

White Paper: Propuesta metodológica para la Estimación de la Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito



Preparado para:

Climate and Developed Knowledge Network (CDKN) y la Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

Elaborado por:

David Purkey, Francisco Flores-Lopez, Laura Forni, Jairo Estacio, Nicholas Depsky, Vishal Mehta, Pamela Jarrin, Katherine Tehelen.
Stockholm Environment Institute (SEI)

David Yates

National Center for Atmospheric Research



Work Packages 2-3

Proposed methodology to assess the current vulnerability and future uncertainties scenarios to the Metropolitan District of Quito, and develop sectoral vulnerability indices that reflect current vulnerability. Establish indices of general social and priority sector vulnerability and the Compiled Vulnerability Index for the DMQ, as well as a validated and replicable methodology which would enable the periodic reevaluation of DMQ's vulnerability.

Output for White Paper:

Considerations when formulating the methodology, subdividing the approach into exposure, sensitivity and adaptive capacity, including the methodology to be used for the participation phase. This document will describe in detail the model(s) used to propose indicators and indices and possible variables to be used for the compiled Sectoral Climate Change Vulnerability Index of the DMQ.

Índice

1. Presentación
2. Investigaciones previas y justificación del estudio
3. Marco teórico metodológico
4. Metodología para la estimación de la vulnerabilidad en el DMQ
 - 4.1 Etapa 1: Construcción del conocimiento.
 - 4.2 Etapa 2: Identificación de indicadores de exposición y sensibilidad.
 - 4.3 Etapa 3: Análisis espacial de vulnerabilidad.
 - 4.4 Etapa 4: Narrativas de la vulnerabilidad e identificación de líneas guía de adaptación.

1. PRESENTACIÓN

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) experimenta cambios en la temperatura y los patrones de precipitación, junto con la alteración del ciclo hidrológico y el aumento en la intensidad y frecuencia de eventos extremos, todo como consecuencia del cambio climático. Estos cambios afectan directa e indirectamente a los ecosistemas “frágiles” o menos resilientes, así como a la disponibilidad de agua en las actuales vertientes de captación, incidiendo en ciclos de siembra y cosecha, la seguridad alimentaria y en la salud humana.

El DMQ enfrenta desafíos relacionados con la elevada exposición del territorio a riesgos hidroclimáticos, mofoclimáticos, así como riesgos antropogénicos y otros factores de estrés en el sistema. Esta compleja problemática se debe en parte al acelerado crecimiento de la población a una tasa de 2,3% y al crecimiento de la mancha urbana en 800 hectáreas/año entre 1986 y 2009, principalmente en las laderas del Pichincha - Atacazo, Valles de Tumbaco y los Chillos, Zona Noroccidente y Norcentral del DMQ, alcanzando en 2009 un área edificada de 23.846 ha(5,8% del DMQ) y una población de 2.239.191 habitantes (Censo 2010).

El crecimiento urbanístico acelerado ha creado un efecto de presión sobre los grandes remanentes de ecosistemas nativos, y ya está modificando la cobertura vegetal y el uso del suelo en el territorio, generando áreas de riesgo urbano susceptibles a deslizamientos, anegamientos y hundimientos. Las amenazas antrópicas se verán agravadas a mediano o largo plazo por el cambio climático, cuyo origen último es también antrópico.

Si bien el DMQ cuenta con diversos estudios y varias herramientas referenciales a nivel de cuencas hidrográficas, cambio climático y datos de variabilidad climática e insumos estadísticos de contaminación o impacto ambiental, entre otros insumos importantes¹, aún no dispone de un instrumento que permita diseñar un proceso metodológico para estimar las vulnerabilidades frente a las amenazas climáticas y antrópicas.

De ahí que el presente estudio constituye una de las primeras propuestas metodológicas para la evaluación integral del grado de exposición y sensibilidad de los ecosistemas del DMQ frente a diferentes amenazas antrópicas y climáticas, a partir de la sistematización de datos espaciales del Distrito e información ecológica genérica en el “Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos” del DMQ.

¹El DMQ cuenta con instrumentos relevantes como el Plan de Acción Climática de Quito 2012-2016, instrumento ordenador y regente de los Planes Metropolitanos de Desarrollo 2012-2022, de Ordenamiento Territorial 2012-2022, de movilidad, agua potable y alcantarillado, y de Uso y Ocupación de Suelo (PUOS). En el Marco de la Estrategia Quiteña al Cambio Climático y el Plan de Acción Climático, el DMQ implementa 10 Acciones para hacer frente a la vulnerabilidad con medidas de adaptación y de mitigación: (1) Movilidad Sustentable, (2) Creación de una Red Verde Urbana, (3) Gestión integral de Recursos Hídricos (4) Gestión Integral de Residuos Sólidos (5) Uso de Energía Alternativa, (6) Cultura ambiental, (7) Sensibilización y conocimiento de cambio climático, (8) Gestión ambiental municipal (9) Gestión de riesgos climáticos y (10) Conservación y valoración del patrimonio natural.

2. INVESTIGACIONES PREVIAS Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La vulnerabilidad se encuentra en el corazón de la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático. Por ende, una forma apropiada y efectiva de abordar las medidas de adaptación y de reducción de riesgos y manejo del cambio climático es a través de mecanismos y acciones correctivas y preventivas para la reducción de las amenazas antrópicas.

El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y la Fundación Natura 2010 han estudiado la vulnerabilidad de los sistemas ecológicos y socio económicos en los Andes Tropicales ubicados en Colombia, Ecuador y Perú, a partir del análisis de múltiples factores de la vulnerabilidad de un sistema y sus variables de exposición, sensibilidad y elasticidad, sin separar las condiciones ambientales de las influencias antropogénicas. No obstante, la información climática gruesa presentada en este estudio de escala regional no permite realizar un análisis detallado de los impactos climáticos en la población, ecosistemas, paisajes y sectores económicos completos.

En el plano nacional, en Ecuador y en el DMQ se han desarrollado estudios de vulnerabilidad bajo dos premisas: 1. Mejorar el nivel de conocimiento y la búsqueda de las nuevas formas de intervención para reducir los riesgos, y 2. Mejorar las capacidades locales frente a riesgos de desastres, estudios que apuntan no solo a identificar las debilidades y susceptibilidades de los sistemas sino también su lado positivo.

El Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) desarrolló el estudio “Generación de Geo-información para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, cuyo componente 8 incluye un análisis de vulnerabilidad similar al desarrollado por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SNGR) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que investigan la vulnerabilidad de cantones medianos y pequeños del Ecuador con una visión más territorial y urbana. En este ámbito la “Metodología para la estimación de la vulnerabilidad a nivel cantonal del Ecuador” es una herramienta para el cálculo de vulnerabilidades ante amenazas de origen natural para las áreas físico-estructural, socioeconómica, institucional y político-legal y de redes vitales.

El Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva Gobernabilidad del agua (PACC), dependiente del Ministerio de Ambiente (MAE), desarrolló el “Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo”, que analiza la vulnerabilidad de los servicios ambientales que brinda una cuenca hidrográfica.

El MAE publicó también el “Estudio de Vulnerabilidad del Proyecto de Adaptación al Cambio Climático para una mejor gobernabilidad del Agua” que identifica las características de las amenazas climáticas que causan daños materiales, económicos y pérdidas de vidas humanas en cuencas hidrográficas. Con esa información se calculó el índice de vulnerabilidad en 3 aspectos: infraestructura, socioeconómicos e institucionales.

Entre otros estudios sobre la vulnerabilidad destacan los realizados por la Secretaría del Ambiente del MDMQ y el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIFEN), que contemplan no solo variables climáticas y sus efectos sino también factores demográficos y dinámicas económicas e institucionales. El CIIFEN ha realizado otros estudios de vulnerabilidad con un enfoque ecosistémico que implica la interrelación e interdependencia del ser humano con los ecosistemas, como es el caso del estudio de cambio climático realizado en la provincia del Guayas, que generó como resultado la Estrategia Provincial de Cambio Climático.

A su vez, el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) y el Municipio de Quito llevaron a cabo el estudio “La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito” 2000-2004, que generó una importante base de datos de conocimiento sobre la logística urbana, la capitalidad, la economía del Distrito y los bienes comunes, entre otros temas.

Los aportes de estos estudios constituyen insumos importantes para comprender la problemática ambiental, pero tienen limitaciones en cuanto a información, escalas y métodos comparativos, y son insuficientes para contribuir de manera efectiva al análisis, la comprensión y la toma de decisiones. Si bien no tienen vigencia por su desactualización, sus reflexiones y enfoques fuertemente centrados en la planificación preventiva frente a las amenazas antrópicas aún son aplicados en la gestión de riesgos en el DMQ.

En general, los estudios de cambio climático y riesgos han arrojado más interrogantes que respuestas certeras. Según investigaciones realizadas por FLACSO y el PNUD (2013)², es limitada la utilidad de los estudios de evaluación de riesgo y cambio climático en cuanto a la toma de decisiones, esto porque la gobernabilidad del sector en Ecuador se basa en gran parte en decisiones netamente políticas, con tiempos de aplicabilidad en el corto plazo, denotando un alejamiento cada vez mayor con los insumos y herramientas técnico-científicas.

En este contexto, es esencial construir un instrumento metodológico para determinar la vulnerabilidad del DMQ en relación al cambio climático, bajo un escenario extremo hasta mediados de siglo, proceso que conlleva la estimación y el cálculo de incertidumbres presentes y futuras en relación a variabilidad climática y comportamientos extremos en el DMQ.

²Informes no publicado “estudio de estudios para la comprensión de la vulnerabilidad” PNUD 2013 y “El impacto y utilidad de los estudios de riesgo y cambio climático en países del Caribe y región andina” FLACSO Secretaría General-CDKN 2013.

Los diferentes estudios de vulnerabilidad realizados en Quito han ido configurando un marco teórico metodológico orientado principalmente a: 1. Mejorar el nivel de conocimiento y la búsqueda de las nuevas formas de intervención para reducir los riesgos y 2. Mejorar las capacidades locales frente a riesgos de desastres. Sin embargo, la metodología aquí presentada hace énfasis en la evaluación de la vulnerabilidad en función de las inquietudes y preocupaciones de los actores locales, y tomando en cuenta la variabilidad de los índices de vulnerabilidad, según el territorio y el sector priorizado.

La construcción de conocimiento en procesos participativos, lo que supone incorporar el saber de la sociedad medido por la experiencia de sus integrantes en relación al cambio climático, ayuda a disminuir las incertidumbres en la generación de información, mejora la calidad de los estudios científicos, optimiza sus impactos, su aceptabilidad y su buen uso por parte de los actores involucrados.

La Estrategia Internacional para la Reducción de desastres (EIRD) define “amenaza” como un fenómeno, sustancia, actividad humana o situación peligrosa que puede causar la muerte, lesiones u otros impactos sobre la salud, daños materiales, pérdida de los medios de vida y servicios, interrupción de la actividad social y económica, o degradación ambiental. La amenaza está determinada por su intensidad, magnitud y probabilidad de ocurrencia.

Según la Oficina para la Reducción del Riesgo de Desastre de Naciones Unidas (UNISDR), la vulnerabilidad indica el grado en que una sociedad está expuesta o protegida del impacto de las amenazas naturales. Esto depende del estado de los asentamientos humanos y su infraestructura, la manera en que la administración pública y las políticas manejan la gestión del riesgo, y el nivel de información y educación que dispone una sociedad sobre los riesgos existentes y cómo debe enfrentarlos.

En la definición del IPCC 2001, la vulnerabilidad al cambio climático está determinada por el carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de la variación a la que un sistema está expuesto, de su sensibilidad y de su capacidad de adaptación.

Tanto en la definición de la UNISDR como en la del IPCC, la noción de vulnerabilidad está determinada por el factor de exposición de un sistema o asentamiento humano a eventos climáticos o naturales, y por la susceptibilidad/sensibilidad y la capacidad de adaptación o resiliencia de un sistema o de un conjunto de elementos territoriales.

En términos ecológicos, los conceptos de *resistencia* y *resiliencia* son complementarios al concepto de *sensibilidad* de un ecosistema frente a una amenaza. 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. Así, si un ecosistema es inmune a una amenaza, es considerado *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*.

La Metodología para la Estimación de la Vulnerabilidad al Cambio Climático en el DMQ aplica la metodología del IPCC y utiliza los indicadores de exposición y de susceptibilidad, ambos de naturaleza cualitativa, y para responder a los dos objetivos específicos planteados evalúa la “vulnerabilidad presente” y la “vulnerabilidad futura”, es decir la *posibilidad* que tiene el territorio de enfrentar un daño provocado por una amenaza que puede o no ocurrir a futuro.

La Metodología combina unidades expuestas del territorio frente amenazas climáticas y antrópicas junto con elementos de sensibilidad, y adicionalmente evalúa la capacidad de adaptación institucional en cada uno de los sectores. El objetivo de esta herramienta es estimar la vulnerabilidad de cada sector a partir de preguntas críticas formuladas por actores estratégicos en un ámbito participativo.

El principal aporte de este instrumento metodológico es facilitar a la Secretaría del Ambiente (SA) y a los socios estratégicos de cada sector prioritario un marco conceptual y una base de datos espacial para el análisis de vulnerabilidad, y particularmente para la producción cartográfica y modelamientos espaciales específicos de cada sector priorizado en relación al cambio climático y sus medidas adaptación.

El estudio incluye:

1. Una metodología de construcción de conocimiento que ofrezca una guía de los procesos e instrumentos de conocimiento participativos,
2. Un análisis territorial que contribuya a entender no solo la amenaza climática (exposición), sino también sus impactos (susceptibilidad),
3. La generación de escenarios territoriales e indicadores de vulnerabilidad para la toma de decisiones,
4. La elaboración de un documento guía que incorpore recomendaciones para la determinación de políticas y medidas de adaptación y reducción de riesgos en los sectores vulnerables del DMQ.

3. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL DMQ

La construcción de una “Metodología de Estimación de Vulnerabilidad frente a Cambio Climático” más que una tarea netamente académica y científica, es un proceso de investigación y aprendizaje colectivo en función a las necesidades institucionales, territoriales y los retos de la gobernanza del riesgo local. La base fundamental de la metodología propuesta es la construcción colectiva del conocimiento desde lo local, garantizando un proceso participativo de actores clave, ya sean políticos o técnicos.

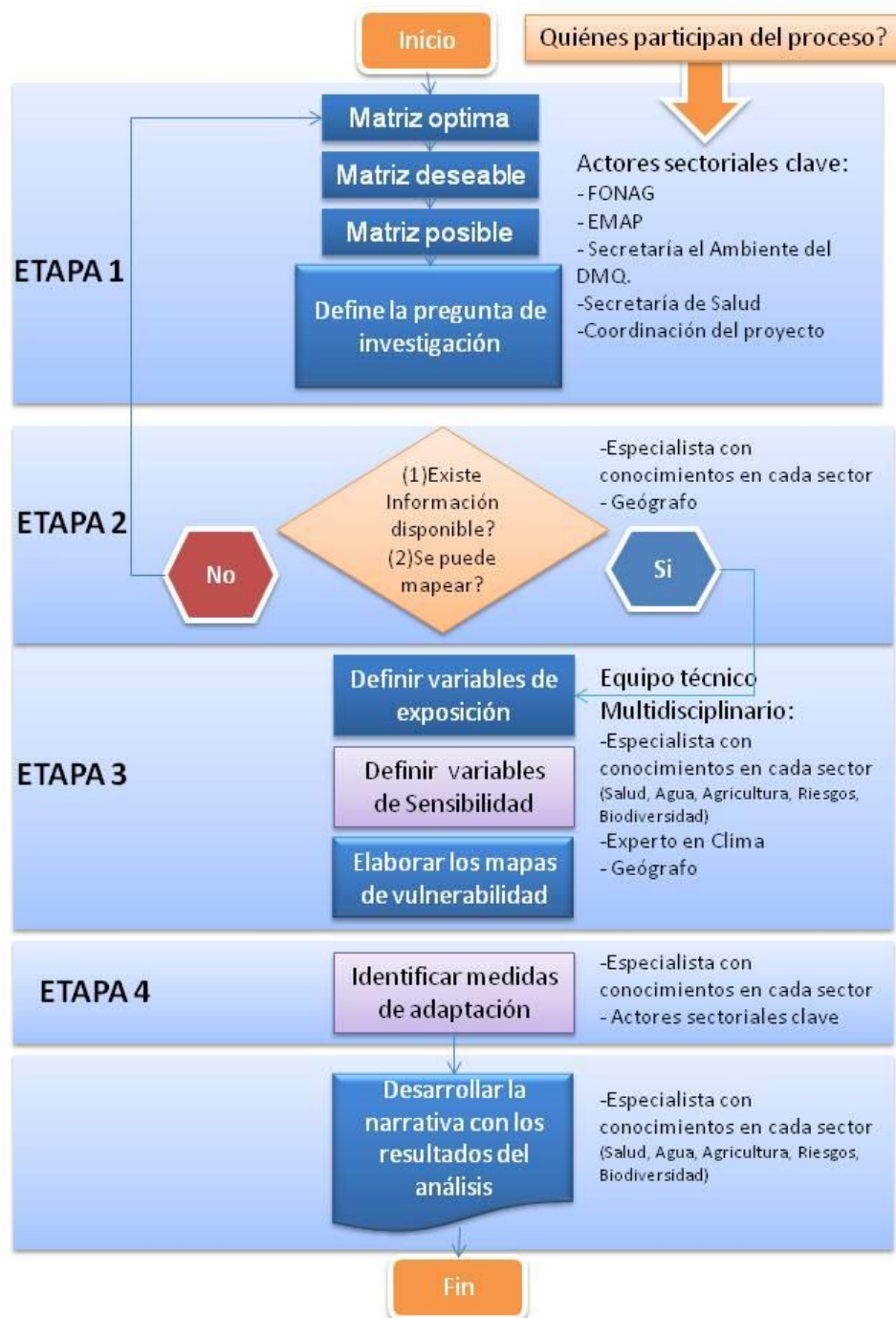
La Herramienta de Conocimiento Participativo (HCP) es clave en la promoción de espacios de reflexión y conocimiento de la problemática del cambio climático, procedimiento que ha demostrado gran efectividad en términos de sensibilización, levantamiento de información y fortalecimiento de capacidades institucionales. Son múltiples las ventajas de la participación ciudadana, como por ejemplo la apertura y establecimiento de espacios de reflexión; transferencia de conocimiento entre equipos técnico-científicos y técnicos locales, y desarrollo de capacidades municipales.

La utilidad de la metodología propuesta radica en el análisis de los niveles de exposición y sensibilidad a partir de preguntas clave o “cuestionamientos” locales en cada sector priorizado, un mecanismo con enfoque territorial absolutamente crítico, efectivo para reducir las brechas entre generadores de conocimiento y tomadores de decisión, y útil para legitimar las medidas correctivas o adaptativas en umbrales más “certeros”.

El análisis de la vulnerabilidad sectorial se desarrolla en cuatro etapas: 1. definición de preguntas de investigación y unidades de análisis; 2. identificación y selección de variables de vulnerabilidad (Amenazas, Exposición, Sensibilidad), 3. análisis espacial que integre la información del territorio con las variables de vulnerabilidad, y 4. evaluación de la capacidad de adaptación institucional y definición de líneas guía de adaptación. En este proceso dinámico, las cuatro etapas se complementan entre sí.

En una fase previa a la implementación de la metodología se recopiló información primaria y secundaria en instituciones públicas y Universidades del DMQ, y en entrevistas y reuniones de trabajo con actores y expertos locales. Luego se conformaron grupos de trabajo en sectores de agua, agricultura, salud, ecosistemas y riesgos, los cuales contribuyeron a la formulación de preguntas de investigación y guiaron los procesos participativos.

El proceso metodológico para el análisis de vulnerabilidad del DMQ se describe en el siguiente diagrama de flujo:



4.1 ETAPA 1: CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN RELEVANTES

El punto de partida es la identificación de los efectos y amenazas de origen climático y antrópico que afectan las unidades expuestas. La mejor manera de caracterizar la vulnerabilidad es formular preguntas/hipótesis clave y coherentes con las necesidades de políticas sectoriales relevantes, que posteriormente orientarán los procesos de investigación y los análisis de exposición y sensibilidad de los ecosistemas, considerando ámbitos sociales, ambientales y económicos.

Con la aplicación de la HCP se formula una serie de preguntas específicas por sector y se construye una matriz de posibles análisis espaciales en cuanto a exposición, sensibilidad y susceptibilidad a las amenazas climáticas y antrópicas, contemplando la información existente o “disponible”.³

La lógica de las preguntas guía es la siguiente:

Exposición: ¿Cuáles son los niveles de exposición de las unidades territoriales frente a las amenazas actuales? ¿Cómo se manifiestan las amenazas climáticas en el tiempo?

Susceptibilidad: ¿Cómo afectan las amenazas climáticas en el funcionamiento de sectores estratégicos? ¿Qué tipos de impactos tienen las amenazas en ciertos factores demográficos, económicos y ambientales de los sectores? ¿Qué consecuencias de los impactos de las amenazas climáticas se evidencian en los ámbitos temáticos? ¿Cómo contribuyen ciertos ámbitos temáticos en el agravamiento de las consecuencias de los impactos en las unidades territoriales sectoriales expuestas?

Preguntas guía

Agricultura: ¿Cuál es la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas a la variabilidad climática? ¿Cuál es la sensibilidad de los cultivos y cómo se pueden ver afectados en la duración de los ciclos de crecimiento por cambios en las temperaturas? ¿Cómo la variabilidad climática afectará la exposición de los cultivos a cambios en temperatura y su efecto en el crecimiento; así como los cambios de la frontera agrícola y por consiguiente la exposición de los páramos a cambios en dicha frontera?

Agua: ¿Qué tan vulnerable es el suministro de las fuentes de agua actual y futura para el abastecimiento de agua potable del DMQ?

³La herramienta HCP es clave en el proceso de identificación y evaluación de las amenazas antrópicas y morfoclimáticas en un determinado territorio, y también en la definición de indicadores para medir el impacto del cambio climático a largo plazo. Para determinar la vulnerabilidad del sector agua en el DMQ se aplicó el modelo de gestión integral de recursos hídricos WaterEvaluation And PlanningSystem (WEAP) previamente construido por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) para la cuenca de Guayllabamba.

Ecosistemas: ¿Cuál es vulnerabilidad presente de los ecosistemas de interés frente a las amenazas no climáticas de origen antrópico? ¿Cuál es la vulnerabilidad futura de los ecosistemas de interés frente a la amenaza climática de incremento gradual de temperatura promedio anual?

Riesgos de incendios forestales: ¿Cuáles son las zonas de mayor propagación del fuego? ¿Cómo se relacionan las acciones antrópicas en la generación de los incendios? ¿Cuál es el efecto de la variabilidad climática en el aumento de los incendios?

Las reflexiones, análisis y resultados alcanzados en la Etapa 1 proveen insumos para comenzar a buscar indicadores y variables relevantes para la realización del análisis espacial en cada sector, en sucesivos espacios de análisis “óptimos”, “posibles” y “necesarios”.

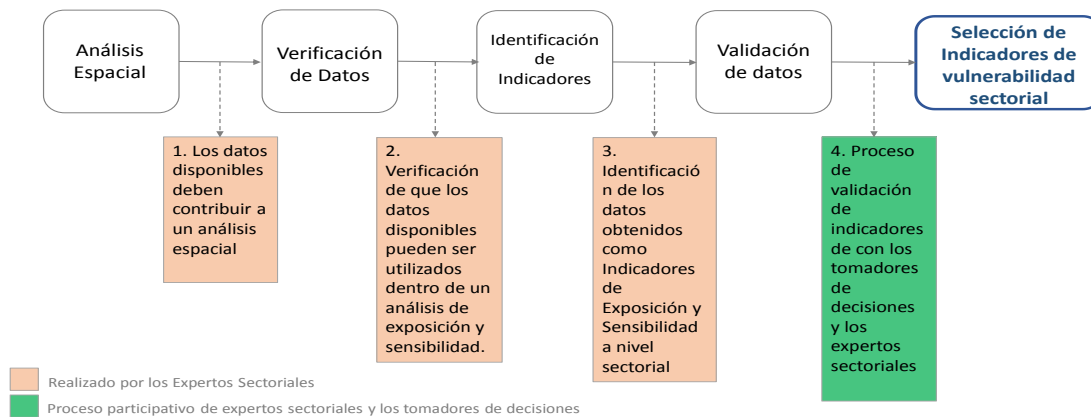
4.2 ETAPA 2: IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES DE EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD

Al finalizar la primera etapa, un equipo técnico configura un banco de preguntas más pulido y refinado que sirve como guía de la investigación temática. Durante este proceso se construye una matriz con preguntas “óptimas” clave relativas a la exposición y sensibilidad a amenazas climáticas o vinculadas a éstas.

En un inicio la matriz es producida bajo un principio de “análisis óptimo” que los investigadores definen como “riguroso o ideal”, pero con logros alcanzables a largo plazo. Esta primera fase da pie a un segundo proceso de “análisis posible” en el cual se priorizan preguntas según su relevancia y se construyen las “matrices posibles”.

En sucesivos “espacios de reflexión y conocimiento participativo” se van definiendo las denominadas matrices de “análisis necesarios”, considerando: 1. La necesidad de los análisis para políticas públicas y de reducción de riesgos, 2. La información disponible de forma inmediata y de calidad que contribuya a los análisis requeridos en el corto plazo, y 3. La generación de análisis espaciales temáticos de relevancia para la toma de decisiones.

Una vez formuladas las preguntas claves para cada sector a partir de la “matriz necesaria”, se seleccionan las variables e indicadores de estudio que miden o expresan de diferente manera los componentes de la vulnerabilidad (exposición o sensibilidad) de un ecosistema. Estos insumos permitirán luego sistematizar el procedimiento metodológico y constituir sistemas de información espacial sobre las características de la vulnerabilidad.



Proceso de identificación y validación de indicadores para cada sector

4.3 ETAPA 3: EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD TERRITORIAL Y SENSIBILIDAD DE LOS SISTEMAS O ANÁLISIS ESPACIAL

Con la información recabada y la geo-información más actualizada y validada posible, el análisis espacial de la vulnerabilidad sigue seis pasos: (i) Identificación de amenazas (climáticas, antrópicas, morfoclimáticas); (ii) definición de los niveles de riesgo ante la amenaza (bajo, medio, alto); (iii) identificación de la(s) unidad(es) expuesta(s); (iv) selección del indicador(es) de sensibilidad; (v) análisis espacial que integre los pasos i – iv; y (vi) determinación de los niveles de exposición ante amenazas climáticas y antrópicas que definen el indicador de vulnerabilidad.

4.3.1 Identificación de amenazas

La amenaza se define en función de la intensidad, magnitud y probabilidad de ocurrencia de un evento climático. En este estudio se conceptualizan cuatro tipos de amenaza que afectan a las unidades expuestas:

Amenazas no climáticas o antrópicas, es decir acciones humanas dentro o cerca de los ecosistemas, por ejemplo el establecimiento de zonas agrícolas, construcción de viviendas, edificación de infraestructura, e incendios forestales provocados por descuido y/o vandalismo.

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.

Amenazas climáticas compuestas donde interviene más de dos variables climáticas, por ejemplo sequías y heladas.

Amenaza morfoclimática donde intervienen acciones humanas, factores físicos agravantes como pendiente, erosión, cobertura vegetal y factor determinante como la precipitación. Se encuentran inundaciones y deslizamientos. Se consideran también los incendios forestales como conjunción de actividades humanas, factores físicos y climáticos.

4.3.2 Definición de niveles de riesgo ante amenazas

La evaluación de vulnerabilidad considerará tanto el grado de exposición de los sistemas prioritarios, así como sus características que lo hacen sensibles a dichos impactos. Para cada amenaza se han establecido previamente niveles de riesgo. En el caso de incendios forestales, por ejemplo, los niveles de riesgo se categorizaron en *Muy Débil, Débil, Moderado, Alto y Muy Alto*.

4.3.3 Identificación de las Unidades Espaciales relevantes para el análisis sectorial

En esta fase se seleccionan las unidades espaciales y se identifican las variables expuestas. Las Unidades Espaciales son las áreas dentro del territorio del DMQ que son relevantes para el análisis sectorial (por ejemplo parroquias, zona rural vs. zona urbana, unidades administrativas, de conservación, cuencas hidrográficas). Las Variables Expuestas son las unidades afectadas dentro de cada unidad espacial (población, áreas de cultivos importantes, áreas de vegetación natural).

El estudio del sector Agua ha considerado dos tipos de unidades de análisis: 1. Cuencas hidrográficas aportantes de agua “cruda” en las que se encuentran las fuentes de agua del DMQ y 2. Zonas de abastecimiento de agua potable (o también conocidas como zonas de servicio) a nivel de la distribución de la población otorgado por EPMAAP-Q.

4.3.4 Selección de Indicadores de sensibilidad

En esta fase se selecciona los Indicadores de Sensibilidad que determinan efectos negativos o positivos en relación a las amenazas y las variables expuestas en un territorio definido, como por ejemplo los índices de pobreza, especies endémicas, edad, número de centros de salud, entre otros.

En el sector agrícola se evalúa: 1. Sensibilidad de los cultivos agrícolas a cambios en temperatura y su efecto en crecimiento y producción, y 2. Sensibilidad del ciclo de crecimiento de cultivos agrícolas a cambios en temperatura.

En el estudio de los ecosistemas el Indicador de exposición evalúa de manera cualitativa cómo las características estructurales de los ecosistemas podrían modificar el área de influencia de la amenaza climática en categorías del 1 al 5, donde 5 representa la máxima exposición (relación positiva). El Indicador de sensibilidad determina cómo la vegetación de un ecosistema podría

responder funcionalmente frente a la amenaza climática, evaluación cualitativa expresada en categorías del 1 al 5, donde 5 representa la máxima sensibilidad.

La sensibilidad de los ecosistemas frente a las diferentes amenazas no climáticas se cuantificó en cinco categorías. Un ecosistema resistente tendría una sensibilidad baja (1) mientras que un ecosistema sin capacidad de resistencia ni resiliencia, condenado a desaparecer o degradarse seriamente, tendría una sensibilidad muy alta (5). ⁴(Ver cuadro guía en el anexo 1)

4.3.5 Análisis de Vulnerabilidad Espacial

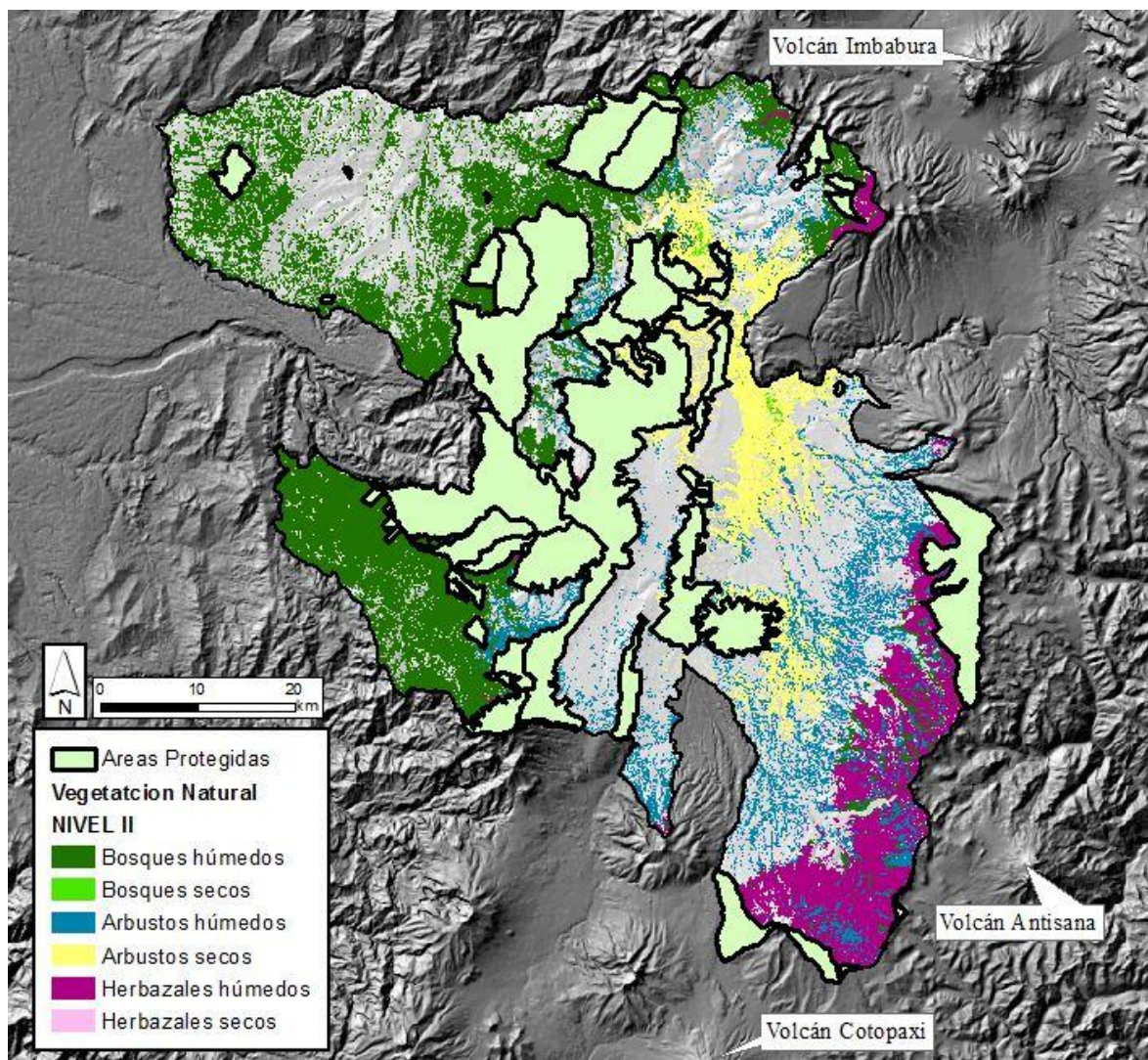
El análisis de vulnerabilidad integra la información generada de la intersección de las amenazas, unidades expuestas, variables expuestas e indicadores de sensibilidad. Los resultados son representados en mapas, tablas y gráficos.

4.3.6 Clasificación de los niveles de exposición

Expertos sectoriales evalúan los indicadores de vulnerabilidad con base en los resultados obtenidos. Al final del proceso se construye el índice de vulnerabilidad de ecosistemas al cambio climático, resultado de las complejas interacciones de los sectores agua, salud, agricultura, ecosistemas y riesgos de incendios. En el sector ecosistemas, el índice de vulnerabilidad es resultado de la integración espacial de un indicador de exposición y cinco indicadores de sensibilidad calculados para cada fragmento de ecosistema, según el Mapa de Cobertura Vegetal del MDMQ (Figura 2).⁵

⁴La sensibilidad de cada ecosistema frente a una amenaza dada se evaluó en base a: (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. 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.

⁵El índice de vulnerabilidad de ecosistemas al cambio climático fue conceptualizado en base al estudio de Tremblay-Boyer & Anderson (2007), con algunas modificaciones.



4.4 ETAPA 4: NARRATIVAS DE LA VULNERABILIDAD E IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS DE ADAPTACIÓN POTENCIALES

El último paso en la metodología es identificar posibles medidas de adaptación que podrían reducir los niveles futuros de vulnerabilidad. El objetivo último es proporcionar a los tomadores de decisión lineamientos y recomendaciones para la adaptación al cambio climático en base a los resultados del análisis de vulnerabilidad de cada sector.

Las narrativas de vulnerabilidad tienen dos dimensiones, una relacionada con las condiciones climáticas futuras y la otra con el cambio socio- económico. En la primera dimensión, el estudio se centra en el escenario climático asociado con el peor de los casos, con las proyecciones de emisiones de gas de efecto invernadero más pesimista del informe más reciente del IPCC Cambio Climático 2013. En la segunda dimensión se contemplan dos escenarios: 1. Cambio socio- económico bajo y estable y 2. Cambio alto y extensivo.

Los efectos de cambio climático deben ser analizados en un contexto de crecimiento demográfico y modelos de desarrollo fundados en una creciente extracción de recursos naturales. Una de las variables importantes en el análisis de escenarios a futuro es la tasa de crecimiento demográfico y la creciente demanda de recursos naturales. En este estudio se consideran los escenarios de crecimiento poblacional medio (0.9%), y crecimiento alto (1,5%).

Los efectos que se consideran probables frente al cambio climático para el Ecuador están relacionados con intensificación de eventos climáticos extremos (precipitaciones intensas y sequías), incremento del nivel del mar, retroceso de los glaciares, disminución de la escorrentía anual, incremento de la transmisión de dengue y otras enfermedades tropicales, expansión de las poblaciones de especies invasoras en Galápagos u otros ecosistemas sensibles, y extinción de especies.

Cabe resaltar que la vulnerabilidad es cambiante y su estimación en el futuro puede representar mucha incertidumbre. De ahí que su utilidad prospectiva radica en la búsqueda de escenarios que evidencien ciertas tendencias de vulnerabilidad bajo condiciones constantes de aumento de la temperatura y de desarrollo territorial. La naturaleza exacta del cambio climático es, por definición, incierta, y es difícil o casi imposible corregir las variaciones climáticas (acciones sobre la amenaza). Por ello resulta más eficiente y realista apuntar acciones hacia la reducción de los factores de amenaza antrópicos a fin de reducir las vulnerabilidades del territorio.

En el proceso de reflexión colectiva se han definido lineamientos y recomendaciones específicas en cada sector, orientadas sobre todo a:

1. Reducción de factores de vulnerabilidad (exposición, sensibilidad) a amenazas antrópicas con medidas correctivas. Algunos retos son regular las ocupaciones humanas en laderas y

quebradas con alto riesgo de deslizamiento y la expansión de la frontera agrícola y ganadera en áreas de paramo.

- Los asentamientos humanos informales serán cada vez más vulnerables a inundaciones, deshielo de glaciares, deslizamiento de suelos o movimientos en masa, por lo que urge regular el crecimiento poblacional en las periferias ubicadas en el norte y sur de la ciudad y en los valles circundantes, áreas donde se presentará una mayor presión por recursos a partir del aumento de la demanda por servicios públicos (agua potable, energía eléctrica, alcantarillado), transporte y dotación de infraestructura.
2. Perfeccionamiento de políticas y gestión municipal en lo concerniente al desarrollo de capacidades de adaptación, distinguiendo entre *capacidad de adaptación* y *capacidades institucionales y medidas de adaptación al cambio climático*. En el primer caso, se trata de identificar y aprovechar las potencialidades de los ecosistemas resilientes; y en el segundo, de desarrollar políticas de gestión de riesgos, usos productivos y aprovechamiento de variables climáticas y estrategias locales de adaptación que permitan reducir la vulnerabilidad y el riesgo.
 3. Sistematización de la información y gestión del conocimiento profundizando la investigación con estudios específicos sobre la biología/ecología de las miles de especies existentes en el DMQ, y sobre la influencia de ciertos proyectos estratégicos y actividades industriales.
 - En el sector Agricultura se recomienda realizar un estudio específico en la zona tropical, que contemple un análisis de los cultivos de mayor importancia (frutales, palmito, cítricos, caña de azúcar y otros predominantes), y un análisis que considere el efecto de la precipitación. También se sugiere la implementación de un modelo de crecimiento de plantas, como el modelo PGM de WEAP, para determinar la vulnerabilidad del sector agrícola del DMQ ante el cambio climático y los incrementos en las concentraciones de CO₂ atmosférico, en términos de producción, rendimientos y producción de alimentos.
 - En el sector Agua, se plantea evaluar los impactos del cambio climático, de la promoción de la producción de hidroeléctricas y del crecimiento demográfico y económico en la disponibilidad, acceso y calidad del agua para la población y la conservación ambiental. En específico, se sugiere realizar una segunda etapa de estudio que contemple las diferentes incertidumbres no consideradas, entre ellas: 1. Necesidades de expansión del sistema de almacenamiento, conducción, tratamiento e infraestructura de distribución requerida; 2. Incrementos del consumo diario de agua por persona y 3. Cambios en el consumo de agua por zonas de servicio.
 - En los sectores Agricultura y riesgos se recomienda desarrollar estudios más precisos que evalúen con mayor profundidad la influencia antropogénica mediante proyecciones de crecimiento demográfico, registro de nuevos asentamientos

humanos dispersos que no figuran en las herramientas de planificación actuales, y mejoramiento de la georreferenciación en zonas donde se practican quemas voluntarias como parte de las actividades agrícolas.

4. CONCLUSIÓN

La escasez de disponibilidad de datos espaciales de sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ dificulta la evaluación y comprensión del fenómeno de una manera más profunda. Como reflejo de ello el presente estudio presenta unas limitaciones. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos apunten a consolidar un conocimiento de la situación de vulnerabilidad del DMQ y al mismo tiempo ofrecen a los tomadores de decisión insumos de reflexión sobre las capacidades de adaptación que cada sector debe construir.

Cabe resaltar que si bien estas herramientas para la estimación de la vulnerabilidad en Quito constituyen insumos importantes para la gestión y planificación local, aún falta integrar los análisis de los diferentes sectores que conforman un complejo multidimensional. El índice de vulnerabilidad climática es resultado de complejas interacciones de los sectores agua, salud, agricultura, ecosistemas y riesgos de incendios, por lo que sólo con una acción colectiva en estos frentes será posible enfrentar las amenazas climáticas y antrópicas que se ciernen sobre el DMQ.

En el caso del Distrito Metropolitano de Quito, la participación social en el DMQ sería primordial para mejorar las capacidades de gestión de información y de conocimiento de los diferentes actores municipales. Sin embargo se espera que la metodología propuesta sirva como una guía en el desarrollo de estrategias de adaptación consignadas en el Plan de Acción Climático de Quito 2012-2016, la hoja de ruta del Municipio y otros actores en otros países enfrentando este desafío global, es decir en la consolidación de un modelo de gestión local de los impactos de cambio climático.

5. ANEXO 1

Guía para la estimación de la vulnerabilidad de los ecosistemas

| Unidad de análisis (Categorías ecosistémicas) | Amenazas (1) | Variable ambiental/climática (2) | Indicadores (3) |
|---|---|--|--|
| 1. Arbustales secos y relictos de bosque seco | Amenazas no climáticas: | Exposición a la amenaza de incremento gradual de la temperatura promedio según la escala: 1 (ninguna exposición), 2 (alguna exposición, pero no significativa), 3 (alguna exposición), 4 (exposición significativa) y 5 (exposición completa). | Régimen Pluviométrico (IRP) anual de los meses de julio-septiembre en los últimos 52 años. |
| 2. Vegetación paramuna | 1. Ocurrencia de incendios | | |
| 3. Bosques húmedos y plantaciones forestales | 2. Expansión de la mancha urbana | | Régimen Térmico (IRT) anual de los meses de julio-septiembre en los últimos 52 años. |
| 4. Arbustos húmedos y vegetación en regeneración | 3. Expansión de la frontera agropecuaria | | |
| | 4. Construcción de vías | | |
| | 5. Establecimiento de canteras | | |
| | 6. Instalación de oleoductos/poliductos | | Superficie degradada, contaminada, deforestada, etc., y áreas indirectamente afectadas. |
| | 7. Instalación de tendido eléctrico (fuera de la mancha urbana) | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | Amenaza climática: Incremento gradual de temperatura promedio anual | Sensibilidad a la amenaza de incremento de la temperatura promedio en una escala de 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). | <p>Indicador de sensibilidad según el área del fragmento</p> <p>Indicador de sensibilidad según el área núcleo del fragmento</p> <p>Indicador de sensibilidad según la forma del fragmento</p> <p>Indicador de sensibilidad según el aislamiento del fragmento</p> <p>Población y porcentaje de la mancha urbana en sectores priorizados</p> <p>Índice de Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) del DMQ.</p> |
|--|--|--|--|

1. Todas estas amenazas implican remoción de la cobertura vegetal (incluyendo deforestación).
2. Se refieren a un atributo o características relacionadas con factores de vulnerabilidad.
3. Expresión cuantitativa o cualitativa que mide las variables y por ende el grado de vulnerabilidad o factor de vulnerabilidad.

6. ANEXO 2 – “ADDENDUM WHITE PAPER”

El objetivo de este documento es describir las principales fórmulas, variables, e indicadores utilizados en la implementación de la metodología de vulnerabilidad en el DMQ para cada sector.

SECTOR AGRÍCOLA

En primer lugar para determinar el nivel de exposición al incremento de temperatura, se estimó la acumulación de Unidades de Calor (UC)⁶, a fin de establecer cómo los períodos de crecimiento del cultivo pueden ser afectados.

$$UnidaddeCalor = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - TempBasedeCultivo$$

Las UC se determinan para las fechas de siembra y cosecha de los cultivos y la diferencia entre ambas determina las UC necesarias para el ciclo de crecimiento en función de la temperatura base de cada cultivo específico.

$$UnidadesdeCalordeCrecimiento = UC_{Cosecha} - UC_{Siembra}$$

En particular se evalúan dos componentes de sensibilidad: I) sensibilidad en función del crecimiento y producción, a partir de la determinación del factor de reducción de crecimiento por temperatura (RCT) - Un factor de reducción de crecimiento por temperatura con valor 1 indica no reducción, mientras que un factor de reducción de crecimiento por temperatura de valor 0 sugiere reducción completa.

$$RCT = \text{Exp} \left(-0.1054 * \frac{TOPC - TX}{2 * (TX - TBSC)} \right)$$

Donde;

RCT: factor de reducción de crecimiento por temperatura (a dimensional)

TOPC: Temperatura optima de desarrollo para el cultivo (°C)

TBSC: Temperatura base de desarrollo del cultivo (°C)

TX: Temperatura diaria promedio (°C)

(II) sensibilidad del ciclo de crecimiento de cultivos; análisis que se fundamenta en el cálculo y acumulación de las UC requeridas para alcanzar la madurez fisiológica de los cultivos.

Por último se determinó la vulnerabilidad de los páramos frente al incremento de temperatura en el rango de elevación superior a los 3600 msnm. A fin de estimar el posible incremento de las

⁶ Unidades de Calor: Se definen como la diferencia existente entre la temperatura promedio diaria y la temperatura base de crecimiento del cultivo. La temperatura base de crecimiento de cultivos se define como la temperatura mínima para el crecimiento vegetativo de los cultivos agrícolas, la cual es específica para cada tipo de cultivo (Arnold, J. G. et al. 2011).

áreas de cultivo en los páramos, fue necesario identificar dónde están en la actualidad los cultivos agrícolas en términos de altitud y temperatura. Teniendo en cuenta esta información, los patrones en las zonas de gran altitud podrán inferirse exclusivamente en base a las temperaturas.

SECTOR AGUA

Para determinar la vulnerabilidad en el caso particular del sector agua, se utiliza el modelo WEAP ([Water Evaluation And Planning System](#)) (Sieber and Purkey 2011). El modelo que se aplica, ha sido desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) para la cuenca de Guayllabamba (Villacís, M., et al. 2012; Fernandez 2009), no obstante, el modelo tiene los elementos necesarios para llevar a cabo el análisis de vulnerabilidad para el DMQ.

SECTOR ECOSISTEMAS

Función de vulnerabilidad:

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

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. La relación conceptual entre los tres componentes de la vulnerabilidad puede también expresarse linealmente ($V = [E + S] - C$) (CIIFEN, 2014).

Los factores de exposición en este sector se definen en función de las amenazas climáticas y no climáticas. Se debe considerar que la sensibilidad es evaluada en dos diferentes aspectos: (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 en el área indirectamente afectada por ella. Adicionalmente, para evaluar la vulnerabilidad “actual” frente amenazas no climáticas se analizó el mapa de exposición de cada una de estas amenazas con el mapa de cobertura vegetal del DMQ año 2009. A su vez, el índice de vulnerabilidad frente a la amenaza climática fue desarrollado mediante la integración espacial de un indicador de exposición de ecosistema (estructura), y cinco indicadores de sensibilidad de ecosistema (funcionalidad, área del fragmento, área núcleo del fragmento, forma del fragmento, y aislamiento del fragmento) que se calcularon para cada unidad de análisis. Los referidos indicadores se basan en el marco conceptual de la ecología de paisaje.

SECTOR SALUD

Las variables utilizadas para el análisis provienen de datos oficiales para el DMQ. Las estadísticas sobre condiciones socioeconómicas provienen del Censo de Población y Vivienda del año 2010 (INEC, 2010b), el cual presenta estadísticas para todas las parroquias del DMQ, mientras que las estadísticas sobre enfermedades provienen de los anuarios sobre egresos hospitalarios (INEC, 2010a), para el periodo 2001-2010. El índice de sensibilidad se determina a partir de tres factores socioeconómicos: (I) porcentaje de adultos mayores de 65 años, (II) nivel de escolaridad en mujeres mayores de 24 años; y, (III) acceso al servicio de agua potable. El índice de exposición se determina a partir del registro de egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias (bronquitis, neumonía y asma). El índice de amenaza climática fue obtenido mediante un análisis detallado de los tipos de clima existentes en el DMQ y su relación con las enfermedades respiratorias que han sido analizadas. En el análisis de correlaciones entre enfermedades y variables climáticas existe una relación estable entre precipitación, humedad, temperatura y la presencia de enfermedades respiratorias.

Para el cálculo del índice de sensibilidad se le dio distintas ponderaciones a las variables analizadas. A continuación se detalla la ecuación utilizada (Ecuación 1):

Ecuación 1:

$$IND_{sensibilidad} = \frac{IND_{pob>64años} \cdot 15 + IND_{escmujeres>24años} \cdot 10 + IND_{cobertura_agua} \cdot 5}{30}$$

En el caso de la exposición se aplicaron las variables sobre egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias. Para cuantificar el índice de exposición se aplicó la Ecuación 2:

Ecuación 2:

$$IND_{exposición} = \frac{IND_{bronquitis} \cdot 14 + IND_{neumonía} \cdot 14 + IND_{asma} \cdot 12}{40}$$

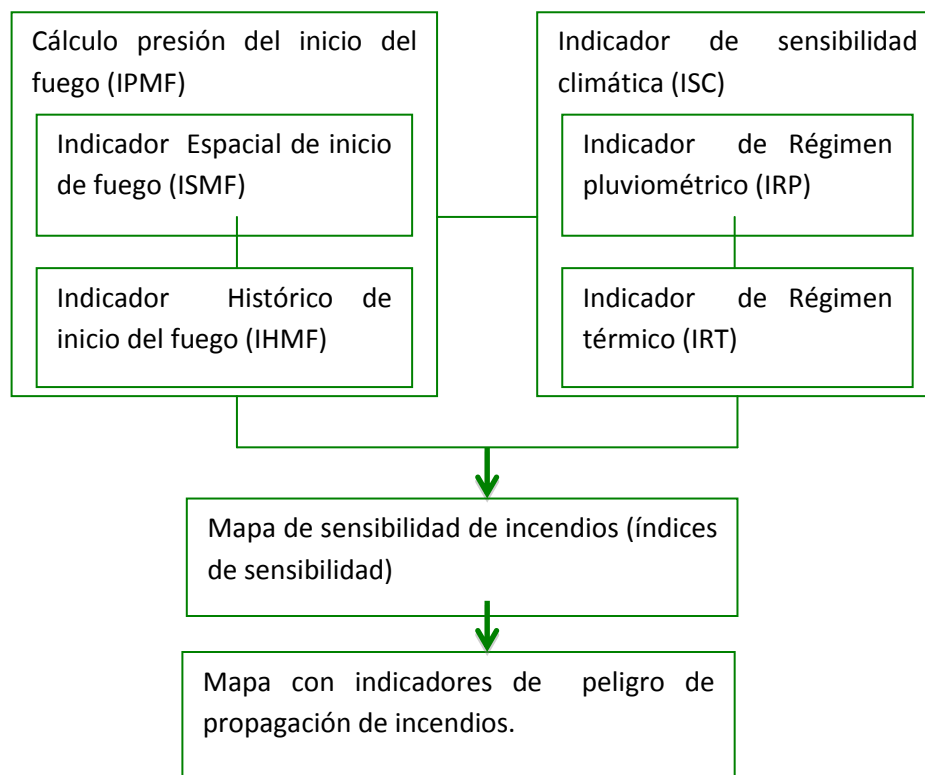
El índice de vulnerabilidad se construye en base al Índice de Sensibilidad, al Índice de Exposición y al Índice de Amenaza Climática. Para el cálculo final del Índice de Vulnerabilidad se aplicó la ecuación 3:

Ecuación 3:

$$IND_{vulnerabilidad} = \frac{IND_{sensibilidad} \cdot 30 + IND_{exposición} \cdot 40 + IND_{climático} \cdot 30}{100}$$

SECTOR RIESGO DE INCENDIO FORESTAL

Para el análisis se han estructurado dos indicadores de sensibilidad: (I) Indicador de Presión de Inicio de Fuego (IPMF); e, (II) Indicador de Sensibilidad Climática (ISC). Para el Indicador de Presión de Inicio de Fuego (IPMF) se identificaron dos sub-indicadores de sensibilidad: (I) Indicador espacial de inicio de fuego (ISMF)⁷; e, (II) Indicador histórico de inicio de fuego (IHMF)⁸. El análisis de estos indicadores determinan los niveles de presión antrópica sobre las áreas de incendios forestales. Para el Indicador de Sensibilidad Climática (ISC) se identificaron dos sub-indicadores de sensibilidad: (I) Indicador de régimen pluviométrico (IRP); e, (II) Indicador de régimen térmico (IRT). Producto del análisis espacial del Indicador de Presión de Inicio de Fuego (IPMF) con el Indicador de Sensibilidad Climática (ISC), se obtuvo un Mapa de Inicio y Propagación, principal resultado de sensibilidad. Para el análisis de riesgos de incendios forestales se consideró como referencia la metodología propuesta por el Grupo Salamandra compuesto por actores responsables y científicos en materia de protección contra los incendios forestales de España y Los pirineos franceses. El esquema a continuación muestra el proceso global para la estimación del mapa de peligros relacionados con incendios forestales en el DMQ.



⁷ Este Indicador identifica la presión e influencia que ejercen las actividades antrópicas en las zonas donde se han constatado incendios a lo largo del tiempo, en particular; asentamientos poblados, redes viales y cultivos.

⁸ Este Indicador considera, más que el número de eventos ocurridos, la superficie de los mismos. Mientras más elevada es el área de los siniestros mayor es su nivel de gravedad y consecuencias.