

# Vulnerabilidad de ecosistemas representativos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

Reporte técnico de consultoría  
(Quito Vulnerability Study, Work Packages 5 & 6)

Hugo Romero-Saltos, Alex Cabrera & Victoriano Villarruel

---

## 1 Definición e importancia del sector ecosistemas

Los ecosistemas nativos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) representan el 60% de su territorio y comprenden 256408 hectáreas (ha). En el DMQ, existen 2330 especies de plantas vasculares, 542 especies de aves, 111 especies de mamíferos, 92 especies de anfibios, 53 especies de reptiles, 21 especies de peces y 167 géneros de macroinvertebrados acuáticos (MECN, 2009). Al interactuar con la orografía del DMQ, esta gran diversidad biológica genera servicios ambientales como la protección de recursos hídricos, la regulación del clima, la protección de los suelos, la prevención de desastres naturales, la conservación de germoplasma autóctono, entre otros (MECN, 2009). Es importante proteger este patrimonio natural a través la planificación y gestión del territorio ya que el desarrollo local de Quito ha dependido siempre de la adecuada funcionalidad de los ecosistemas que lo rodean (MDMQ-Secretaría de Ambiente, 2011).

Los diferentes tipos de estudios de cobertura vegetal existentes en el DMQ incorporan criterios ecológicos, ambientales y fitogeográficos (Sierra, 1999; Josse, *et al.*, 2003). Los tipos de cobertura vegetal, que en este estudio se conceptualizan como ecosistemas, están distribuidos en un rango altitudinal de 500 a 4950 m. En gran parte, la orografía del DMQ determina el microclima y por ende el tipo de ecosistema. El clima es húmedo en la bioregión del Chocó hacia el occidente, seco en los valles interandinos, e hiper-húmedo en las estribaciones y páramos del sistema montañoso que rodea al DMQ tanto al occidente como al oriente. Según el último mapa de cobertura vegetal/uso de suelo del DMQ (MDMQ-Secretaría de Ambiente, 2011), el territorio puede clasificarse en: vegetación natural (60,5%), áreas semi-naturales (11,9%), áreas cultivadas (20,5%), espacios abiertos (1,1%), áreas artificiales (5,8%) y cuerpos de agua (0,001%). La vegetación “natural” comprende los ecosistemas nativos del DMQ; las áreas “semi-naturales” comprenden los bosques de eucalipto y coníferas; las áreas cultivadas comprenden zonas agropecuarias (es decir, incluye zonas de pastoreo); los espacios abiertos comprenden glaciares, rocas, arenales y suelos muy degradados; las áreas artificiales incluyen cualquier tipo de construcción antrópica; y los cuerpos de agua comprenden cualquier formación de aguas superficiales como ríos, lagos, reservorios, etc.

En las últimas décadas, a pesar de las iniciativas de planificación y regulación de uso y ocupación del suelo por parte del MDMQ, existe un proceso de urbanismo acelerado que está cambiando la cobertura vegetal y uso del suelo en el territorio. Según estadísticas multitemporales realizadas por el MDMQ, basadas en análisis de imágenes LANDSAT de los años 1986, 1996, 2001 y 2009, la tasa de crecimiento de la mancha urbana se estima en 800 ha/año, alcanzando en el 2009 un área edificada de 23846 ha (5,8% del DMQ) (N. Narváez, com. pers.). Además, la población humana del DMQ está aumentando significativamente, alcanzando en la actualidad los 2'239'191 habitantes (Censo 2010). Esta realidad ha creado un efecto de presión sobre los grandes remanentes de ecosistemas nativos. Por ejemplo, la tasa de deforestación es de aproximadamente 1700 ha/año en bosques, y de 200 ha/año en páramos (N. Narváez,

com. pers.). Estas amenazas antrópicas se ven agravadas a mediano o largo plazo por el cambio climático (variabilidad climática anómala).

Este estudio identifica niveles de vulnerabilidad en los ecosistemas representativos del MDMQ frente a dos tipos de amenazas: (1) aquellas relacionadas al clásico modelo de desarrollo socioeconómico de una ciudad o país, llamadas en este documento “amenazas no climáticas” (amenazas antrópicas); y (2) aquella relacionada al incremento de la temperatura media anual como indicador aceptable del cambio climático, llamada en este documento “amenaza climática” (cuyo origen último es, sin embargo, también antrópico). La información generada por este estudio permitirá al MDMQ identificar áreas específicas en el territorio donde establecer diferentes formas de manejo del patrimonio natural según la(s) amenaza(s) que se necesite hacer frente.

## 2 Proceso metodológico de comprensión de la vulnerabilidad

### 2.1 HERRAMIENTA DE CONOCIMIENTO PARTICIPATIVO SECTORIAL (HCP)

En el marco de la metodología para generar criterios de reflexión para cada sector prioritario del DMQ (WP2 y WP3), se desarrolló una matriz de preguntas potenciales sobre el sector ecosistemas, según el ámbito de estudio, los datos disponibles y las unidades potenciales de análisis. La versión original de esta matriz (**Anexo 1**) se la discutió con los especialistas del sector de ecosistemas, quienes evaluaron la factibilidad de responder a las preguntas planteadas. Las preguntas que finalmente se escogieron fueron tres (resaltadas con **letra roja** en la matriz; ver **Anexo 1**).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

(1) Evaluar la vulnerabilidad presente de los ecosistemas de interés frente a las amenazas no climáticas de origen antrópico.

(2) Evaluar la vulnerabilidad futura de los ecosistemas de interés frente a la amenaza climática de incremento gradual de temperatura promedio anual.

### 2.3 CATEGORÍAS DE ECOSISTEMAS ANALIZADOS

Las cuatro categorías de ecosistemas que se analizan fueron escogidas en discusión conjunta con técnicos de la Secretaría de Ambiente (SA), priorizando aquellos ecosistemas que tienen mayor presión antropogénica y que son de interés de la SA-DMQ por diferentes razones (**Tabla 1, Figura 1**).

**Tabla 1.** Ecosistemas que se analizan para la determinación de la vulnerabilidad ecosistémica frente a las amenazas no climáticas y a la amenaza climática. En la descripción de cada categoría, se explican las razones por las que dicha categoría es de interés institucional para el MDMQ.

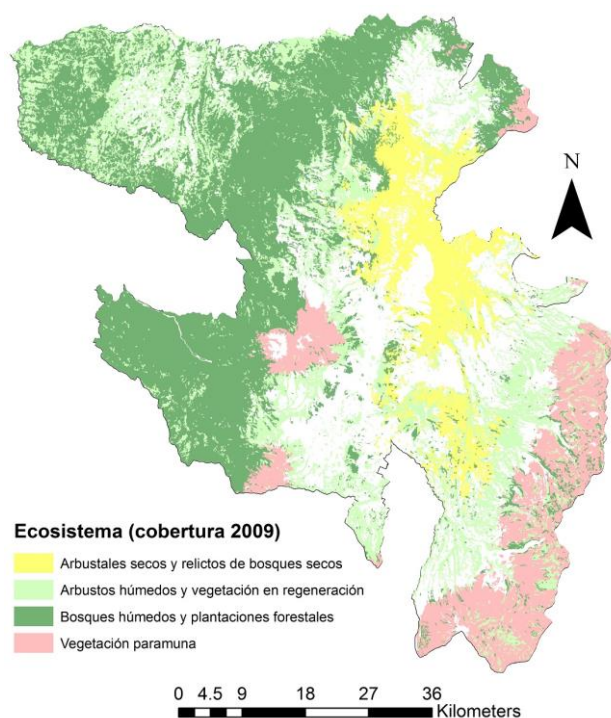
Categoría de ecosistemas (unidad de análisis)	Ecosistemas que se incluyen en cada categoría (según Nivel III del Mapa de Cobertura Vegetal 2011)	Área (ha) en 1986 (% del DMQ)	Área (ha) en 2009 (% del DMQ)
<b>Arbustales secos y relictos de bosque seco.</b> Este ecosistema es el de mayor interés para el MDMQ debido a que se le considera altamente amenazado por su cercanía a poblaciones urbanas, superficie reducida y alto nivel de fragmentación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bosque seco interandino.</li> <li>Vegetación ribereña del piso montano xerofítico.</li> <li>Arbustal seco interandino.</li> <li>Vegetación saxícola montana interandina de los Andes del Norte.</li> </ul>	24 909,6 (5,9%)	42 018,77 * (9,90%)

Categoría de ecosistemas (unidad de análisis)	Ecosistemas que se incluyen en cada categoría (según Nivel III del Mapa de Cobertura Vegetal 2011)	Área (ha) en 1986 (% del DMQ)	Área (ha) en 2009 (% del DMQ)
<b>Vegetación paramuna.</b> Este ecosistema es el segundo de mayor interés para el MDMQ por su importancia en el almacenamiento y disponibilidad del recurso hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbustal bajo y matorral altoandino paramuno.</li> <li>• Vegetación geliturbada y edafoxerófila subnival paramuna.</li> <li>• Bofedal altoandino paramuno.</li> <li>• Pajonal altimontano y montano paramuno.</li> <li>• Pajonal edafoxerófilo altimontano.</li> </ul>	63 426,3 (14,95%)	46 248,89 (10,9%)
<b>Bosques húmedos y plantaciones forestales.</b> Este ecosistema es el tercero de mayor interés para el MDMQ debido a su alta biodiversidad y gran capacidad de almacenamiento de carbono.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bosque altimontano norteamericano siempreverde.</li> <li>• Bosque bajo y arbustal altoandino paramuno.</li> <li>• Bosque altimontano norteamericano de Polylepis.</li> <li>• Bosque montano pluvial de los Andes del Norte.</li> <li>• Bosque siempreverde estacional montano bajo de los Andes del Norte.</li> <li>• Bosque pluvial piemontano de los Andes del Norte.</li> <li>• Eucalipto adulto. **</li> <li>• Eucalipto joven y en regeneración. **</li> <li>• Pino y ciprés. **</li> </ul>	158 751,6 (37,43%)	136 022,05 (32,07%)
<b>Arbustos húmedos y vegetación en regeneración.</b> Este ecosistema es de interés para el MDMQ porque representa los últimos relictos de vegetación nativa en quebradas, y también áreas donde la vegetación nativa está re-ocupando áreas alteradas (sucesión natural).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbustal montano de los Andes del Norte.</li> <li>• Matorral en regeneración.</li> <li>• Suro con árboles.</li> <li>• Suro con arbustos.</li> <li>• Bosque secundario. ***</li> </ul>	84 964,6 (20,03%)	92 060,38 (21,7%)

\* Esta tabla muestra que el ecosistema xerofítico incrementó su extensión de 1986 al 2009. Sin embargo, esto podría deberse a un error de clasificación de las imágenes satelitales analizadas o a un error en el procesamiento informático *a posteriori* a dicho análisis. Es extraño que los datos muestren un incremento de cobertura ya que es evidente que la extensión del ecosistema xerofítico del DMQ se ha reducido significativamente en las últimas décadas por la gran expansión que la mancha urbana ha tenido en este ecosistema.

\*\* Los bosques de eucalipto y coníferas deberían clasificarse en una categoría aparte.

\*\*\* Es nuestra opinión que los bosques secundarios deberían ser clasificados dentro de la categoría de "Bosques húmedos y plantaciones forestales".



**Figura 1.** Las cuatro categorías de ecosistemas analizadas en este estudio, según su cobertura en el 2009. Las áreas sin color representan cultivos o mancha urbana.

## 2.4 AMENAZAS ANALIZADAS

Las amenazas son aquellas variables que determinan el grado de perturbación sobre un sistema y se manifiestan en distintas intensidades y frecuencias. En este estudio, se conceptualizan dos tipos de amenaza:

**Amenazas no climáticas o antrópicas**—Son las acciones realizadas por la población dentro o cerca de los ecosistemas, ya sea por actos de descuido y/o vandalismo (por ejemplo, incendios forestales provocados), o por satisfacer las demandas sociales y económicas requeridas en el marco de un modelo clásico de desarrollo (por ejemplo, el establecimiento de zonas agrícola, aumento de áreas urbanas, construcción de viviendas, represas, vías, etc.).

**Amenazas climáticas**—Son los comportamientos anómalos del clima, fuera de la variabilidad natural histórica (por ejemplo, el incremento en la frecuencia de eventos extremos, el incremento significativo de la temperatura, etc.). El origen de esta anomalía es causada por efecto de las acciones humanas (especialmente el intenso proceso extractivista) sobre los sistemas naturales.

Para el análisis de este estudio, se escogieron siete amenazas *no climáticas* y una *amenaza climática* (Tabla 2).

**Tabla 2.** Amenazas consideradas para este estudio.

Amenazas no climáticas *	Amenaza climática
Ocurrencia de incendios Expansión de la mancha urbana Expansión de la frontera agropecuaria Construcción de vías Establecimiento de canteras Instalación de oleoductos/poliductos Instalación de tendido eléctrico (fuera de la mancha urbana)	Incremento gradual de temperatura promedio anual.

\* Todas estas amenazas implican remoción de la cobertura vegetal (incluyendo deforestación).

## 2.5 VULNERABILIDAD: CONCEPTOS, COMPONENTES E INDICADORES

Una manera de contribuir en la planificación para la protección<sup>1</sup> y conservación<sup>2</sup> del patrimonio natural del DMQ es evaluar el nivel de vulnerabilidad que tienen los ecosistemas respecto a su función, estructura y dinámica biótica-abiótica, frente a diferentes tipos de amenazas<sup>3</sup>. En su definición clásica, la vulnerabilidad es el resultado de la interacción de tres conceptos: la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, relacionados según la siguiente fórmula conceptual que fuera desarrollada en los lineamientos metodológicos generales de este proyecto (ver informe WP2-WP3):

$$Vulnerabilidad (V) = \frac{exposición (E) \times sensibilidad (S)}{capacidad de adaptación (C)}$$

Esta fórmula conceptual significa que la vulnerabilidad de un sistema aumenta cuando la exposición y/o la sensibilidad aumentan, y disminuye cuando la capacidad de adaptación del sistema aumenta. Esta relación conceptual entre los tres componentes de la vulnerabilidad puede también expresarse linealmente ( $V = [E + S] - C$ ) (CIIFEN, 2014).

En términos ecológicos, los conceptos de *resistencia* y *resiliencia* son complementarios al concepto de *sensibilidad* de un ecosistema frente a una amenaza. Si un ecosistema es inmune a una amenaza, es considerado un ecosistema *resistente*, mientras que si un ecosistema sufre un daño frente a una amenaza, pero puede eventualmente volver a su estado original, o a otro estado estable, es considerado un ecosistema *resiliente*. Por ejemplo, los bosques boreales de Norte América no son resistentes al fuego, pero sí son muy resilientes y normalmente se recuperan completamente al cabo de algunos años (Folke, 2004). Una historia parecida sucede con los bosques de eucalipto en los Andes. Los ecosistemas pueden ser muy resilientes o muy resistentes, dependiendo del tipo de perturbación, gravedad y prolongación del impacto. Es importante recalcar que la resiliencia implica cierta *capacidad intrínseca de adaptación* del ecosistema, pues éste se reorganiza o adapta mientras es sometido a un cambio (factor externo) con la finalidad de recuperarse (Walker, Holling, Carpenter, & Kinzing, 2004). Por esta razón, en el presente estudio **la capacidad de adaptación de un ecosistema no se evalúa porque está ya incluida en la evaluación de sensibilidad**. Esto constituye una diferencia fundamental con los sistemas manejados por el hombre (e.g., una ciudad) donde la capacidad de adaptación sí puede conceptualizarse independientemente de la sensibilidad y que usualmente tiene que ver con lo que puede hacer la población o las autoridades para mitigar los daños provocados por una amenaza.

---

<sup>1</sup> El término “protección”, según lo conceptualiza el MDMQ, incluye el salvaguardar áreas críticas de un ecosistema donde la actividad humana se reduce al máximo mediante políticas emergentes.

<sup>2</sup> El término “conservación”, según lo conceptualiza el MDMQ, incluye el manejar sosteniblemente los recursos naturales de uno o varios ecosistemas con la finalidad de mantener sus servicios ambientales a largo plazo.

<sup>3</sup> Una amenaza se define como un factor externo al sistema que al interactuar con éste puede provocar impactos de naturaleza negativa, es decir, daños al sistema.



### 2.5.1 Diferencia entre vulnerabilidad presente y futura

Para responder a los dos objetivos específicos planteados, en este estudio definimos los conceptos de “vulnerabilidad presente” y “vulnerabilidad futura” de la siguiente manera:

**Vulnerabilidad presente**— Es un escenario que estima la vulnerabilidad a partir de información sobre las amenazas y sus potenciales daños sobre un sistema al presente (como en el caso de los efectos de cambios de uso de suelo o la presión urbana sobre un ecosistema).

**Vulnerabilidad futura**—Es un escenario que estima la vulnerabilidad a partir de información sobre las potenciales consecuencias que futuras amenazas (obtenidas sobre todo de modelamientos particulares de un sistema, como en el caso de proyecciones climáticas) podrían tener sobre un sistema (cuya evolución al ser de difícil predicción considera, como en este estudio, la información conocida del presente). Esta última concepción de vulnerabilidad es cómo el concepto suele ser entendido en el mundo académico, donde vulnerabilidad se define como la *posibilidad* que tiene un sistema de enfrentar un daño provocado por una amenaza que puede ocurrir, o no ocurrir, a futuro (Hinkel 2011).

### 2.5.2 Vulnerabilidad a las amenazas no climáticas o antrópicas

**Exposición a las amenazas**—La exposición de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas se cuantificó como las superficies del territorio directamente e indirectamente afectadas por una amenaza. El área directamente afectada, un proxy de daño directo, se definió como el área destruida o degradada por la amenaza, mientras que el área indirectamente afectada, un proxy de daño indirecto, se definió como el área de influencia contigua a la amenaza (**Tabla 3**). Espacialmente, el área directamente afectada se midió según la superficie cubierta por la amenaza, y el área indirectamente afectada se midió como un *buffer* cuyo ancho (en m) dependió del tipo de amenaza y de los estándares de ingeniería utilizados para definir áreas de servidumbre (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Exposición de los diferentes ecosistemas a las amenazas no climáticas.

Amenaza	Característica SIG	Daño directo (área destruida o degradada por la amenaza)	Daño indirecto (ancho en m del buffer a cada lado de la amenaza)
Incendios	Polígono	Varía según el tamaño	0
Mancha urbana	Polígono	Varía según el tamaño	0
Frontera agrícola	Polígono	Varía según el tamaño	0
Vías	Línea	Varía según el tamaño	100
Canteras	Polígono	Varía según el tamaño	500
Oleoductos	Línea	Varía según el tamaño	10
Tendido eléctrico	Línea	Varía según el tamaño	15–30

**Sensibilidad a las amenazas**—La sensibilidad de los ecosistemas frente a las diferentes amenazas no climáticas se cuantificó en cinco categorías (donde 5 representa la mayor sensibilidad), tomando en cuenta que un ecosistema resistente tendría una sensibilidad baja (1), un ecosistema resiliente tendría diferentes grados de sensibilidad (2, 3 ó 4), y un ecosistema sin capacidad de resistencia ni resiliencia tendría una sensibilidad muy alta (5), condenado a desaparecer o degradarse seriamente (como en ciertos cambios de uso de suelo, e.g. de bosque seco a cantera). Nótese que el nivel de sensibilidad de un ecosistema es absolutamente dependiente del tipo de amenaza en cuestión.

En la práctica, la sensibilidad de cada ecosistema frente a una amenaza dada se evaluó desde dos diferentes perspectivas: (1) la capacidad de recuperación del ecosistema en el área directamente destruida o degradada por una amenaza, y (2) la capacidad de resiliencia y/o resistencia del ecosistema remanente contiguo a la amenaza, es decir, en el área indirectamente afectada por ella. Dichas capacidades son inversas a la sensibilidad: alta capacidad significa baja sensibilidad, y viceversa. En la primera forma de sensibilidad, la sensibilidad es máxima (es decir, con un valor de 5) cuando la capacidad de recuperación del ecosistema en el área afectada es nula (por ejemplo, cuando se construye una carretera asfaltada). En la segunda forma de sensibilidad—que puede conceptualizarse como los efectos negativos que la presencia de la amenaza va acumulando en el tiempo sobre el funcionamiento del ecosistema nativo remanente—la sensibilidad es baja cuando existe alta resiliencia o alta resistencia del ecosistema remanente.

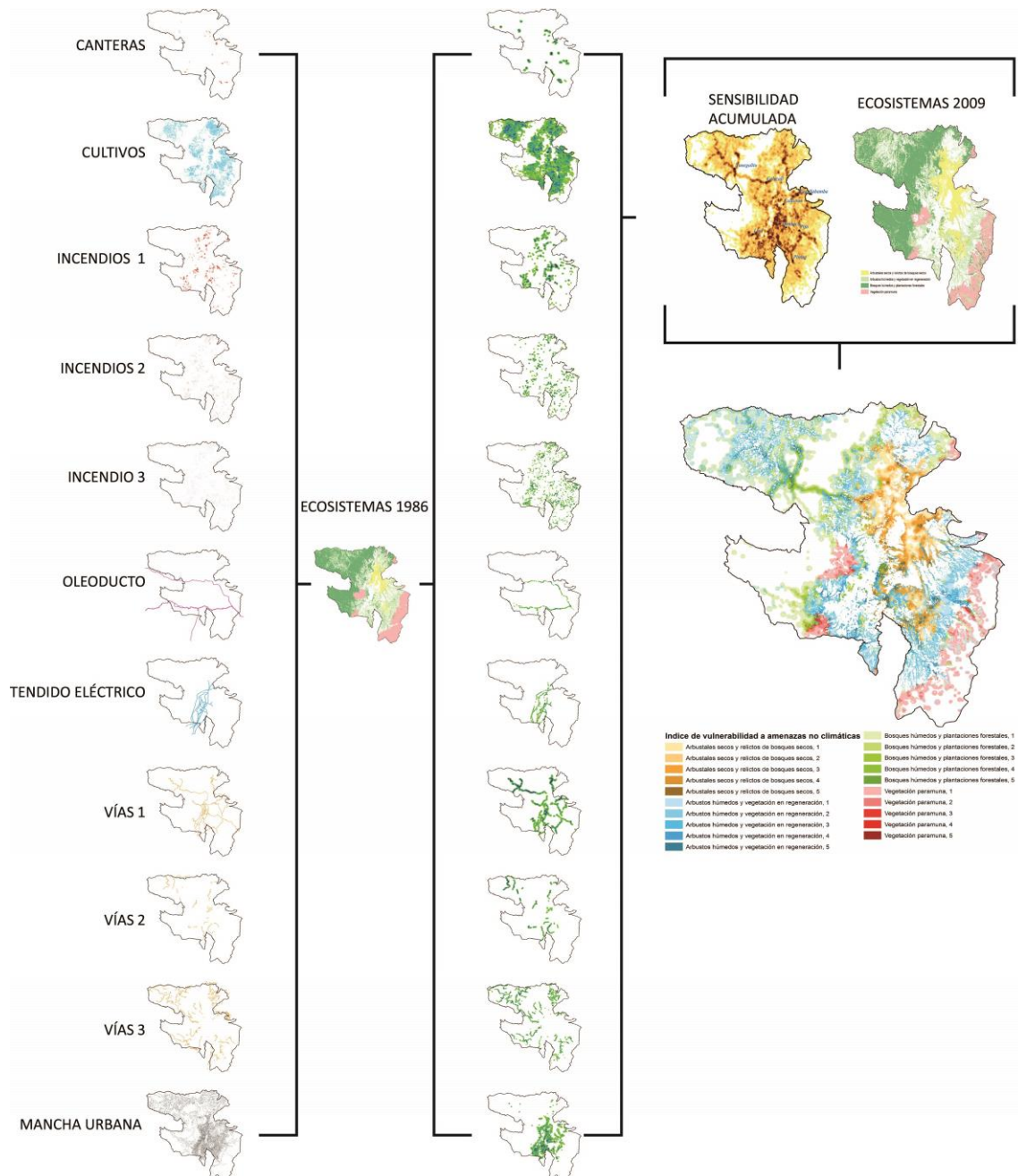
Para simplificar el análisis (modelamiento espacial; ver a continuación), los valores de las dos matrices de sensibilidad se promediaron y redondearon a cero decimales. Los valores de esta matriz, y de las matrices de cada tipo de sensibilidad por separado, se muestran en la sección de Resultados.

**Cálculo de la vulnerabilidad de los ecosistemas a amenazas antrópicas (modelamiento espacial)**—El modelamiento espacial utilizado para evaluar la vulnerabilidad presente de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas (antrópicas) se resume en la **Figura 2**. Primero, se cruzó las capas de *exposición* de **cada una** de las amenazas (según lo antes explicado) con el mapa de cobertura vegetal del DMQ del año 1986, que es el mapa disponible más antiguo de ecosistemas (en realidad, lo ideal sería realizar este cruce con un mapa que muestre la cobertura original de los diferentes ecosistemas antes de la presencia del hombre en el territorio). A cada uno de los polígonos de intersección resultantes, se les asignó entonces un valor de *sensibilidad* (de la matriz antes explicada) según el tipo de ecosistema que la amenaza en cuestión esté cruzando. Estos polígonos se transformaron luego en puntos (centroides), cada uno de los cuales tuvo un valor de sensibilidad diferente. En base a estos puntos, se aplicó una función de “kernel density” para crear una capa continua de sensibilidad de los ecosistemas a la amenaza en cuestión. Las diferentes capas de sensibilidad (que en cierto sentido son ya capas de vulnerabilidad por amenaza) se integraron luego en un solo mapa de “sensibilidad acumulada”. Para crear dicho mapa, las amenazas se ponderaron según su importancia o gravedad (**Tabla 4**). Este mapa, que se muestra en detalle en la sección de Resultados, señala espacialmente zonas con distintos niveles de sensibilidad—así, la sensibilidad más alta se presenta en áreas con los ecosistemas más *sensibles* y/o en áreas que están siendo afectadas por *varias amenazas a la vez*.

**Tabla 4.** Ponderación de las amenazas no climáticas en el modelamiento espacial. La ponderación se conceptualizó como una medida de la gravedad de la amenaza.

Amenaza	Ponderación (%)
Mancha urbana	15
Incendios 1	10
Incendios 2	5
Incendios 3	5
Agricultura	10
Vías 1	15
Vías 2	10
Vías 3	5
Canteras	15
Poliductos	5
Tendido eléctrico	5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Finalmente, para obtener el mapa final de vulnerabilidad, el mapa de sensibilidad acumulada se cruzó con el mapa de cobertura vegetal del DMQ del año 2009, el mapa de ecosistemas más reciente que está disponible. El mapa de vulnerabilidad, que se muestra en detalle en la sección de Resultados, señala las áreas de los remanentes de ecosistemas al “presente” (2009) que tienen algún grado de vulnerabilidad.



**Figura 2.** Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas (antrópicas).

### 2.5.3 Vulnerabilidad a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio anual

El índice de vulnerabilidad de ecosistemas al cambio climático fue conceptualizado en base al estudio de Tremblay-Boyer & Anderson (2007), con algunas modificaciones. Este índice—o indicador compuesto (Hinkel, 2011)—fue construido mediante la integración espacial de un indicador de exposición y cinco indicadores de



sensibilidad que se calcularon para cada fragmento de ecosistema, según el Mapa de Cobertura Vegetal del MDMQ (MDMQ-Secretaría de Ambiente, 2011). Estos indicadores miden o expresan de diferente manera los componentes de la vulnerabilidad (exposición o sensibilidad) de un ecosistema. A continuación, explicamos cómo se definieron y calcularon los diferentes indicadores, y cómo finalmente se calculó la vulnerabilidad.

**Indicador de exposición de la estructura del ecosistema**—Este indicador es de naturaleza cualitativa y se basó en cómo las características estructurales de los ecosistemas podrían modificar el área de influencia de la amenaza climática. Esta evaluación cualitativa se expresó en categorías del 1 al 5 (ver Resultados), donde el valor de 5 representa la máxima exposición (relación *positiva*).

**Indicador de sensibilidad de la funcionalidad del ecosistema**—Este indicador es de naturaleza cualitativa y se basó en cómo la vegetación de un ecosistema podría responder funcionalmente frente a la amenaza climática. Esta evaluación cualitativa se expresó en categorías del 1 al 5 (ver Resultados), donde el valor de 5 representa la máxima sensibilidad (relación *positiva*).

**Indicador de sensibilidad según el área del fragmento**—Este indicador representa la superficie relativa de un fragmento en relación a la distribución de tamaño de los fragmentos del mismo ecosistema. Un fragmento con un área relativamente pequeña sería más vulnerable que un fragmento con un área relativamente grande (dentro del mismo ecosistema); es decir, la relación entre área y sensibilidad es *negativa*. Para cada ecosistema, los valores de este indicador se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método *Natural Jenks* de clasificación de rangos. Luego, para convertir esta relación en *positiva*, y así hacer que este indicador sea comparable a los otros indicadores (valor más alto, sensibilidad más alta), se invirtió el orden de las categorías originalmente calculadas.

**Indicador de sensibilidad según el área núcleo del fragmento**—Este indicador midió, para cada fragmento, la relación (una división) entre el área núcleo y el área del borde. El área núcleo se definió como el área más central de un fragmento, la cual se asume que mantiene condiciones estables de funcionalidad ecosistémica. La distancia que definió el ancho del borde de un fragmento varió según el tipo de ecosistema (**Tabla 5**). Aunque los valores absolutos de estas distancias son relativamente arbitrarios, las diferencias relativas entre ellas se basan en conocimiento ecológico sobre la distancia a la que puede llegar el efecto de borde en el interior de los diferentes ecosistemas. Mientras menos área núcleo tenga un ecosistema en relación a su área de borde, más sensible éste sería frente a una amenaza (si luego de aplicar el área de borde, el fragmento queda sin área núcleo, entonces el indicador es igual a cero); es decir, la relación entre área núcleo/área borde y sensibilidad es *negativa*. Los valores de este indicador se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método de *Natural Jenks* de clasificación de rangos. Luego, para convertir esta relación en *positiva*, y así hacer que este indicador sea comparable a los otros indicadores (valor más alto, sensibilidad más alta), se invirtió el orden de las categorías originalmente calculadas.

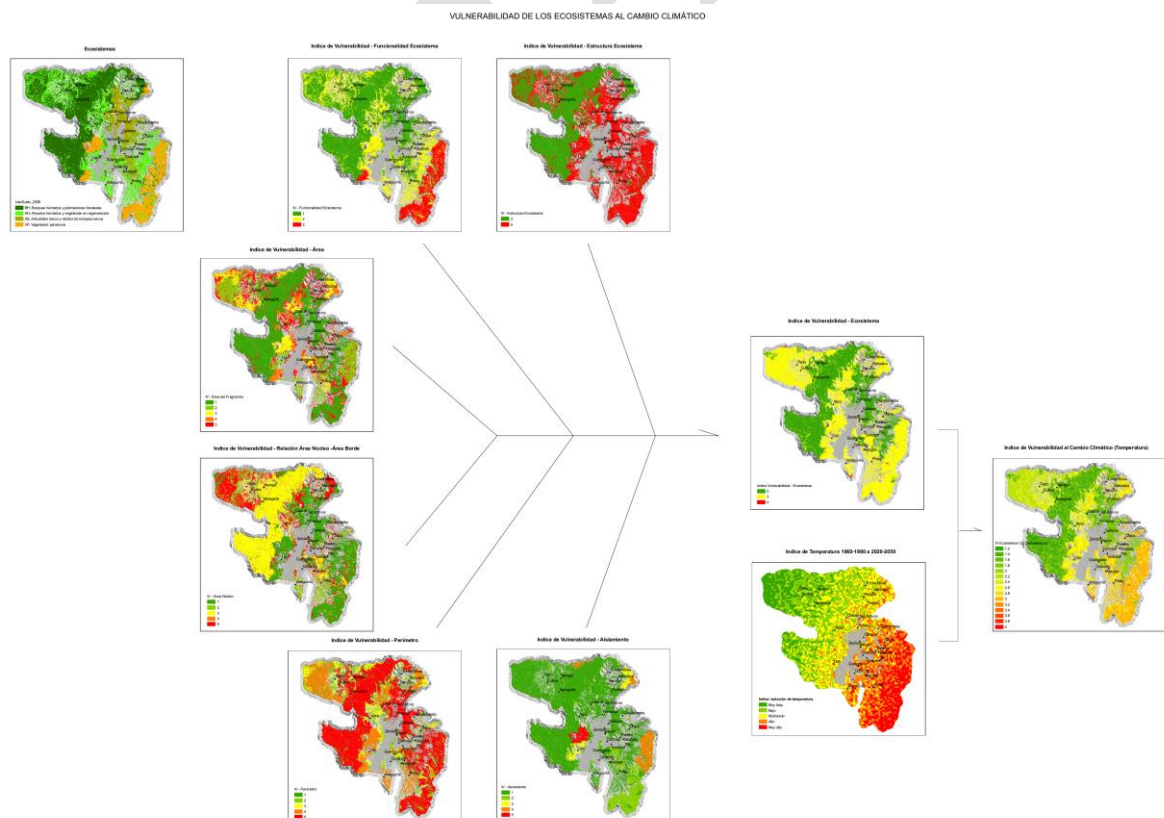
**Tabla 5.** Ancho del efecto de borde en diferentes categorías de ecosistemas. Este ancho fue utilizado para el cálculo del indicador de sensibilidad según el área núcleo del fragmento.

Categoría ecosistémica	Ancho de borde (m)
Arbustos secos y relictos de bosque seco	100
Vegetación paramuna	100
Bosques húmedos y plantaciones forestales	500
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	50

**Indicador de sensibilidad según la forma del fragmento**—Este indicador midió, para cada fragmento, la relación (una división) entre el perímetro del fragmento y el perímetro de un círculo con la misma área. Mientras más irregular sea el margen del fragmento (más vértices tenga la forma del fragmento), en relación a un margen sin vértices (el perímetro de un círculo), el ecosistema sería más vulnerable pues el efecto de borde sería mayor. Nótese que en este indicador, mientras más altos sean los valores, mayor es la sensibilidad; es decir, expresa una relación *positiva*. Para cada ecosistema, los valores de este indicador se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método de *Natural Jenks* de clasificación de rangos.

**Indicador de sensibilidad según el aislamiento del fragmento**—Este indicador mide, para cada fragmento, la distancia al fragmento más cercano del mismo ecosistema, es decir el nivel de aislamiento de cada fragmento con respecto al resto de fragmentos con características ecosistémicas similares. La lógica es que mientras mayor sea la distancia al vecino más cercano, más aislado dicho fragmento se encontrará, y mayor su sensibilidad sería, es decir expresa una relación *positiva* entre distancia y sensibilidad. Para cada ecosistema, los valores de este indicador primero se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método de *Natural Jenks* de clasificación de rangos.

**Cálculo de la vulnerabilidad de los ecosistemas a la amenaza climática (modelamiento espacial)**—El modelamiento espacial utilizado para evaluar la vulnerabilidad futura de los ecosistemas frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio anual se resume en la **Figura 3**.



**Figura 3.** Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a la amenaza climática de incremento de temperatura anual promedio.

Para calcular la vulnerabilidad de cada fragmento, primero se promediaron los valores de los indicadores redondeando el promedio a cero decimales (número entero). Luego, esta capa se cruzó con la capa de la amenaza climática, categorizada del 1 al 5, donde 5 significa una mayor diferencia relativa de temperatura promedio anual entre el promedio proyectado al 2050 (extraído de una proyección 2020–2060) y el promedio histórico (1960–1990), expresado en píxeles de 1000×1000 m para todo el territorio del DMQ (aporte de Nicholas Depsky, SEI). La proyección al 2050 se la hizo considerando un escenario de cambio climático pesimista, con altas emisiones de carbono. Finalmente, para obtener el índice de vulnerabilidad de los ecosistemas a la amenaza climática, los valores de vulnerabilidad originales (promedio de los indicadores) se modificaron según la “fuerza” que tenga la amenaza climática en diferentes partes del territorio (**Tabla 6**).

**Tabla 6.** Modificación del valor de vulnerabilidad calculado originalmente (promedio de los indicadores), según la fuerza de la amenaza climática.

Vulnerabilidad calculada (promedio de los indicadores, redondeado a cero decimales)	Amenaza climática categorizada	Índice de vulnerabilidad final (modificación del valor de vulnerabilidad según el valor de la amenaza)
1	1	0,2
	2	0,4
	3	0,6
	4	0,8
	5	1
2	1	1,2
	2	1,4
	3	1,6
	4	1,8
	5	2
3	1	2,2
	2	2,4
	3	2,6
	4	2,8
	5	3
4	1	3,2
	2	3,4
	3	3,6
	4	3,8
	5	4
5	1	4,2
	2	4,4
	3	4,6
	4	4,8
	5	5

### 3 Resultados

#### 3.1 AMENAZAS NO CLIMÁTICAS

En las **Tablas 7–9**, se exponen los niveles de sensibilidad asignados cualitativamente a los diferentes ecosistemas según el tipo de amenaza a diferentes amenazas. Estas tablas representan el resultado de los procesos de reflexión explicados en la sección anterior de Metodología.

**Tabla 7.** Matriz de la sensibilidad entendida desde la capacidad de recuperación del ecosistema en el área directamente destruida o degradada por una amenaza, expresada en categorías del 1–5, donde 1 = ecosistema nada o poco sensible (alta capacidad de recuperación) y 5 = ecosistema extremadamente sensible (capacidad de recuperación nula). Debajo de cada valor, se adjunta una breve explicación ecológica que justifica el valor asignado. Las amenazas de incendios y vías han sido sub-categorizadas para mejorar el detalle del análisis.

Amenaza	Arbustales secos y relictos de bosque seco	Vegetación paramuna	Bosques húmedos y plantaciones forestales	Arbustos húmedos y vegetación en regeneración
Mancha urbana	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Incendios 1	4 Limitada regeneración de la cobertura vegetal (excepto por algunas especies evolutivamente adaptadas al fuego).	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	2 Regeneración es posible (aunque los individuos quemados perezcan); la quema libera nutrientes (e.g., fósforo) que pueden ser fácilmente captados por plantas pioneras.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es muy posible.
Incendios 2	4 Limitada regeneración de la cobertura vegetal.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Incendios 3	3 Limitada regeneración de la cobertura vegetal.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Agricultura	4 Limitada regeneración de la cobertura vegetal original.	2 Regeneración de la cobertura vegetal original es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal original es posible mediante el proceso de sucesión por árboles pioneros.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Vías 1	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Vías 2	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Vías 3	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Canteras	5 Regeneración de la cobertura vegetal extremadamente limitada. El suelo descubierto (subsuelo), muy arenoso, no ofrece condiciones de humedad ni de nutrientes para la germinación de semillas.	4 Mínimo grado de regeneración de la cobertura vegetal.	3 Los suelos degradados limitan la regeneración de la cobertura vegetal, pero el banco de semillas relativamente diverso incrementa la probabilidad que alguna especie crezca.	3 Regeneración parcial de la cobertura vegetal.
Poliductos	4 Regeneración parcial de la cobertura vegetal, pero la recuperación puede tomar muchos años debido al lento crecimiento de las especies en este ecosistema.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.

Amenaza	Arbustales secos y relictos de bosque seco	Vegetación paramuna	Bosques húmedos y plantaciones forestales	Arbustos húmedos y vegetación en regeneración
Tendido eléctrico	1 Regeneración de la cobertura vegetal es muy posible, por la poca intervención sobre el suelo.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es muy posible.	1 Buena regeneración porque el área afectada es mínima.	1 Buena regeneración porque el área afectada es mínima.

**Tabla 8.** Matriz de la sensibilidad entendida desde la capacidad de resiliencia y/o resistencia del ecosistema **remanente** contiguo al área afectada por una amenaza, expresada en categorías del 1–5, donde 1 = ecosistema nada o poco sensible (alta resiliencia y/o resistencia) y 5 = ecosistema extremadamente sensible (resiliencia y/o resistencia nula). Debajo de cada valor, se adjunta una breve explicación ecológica que justifica el valor asignado. Las amenazas de incendios y vías han sido sub-categorizadas para mejorar el detalle del análisis.

Amenaza	Arbustales secos y relictos de bosque seco	Vegetación paramuna	Bosques húmedos y plantaciones forestales	Arbustos húmedos y vegetación en regeneración
Mancha urbana	5 Es fácil expandir la mancha urbana en este ecosistema. Se impide los procesos de resiliencia/resistencia.	5 Es fácil expandir la mancha urbana en este ecosistema. Se impide los procesos de resiliencia/resistencia.	4 Se impide parcialmente los procesos de resiliencia/resistencia	3 Tiene mejor resiliencia/resistencia que otros ecosistemas.
Incendios 1	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.
Incendios 2	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.
Incendios 3	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.
Agricultura	4 Ecosistema remanente sujeto a erosión por agua proveniente de los cultivos; además, existe intenso pastoreo.	3 Es relativamente fácil expandir la agricultura en este ecosistema; posible efecto sobre migración de fauna terrestre.	2 Procesos de resiliencia/resistencia posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia muy posibles.
Vías 1	4 Efecto de borde importante.	2 Efecto de borde limitado.	5 Fuerte efecto de borde (cientos de metros); fácil penetrar y extraer madera; efectos negativos sobre biomasa, flora y fauna.	1 Efecto de borde muy limitado.
Vías 2	3 Efecto de borde importante.	1 Efecto de borde muy limitado.	4 Fuerte efecto de borde (cientos de metros); fácil penetrar y extraer madera; efectos negativos sobre biomasa, flora y fauna.	1 Efecto de borde muy limitado.
Vías 3	2 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde muy limitado.	2 Efecto de borde relativamente leve.	1 Efecto de borde muy limitado.
Canteras	5 Fuerte efecto de borde, agravado por polvo y erosión.	2 Efecto de borde moderado; posible impacto sobre movimiento de fauna debido al tamaño de una cantera.	2 Efecto de borde moderado; posible impacto sobre movimiento de fauna debido al tamaño de una cantera.	2 Efecto de borde moderado; posible impacto sobre movimiento de fauna debido al tamaño de una cantera.

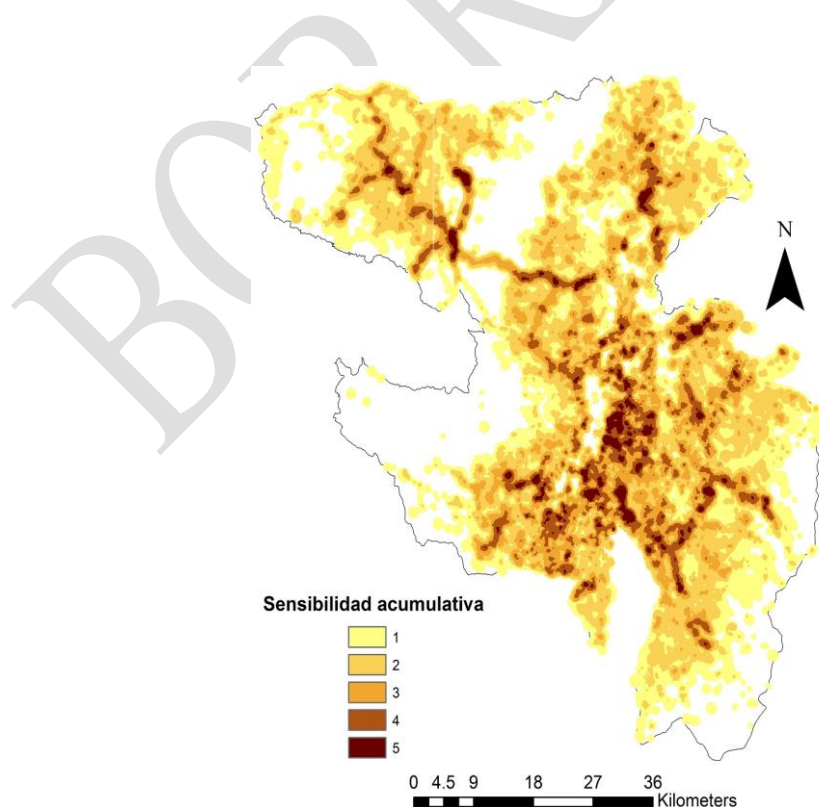


Amenaza	Arbustales secos y relictos de bosque seco	Vegetación paramuna	Bosques húmedos y plantaciones forestales	Arbustos húmedos y vegetación en regeneración
Poliductos	4 Fuerte efecto de borde. Potencial problema de contaminación.	1 Efecto de borde limitado. Potencial problema de contaminación.	2 Efecto de borde limitado. Potencial problema de contaminación.	1 Efecto de borde limitado. Potencial problema de contaminación.
Tendido eléctrico	2 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde limitado.

**Tabla 9.** Matriz utilizada en el modelamiento espacial que sintetiza las dos formas de sensibilidad sacando un promedio, donde 1 = ecosistema nada o poco sensible y 5 = ecosistema extremadamente sensible.

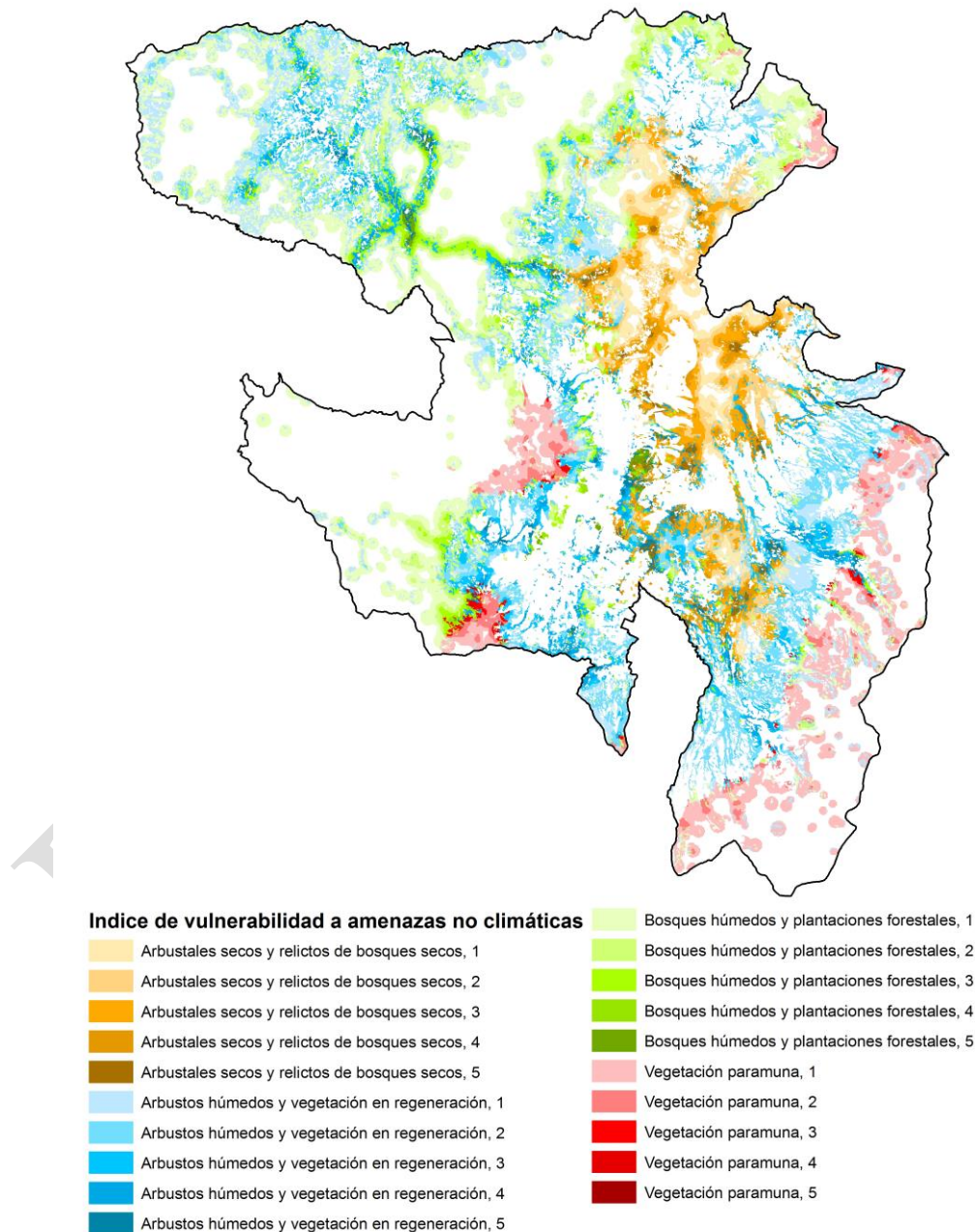
Amenaza	Arbustales secos y relictos de bosque seco	Vegetación paramuna	Bosques húmedos y plantaciones forestales	Arbustos húmedos y vegetación en regeneración
Mancha urbana	5	5	5	4
Incendios 1	3	2	2	2
Incendios 2	3	3	2	2
Incendios 3	2	1	1	1
Frontera agrícola	4	3	2	1
Vías 1	5	4	5	3
Vías 2	4	3	5	3
Vías 3	4	3	4	3
Canteras	5	3	3	3
Poliductos	4	2	2	1
Tendido eléctrico	2	1	1	1

El nivel de sensibilidad compuesta en el territorio se puede observar en la **Figura 4**. El mapa muestra en tonos más oscuros las áreas más sensibles a amenazas no climáticas. Nótese el impacto fuerte que tienen las vías y cómo cerca a la ciudad, especialmente hacia el este, las áreas de mayor sensibilidad se vuelven más frecuentes.



**Figura 4.** Mapa de sensibilidad compuesta a las amenazas no climáticas.

La **Figura 5** muestra el resultado final del análisis: un mapa de los diferentes niveles de vulnerabilidad a las amenazas no climáticas en las áreas de ecosistemas expuestos. En el mapa, solo se colorean las áreas que en el 2009 aún tenían remanentes de ecosistemas nativos y que a su vez tienen algún grado de vulnerabilidad. Los colores más intensos reflejan una mayor vulnerabilidad a las amenazas no climáticas. Las áreas de ecosistemas nativos que NO son al momento vulnerables NO se muestran en el mapa, pero su área se muestra en la **Tabla 10**.



**Figura 5.** Mapa de vulnerabilidad a las amenazas no climáticas de los ecosistemas en estudio. No se muestran los remanentes de ecosistemas que al momento no son vulnerables.

La **Tabla 10** muestra las áreas de cada categoría ecosistémica afectadas por diferentes valores de vulnerabilidad a las amenazas antrópicas. El ecosistema con mayor área relativa (%) vulnerable es la vegetación xerofítica (arbustales secos y relictos de bosque seco): 17,12% de su área tiene niveles altos de vulnerabilidad (categorías 4 ó 5). Este ecosistema está evidentemente en peligro y deben implantarse medidas emergentes para proteger el 28,27% de su territorio (al 2009) que aún tiene un nivel nulo o bajo de vulnerabilidad (categorías 0 ó 1). En contraste, la mayor parte del área de vegetación paramuna (87,76%) y de bosques húmedos/plantaciones forestales (79,95%) no se encuentran, al momento, prácticamente vulnerables a amenazas antrópicas (categorías 0 ó 1). Estas son buenas noticias considerando los importantes servicios que estos dos ecosistemas en conjunto proveen a la ciudadanía del Distrito (e.g., generación de lluvia, almacenaje de agua en el suelo, acervo genético, captación de carbono en la vegetación o en el suelo, entre otros).

**Tabla 10.** Área (ha) de los diferentes ecosistemas en diferentes grados de vulnerabilidad frente a las amenazas no climáticas (antrópicas). Las áreas se calculan en base a lo reportado en la Tabla 1.

Categoría de ecosistemas	Índice de vulnerabilidad a la amenazas no climáticas (antrópicas)						Total
	0 *	1	2	3	4	5	
Arbustales secos y relictos de bosques secos	3 520,26 (8,38 %)	8 358,11 (19,89 %)	12 180,94 (28,99 %)	10 763,35 (25,62 %)	5 602,32 (13,33 %)	1 593,79 (3,79 %)	42 018,77 (100 %)
Vegetación paramuna	21 151,78 (45,73 %)	19 440,28 (42,03 %)	4 537,17 (9,81 %)	859,01 (1,86 %)	244,8 (0,53 %)	15,85 (0,03 %)	46 248,89 (100 %)
Bosques húmedos y plantaciones forestales	73 595,31 (54,11 %)	35 141,34 (25,84 %)	18 059 (13,28 %)	6 211,89 (4,57 %)	2 185,11 (1,61 %)	829,4 (0,61 %)	136 022,05 (100 %)
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	11 316,76 (12,29 %)	23 226,1 (25,23 %)	3 2951,11 (35,79 %)	15 316,93 (16,64 %)	7 453,75 (8,1 %)	1 795,73 (1,95 %)	92 060,38 (100 %)

\* Es el área del ecosistema remanente no expuesto, al momento, a amenaza antrópica alguna.

### 3.2 AMENAZAS CLIMÁTICAS

El análisis cualitativo de exposición y sensibilidad funcional de los ecosistemas frente a la amenaza climática se puede observar en las **Tablas 11 y 12**.

**Tabla 11.** Calificación cualitativa de la exposición de los ecosistemas analizados frente a la amenaza climática de incremento gradual de la temperatura promedio, según la siguiente escala categórica: 1 (ninguna exposición), 2 (alguna exposición, pero no significativa), 3 (alguna exposición), 4 (exposición significativa) y 5 (exposición completa).

Unidad de análisis (categorías de ecosistemas)	Exposición a la amenaza (incremento gradual de la temperatura promedio)	Argumento ecológico
Arbustales secos y relictos de bosque seco	4	Esta categoría ecosistémica podría tener una exposición significativa porque la densidad poblacional de sus estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo y arborecente) en ciertas áreas es relativamente baja y crea espacios abiertos. Por tanto, la amenaza climática puede afectar de manera relativamente homogénea a todo el área.
Vegetación paramuna	4	Este categoría ecosistémica podría tener una exposición significativa porque sus estratos de vegetación (herbáceo y arbustivo) son de muy poca altura, y por tanto este ecosistema estaría expuesto casi totalmente a la amenaza climática.

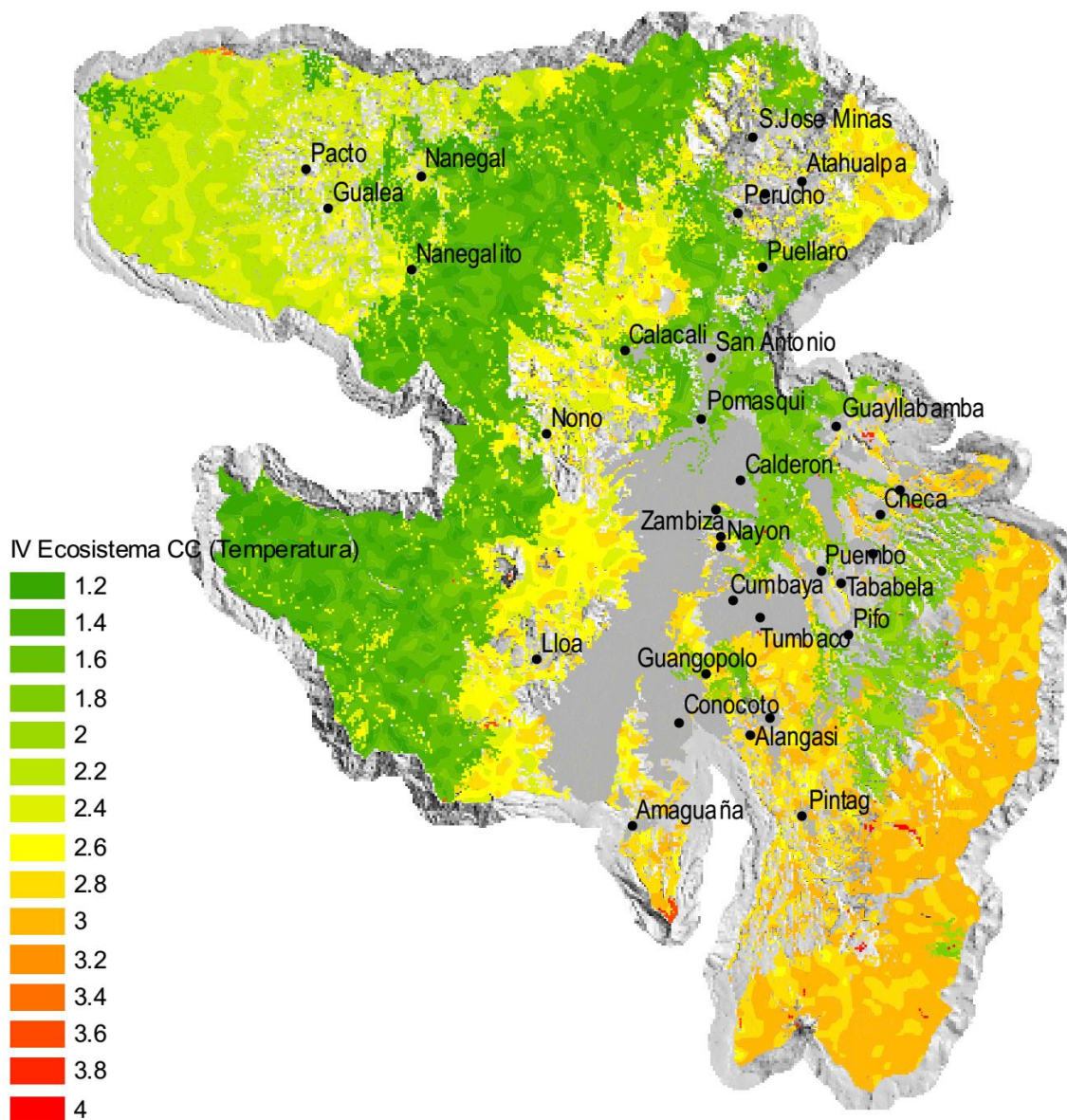
Unidad de análisis (categorías de ecosistemas)	Exposición a la amenaza (incremento gradual de la temperatura promedio)	Argumento ecológico
Bosques húmedos y plantaciones forestales	3	Esta categoría incluye los bosques húmedos de las estribaciones y los bosques de eucalipto y coníferas. En el caso de los bosques húmedos, éstos podrían tener un grado relativamente bajo de exposición que el de otros ecosistemas porque sus estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo [sotobosque], arborescente/arbóreo [sotobosque al dosel]) están representados por individuos densamente distribuidos. La presencia de vegetación densa y árboles de diferentes alturas podrían crear microclimas internos dentro del bosque que sean relativamente independientes de la condiciones climáticas externas. Los árboles de dosel, sin embargo, sí estarían directamente expuestos al clima. En el caso de los bosques de eucalipto y coníferas, éstos podrían tener una exposición significativa porque los estratos de vegetación más comunes (herbáceo, arbustivo y arborescente/arbóreo) tienden a tener individuos con una distribución espacial relativamente uniforme y árboles de crecimiento recto. Por tanto, la amenaza sí podría afectar de manera más o menos homogénea a todo el ecosistema.
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	4	Este categoría ecosistémica podría tener una exposición significativa porque sus estratos de vegetación (herbáceo y arbustivo) son de muy poca altura, y por tanto este ecosistema estaría expuesto casi totalmente a la amenaza climática.

**Tabla 12.** Calificación cualitativa de la sensibilidad funcional de los ecosistemas analizados frente a la amenaza climática de incremento gradual de la temperatura promedio, según la siguiente escala categórica: 1 (ningún impacto sobre el ecosistema), 2 (impacto mínimo, con poco o ningún efecto sobre el ecosistema), 3 (ecosistema puede ser negativamente afectado), 4 (ecosistema será negativamente afectado), 5 (ecosistema será completamente dañado).

Unidad de análisis (categorías de ecosistemas)	Sensibilidad a la amenaza climática (incremento gradual de la temperatura promedio)	Argumento ecológico
Arbustales secos y relictos de bosque seco	1	Esta categoría ecosistémica no se vería negativamente afectada debido a que históricamente las especies nativas de este ecosistema se han adaptado a condiciones muy extremas de calor y sequías. Es incluso posible que su producción primaria aumente.
Vegetación paramuna	3	Esta categoría ecosistémica podría ser afectada negativamente si persiste la amenaza, debido a que en un páramo más caliente poco a poco favorecería la colonización de especies adaptadas a condiciones ambientales menos frías, sean éstas arbóreas (del bosque andino), arbustivas o herbáceas. Este lento proceso reduciría, a muy largo plazo, la extensión del páramo como tal, en especial en montañas no muy altas. Frente a una pérdida gradual del páramo, su servicio ecosistémico de generación y almacenamiento de agua se vería disminuido, afectando negativamente a la población humana.
Bosques húmedos y plantaciones forestales	1	Esta categoría ecosistémica podría tener una sensibilidad baja porque, asumiendo que la precipitación se mantendría, el incremento gradual de temperatura podría aumentar las tasas fotosintéticas de muchas especies, incrementando la producción primaria. Además, la existencia de microclimas dentro de los densos bosques húmedos dilataría el efecto de la amenaza climática. La sensibilidad es también baja porque la plasticidad fisiológica de las especies presentes en las plantaciones forestales (e.g., <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Eucalyptus saligna</i> ) es relativamente alta.
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	2	Esta categoría ecosistémica podría no afectarse mucho pues la complejidad estructural y la buena capacidad de sucesión o regeneración de los arbustos húmedos amortiguaría el efecto negativo de la amenaza climática.



En la **Figura 6** se representa la vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ frente a la amenaza climática de incremento de temperatura, según la metodología ya explicada. Los valores corresponden a aquellos mostrados en la última columna de la **Tabla 6**, es decir representan valores de vulnerabilidad corregidos según la fuerza del incremento de temperatura que se espera en diferentes áreas del Distrito. Ningún área del DMQ no muestra una vulnerabilidad muy alta (valores de 4–5); sólo en el páramo son frecuentes los valores relativamente altos de vulnerabilidad (3–4). Es también interesante notar que tanto los bosques húmedos del noroccidente como el ecosistema xerofítico (vegetación seca) presentan una vulnerabilidad relativamente baja.



**Figura 6.** Vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio.



La **Tabla 13** muestra las áreas de cada categoría ecosistémica afectadas por diferentes valores de vulnerabilidad a la amenaza climática. La mayor parte del DMQ cubierta por arbustales secos y relictos de bosque seco (69,62%) y bosques húmedos/plantaciones forestales (67,62%) tiene una vulnerabilidad relativamente baja (valores de 1–2). En contraste, aproximadamente la mitad de la vegetación paramuna del DMQ tiene relativamente alta vulnerabilidad (valores de 3–4), mientras que la otra mitad tiene una vulnerabilidad media (valores de 2–3). La baja vulnerabilidad del ecosistema xerofítico (arbustos y bosques secos) es resultado de las adaptaciones ecofisiológicas que ya tienen las especies características de este ecosistema para soportar condiciones de alta temperatura y sequía (ver **Tablas 10 y 11**). En el caso de los bosques húmedos, la baja vulnerabilidad se debe principalmente al gran tamaño del remanente de bosque aún presente en las estribaciones occidentales, y a la característica que tiene este ecosistema de mantener microclimas en diferentes estratos del bosque, donde la influencia de la topografía es crucial y coadyuva a amortiguar los efectos de la amenaza climática (ver **Tablas 10 y 11**). Finalmente, los relativamente altos valores de vulnerabilidad del páramo reflejan los valores relativamente altos de exposición y sensibilidad funcional de este ecosistema (**Tablas 10 y 11**).

**Tabla 13.** Área (ha) de los diferentes ecosistemas en diferentes grados de vulnerabilidad frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio. Las áreas se calculan en base a lo reportado en la Tabla 1.

Categoría de ecosistemas	Índice de vulnerabilidad a la amenaza climática (categorizado)			Total
	1–2	2–3	3–4	
Arbustales secos y relictos de bosques secos	29 253,81 (69,62 %)	10 350,82 (24,63 %)	2 414,14 (5,75 %)	42 018,77 (100 %)
Vegetación paramuna	0 (0 %)	21 864,84 (47,28 %)	24 384,05 (52,72 %)	46 248,89 (100 %)
Bosques húmedos y plantaciones forestales	91 977,78 (67,62 %)	40 611,08 (29,86 %)	3 433,2 (2,52 %)	136 022,05 (100 %)
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	10 719,12 (11,64 %)	72 754,83 (79,03 %)	8 586,44 (9,33 %)	92 060,38 (100 %)

#### 4 Conclusiones y recomendaciones

En base a los resultados presentados en este estudio, podemos elaborar las siguientes conclusiones y recomendaciones asociadas:

- La evaluación de la vulnerabilidad frente a amenazas antrópicas—es decir la vulnerabilidad frente a aquellas amenazas no relacionadas al cambio climático, pero que pueden agravar sus potenciales efectos a largo plazo—mostró que el ecosistema más vulnerable es el ecosistema xerofítico y que los ecosistemas menos vulnerables son los ecosistemas de páramo y bosque húmedo tropical.
- La evaluación de la vulnerabilidad frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio anual—entendida como un proxy aceptable del fenómeno de “cambio climático” bajo un escenario

pesimista de emisiones de carbono hacia el 2050—mostró que el ecosistema más vulnerable es el páramo y que los ecosistemas menos vulnerables son el ecosistema xerofítico y el bosque húmedo tropical.

- El ecosistema xerofítico y el ecosistema de páramo muestran patrones antagónicos en sus niveles de vulnerabilidad dependiendo del tipo de amenaza analizada. El ecosistema xerofítico es el más vulnerable frente a las amenazas antrópicas, pero es poco vulnerable frente a la amenaza climática; mientras que el ecosistema de páramo es el más vulnerable frente a la amenaza climática, pero es poco vulnerable frente a las amenazas antrópicas. Es por tanto recomendable implementar acciones emergentes de protección para los escasos remanentes de ecosistema xerofítico que aún existen, pero también acciones de conservación a largo plazo para las grandes extensiones de páramo todavía presentes en estado nativo.
- Para diseñar acciones institucionales (del MDMQ) sobre los ecosistemas con el fin de salvaguardar su integridad a largo plazo, es primero útil recordar que la vulnerabilidad y la amenaza se unen en el concepto de riesgo, y que el accionar sobre la vulnerabilidad o sobre la amenaza es actuar sobre el riesgo. Es decir que, para disminuir el riesgo, se debe actuar sobre la vulnerabilidad y/o la amenaza. Sin embargo, para el caso de los ecosistemas, la vulnerabilidad (especialmente los elementos de sensibilidad y capacidad de adaptación) es una propiedad intrínseca del sistema natural que se ha originado durante miles de años de evolución, la cual no puede ser cambiada fácilmente ni significativamente por el hombre. Además, de actuar sobre las amenazas, el ser humano puede bajar el nivel de riesgo sólo si éstas son de origen antrópico (e.g., la construcción de una carretera) pues no tiene control sobre amenazas de origen natural (e.g., una erupción volcánica). Basándonos en esta conceptualización teórica, en el [Anexo 3](#) resumimos las acciones que el MDMQ está realizando o podría realizar sobre los ecosistemas.<sup>4</sup>
- Por último, este estudio ha demostrado que es posible utilizar la detallada información espacial existente para el DMQ, junto con información ecológica genérica, para realizar una primera evaluación de los elementos de exposición y sensibilidad—y por ende vulnerabilidad—de los ecosistemas tanto frente a amenazas no climáticas (antrópicas) como climáticas, considerando también los conceptos ecológicos de resistencia y resiliencia asociados. Sin embargo, la información ecológica aún debe ser depurada y profundizada en base a estudios específicos sobre la biología/ecología de las especies (que en el DMQ son miles) y su respuesta frente a diferentes amenazas antrópicas y climáticas. Aunque la mayoría de estudios sobre biodiversidad del DMQ (e.g., MECN, 2009) proveen información sobre la diversidad y distribución de una parte de la enorme biodiversidad del DMQ, no proveen información científica sobre cómo dichos patrones de diversidad y distribución están cambiando *en el*

---

<sup>4</sup> Estas propuestas de acción pueden conceptualizarse como la “capacidad de respuesta” del MDMQ, o como “medidas de adaptación institucional”.

*tiempo y en el espacio* como respuesta a las amenazas, ni cómo el nicho o función de las especies en su hábitat se ha modificado, si acaso, frente al ambiente alterado. La escasez y/o corta duración de los estudios existentes sobre este tema (e.g., las iniciativas de investigación de CONDESAN, o la tesis de maestría de A. Cabrera, uno de los autores de este reporte), aún nos limitan para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ de una manera más profunda. En el **Anexo 2** se presenta una lista muy preliminar de las potenciales variables que podrían medirse en estudios científicos sobre este tema. Dicha información—que se la debe comenzar a recopilar empíricamente (programas de monitoreo) y luego insertarla en modelos ecosistémicos matemáticos—es necesaria para realmente comprender cómo los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema reaccionan frente a la variedad de amenazas antrópicas y climáticas. Es importante recalcar que la inversión necesaria para llevar a cabo un programa de investigación de esta magnitud sobrepasa los varios millones de dólares, y que requiere un equipo de investigadores multidisciplinario.

## 5 Bibliografía

- CIIFEN. (19 de Enero de 2014). *Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño*. Recuperado el 19 de Enero de 2014, de <http://www.ciifen.org/>: <http://goo.gl/ArLOLn>
- Folke, C. C. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 557–581.
- Hinkel, J. (2011). “Indicators of vulnerability and adaptive capacity”: Towards a clarification of the science–policy interface. *Global Environmental Change*, 21, 198–208.
- Josse, C., Navarro, G., Comer, P., Evans, R., Faber-Langendoen, D., Fellows, M., . . . Teague, J. (2003). *Ecological systems of Latinamerica and the Caribbean: A working classification of terrestrial systems*. Arlington, Estados Unidos: NatureServe.
- MDMQ-Secretaría de Ambiente. (2011). *Memoria Técnica del Mapa de Cobertura Vegetal del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Quito: Manthra Editores.
- MECN. (2009). Capítulo I Introducción. En MECN, *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)* (págs. 1-51). Quito: Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) - Fondo Ambiental del MDMQ.
- Sierra, R. (Ed.). (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Quito, Ecuador: Proyecto INEFAN/GEF-BIRG/ECOCIENCIA.
- Tremblay-Boyer, L., & Anderson, E. (2007). *A preliminary assessment of ecosystem vulnerability to climate change in Panama. Technical Report of Senior Research Project*. Panamá: McGill University, CATHALAC, and the Smithsonian Tropical Research Institution.
- Walker, B., Holling, C., Carpenter, S., & Kinzing, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5 [online] <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>.

## 6 Anexos

**Anexo 1.** Matriz originalmente propuesta por el MDMQ como herramienta de conocimiento participativo sectorial (HCP). Las preguntas escogidas se indican con letras rojas.

		Ecosistemas			
Ambitos	Datos	Unidades de análisis sobre el estado de las siguientes categorías de ecosistemas: Arbustales secos y relictos de bosque seco, Vegetación paramuna, Bosques húmedos y plantaciones forestales, Arbustos húmedos y vegetación en regeneración			
		Amenazas antrópicas (mancha urbana, vías, canteras, frontera agrícola, incendios,...)	Amenaza climática	Amenaza climática compuesta (sequías, heladas, vendavales)	Relación con la amenaza morfoclimática (inundaciones, deslizamientos de origen siconatural)
Sociodemográficos	Tasa de crecimiento de la población, nivel de sector censal - nivel de parroquia	Cómo influye la tasa de crecimiento a nivel parroquial en la deforestación y en la extensión de la frontera agrícola y como esto genera presión en los ecosistemas?			Deslizamientos, relación indirecta con deforestación, consecuencia de deforestación
Económico	Aviturismo como sector económico	Cómo impactan las amenazas antrópicas en el aviturismo (bosques húmedos y páramos)	Cómo impactan las amenazas climáticas sobre las aves que migran a sitios más altos por cambio de su hábitat	Cómo impactan las amenazas climáticas compuestas en el aviturismo (bosques húmedos)	
Ambiental	Quebradas de protección ecológica	Cómo las amenazas antrópicas en quebradas de protección ecológica generan un conflicto y presión en los ecosistemas (bosques y arbustos húmedos)	Cuáles son los impactos de las amenazas climáticas en quebradas intervenidas por procesos urbanos (colectores) dentro de los ecosistemas		Como resultado de amenazas antrópicas
	Áreas de conservación	Cuál es el impacto de la minería en las áreas de conservación (relación con biodiversidad)	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas sobre las áreas de conservación (relación a biodiversidad)/Cómo varían estas áreas por efectos de amenazas climáticas. Dos escalas: cobertura vegetal y cambio del uso del suelo por variables climáticas.	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas compuestas sobre las áreas de conservación (relación a biodiversidad)	Cuál es el impacto de los deslizamientos sobre las áreas de conservación (relación a biodiversidad)
	Áreas de recuperación	Cuál es el impacto de las amenazas antrópicas en las áreas de recuperación	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas en las áreas de recuperación	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas compuestas en las zonas de recuperación	Qué áreas en zonas de recuperación de las unidades de análisis pueden ser afectadas por deslizamientos
	Cobertura vegetal (escala amplia, incl. cambio uso del suelo no antropico)	Cómo las amenazas antrópicas generan impactos/cambios sobre la cobertura vegetal	Cómo las amenazas climáticas generan impactos/cambios sobre la cobertura vegetal	Qué impactos pueden generar las amenazas climáticas compuestas sobre la cobertura vegetal	Qué impactos pueden generar las amenazas morfoclimáticas sobre la cobertura vegetal
	Unidades de uso especial (derechos de vía, tendido eléctrico, hidroeléctricas, poliductos, oleoductos)	Cómo se potencializan los impactos en los ecosistemas causados por unidades de uso especial por la existencia de las amenazas antrópicas			Si las unidades de uso especial son afectadas por deslizamientos como impactan a los ecosistemas?
	Biodiversidad	Cómo incendios/deforestación afectan a la biodiversidad	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas en la distribución espacial de orquídeas, anuros, aves...	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas compuestas en la distribución espacial de orquídeas, anuros, aves...	
			urbano		
			rural		
			periurbano-rural		
			Todo el DMQ		

**Anexo 2.** Lista de variables (ejemplos) cuya medición es recomendable para mejorar la calidad y cantidad de información disponible para evaluar objetivamente la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a amenazas antrópicas como climáticas.

Área de la ciencia	Variable y definición
- Climatología	<i>Espacio climático.</i> - Es la relación entre las tendencias climáticas históricas y futuras en un área de paisaje dada. <i>Área expuesta.</i> - Es la superficie de un paisaje expuesto a una anomalía climática.
- Ecología del paisaje	<i>Área del fragmento.</i> - Es la superficie de un fragmento de un ecosistema. <i>Área total del ecosistema.</i> - Es la sumatoria de las superficies de los fragmentos de un ecosistema. <i>Área total del paisaje.</i> - Es la superficie de todo el territorio representado. <i>Área núcleo del fragmento.</i> - Es la superficie del hábitat interior de un fragmento de un ecosistema. <i>Área total del núcleo.</i> - Es la sumatoria de las áreas núcleo de los fragmentos de un ecosistema. <i>Geometría del fragmento.</i> - Es un índice matemático que representa cuantitativamente la forma, área y borde de un fragmento de un ecosistema. <i>Número de fragmentos.</i> - Es el número total de fragmentos de un ecosistema, o de todo el paisaje. <i>Densidad de fragmentos.</i> - Es el número de fragmentos, del ecosistema o del paisaje, que existen en una superficie dada de territorio. <i>Borde del fragmento.</i> - Es el perímetro de un fragmento de un ecosistema (un estimado del tamaño del ecotono). <i>Borde total del ecosistema.</i> - Es la sumatoria de los perímetros de los fragmentos de un ecosistema. <i>Distancia del vecino más cercano.</i> - Es la distancia entre un fragmento y el fragmento más cercano del mismo ecosistema. <i>Distancia del vecino más lejano.</i> - Es la distancia entre un fragmento y el fragmento más lejano del mismo ecosistema. <i>Proximidad.</i> - Es la distancia entre un fragmento y otro del mismo ecosistema, a partir de un determinado radio de búsqueda.
- Ecología de ecosistemas	<i>Tasa de transpiración.</i> - Es el flujo de agua que se transporta desde el suelo hacia la atmósfera por los vasos conductores de una planta. A nivel de ecosistema, se representa por las mediciones hechas en especies representativas, o se puede medir directamente con instrumentación especializada. <i>Tasa de producción primaria (productividad primaria).</i> - Es la tasa de producción de biomasa en un tiempo determinado. La tasa de producción primaria bruta (PPB) incluye el consumo de biomasa por respiración (R), mientras que la tasa de producción primaria neta (PPN) es igual a la tasa de PPB menos los flujos de pérdidas de biomasa por R. PPB puede estimarse indirectamente desde estimaciones de PPN Y R, o directamente a través de mediciones de tasas fotosintéticas en especies representativas de un ecosistemas.
- Ecofisiología	<i>Tasa de evaporación del suelo.</i> - Es el flujo de agua que se evapora desde el suelo a la atmósfera en un área de suelo dada. <i>Tasa de evapotranspiración.</i> - Es la suma de la tasa de transpiración, la tasa de evaporación del suelo, y otros flujos de agua por evaporación, en un ecosistema.
- Ecología de poblaciones y comunidades	<i>Potencial hídrico.</i> - Es la medida del potencial de agua en una parte de una planta (usualmente las hojas). A nivel de ecosistema, se representa por las mediciones hechas en especies representativas. <i>Biomasa de raíces.</i> - Es la biomasa de raíces a diferentes profundidades del suelo. <i>Contenido de agua del suelo.</i> - Es el contenido volumétrico o gravimétrico de agua a diferentes profundidades del suelo. <i>Concentración de sales del suelo.</i> - Es la conductividad eléctrica promedio de muestras de suelo provenientes de áreas representativas del ecosistema. <i>Concentración de macro- y microelementos del suelo.</i> - Es el cantidad de minerales disponibles en el suelo. <i>Concentración de carbono orgánico e inorgánico del suelo.</i> - Es la cantidad de carbono en el suelo, sea éste de origen orgánico (de materia orgánica) o inorgánico.
- Ecología de poblaciones y comunidades	<i>Distribución geográfica observada y potencial de una especie.</i> - La distribución geográfica observada es el área donde una especie ocurre al presente, mientras que la distribución geográfica potencial es el área donde una especie ocurre o podría ocurrir según lo determinado por un modelo. <i>Síndrome de dispersión.</i> - Es el síndrome de dispersión de una especie. <i>Capacidad de dispersión.</i> - Es la capacidad de dispersión de la diáspora de una especie. <i>Polinización.</i> - Es el tipo y abundancia de polinizadores que tiene una especie. <i>Genética.</i> - Es el nivel de diversidad genética que tiene una especie. <i>Barreras geográficas.</i> - Son los accidentes geográficos que limitan la distribución geográfica de una especie. <i>Fenología.</i> - Son los patrones temporales de las fases de floración, fructificación y producción de hojas de una especie. <i>Hábitat.</i> - Es el tipo de ecosistema(s) en los que ocurre una especie. <i>Habito.</i> - Es la forma de crecimiento de una especie (árbol, liana, arbusto, hierba, complementado con el tipo de sustrato donde crece, e.g. terrestre, epífita, hemiepífita, acuática, etc.). <i>Nivel de protección.</i> - Indica si la especie ocurre o no dentro de un área protegida. <i>Número de poblaciones.</i> - Es el número de poblaciones conocidas de una especie en un área determinada. <i>Categoría de amenaza de la UICN.</i> - Es la categoría de amenaza según los criterios de la UICN.
- Sensores remotos	<i>Análisis espectral.</i> - Es el análisis espectral de la radiación absorbida, reflejada y transmitida por las hojas de las especies en un ecosistema.



**Anexo 3.** Acciones o “medidas de adaptación” que el MDMQ está realizando o podría desarrollar para disminuir el nivel de riesgo de los ecosistemas, en el marco de las amenazas analizadas en este estudio.

### PLAN DE DESARROLLO DEL DMQ: EJE 5 “QUITO VERDE”

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) dentro del manejo y desarrollo de políticas locales ha impulsado el “Plan de Desarrollo 2012–2022”. En base a un diagnóstico general estratégico del DMQ—que coherentemente considera el actual entorno social, económico y político—este plan detalla y define siete ejes que estructuran las proyecciones de desarrollo del DMQ hacia el 2022. Uno de estos ejes es el “Eje 5: Quito verde” que establece las prioridades de gestión ambiental e identifica las presiones que el ambiente enfrenta. El diagnóstico de este eje determina tres elementos prioritarios: patrimonio natural, calidad ambiental y cambio climático. Este eje se concreta en una serie de programas, con sus respectivos objetivos y metas hasta el 2022, propuestos desde la administración. Los programas incluyen varios relacionados a ecosistemas, los cuales se sintetizan en la **Tabla A**.

**Tabla A.** Programas planteados por el MDMQ hasta el 2022, con sus objetivos y metas, en aspectos relacionados a ecosistemas. El texto ha sido extraído del Eje 5 “Quito verde” del Plan de Desarrollo 2012–2022.

PROGRAMA	OBJETIVO	METAS AL 2022
Sistema metropolitano de áreas de conservación y ecosistemas frágiles.	Proteger las áreas de conservación y los ecosistemas frágiles del DMQ implementando acciones de uso sustentable de los recursos naturales con las poblaciones locales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 290 000 ha se conservan en el DMQ como áreas de protección ecológica.</li> <li>• Se recuperan y protegen las quebradas de Quito.</li> </ul>
Forestación y reforestación del entorno natural del DMQ.	Recuperar y conectar la vegetación natural e intervenida del DMQ con activa participación ciudadana.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 000 ha de vegetación se recuperan en el DMQ.</li> </ul>
Buenas prácticas ambientales.	Consolidar una cultura ciudadana de uso sustentable de recursos y corresponsabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La huella ecológica de la población del DMQ se disminuye en un 20%.</li> <li>• Se monitorea de manera permanente los patrones de consumo de la población para proponer mecanismos que favorezcan buenas prácticas ambientales.</li> </ul>
Plan de adaptación al cambio climático en el DMQ.	Reducir la vulnerabilidad al cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reduce en un 25% la vulnerabilidad distrital al cambio climático en sectores estratégicos.</li> </ul>
Plan de mitigación del cambio climático en el DMQ.	Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el DMQ.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reduce en 10% las emisiones de gases de efecto invernadero en el DMQ, en relación al crecimiento proyectado.</li> </ul>
Acción ciudadana frente al cambio climático.	Promover la implementación de acciones ciudadanas de lucha frente al cambio climático, en base a un compromiso de corresponsabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 35% de los ciudadanos del DMQ participan en acciones de adaptación, mitigación y gestión ambiental.</li> </ul>

### ACCIONES INSTITUCIONALES (“MEDIDAS DE ADAPTACIÓN”)

Las acciones institucionales por parte del MDMQ deben conllevar a construir una responsabilidad individual y colectiva que determine nuestra capacidad para afrontar como sociedad las amenazas que afectan no sólo a los ecosistemas sino también a la propia ciudadanía por los servicios ecosistémicos que éstos ofrecen. Pragmáticamente, la manera más efectiva de reducir los efectos negativos de las amenazas no climáticas y climáticas sobre los ecosistemas es un cambio radical en el modelo de desarrollo existente, que implique la reducción sustancial en la emisión de

gases de efecto invernadero (GEI) y la reducción en el uso de recursos y energía por parte de la población (no sólo de Quito, sino del mundo). Estas iniciativas son ya parte del Plan de Desarrollo del DMQ 2012–2022, pero sus metas son modestas: solo una reducción del 20% en la “huella ecológica” (¿será de carbono?) y una reducción del 10% en las emisiones de gases de efecto invernadero. Pero esos niveles de reducción son demasiado conservativos y no lograrán disminuir significativamente la fuerza de las amenazas ni la curva de las tendencias. Para que den resultado, debe reducirse drásticamente la tasa de construcción de vías, la flota de vehículos, la explotación de canteras y el crecimiento de la mancha urbana. Pero, ¿en cuánto?

Justamente, una de las acciones que en el mediano plazo resultaría muy valiosa para la toma de decisiones acertadas es la inversión en la generación de información empírica, tanto sobre el funcionamiento de ecosistemas como sobre sus relaciones con la sociedad. Sobre los estudios que se necesitarían sobre el tema de funcionamiento de ecosistemas se elaboró ya en la última conclusión del informe y en el Anexo 2.

Otro campo de acción que sin duda es relevante para mantener la integridad de los ecosistemas frente a las crecientes amenazas, antrópicas o climáticas, es el de ampliar su cobertura actual y proteger estrictamente la cobertura presente (conservación *in situ*). Esto implica prácticas de restauración ecológica, acompañadas de una reforestación planificada con especies nativas que permitan eventualmente que los ecosistemas puedan seguir, sin ayuda antrópica, su proceso natural de sucesión. Esta actividad será obviamente más fácil si las áreas de restauración se encuentran cerca de remanentes de ecosistemas en relativamente buen estado, pero puede también llevarse a cabo en determinados parques dentro de la ciudad. Acompañando a estas iniciativas, se pueden crear, o seguir apoyando, los programas que motivan económicamente a la conservación de los remanentes de vegetación nativa.

Finalmente, otro campo de acción posible es la conservación *ex situ* de especies sensibles. Este esfuerzo tiende a ser costoso, por lo que puede restringirse, por una parte, a especies endémicas del Ecuador con una distribución espacial restringida en el DMQ y un tamaño de población reducido y, por otra, a especies con una ecofisiología sensible a los cambios ambientales o a sus efectos indirectos. Puesto que identificar las especies de este último grupo requiere de estudios especializados, este grupo de especies es el más propenso a pasar desapercibido por los tomadores de decisiones. Por ejemplo, el “jambato” (*Atelopus ignescens*), un sapo que hace 50 años era extremadamente común en los Andes del norte del Ecuador, y que no parecía necesitar acciones especiales de protección o conservación, de pronto comenzó a desaparecer rápidamente hasta declararse oficialmente extinto hace aproximadamente 30 años.