cit

<sup>36</sup> Villalobos, A., & Navarro, G. A, Op. Cit

ZONA 5	13.761	20%
ZONA 6	29.830	45%
ZONA 7	12.404	10%
ZONA 8	10.279	5%
ZONA 9	17.413	35%
ZONA 10	14.830	25%

Por último, se procesan los resultados de exposición ambiental en la Ecuación (1) para dar con las valoraciones de exposición ambiental zonificado.

$$EXP\ zona = \frac{\sum(\text{valor de indicadores por zona})}{7} + [(Wpob) * \frac{\sum(\text{valor de indicadores por zona})}{7}] (1)$$

### 4.3 SENSIBILIDAD AMBIENTAL

Para este eje de estudio, se tomó en cuenta la sensibilidad ambiental como un concepto de ecología de parte de los habitantes de la ciudad de Tunja. Para saber este grado de conciencia y preocupación por el medio ambiente, se adaptó la metodología de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)<sup>37</sup> consistente en la aplicación de encuestas de conciencia ambiental con preguntas de respuesta única y multirrespuesta que indagan sobre dos aspectos fundamentales a tener en cuenta en el concepto ecológico: El conocimiento y la actitud<sup>38</sup>. En cuanto al conocimiento, se preguntó que tanto saben los encuestados de la actualidad ambiental a nivel local, nacional e internacional. Y la actitud como eje más importante de esta evaluación, se indago de distintas maneras acerca de comportamientos de preocupación, compromiso, autonomía, acción y ejecución de acciones proactivas encaminadas a la protección y mejoramiento del medio ambiente.

Para iniciar la ejecución metodológica, previamente se planteó un diseño muestral para saber la cantidad de población a encuestar<sup>39</sup>, se tuvo en cuenta un error estimado del 5% y un coeficiente de confiabilidad al 95% tomados de acuerdo con

<sup>37</sup> Medio, C. D. E., Ordenación, A. Y., & Territorio, D. E. L. (n.d.). *Ecobarómetro*.

<sup>38</sup> Ibid.

<sup>39</sup> Bencardino, C. M. (2012). Décima tercera edición Estadística y muestreo [www.FreeLibros.org](http://www.FreeLibros.org). In *Ecoe Ediciones* (Vol. 13).

Baeny *et al*<sup>40</sup>, con ello se obtiene una muestra de 390 habitantes (ANEXO D) que fueron encuestados dentro de las diez zonas urbanas que componen el casco urbano de la ciudad de Tunja. La muestra poblacional se dividió proporcionalmente de acuerdo con el porcentaje de población que posee la zona respecto al total proyectado como lo muestra la Tabla 4. Esto se desarrolló debido a la falta de información censal al nivel de detalle zonal<sup>41</sup>, para así determinar cuántas encuestas le correspondían a cada zona.

**Tabla 4.** Cantidad de encuestas por zona con respecto al porcentaje de población correspondiente

ZONAS URBANAS	POBLACION PROYECTADA A 2019	PORCENTAJE DE POBLACION RESPECTO AL TOTAL	CANTIDAD DE ENCUESTAS POR ZONA
ZONA 1	15.268	8%	31
ZONA 2	42.313	22%	86
ZONA 3	26.006	13%	51
ZONA 4	13.073	7%	27
ZONA 5	13.761	7%	27
ZONA 6	29.830	15%	59
ZONA 7	12.404	6%	23
ZONA 8	10.279	5%	5
ZONA 9	17.413	9%	9
ZONA 10	14.830	8%	8
<b>TOTAL</b>	199.177	100%	390

Cabe aclarar que, para obtener la valoración de sensibilidad ambiental en cada una de las zonas urbanas de la ciudad de Tunja, no se tuvieron en cuenta todas las preguntas como preguntas valorativas, esto debido al sesgo y a la subjetividad de las respuestas por su carácter de opinión que proporcionaron los encuestados, sin

<sup>40</sup> Baeny, E. H., Challapa, A., Vargas, M., Arce, A., Lara, O., Ambiental, I., & Ciencias, D. De. (2017). *Evaluación de la vulnerabilidad socio ambiental del sector lechero de La Maica (Cochabamba) frente al cambio climático* Assessment of the social environmental vulnerability of the dairy sector of La Maica (Cochabamba) facing the climate change. 8, 229–251.

<sup>41</sup> Bencardino, C. M, Op. Cit

embargo, hacen parte del análisis descriptivo-estadístico que se desarrolló para dar a conocer las tendencias de respuesta a nivel local (ANEXO E).

Con respecto al cálculo de sensibilidad ambiental por zonas de la ciudad de Tunja, se optó por promediar los puntajes obtenidos de las preguntas de evaluación (ANEXO F).

#### **4.4 CAPACIDAD ADAPTATIVA AMBIENTAL**

La metodología para la evaluación de capacidad adaptativa ambiental se desarrolla desde la perspectiva de la planeación, gestión y ejecución ambiental y jurídico-ambiental de las instituciones locales competentes, adaptada de REDIAM<sup>42</sup>. Para la ejecución de la misma se recurrió a la técnica de la encuesta, con base en el sondeo ambiental desarrollado por la Contraloría de la seccional del departamento del Meta<sup>43</sup>, la cual se adaptó para la propuesta por esta investigación. Esta consta de 15 preguntas en las que se abarcan los temas de gestión, política, educación y normatividad ambiental concerniente al casco urbano de la ciudad de Tunja. La encuesta se propagó a la mayoría de los funcionarios, pues no se encontró necesario un diseño muestral para una población muy pequeña<sup>44</sup>.

En cuanto a la valoración de la capacidad adaptativa ambiental, los resultados de la encuesta se dividieron en secciones cualitativas como gestión, política, educación y normatividad ambiental<sup>45</sup>, para así promediar los resultados y dar una valoración final a este eje de análisis (ANEXO G).

#### **4.5 VULNERABILIDAD AMBIENTAL**

Para la obtención de la valoración de vulnerabilidad ambiental de la ciudad, se optó por elegir la ecuación planteada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático<sup>46</sup>.

$$\text{Vulnerabilidad ambiental} = \text{Exposicion} + \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad adaptativa (2)}$$

A continuación, de los resultados cuantitativos obtenidos reemplazando en la Ecuación (2), se obtiene un porcentaje de vulnerabilidad ambiental, el cual fue

<sup>42</sup> Medio, C. D. E., Ordenación, A. Y., & Territorio, D. E. L., Op. Cit

<sup>43</sup> Departamental, C., & Atlántico, D. E. L. (2015). *Contraloría departamental del atlántico*. 6–7. Citado por: Contraloría Departamental del Meta

<sup>44</sup> Bencardino, C. M., Op. Cit

<sup>45</sup> Departamental, C., & Atlántico, D. E. L., Op. Cit

<sup>46</sup> IPCC, Op. Cit

procesado en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Matriz de valoración de vulnerabilidad ambiental <sup>47</sup>

VALORACION CUALITATIVA	CONVENCION	VALORACION CUANTITATIVA	JUSTIFICACION
MUY ALTA		80-100%	Todos los ejes de evaluación se encuentran en grado MEDIO-ALTO o ALTO
ALTA		60-80%	Al menos dos de los ejes de evaluación se encuentran en grado MEDIO-ALTO O ALTO
MEDIA		40-60%	Al menos dos de los ejes de evaluación se encuentran en un grado MEDIO
BAJA		20-40%	Al menos dos de los ejes de evaluación se encuentran en grado MEDIO-BAJO O BAJO
MUY BAJA		0-20%	Todos los ejes de evaluación se encuentran en grado BAJO.

<sup>47</sup> Edenhofer, O., Pichs, R., & Sokono, Y, Op. Cit

## 5. RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron del procesamiento de la información obtenida por las encuestas desarrolladas, la integración cartográfica de los archivos temáticos de la ciudad de Tunja y la aplicación de la Ecuación (2) con respecto a los ejes de análisis de vulnerabilidad.

### 5.1 EXPOSICIÓN AMBIENTAL

Los resultados obtenidos son respuesta del procesamiento geográfico de los archivos de información temática de la ciudad de Tunja, con el archivo de zonificación urbana de la ciudad.

**Tabla 6.** Matriz de exposición ambiental de la ciudad de Tunja

ZONAS URBANAS	INDICADORES							EXPOSICION AMBIENTAL
	Precipitación	Temperatura	Sequia	Inundación	Incendios forestales	Desabastecimiento hídrico	Deslizamiento	
ZONA 1	BAJO	MEDIO	MEDIA	MEDIA	ALTA	MEDIA	MEDIA	MEDIA-ALTA
ZONA 2	MEDIO	MEDIO	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	MEDIA	ALTA
ZONA 3	MEDIO	MEDIO	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	MEDIA	MEDIA-ALTA
ZONA 4	MEDIO	MEDIO	MEDIA	BAJA	ALTA	BAJA	BAJA	MEDIA
ZONA 5	MEDIO	MEDIO	MEDIA	MEDIA	ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA
ZONA 6	MEDIO	MEDIO	MEDIA	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA	MEDIA-ALTA
ZONA 7	MEDIO	MEDIO	MEDIA	ALTA	ALTA	BAJA	BAJA	MEDIA
ZONA 8	MEDIO	MEDIO	MEDIA	MEDIA	ALTA	BAJA	BAJA	MEDIA
ZONA 9	MEDIO	MEDIO	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA
ZONA 10	MEDIO	MEDIO	MEDIA	MEDIA	ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA

A manera de análisis, la Tabla 7 muestra en síntesis los resultados de valoración de exposición ambiental de la ciudad de Tunja.

**Tabla 7.** Valoración porcentual de la exposición ambiental de la ciudad de Tunja

Porcentaje de zonas con valoración ALTA	Porcentaje de zonas con valoración MEDIA-ALTA	Porcentaje de zonas con valoración MEDIA
10%	30%	60%

De este mismo procesamiento, se obtuvo el recurso cartográfico dado en la Figura 3. Así mismo, se puede denotar en la Tabla 5, los resultados de

valoración de exposición ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja

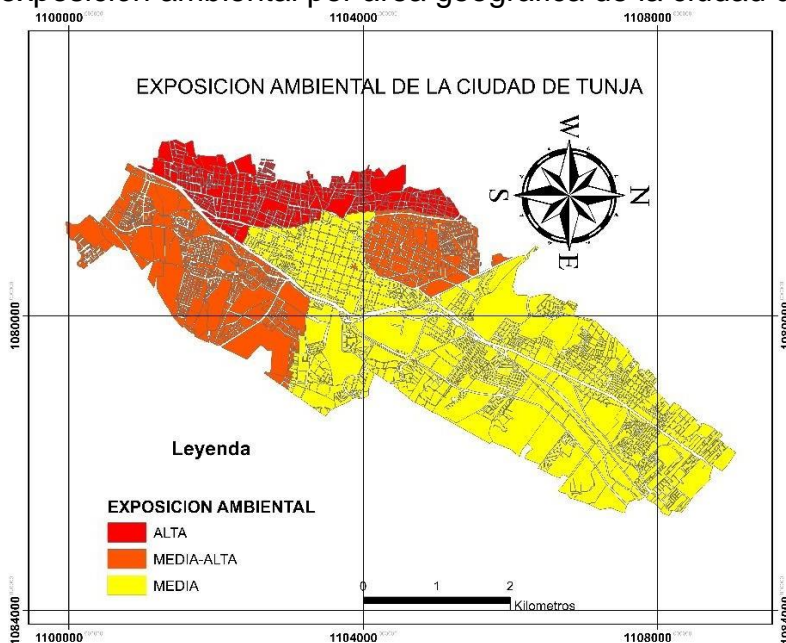


Figura 3. Mapa de exposición ambiental de la ciudad de Tunja

Tabla 8. Valoración de exposición ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja

Área geográfica (Ha) con valoración ALTA	Área geográfica (Ha) con valoración MEDIA-ALTA	Área geográfica (Ha) con valoración MEDIA
268.53	587.44	1232.41

Como se puede observar en los resultados generales, la exposición ambiental de la ciudad de Tunja se encuentra en un grado medio, es decir que, ante la presencia de los indicadores anteriormente mencionados, la población se vería incidida negativamente ante la presencia de estos eventos. Cabe mencionar que la zona No.2 es la más expuesta ante el cambio climático y los indicadores socio-naturales, esto debido a que tiene la mayor población zonal de la ciudad y las exposiciones de los indicadores oscilan entre un grado **Medio -Alto**, también zonas como la No. 1, 3 y 6 se encuentran en un grado **Medio-Alto**, esto debido a un porcentaje poblacional alto perteneciente a estas zonas y a la magnitud de exposición de algunos de los indicadores socio-naturales e hidroclimáticos (ANEXO H).

## 5.2 SENSIBILIDAD AMBIENTAL

Los resultados de este eje de evaluación se obtuvieron a través del análisis estadístico de las respuestas en la encuesta desarrollada de sensibilidad ambiental a la muestra poblacional de los habitantes de la ciudad.

**Tabla 9.** Matriz de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja

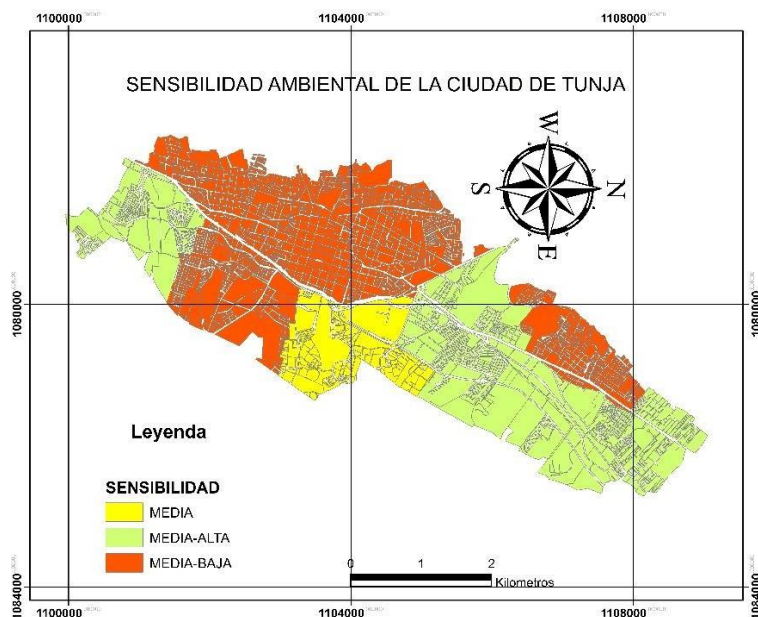
ZONAS URBANAS	INDICADORES		SENSIBILIDAD AMBIENTAL
	CONOCIMIENTO	ACTITUDES Y ACCIONES	
ZONA 1	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA-ALTA
ZONA 2	MEDIO-BAJO	MEDIO-BAJO	MEDIA-BAJA
ZONA 3	MEDIO-BAJO	MEDIO-BAJO	MEDIA-BAJA
ZONA 4	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA-BAJA
ZONA 5	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA
ZONA 6	MEDIO-BAJO	MEDIO-BAJO	MEDIA-BAJA
ZONA 7	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA-ALTA
ZONA 8	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA-ALTA
ZONA 9	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA-ALTA
ZONA 10	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	MEDIA-ALTA

En síntesis, la Tabla 9 muestra los resultados de evaluación de sensibilidad ambiental como porcentajes de valoración

**Tabla 10.** Valoración porcentual de la sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja

Porcentaje de zonas con valoración MEDIA- ALTA	Porcentaje de zonas con valoración MEDIA	Porcentaje de zonas con valoración MEDIA-BAJA
50%	10%	40%

Y se desarrolló a su vez, el recurso cartográfico de sensibilidad ambiental para la ciudad de Tunja expuesto en la Figura 4 y una síntesis de resultados de este eje por área geográfica de la ciudad, expuesto en la Tabla 11.



**Figura 4.** Mapa de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja

**Tabla 11.** Valoración de sensibilidad ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja

Área geográfica (Ha) con valoración MEDIA-ALTA	Área geográfica (Ha) con valoración MEDIA	Área geográfica (Ha) con valoración MEDIA-BAJA
852.473	220.39	1015.52

De acuerdo con los resultados promedios de las respuestas, se puede apreciar que el 50% de la ciudad se encuentra en un grado **Medio-Alto** de sensibilidad ambiental, por otro lado, un 40% de la ciudad se encuentra en un grado medio-bajo de sensibilidad ambiental. Los resultados son buenos, debido a que la mitad de la muestra poblacional encuestada, posee actitudes y conocimientos buenos, sin embargo, sus acciones frente al mejoramiento del medioambiente en su zona de vivienda no son muy efectivas.

Por otro lado, una segunda gran mayoría se ubica en un grado que tiende a ser bajo, lo que indica, que es necesario el mejoramiento de las actitudes, comportamientos y acciones proambientales (ANEXO F).

### 5.3 CAPACIDAD ADAPTATIVA AMBIENTAL

En la Tabla 12, se pueden apreciar los resultados que muestran la eficiencia del trabajo mancomunado de las entidades ambientales y de ordenamiento territorial ante indicadores que propenden por la eficiencia de la adaptación al cambio climático.

**Tabla 12.** Matriz de capacidad adaptativa ambiental de las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial de la ciudad de Tunja

EJES DE EVALUACION	PUNTAJE PROMEDIO	VALORACION CUALITATIVA
Gestión ambiental	2.3	MEDIO-ALTO
Política ambiental	2.0	MEDIO
Educación ambiental	1.9	MEDIO-BAJO
Normatividad ambiental	1.4	MEDIO-BAJO
<b>CAPACIDAD ADAPTATIVA AMBIENTAL</b>	<b>1.9</b>	<b>MEDIO-BAJO</b>

De acuerdo con los resultados parciales por eje de análisis, la capacidad adaptativa ambiental para la ciudad de Tunja es **Media-Baja**, lo que indica que, si bien tiene cobertura de capacidad adaptativa en algunos rubros expuestos anteriormente, la ciudad no se encuentra en óptimas condiciones para recibir el cambio climático de una manera óptima (ANEXO G)

#### 5.4 VULNERABILIDAD AMBIENTAL

Los resultados de la vulnerabilidad ambiental se lograron obtener a través del procesamiento de los datos en la Ecuación (2) y como se observa en la Tabla 13, la matriz de resultados de vulnerabilidad ambiental. Adicionalmente, en la Figura 5, se muestra el resultado cartográfico de vulnerabilidad ambiental para la ciudad de Tunja.

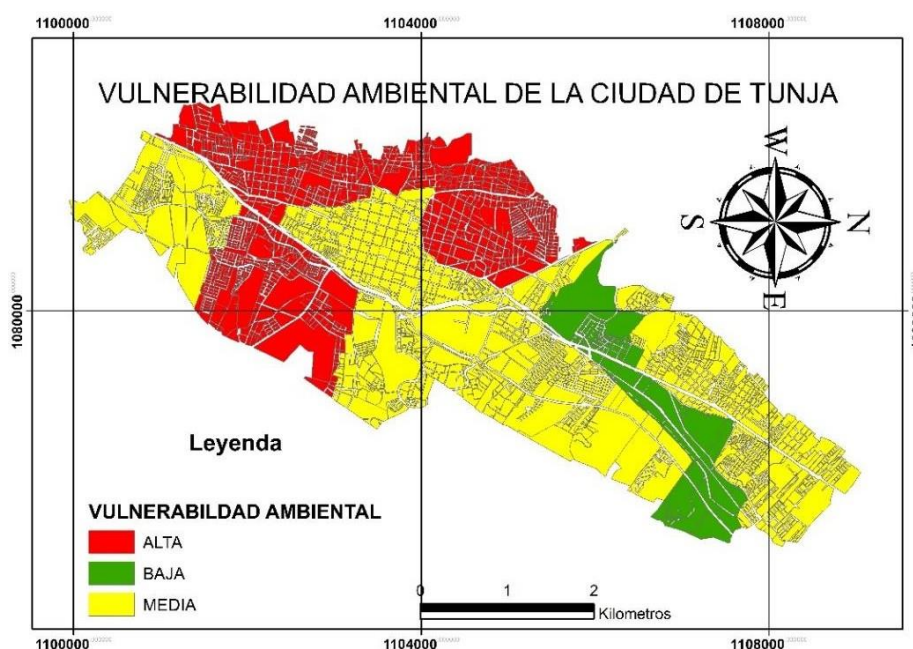
**Tabla 13.** Matriz de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja

ZONAS URBANAS	EXPOSICION AMBIENTAL	SENSIBILIDAD AMBIENTAL	CAPACIDAD ADAPTATIVA AMBIENTAL	VALORACION NUMERICA DE VULNERABILIDAD	PORCENTAJE DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL	VALORACION CUALITATIVA
ZONA 1	MEDIA-ALTA	MEDIA-ALTA	MEDIA-BAJA	2,5	50%	MEDIA
ZONA 2	ALTA	MEDIA-BAJA		3,5	70%	ALTA
ZONA 3	MEDIA-ALTA	MEDIA-BAJA		3,3	66%	ALTA
ZONA 4	MEDIA	MEDIA-BAJA		2,3	46%	MEDIA
ZONA 5	MEDIA	MEDIA		2,5	50%	MEDIA
ZONA 6	MEDIA-ALTA	MEDIA-BAJA		3,1	62%	ALTA
ZONA 7	MEDIA	MEDIA-ALTA		2,1	42%	MEDIA
ZONA 8	MEDIA	MEDIA-ALTA		1,8	36%	BAJA
ZONA 9	MEDIA	MEDIA-ALTA		2,7	54%	MEDIA
ZONA 10	MEDIA	MEDIA-ALTA		2,3	46%	MEDIA

Adicionalmente, en la Tabla 14, se sintetizan los valores de vulnerabilidad ambiental como porcentajes, de acuerdo con las valoraciones obtenidas.

**Tabla 14.** Valoración porcentual de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja

Porcentaje de zonas con valoración ALTA	Porcentajes de zonas con valoración MEDIA	Porcentajes de zona con valoración BAJA
30%	60%	10%



**Figura 5.** Mapa de vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja

A manera de síntesis, en la Tabla 15 se muestran, las valoraciones de vulnerabilidad ambiental obtenidas con respecto al área geográfica de la ciudad de Tunja

**Tabla 15.** Valoración de vulnerabilidad ambiental por área geográfica de la ciudad de Tunja

Área geográfica (Ha) con valoración ALTA	Área geográfica (Ha) con valoración MEDIA	Área geográfica (Ha) con valoración BAJA
647.90	1119.07	295.82

Los resultados de la Tabla 13 es posible observar que el 60% de las zonas de la ciudad de Tunja, se encuentran en un grado MEDIO de vulnerabilidad ambiental. Cabe destacar que, para estas zonas, el eje de exposición ambiental es el más alto oscilando en valores de MEDIO a ALTO. Por otro lado, tres de las zonas de la ciudad se encuentran en grado ALTO de vulnerabilidad, determinado por el eje de

exposición ambiental que obtuvieron estas zonas, el cual oscilo entre valores MEDIO-ALTO y ALTO.

## 6. DISCUSION Y CONCLUSIONES

En la Tabla 6, los resultados reflejan un valor de exposición ambiental que oscila entre MEDIO y ALTO, respondiendo a la cantidad de población que puede ser afectada por la sucesión de eventos hidroclicmáticos y socio-naturales<sup>48</sup>. Es interesante observar, que el indicador de INCENDIOS FORESTALES, se encuentra en todas las zonas como ALTO, debido a la falta de información de las especies nativas vista a través de la información geográfica de la ciudad (VER ANEXO I), la degradación del paisaje urbano y las implicaciones negativas ante la aparición de este evento. Para la ciudad de Tunja , los incendios forestales, es uno de los indicadores de mayor incidencia negativa a nivel ambiental<sup>49</sup>, en 2014 la Corporación Autónoma Regional de Boyacá<sup>50</sup>, en su informe de gestión del riesgo muestra el ALTO valor de vulnerabilidad a incendios forestales de la ciudad, como factores desencadenantes de este valor, menciona que las características intrínsecas de la vegetación la hacen susceptible a este indicador y plantea un reforzamiento de la capacidad institucional y el control del manejo del uso del suelo. Casos como el de Pardowitz<sup>51</sup> y Adamo<sup>52</sup>, reflejan que los incendios forestales deben ser estudiados tanto en su probabilidad de ocurrencia como en la vulnerabilidad que presente el territorio ante este evento socio-natural. Adicionalmente, es de apreciar en la Figura 3, las zonas con un valor desfavorable de exposición ambiental, se encuentran en zonas geoeconómicas de baja capacidad económica , lo que magnifica este valor de exposición ambiental de esta zona, por lo tanto, es indispensable que las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial actualicen los recursos geográficos, para dar con un plan de contingencia más robusto y preciso ante la aparición de eventos como los incendios forestales, especialmente en zonas donde la favorabilidad económica no es la mejor.

Como se aprecia en la Tabla 9, la sensibilidad ambiental oscila en valores entre MEDIA-BAJA y MEDIA-ALTA, dando cuenta de que el eje de conocimiento ambiental, es el más desfavorable, esto debido al desconocimiento de la información ambiental que se hace masiva por los medios de comunicación y la poca importancia que le dieron los encuestados a este eje de análisis, por otro lado Batten<sup>53</sup>, en su informe anual de ciudades sostenibles, asegura que ante el aumento de una cultura informativa ambiental en todos sus ejes, las acciones de los

---

<sup>48</sup> Villalobos, A., & Navarro, G. A, Op. Cit

<sup>49</sup> Corpoboyacá. (2013). *Capítulo VII Gestión del Riesgo*.

<sup>50</sup> Ibid.

<sup>51</sup> Pardowitz, Op. Cit

<sup>52</sup> Adamo, B. Op,cit

<sup>53</sup> Batten, J. (2018). Citizen Centric Cities. The Sustainable Cities Index 2018. *Arcadis*, 32. Retrieved from [https://www.arcadis.com/media/1/D/5/%7B1D5AE7E2-A348-4B6E-B1D7-6D94FA7D7567%7DSustainable\\_Cities\\_Index\\_2018\\_Arcadis.pdf](https://www.arcadis.com/media/1/D/5/%7B1D5AE7E2-A348-4B6E-B1D7-6D94FA7D7567%7DSustainable_Cities_Index_2018_Arcadis.pdf)

habitantes de las ciudades en pro del medio ambiente cada vez son más significativas y la magnitud de la conciencia ambiental aumenta considerablemente, en ciudades como Zúrich , Viena y Estocolmo este habito ambiental ya está implantado en la cultura ciudadana de los habitantes de estas urbes. Es necesario el fortalecimiento ecológico como concepto colectivo en pro del medio ambiente, que funcione desde la familia como unidad primaria de la sociedad y se convierta en un concepto de todos los Tunjanos por medio de incentivos económicos en el ahorro de los servicios públicos, campañas de concientización e implementación de equipos que contrarresten la demanda abusiva del recurso hídrico<sup>54</sup>, como por ejemplo, sistemas de recolección de aguas lluvia o sistemas de recirculación de aguas residuales domésticas. Adicionalmente, es reiterativo que las zonas del sur de la ciudad de Tunja son las más vulnerables en cuanto a sensibilidad ambiental se refiere, sin embargo, la zona No.1 de la ciudad se destaca como ejemplo que, a pesar de encontrarse en una zona geoeconómica no muy favorable, las acciones y actitudes que toman frente al cambio climático son favorables, barrios como Ciudad Jardín, Dora Leonilde, San Carlos, San Francisco, Tunjuelito y La Perla pertenecen a esta zona.

En la Tabla 12, se puede apreciar que la capacidad adaptativa de la ciudad es percibida como MEDIA-BAJA, debido a que dentro de los indicadores de normatividad ambiental y educación ambiental son los ejes “estresores”<sup>55</sup> de este valor. En otras investigaciones como por ejemplo , la de la Red de Información Ambiental de Andalucía<sup>56</sup> y Aguirre *et al*<sup>57</sup>, determinan la capacidad adaptativa como un valor de eficiencia de las instituciones locales ambientales a través de la perspectiva de los habitantes del área geográfica de estudio, por esta razón , es indispensable que las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial tengan una consolidación informativa más precisa, en aspectos como educación y cobertura normativa ambiental en la ciudad de Tunja, por medio de capacitaciones, seminarios y charlas de manejo de información ambiental con el fin de que se tenga una herramienta público-administrativa que permita una aminoración significativa en la vulnerabilidad ambiental de la ciudad o que aumente la capacidad adaptativa de la ciudad en la misma proporción. Cabe destacar, que la ciudad de Tunja, de acuerdo con la Tabla 12, tiene un valor positivo en la gestión medio ambiente, lo que sin duda es fundamental para llevar a cabo estas posibles acciones de mejoramiento explicadas anteriormente.

Por último, con los resultados de vulnerabilidad ambiental reflejados en la Tabla 13 la zona No.8 es la zona con menor vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja, barrios como La Colina, Los Cristales, Hunzahua, Los Rosales, Villa Universitaria y

---

<sup>54</sup> Medio, C. D. E., Ordenación, A. Y., & Territorio, D. E. L., Op. Cit

<sup>55</sup> Baeny, E. H., Challapa, A., Vargas, M., Arce, A., Lara, O, Op. Cit

<sup>56</sup> Medio, C. D. E., Ordenación, A. Y., & Territorio, D. E. L., Op. Cit

<sup>57</sup> Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda Luna, T., & Aguirre Mendoza, Z Op.cit.

CANAPRO hacen parte de esta zona. Es interesante ver como en esta zona de baja vulnerabilidad ambiental, la característica demográfica predominante de sus habitantes, son estudiantes de educación superior, esto da cuenta de que a través de la academia se pueden fortalecer los lazos entre el conocimiento y las acciones proambientales<sup>58</sup> para favorecer en la disminución de la vulnerabilidad ambiental de la ciudad de Tunja. De acuerdo con Batten<sup>59</sup>, las ciudades con mayor índice de sostenibilidad responden entre otras, a las características demográficas de la ciudad, es el caso de Londres, Singapur y Edimburgo, donde los habitantes de localidades cercanas a las universidades, colegios e institutos de estas ciudades, dan cuenta de una sensibilidad ambiental mayor y por lo tanto un mayor índice de sostenibilidad. En el caso Latinoamericano. Batten<sup>60</sup>, afirma que ciudades como Santiago de Chile, Buenos Aires, Rio de Janeiro, y Lima cuentan con una sensibilidad ambiental eficiente que permite una aminoración de la vulnerabilidad ambiental. Es necesario que las instituciones ambientales y de ordenamiento territorial de la ciudad de Tunja, aumenten sus esfuerzos técnicos por disminuir el factor de riesgo, enfáticamente en la sensibilidad ambiental de los habitantes de la ciudad de Tunja, a través de las recomendaciones técnicas anteriormente explicadas.

---

<sup>58</sup> CARE, Op.cit

<sup>59</sup> Batten, J. Op.cit

<sup>60</sup> Ibid.

## **ANEXOS EN MEDIO MAGNETICO**

**ANEXO A.** Marco teórico de vulnerabilidad ambiental

**ANEXO B.** Mapa de zonificación del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Tunja.

**ANEXO C.** Factores e indicadores de evaluación de exposición ambiental

**ANEXO D.** Cuadro diseño muestral de la encuesta de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja

**ANEXO E.** Lista de preguntas valorativas de la encuesta de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja.

**ANEXO F.** Análisis estadístico de la encuesta de sensibilidad ambiental de la ciudad de Tunja.

**ANEXO G.** Análisis estadístico de la encuesta de capacidad adaptativa ambiental de la ciudad de Tunja.

**ANEXO H.** Análisis por indicador de los resultados de la correlación cartográfica para la valoración de exposición ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

- IDIGER. (2015, Diciembre). Retrieved from Sitio web IDIGER:  
[http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=ac0bc27e-68f5-4739-926b-3f3c608eef29&groupId=3564131](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=ac0bc27e-68f5-4739-926b-3f3c608eef29&groupId=3564131)
- Adamo, S. B. (2012). Riesgo Ambiental , vulnerabilidad ambiental y cambio poblacional en Argentina : explorando asociaciones entre heterogeneidades especiales. *Reunion de expertos sobre : "Poblacion , territorio y desarrollo sostenible"*. Buenos Aires - Argentina.
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel , V., Samaniego, N., Ojeda Luna , T., & Aguirre Mendoza, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climatico en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, produccion de biomasa y produccion hídrica. *Serie de estudios de biodiversidad I*, 39-44.
- Baeny , E., Challapa, A., Vargas, M., Arce, A., Teran, M., & Lara, O. (2017). Evaluacion de la vulnerabilidad socio ambiental del sector lechero de La Maica (Cochabamba) frente al cambio climatico. *ACTA NOVA*, 234-236.
- Baeny , E., Challapa, A., Vargas, M., Arce, A., Teran, M., & Lara, O. (2017). Evaluacion de la vulnerabilidad socio ambiental del sector lechero de La Maica (Cochabamba) frente al cambio climatico . *ACTA NOVA*, 234-236.
- Batten, Jhon. (2018). *Sitio web ARCADIS*. Retrieved Octubre 2019, from [https://images.arcadis.com/media/1/D/5/%7B1D5AE7E2-A348-4B6E-B1D7-6D94FA7D7567%7DSustainable\\_Cities\\_Index\\_2018\\_Arcadis.pdf?\\_ga=2.165915070.1865204441.1571029032-787470536.1571029032](https://images.arcadis.com/media/1/D/5/%7B1D5AE7E2-A348-4B6E-B1D7-6D94FA7D7567%7DSustainable_Cities_Index_2018_Arcadis.pdf?_ga=2.165915070.1865204441.1571029032-787470536.1571029032)
- CARE. (2009, Mayo 1). *Manual para el analisis de capacidad y vulnerabilidad climatica* . Londres : CARE . Retrieved from Sitio web CARE: [www.care.org](http://www.care.org)
- Contraloria Departamental del Meta . (2008, Septiembre 23). *Sitio web Contraloria del Meta*. Retrieved Septiembre 2019, from [http://www.contraloriameta.gov.co/sitio/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/encuesta\\_ambiental\\_definitiva.pdf](http://www.contraloriameta.gov.co/sitio/wp-content/uploads/dlm_uploads/encuesta_ambiental_definitiva.pdf)
- Corpoboyaca. (2010). *Cartografia tematica de la ciudad de Tunja*. Recuperado el Agosto de 2019, de <https://mapapublico.corpoboyaca.gov.co/corpoboyaca/mapaPublico/>

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística . (2018). *Sitio web DANE*. Retrieved Agosto 2019, from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Duran, C. (2017 ). Analisis espacial de las condiciones de vulnerabilidad social , economica , fisica y ambiental en el territorio colombiano . *Perspectiva geografica*.
- Edenhofer, O., Pichs, R., & Sokono, Y. (2014). Quinto informe de evaluacion del grupo del Panel Intergubernamental del Cambio Climatico(IPCC) sobre el cambio climatico: Resumen para responsables de politicas. *Informe anual de Cambio climatico IPCC*, 4-5.
- IDEAM , PNUD , MADS, DNP, CANCELLERIA. (2017). *Tercera Comunicacion Nacional de Cambio Climatico*. Bogota D.C: Punto Aparte.
- Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales (IDEAM). (2012). *Sitio web IDEAM* . Retrieved Agosto 2019, from <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/consulte-los-indicadores-ambientales>
- IPCC. (2001 ). Retrieved from Sitio web del Panel Intergubernamental de Cambio Climatico : <https://www.ipcc.ch/>
- Martinez , C. (2012). *Estadistica y muestreo* . Bogota D.C: ECOE EDICIONES.
- Pardowitz, T. (2018 ). A statistical model to estimate the local vulnerability to severe weather . *Copernicus Publications* , 1618-1619.
- Ramirez, P., & Bonilla, A. (2013 ). Gestion del riesgo ambiental , amenazas y pronosticos . *TEMAS* , 46.
- Red de Informacion Ambiental de Andalucia . (2013). *Sitio web de la Consejeria de medio ambiente y territorio*. Retrieved Septiembre 2019, from [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/)
- Sanchez, R., Aragón, F., Arteaga, F., Briones, F., & Lorenzo, I. (2014). *Vulnerabilidad y adaptacion al cambio climatico*. Santiago de Chile: Roberto Sanchez Rodriguez.
- Villalobos , A., & Navarro, G. (2014). Emergent Risks and Key Vulnerabilities. *UNFCCC*, 1050-1052.

