



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (FIMCM)

**“PROPUESTAS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN BASADAS EN
ECOSISTEMA EN EL ESTERO LA MATANZA, DURÁN,
ECUADOR”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de

MAGÍSTER EN CAMBIO CLIMÁTICO

Presentado por:

ANGEL ALBERTO VALDIVIEZO AJILA

Dirigido por:

Mercy Julia Borbor Cordova, PhD.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Jochen Hack, PhD.
Universidad Técnica de Darmstadt, Alemania

Guayaquil - Ecuador
2021

COMITÉ EVALUADOR

MARIA DEL PILAR
CORNEJO
RODRIGUEZ

Digitally signed by MARIA DEL
PILAR CORNEJO RODRIGUEZ
Date: 2021.10.18 16:17:41
+02'00'

MARÍA DEL PILAR CORNEJO RODRÍGUEZ, PhD.
DELEGADA DEL DECANATO FIMCM



Firmado digitalmente por
MERCY JULIA
BORBOR
CORDOVA

MERCY JULIA BORBOR CORDOVA, PhD.
TUTORA

JOCHEN HACK, PhD
TUTOR

DAVID ENRIQUE
MATAMOROS
CAMPOSANO

Firmado digitalmente por DAVID
ENRIQUE MATAMOROS
CAMPOSANO
Fecha: 2021.10.22 08:46:10
-05'00'

DAVID ENRIQUE MATAMOROS CAMPOSANO, PhD
EVALUADOR DELEGADO DEL DECANATO DE LA FACULTAD

Índice de contenido

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
I.1. Objetivo General. -	5
I. 1.1. Objetivos Específicos. -	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
II.1. Cambio Climático.	6
II.1.1. Sistema Climático.	6
II.1.2. Efecto Invernadero.	8
II.2. Evaluación del cambio climático.	9
II.2.1. Vulnerabilidad y riesgo climático.	10
II.2.2. Evaluación del cambio climático.	13
II.3. Soluciones Basadas en la Naturaleza.	15
II.3.1. Ecología y Ecología Urbana.....	16
II.3.2. Sistemas Socio-ecológicos y Servicios Ecosistémicos.	18
II.3.3. Adaptación Basada en Ecosistemas.	20
II.4. Métricas del paisaje y soporte para la toma de decisiones.	23
II.4.1. Métricas del paisaje.....	25
CAPÍTULO III.....	28
METODOLOGÍA	28
III.1. Area de estudio.	28
III.2. Levantamiento de línea base.	30
III.3. Mapa de zonas idóneas para la aplicación de medidas de ABE.	32
III.3.1. Paso 1 y 2: Definición del objetivo y selección de dimensiones / criterios	33

III.3.2. Paso 3 y 4: Estandarización de indicadores y ponderación de dimensiones	43
III.3.3. Paso 5 y 6: Agregación de criterios y validación.	46
III.4. Selección de medidas de adaptación basadas en la naturaleza. _____	48
CAPÍTULO IV	50
RESULTADOS	50
IV.1. Sistema socio ecológico del estero La Matanza. _____	50
IV.1.1. Riesgo climático.	50
IV.1.2. Factores ecológicos.....	52
IV.1.2. Factores sociales	55
IV.2. Idoneidad para la aplicación de medidas ABE en el estero La Matanza.	
_____	57
IV.2.1. Clasificación de uso y ocupación de suelos.....	57
IV.2.2. Indicadores para la caracterización espacial del sistema socio-ecológico.	
.....	59
IV.2.3. Mapas índices y dimensiones.	62
IV.2.4. Mapa de idoneidad.....	64
IV.3. Medidas para la adaptación basada en ecosistemas (ABE) en el estero La Matanza.	
_____	68
CAPÍTULO V	73
CONCLUSIONES	73
CAPÍTULO VI	75
RECOMENDACIONES	75
CAPÍTULO VII	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	84

Índice de tablas

Tabla 1.1 Datos de las cuencas urbanas en la ciudad de Durán. CN, corresponde al coeficiente de escorrentía. Fuente: Modificado de Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018.	4
Tabla 3.1 Resumen de la información recopilada y analizada, organizada en sus respectivos componentes socio-ecológicos.....	31
Tabla 3.2 Clasificación de las dimensiones, criterios e indicadores utilizados para el SIG-AMC.....	34
Tabla 3.3 Clasificación de los Índices de riesgo climático con su respectivo nivel de idoneidad.....	37
Tabla 3.4 Descripción de las métricas del paisaje utilizadas para la caracterización de la expansión urbana.....	39
Tabla 3.5 Clasificación de los Índices de contexto ecológico con su respectivo nivel de idoneidad.....	40
Tabla 3.6 Clasificación de los Índices de contexto social con su respectivo nivel de idoneidad.....	43
Tabla 3.7 Escala fundamental para la comparación por pares.....	45
Tabla 3.8 Valores medios del índice de consistencia por número de criterios (RI)...	46
Tabla 3.9 Formulas de agregación para la creación de los índices generados	46
Tabla 3.10 Formulas de agregación para la creación de las dimensiones propuestas	47
Tabla 3.11 Formulas de agregación para la creación de los mapas de idoneidad.....	48
Tabla 4.1 Matriz de comparación por pares de las 3 dimensiones utilizando el método de proceso de jerarquía analítica (AHP).....	64
Tabla 4.2 Descripción detallada de las características del sistema socio-ecológico por nivel de idoneidad de la MU del estero La Matanza.....	68
Tabla 4.3 Propuesta de medidas de adaptación basadas en la naturaleza para la MU urbana del estero La Matanza.....	70

Índice de figuras

Figura 2.1 Esquema del balance energético terrestre donde se incluyen las diferentes fuentes de emisión y reflexión con sus valores de forzamiento energético. Fuente: IPCC. (2007).	8
Figura 2.2 Esquema del efecto de invernadero en el sistema climático terrestre. Fuente: IPCC, 2007.	9
Figura 2.3 Cambio en la temperatura global observada y respuestas de los modelos a las trayectorias estilizadas de las emisiones antropogénicas y del forzamiento. Fuente: IPCC, 2018.	10
Figura 2.4 Esquema simplificado para la evaluación de la interacción de los conceptos básicos de los componentes del riesgo al cambio climático. Fuente: IPCC, 2014. ...	11
Figura 2.5 Trayectorias socioeconómicas influyen en los niveles de riesgos relacionados con el clima. Fuente: IPCC, 2019.	12
Figura 2.6 Diagrama con las 6 amenazas climáticas más frecuentes en ciudades. Fuente: Modificado de ICLEI & C40, 2018	13
Figura 2.7 Tipos de adaptación al cambio climático. Fuente: Modificado de Owen, 2020.	15
Figura 2.8 Evolución de perspectivas y enfoques en Ecología Urbana. Los diferentes enfoques se presentan en orden cronológico aproximadamente con su tiempo de aparición. Las líneas punteadas indican las relaciones entre los diferentes enfoques y el grosor de las líneas denota la fuerza relativa de la influencia. Fuente: Modificado de Wu, 2014.	17
Figura 2.9 Diagrama de los factores detrás del bienestar humano que a menudo se retratan en la esfera del desarrollo. Fuente: Folke et al., 2016.	18
Figura 2.10 Modelo de sistema socio-ecológico con enfoque de soluciones basadas en la naturaleza. Las letras mayúsculas representan los factores del sistema externo A: Demografía, B: Cultura, C: Social, D: Tecnología, E: Regulatorio, F: Financiero, G: Biodiversidad, H: Cambio de suelo, I: Agua dulce y océanos, J: Atmosfera, K: Clima, L: Química. Las letras minúsculas representan los factores del límite interno como son:	

a: Personas, b: Estilo de vida, c: asentamientos, d: artificial, e: operacional, f: economía, g: Fauna y flora, h: suelo, i: agua, j: aire, k: tiempo, l: contaminación. Fuente: Modificado de Tzoulas et al., 2020.....	19
Figura 2.11 Clasificación de servicios ecosistémicos de acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Fuente: Camacho & Ruiz Luna, 2012.	20
Figura 2.12 Interrelación entre las soluciones basadas en la Naturaleza y la adaptación basada en ecosistemas. Fuente: Modificado de Kabisch et al., 2017.....	21
Figura 2.13 Reducción del costo de implementación mediante la mezcla de infraestructura verde y gris en la ciudad de Nueva York; la combinación de ambos tipos redujo en un 22 por ciento los costos que solo implementando infraestructura gris. Fuente: Modificado de Banco Mundial & World Resources Institute, 2019.....	23
Figura 2.14 Ejemplo esquemático del cálculo de métricas del paisaje de tipo configuración espacial. Fuente: Modificado curso “Landscape ecology, EDX”.....	26
Figura 3.1 Ubicación de la microcuenca urbana del estero La Matanza.	30
Figura 3.2 Esquema simplificado del procedimiento para la elaboración del Mapa de zonas idóneas para la aplicación de medidas de ABE en la MU del estero La Matanza.	33
Figura 4.1 Porcentaje de eventos peligrosos de origen natural en le MU del estero La Matanza. Actividad volcanica corresponde a procesos de caida de ceniza en la ciudad.	51
Figura 4.2 Mapa de riesgos multiamenaza de la MU del estero La Matanza. Fuente: RESCLIMA, 2019.	52
Figura 4.3 Hidrografía y morfología de la MU del estero La Matanza	53
Figura 4.4 Uso de suelo de la MU del estero La Matanza entre 1964 y 2018, se puede observar el alto grado de antropización actual, así como la diferencia en el área cubierta por matorral.....	54
Figura 4.5 Cambios en el uso y cobertura del suelo en la MU del estero La Matanza en los años 1990, 1964 y 2018. La vegetación y los cuerpos de agua han sido las clases más afectada en los últimos 54 años.	55

Figura 4.6 Cambios en el uso de suelos históricos debido a la expansión urbana en la MU del estero La Matanza. Se puede observar la fragmentación de los canales y el avance de la franja urbana en los 26 años.	56
Figura 4.7 Mapa de uso y cobertura de suelo de alta resolución de la MU del estero La Matanza.	57
Figura 4.8 Distribución en porcentajes de las clases de uso y cobertura de suelo identificadas en la MU del estero La Matanza.	58
Figura 4.9 Mapas de la distribución espacial de los indicadores utilizados para caracterizar la dimensión de riesgo climático.	59
Figura 4.10 Mapas de la distribución espacial de los indicadores utilizados para caracterizar la dimensión de contexto ecológico.	60
Figura 4.11 Mapas de la distribución espacial de los indicadores utilizados para caracterizar la dimensión de contexto social.	61
Figura 4.12 Mapas de la distribución espacial de los índices y dimensiones utilizados para caracterizar la idoneidad por componente para la aplicación de medidas ABE en la MU del estero La Matanza. (Madv) Número de eventos adversos, (Rmulti) Riesgo climático multiamenaza, (HCI) Índice de contraste hidromorfométrico, (LEI_agua) Índice de ecología del paisaje del agua, (LEI_vege) Índice de ecología del paisaje de la vegetación, (ISEC) Índice socioeconómico, (SE_REC) Servicios ecosistémicos de Regulación, (SE_CUL) Servicios ecosistémicos de cultura y (SE_PROV) Servicios ecosistémicos de provisión.	63
Figura 4.13 Mapas temáticos de idoneidad; (a) con igual ponderación, (b) priorizando el contexto social, (c) priorizando los riesgos climáticos y (d) priorizando el contexto ecológico.	65
Figura 4.14 Porcentaje de área por nivel de idoneidad para la aplicación de medidas ABE de la MU del estero La Matanza.	66
Figura 4.15 Mapa de idoneidad para la aplicación de medidas de adaptación basadas en la naturaleza de la MU del estero La Matanza.	67

RESUMEN

El cambio climático es considerado una de las amenazas medioambientales más agresivas debido a su efecto multiplicador y a su rango que afecta las complejas interrelaciones entre los organismos vivos y sus ecosistemas, planteando un gran desafío de adaptación tanto para los ecosistemas naturales como humanos (ciudades). En este sentido, las ciudades litorales en Ecuador son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático, debido a su ubicación geográfica, altos niveles de desigualdad y planificación territorial deficiente.

Para abordar esta problemática, este trabajo de titulación plantea una metodología práctica e innovadora que combina la potencialidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la versatilidad de los análisis multicriterio (AMC) para la identificación de medidas de Adaptación Basadas en Ecosistemas (ABE), tomando como caso de estudio a la Microcuenca urbana (MU) del estero La Matanza de la ciudad de Durán.

Las medidas de Adaptación Basada en Ecosistemas (ABE) se definen como el uso de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas como parte de una estrategia general de adaptación para ayudar a la gente a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, generando de esta manera no solo beneficios ecológicos sino también sociales. En la MU del estero La Matanza se logró determinar que el 47 % de su área tiene una muy alta a alta idoneidad para la aplicación de medidas ABE. Así como también, a partir de sus características específicas, se logró indentificar un total de 32 medidas de ABE compatibles con el sistema socio-ecológico de la MU.

Concluyendo que, la MU del estero La Matanza tiene un alto potencial para una recuperación sostenible a través de la implementación de medidas ABE, especialmente en los sectores con altos niveles de inequidad social y expansión urbana.

Palabras clave: Ciudades, Cambio Climático, Adaptación Basada en Ecosistemas, Riesgo, Vulnerabilidad.

ABSTRACT

Climate change is considered one of the most aggressive environmental threats due to its multiplier effect and its range that affects the complex interrelationships between living organisms and their ecosystems, posing a great adaptation challenge for both natural and human ecosystems (cities). In this context, coastal cities in Ecuador are especially vulnerable to the effects of climate change, due to their geographic location, high levels of inequality and poor territorial planning.

To address this problem, this work proposes a practical and innovative methodology that combines the potential of Geographic Information Systems (GIS) and the versatility of multi-criteria analysis (MCA) for the identification of Ecosystem-Based Adaptation (EBA) measures, taking as a case study the micro urban basin (MUB) of the La Matanza estuary in the city of Durán.

Ecosystem-Based Adaptation (EBA) measures are defined as the use of biodiversity and ecosystem services as part of an overall adaptation strategy to help people adapt to the adverse effects of climate change, thereby generating this way not only ecological but also social benefits. In the MUB of La Matanza estuary, it was determined that 47% of its area has a very high to high suitability for the application of these EBA measures. As well as, based on its specific characteristics, it was possible to identify a total of 32 measures of EBA compatible with the socio-ecological system of the MUB.

Concluding that the urban micro-basin (MUB) of the La Matanza estuary has a high potential for a sustainable recovery through the implementation of EBA measures, especially in sectors with high levels of social inequity and urban expansion.

Keywords: Cities, Climate Change, Ecosystem-Based Adaptation, Risk, Vulnerability.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el cambio climático se considera como una de las amenazas medioambientales más agresivas debido a su efecto multiplicador y a su rango de acción que afecta las complejas interrelaciones entre los organismos vivos y sus ecosistemas (IPCC, 2014; UNDRR, 2019). De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), aún con una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénico en la atmósfera, la temperatura global seguiría aumentando durante siglos, planteando un gran desafío de adaptación tanto para los ecosistemas naturales como humanos (IPCC, 2018, 2019a). En este sentido, la región de América Latina y el Caribe (ALC) es especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático tanto por su ubicación geográfica, biodiversidad, población e infraestructura (BID, 2019; IPCC, 2019a; University of Notre Dame, 2020).

Se estima que para 2050 en la región de ALC más del 80% de su población viva en zonas urbanas y dado que la provisión de infraestructura en la región es aún insuficiente, ineficiente e insostenible los daños físicos estimados con un aumento de 2°C en la temperatura global debido a la falta de adaptación al CC podría ser de aproximadamente 100 000 millones de dólares, traducándose esto en aproximadamente un costo de 2.2% de producto interno bruto (PIB) de la región para 2050 (Sánchez et al., 2017; Vergara et al., 2014).

Ante este escenario, en la región de LAC especialmente en las zonas urbanas, se ve necesaria una nueva generación de proyectos de infraestructura que permitan una eficiente adaptación al cambio climático, así como también alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, incluida la seguridad del agua, la reducción del riesgo de desastre y la reducción de la pobreza. Y es aquí donde resaltan aquellas opciones de

infraestructura que se enmarcan en el enfoque de adaptación basadas en ecosistemas (BID, 2019; Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General, 2019; IPCC, 2018; UNDRR, 2019).

Las soluciones basadas en ecosistemas (SBE) son también conocidas como soluciones vivas, debido a que respaldan sus procesos y estructuras en la gestión sostenible del capital natural, es decir, en los recursos naturales (que sostienen la vida ej. Agua, aire, suelo, minerales) y el bienestar humano (Banco Mundial & World Resources Institute, 2019; BID, 2019).

Existen, varios ejemplos de éxito en la aplicación del enfoque de adaptación basada en ecosistemas en diversas partes del mundo (Banco Mundial & World Resources Institute, 2019; European Environment Agency, 2018; Frantzeskaki, 2019; MAE, 2019; McGinnis & Ostrom, 2014; Wu, 2014); en los cuales se coincide en la efectividad de estas soluciones para la reducción del riesgo de desastres, seguridad hídrica, alimentaria, mejoramiento en la calidad de vida y recuperación de ecosistemas. Así como también en la parte económica, por ejemplo, en las relaciones costo-beneficio para la protección de los manglares que son casi 6: 1 (BID, 2019).

En este contexto, en Ecuador donde más de la mitad de sus ciudades son vulnerables ante el cambio climático (Fernandez et al., 2015), especialmente aquellas ciudades costeras donde su exposición y vulnerabilidad aumentan debido a su ubicación geográfica, altos niveles de desigualdad y planificación territorial deficiente (Hallegatte et al., 2013), se ve apremiante la necesidad de aumentar la investigación sobre la aplicación de SBE que permitan la gestión sostenible de sus territorios y promover e implementar estrategias de adaptación ante el CC con énfasis en las zonas urbanas (Cadilhac et al., 2017; Vanacker et al., 2018).

Para abordar esta problemática en el presente proyecto de grado se plantea evaluar el potencial de implementación de medidas de adaptación basadas en ecosistemas (ABE) en Ecuador, tomando como caso de estudio a la ciudad de Durán

en la provincia del Guayas, específicamente en el estero conocido como La Matanza, teniendo en consideración cuatro razones principales:

1. Debido a su carácter intermediador, relación con la ruralidad y desarrollo de una territorialidad con un potencial ecológico, cultural y económico, Durán puede considerarse como una ciudad intermedia (Ortega, 2020) y por la configuración de sus viviendas (pocos edificios) y espacios urbanos que permiten el tránsito de un extremo a otro de la ciudad en pocos minutos como de escala humana (Long & Ye, 2019). Por lo tanto, es factible que Durán llegue a ser climáticamente resilientes si se invierte con una planificación y diseño urbano innovador basado en el manejo del riesgo así como en el conocimiento del entorno natural donde la ciudad se desarrolla (UNISDR, 2015).
2. A pesar del estado informal de muchas de sus comunidades, existe el efecto secundario positivo de mantener un buen porcentaje de territorio con características propias de su ecosistema debido al déficit de infraestructura gris. Este hecho ha preservado muchas de sus características naturales debido a la falta de accesibilidad e intervención, lo que hace que la restauración sea más factible incluso con pocos recursos (Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018).
3. Desde 2016 la municipalidad de Durán ha venido desarrollando una serie de proyectos de investigación relacionados con el manejo y mitigación de riesgos en su territorio (Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018; Olaya, 2016; Plett, 2019; RESCLIMA, 2019b, 2019a; SINDE, 2015; Valle, 2018; Wölfer, 2019), sin embargo, no todos han sido concatenados y presentados en forma sistemática para que sean incorporados dentro de los planes de ordenamiento territorial.
4. La cuenca del estero La Matanza es la más pequeña de las tres cuencas hidrográficas urbanas de la ciudad (Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018), pero es también la más urbanizada con alrededor de 40% de suelo impermeabilizado y sus zonas urbanas por consolidar representan casi 37% del área total de la

cuenca(SINDE, 2015). Esto plantea que a futuro la cuenca con mayor potencial de desarrollo urbanístico residencial es la del estero La Matanza, estimándose que alrededor de 77% podría llegar a ser construida de forma tradicional, dificultando en mayor medida los impactos crónicos provocados por eventos hidrometeorológicos como son las inundaciones (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Datos de las cuencas urbanas en la ciudad de Durán. CN, corresponde al coeficiente de escorrentía. Fuente: Modificado de Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018.

Cuenca urbana	Area (km2)	Longitud (km)	CN	Area impermeable estimada (%)
La Matanza	24	10	97	77
San Enrique	51	10	93	52
Don Camilo	40	12	91	35

Finalmente, el presente proyecto de grado plantea contribuir a solucionar la problemática de adaptación ante el CC en el estero La Matanza utilizando el enfoque Adaptación Basada en Ecosistemas (ABE), con el objetivo no solo de reducir el riesgo de desastres por la variabilidad y cambio climático; sino que también, mejorar el bienestar de las personas, aumentar la resiliencia y planificación de la ciudad.

I.1. Objetivo General. -

Proponer medidas de adaptación basadas en ecosistemas (ABE) ante el cambio climático, mediante la aplicación de un análisis multicriterio utilizando sistemas de información geográfica en el estero La Matanza de la ciudad de Durán, Guayas, Ecuador.

I. 1.1. Objetivos Específicos. -

- Identificar los impactos, vulnerabilidades y riesgos por eventos climáticos en el estero La Matanza, a través de la evaluación de información secundaria.
- Evaluar la ecología urbana del estero La Matanza, utilizando indicadores de paisaje y socioeconómicos.
- Identificar los sectores potenciales para la implementación de medidas de ABE en el estero La Matanza, mediante un análisis multicriterio, utilizando sistemas de información geográfica.
- Definir propuestas de medidas de ABE ante el cambio climático en los sectores identificados.

MARCO TEÓRICO

II.1. Cambio Climático.

El cambio climático es una de las amenazas más complejas que enfrentamos en la actualidad, debido a que puede afectar varias dimensiones humanas (Ej., ciencia, economía, sociedad, infraestructura, política, cuestiones morales y éticas), convirtiéndolo en un problema de escala global que deberá ser enfrentado en la actualidad y en el futuro (IPCC, 2014; NASA, 2020; Vergara et al., 2014).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático (CC) es la variación del estado del clima identificable en sus valores medios o en la variabilidad de sus propiedades durante largos períodos de tiempo debido a procesos naturales (Ej. Modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas) o a forzamientos externos o antropogénicos (Ej. Actividad industria, uso de energías fósiles, cambio de uso del suelo). Por otra parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como *“el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”*.

II.1.1. Sistema Climático.

El clima terrestre está gobernado por un sistema complejo e interrelacionado entre la atmósfera, litosfera (suelo y roca), hidrosfera en sus diferentes formas (hielo, nieve, océanos, ríos, lagunas) y la biosfera (elementos vivos). El componente atmosférico del sistema caracteriza al clima, que se define como el estado promedio del tiempo (estado de la atmosfera en un tiempo y lugar determinante). Por lo general, el clima se describe en términos de valores medios y de variabilidad de temperatura,

precipitación y viento en periodos desde meses hasta millones de años. El clima evoluciona con el paso del tiempo gobernado por su propia dinámica interna y debido a factores externos que lo afectan (conocidos como “forzamientos”). Los forzamientos externos pueden ser fenómenos naturales como las erupciones volcánicas y variaciones en las emisiones solares, así como también, aquellos cambios en la composición atmosférica debido a las acciones antropogénicas (IPCC, 2007, 2013).

La principal fuente de energía en el sistema climático proviene de las emisiones solares. Existen tres formas fundamentales para cambiar el equilibrio de radiación de la Tierra: 1) cambiando la radiación solar incidente 2) cambiando la fracción de la radiación solar reflejada (Ej. Por partículas de la atmósfera o cambios en la vegetación) y 3) modificando la radiación emitida de onda larga desde la Tierra hacia el espacio (Ej. variación de gases de efecto invernadero). Por lo tanto, los cambios en la abundancia de los gases de efecto invernadero y de los aerosoles atmosféricos, así como en la radiación solar y en las propiedades de la superficie de la tierra alteran el balance de energía del sistema climático. Estos cambios se expresan en función del forzamiento radiactivo, que se emplea para comparar cómo una variedad de factores humanos y naturales influyen en el calentamiento o enfriamiento del clima global (IPCC, 2007) (Figura 2.1).

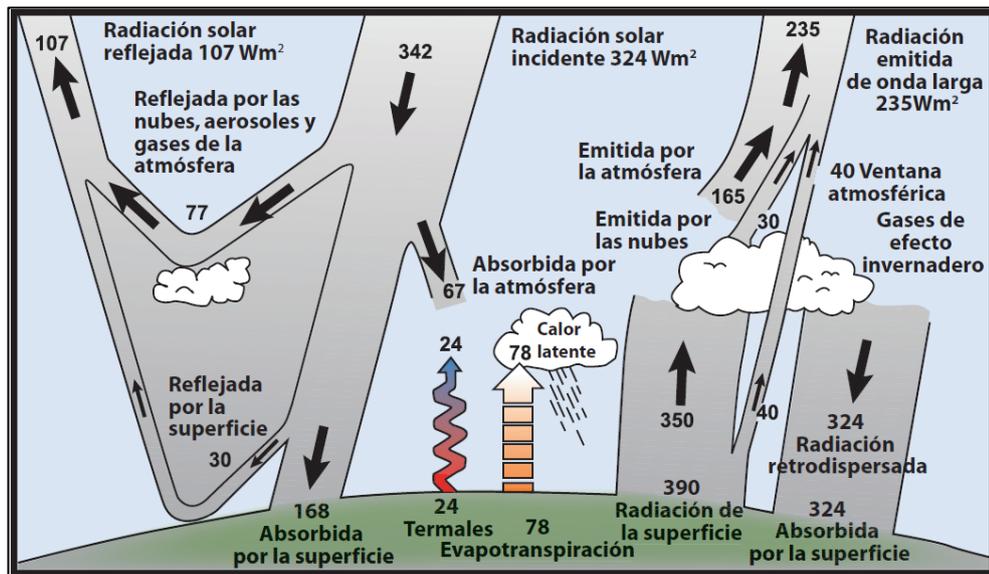


Figura 2.1 Esquema del balance energético terrestre donde se incluyen las diferentes fuentes de emisión y reflexión con sus valores de forzamiento energético. Fuente: IPCC. (2007).

II.1.2. Efecto Invernadero.

La razón por la cual la superficie de la Tierra mantiene su temperatura se debe primordialmente a la interacción entre la radiación solar con los aerosoles y gases de efecto invernadero, que actúan como un filtro parcial para las emisiones de onda larga que proviene de la corteza terrestres, produciendo el conocido efecto invernadero natural (IPCC, 2014). El efecto de invernadero es un fenómeno natural por el que los gases que atrapan calor en la atmósfera, principalmente el vapor de agua, mantienen la superficie de la Tierra cálida, reteniendo calor en el sistema (Figura 2.2). Las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles y el cambio de los patrones de uso de suelo, generan cambios en las concentraciones de algunos de estos gases, amplificando el efecto natural de invernadero causando cambios en los forzamientos naturales. De esta forma, el ser humano ha alterado drásticamente la composición química de la atmósfera global con consecuencias sustanciales para el clima, dado lugar a un calentamiento global (IPCC, 2007; NASA, 2020).

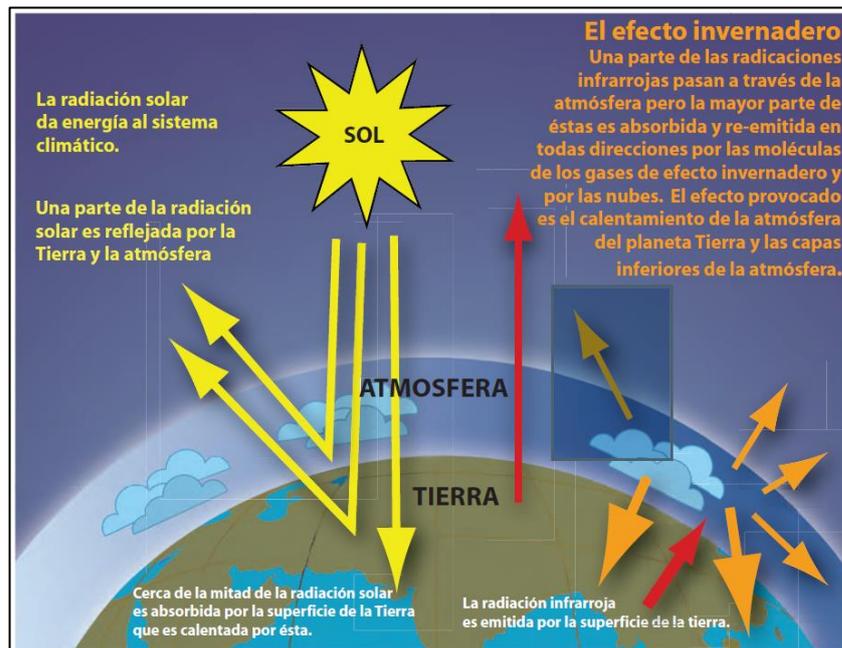


Figura 2.2 Esquema del efecto de invernadero en el sistema climático terrestre. Fuente: IPCC, 2007.

II.2. Evaluación del cambio climático.

Para evaluar el cambio climático el IPCC utiliza los llamados escenarios de emisión, representados a través de las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). En general para evaluar los impactos del cambio climático se utilizan cuatro trayectorias RCP: un escenario de nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6), dos escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5) (IPCC, 2013).

En 2018 el IPCC realizó un informe especial para evaluar los efectos que produciría un calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y estimo con un alto nivel de confianza que, hasta ese momento las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales (rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C); por lo que, es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si se continua con las acciones actuales (Figura 2.3).

Para abordar la amenaza del cambio climático existen dos enfoques: 1) la **mitigación al cambio climático (MCC)**, la cual consiste en todas las acciones para la reducción de las emisiones y estabilización de los niveles de gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmósfera (Banco Mundial & World Resources Institute, 2019; IPCC, 2019a) y 2) la **adaptación al cambio climático (ACC)**, la cual implica el ajuste de los sistemas naturales y/o humanos al clima futuro real o esperado (IPCC, 2014; Vergara et al., 2014) y será el enfoque central de este trabajo.

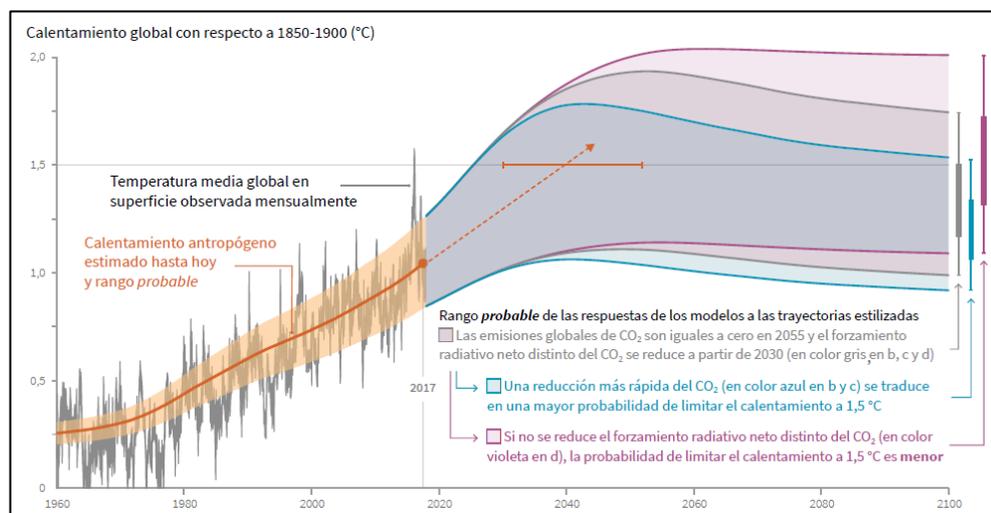


Figura 2.3 Cambio en la temperatura global observada y respuestas de los modelos a las trayectorias estilizadas de las emisiones antropogénicas y del forzamiento. Fuente: IPCC, 2018.

II.2.1. Vulnerabilidad y riesgo climático.

La vulnerabilidad ante el CC se entiende como la susceptibilidad o fragilidad del sistema natural o humano a ser afectado negativa o positivamente por la falta de capacidad de afrontamiento y/o adaptación; por lo que el riesgo climático se entendería como la probabilidad de que el CC genere impactos, daños o pérdidas a personas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, bienes económicos, sociales, culturales y de infraestructura (IPCC, 2014; UNDRR, 2019); por lo que, el riesgo climático de forma general, se entendería como el producto de la interacción entre un peligro (Cambio y variabilidad climática), la vulnerabilidad y la exposición de un sistema (Figura 2.4).

La gestión de riesgos proporciona un marco útil para la mayoría de las decisiones sobre el cambio climático, en especial la gestión iterativa del riesgo debido a que varias de las situaciones características del CC, presentan grandes incertidumbres, largos períodos de tiempo, el potencial de aprendizaje a lo largo del tiempo y la influencia tanto del clima como de otros factores socioeconómicos y biofísicos.

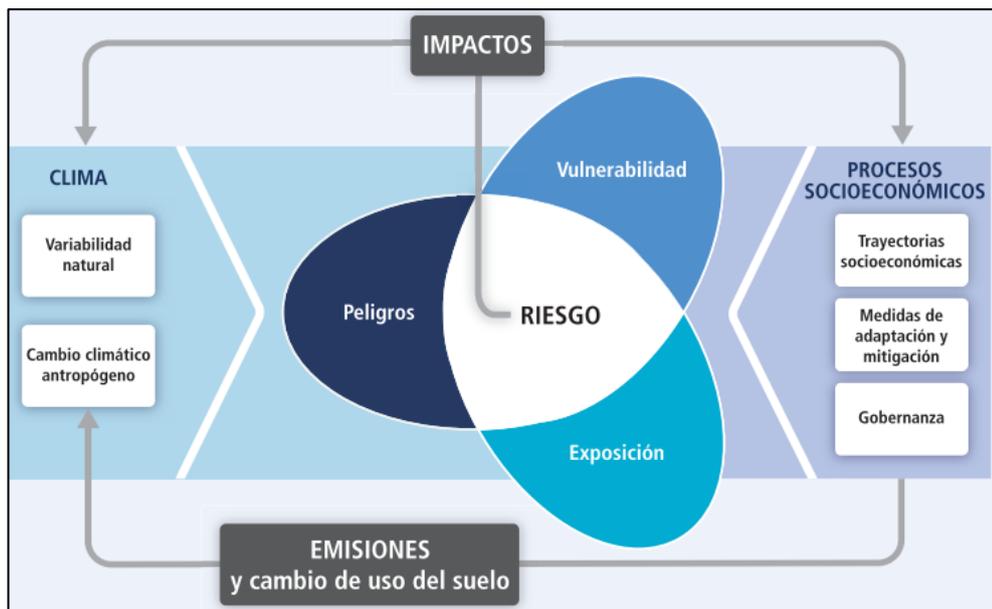


Figura 2.4 Esquema simplificado para la evaluación de la interacción de los conceptos básicos de los componentes del riesgo al cambio climático. Fuente: IPCC, 2014.

Entonces, la gestión de riesgos debe fortalecer los procesos de sostenibilidad de un sistema (Por ejemplo, una ciudad) enmarcado en la implementación de procesos continuos que asegure el balance económico, medioambiental y de bienestar humano, en el tiempo presente y futuro (McPhearson et al., 2016), enfocados en la reducción de las vulnerabilidades y aumento de las capacidades de adaptación (Figura 2.5).

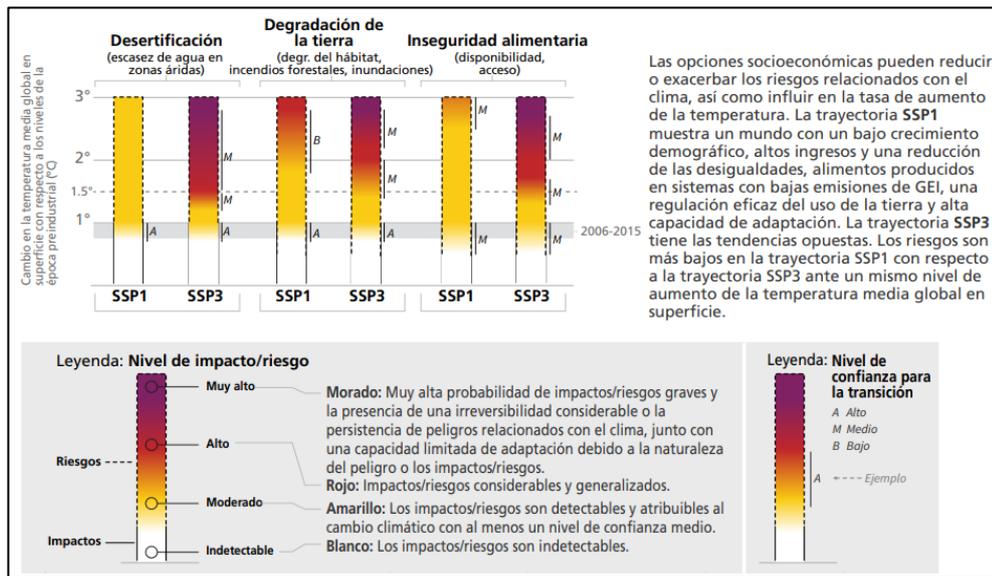


Figura 2.5 Trayectorias socioeconómicas influyen en los niveles de riesgos relacionados con el clima. Fuente: IPCC, 2019.

En este contexto, las ciudades están expuestas a diversos peligros y son altamente vulnerables a los impactos del cambio climático (Figura 2.6), debido a su alta exposición ante el aumento de eventos meteorológicos extremos (Ej. sequías, inundaciones, lluvias intensas, mareas de tormenta y olas de calor) y una combinación de desafíos en aumento, como son, el crecimiento de la población que supera el desarrollo de infraestructura, los barrios marginales y los asentamientos informales, las características demográficas cambiantes, la desigualdad social, las fluctuaciones económicas, la contaminación, los cambios locales en el clima y los sistemas de agua, la infraestructura envejecida con necesidad de reemplazo y otros factores considerados impulsores (McPhearson et al., 2016; UNDRR, 2019).

En este sentido, muy aparte de los conceptos de riesgo, vulnerabilidad y capacidad de adaptación existentes, lo realmente importante es articular estas ideas dentro del contexto de cada iniciativa; considerando que su conceptualización dará forma a los procesos para la implementación de medidas de adaptación al CC.

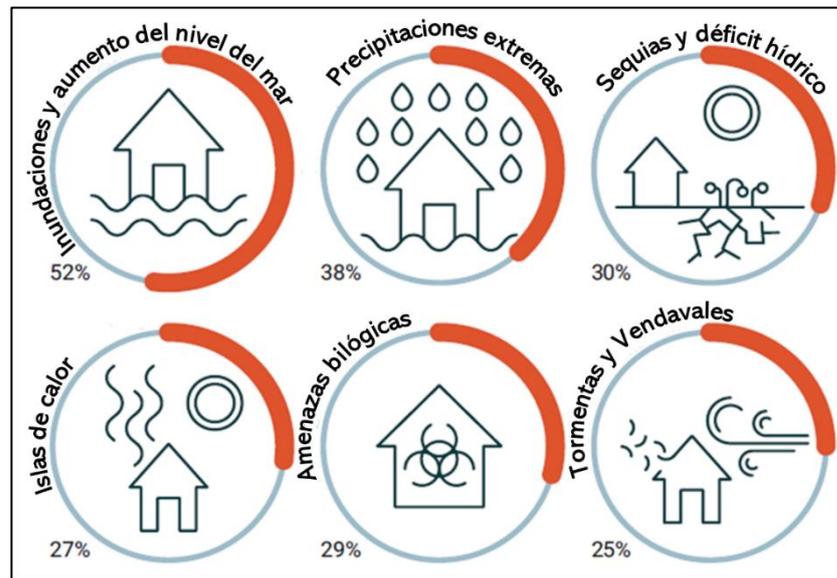


Figura 2.6 Diagrama con las 6 amenazas climáticas más frecuentes en ciudades.
Fuente: Modificado de ICLEI & C40, 2018

II.2.2. Evaluación del cambio climático.

La adaptación al cambio climático (ACC) se considera como la capacidad que tienen los sistemas terrestres (humanos y naturales) para adecuarse de forma sostenible ante los impactos positivos o negativos del CC (IPCC, 2014, 2019; Klein et al., 2003). Por lo tanto, la adaptación ante el CC debe ser entendida como un proceso integrado y continuo encaminado a la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático de los sistemas (Ej., ciudades o ecosistemas naturales) sobre un contexto de desarrollo sostenible (BID, 2011).

La ACC tiene como objetivo principal, reducir nuestra vulnerabilidad ante los efectos adversos del cambio climático (como son: el aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos e intensos o la inseguridad alimentaria). También incluye aprovechar al máximo las oportunidades beneficiosas asociadas con el cambio climático (por ejemplo, temporadas de lluvias más largas o mayores rendimientos en algunas regiones) (IPCC, 2019b).

Aun cuando el concepto base de la adaptación se entiende fácilmente todavía existe una falta de claridad en su definición, dado que, la adaptación siempre depende de los eventos o condiciones a los que se reacciona o anticipa. Por lo tanto, la adaptación al cambio climático a menudo se combina con la capacidad de afrontamiento en la gestión de riesgos de desastres (Owen, 2020; UNDRR, 2019).

Por lo tanto, podemos decir, que la adaptación al cambio climático no es un concepto nuevo como muchas veces se lo ve, sino que es una respuesta que ha sido utilizada durante varios años intrínsecamente dentro del estudio de las amenazas y gestión de riesgos de desastres (Frantzeskaki, 2019; Klein et al., 2003; Owen, 2020). Es importante resaltar, que las medidas de adaptación al CC, se presentan como una alternativa para enfrentar esta problemática debido a su enfoque holístico, donde no solo cumple la función de minimizar impactos sino también generar sinergias entre las acciones de mitigación, disminución de inequidades, mejoramiento de condiciones de vida, recuperación de ecosistemas y aumento de la resiliencia climática (Berrang-Ford et al., 2015; Fernandez et al., 2015; IPCC, 2014)

En la práctica la ACC puede ser abordada a través de tres objetivos principales de acuerdo con Owen, 2020:

- 1) El primer objetivo de la adaptación es aumentar la capacidad de adaptación, o la capacidad de responder eficazmente a los cambios de estrés y las crisis para manejar o reducir el riesgo.
- 2) El segundo objetivo es aumentar la capacidad de recuperación, o la capacidad de un sistema social o ecológico para continuar funcionando cuando se enfrenta a un shock y estrés.
- 3) El tercer objetivo es reducir la vulnerabilidad o la susceptibilidad al daño cuando se expone a un peligro externo.

En este contexto, la adaptación al cambio climático puede ser subdividida en 3 categorías generales: Adaptación social, Adaptación institucional y Adaptación estructural o física; siendo en esta última en la que se enmarcan las soluciones basadas en la naturaleza (Figura 2.7).



Figura 2.7 Tipos de adaptación al cambio climático. Fuente: Modificado de Owen, 2020

II.3. Soluciones Basadas en la Naturaleza.

El desarrollo sostenible con base en el uso de la naturaleza no es un concepto nuevo. Desde la década de los 60s ya se venían presentando varios de estos enfoques como por ejemplo los de agroforestería o de servicios ecosistémicos (Tzoulas et al., 2020); sin embargo, el concepto de Adaptación Basada en Ecosistemas (ABE) es

presentado por primera vez en 2008 durante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), y su definición se incluye dentro del Plan de Acción de Bali.

A la par, bajo este enfoque en el mismo año el Banco Mundial introduce por primera vez como propuesta para infraestructura sostenible el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza, el cual se presenta dentro del ámbito académico en 2012 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) y en 2015 por la Comisión Europea (Kabisch et al., 2017; Tzoulas et al., 2020).

En esta sección entonces, se explicarán los conceptos básicos sobre las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) y su relación con la adaptación al cambio climático, la ecología urbana, sistemas socio-ecológicos y servicios ecosistémicos como base para la comprensión de la aplicación de las medidas de la adaptación basada en ecosistemas (ABE) en ciudades.

II.3.1. Ecología y Ecología Urbana.

La ecología se entiende como el estudio de los sistemas en el nivel en que los individuos u organismos enteros pueden considerarse elementos de interacción, ya sea entre ellos o con una matriz ambiental poco organizada. Los sistemas a este nivel se llaman ecosistemas, y la ecología es la biología de los ecosistemas (Day et al., 2013). Asimismo, Hall & Balogh, (2019), mencionan que Tansley en 1935 utilizó por primera vez la palabra ecosistema definiéndolo como "todo el sistema" (en el sentido de la física), incluyendo no solo el conjunto de organismos sino también todo el complejo de factores físicos que forman lo que llamamos el entorno del bioma (los factores del hábitat en el sentido más amplio), incluyendo no solo la biosfera sino también los elementos de la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera. Entonces, a primera instancia podríamos entender a la ecología urbana como el estudio de la estructura y función de los ecosistemas creados por los seres humanos y como las partes vivas y no vivas de esos entornos se relacionan entre sí; así como, la cuantificación de los flujos de energía,

materiales y nutrientes necesarios para mantener los sistemas urbanos (Hall & Balogh, 2019).

Es importante mencionar, que el concepto de ecología urbana no es único, ha evolucionado a lo largo de las últimas décadas, siempre adecuándose al enfoque de la disciplina que lo estudia. Sin embargo, de acuerdo con Wu (2014) existen 3 perspectivas que deben considerarse al momento de estudiar la ecología urbana: La ecología en las ciudades, ecología de las ciudades y sostenibilidad de las ciudades (Figura 2.8). Entendiéndose entonces, a la ecología urbana como el estudio de los patrones espacio-temporales, los impactos ambientales y la sostenibilidad de la de los procesos urbanos con énfasis en la biodiversidad. Haciendo de la ecología urbana una ciencia verdaderamente interdisciplinaria y transdisciplinaria que integra la investigación con la práctica (Wu, 2014).

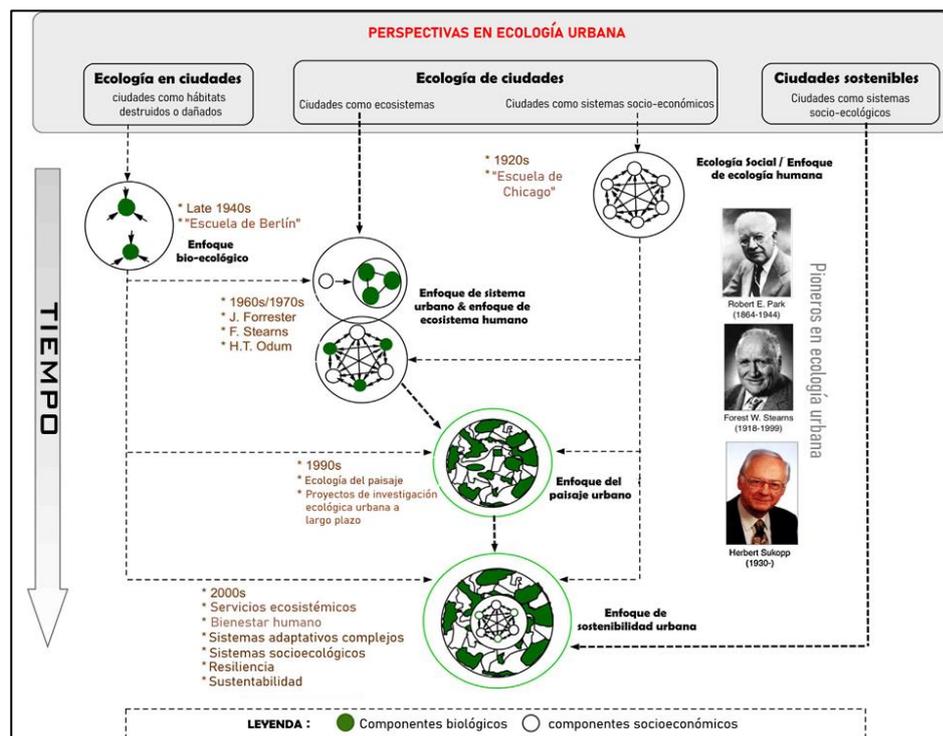


Figura 2.8 Evolución de perspectivas y enfoques en Ecología Urbana. Los diferentes enfoques se presentan en orden cronológico aproximadamente con su tiempo de aparición. Las líneas punteadas indican las relaciones entre los diferentes enfoques y el grosor de las líneas denota la fuerza relativa de la influencia. Fuente: Modificado de Wu, 2014.

II.3.2. Sistemas Socio-ecológicos y Servicios Ecosistémicos.

Los sistemas socio-ecológicos se entienden como sistemas complejos en los cuales interactúan los seres humanos y la naturaleza, enfatizando que los seres humanos son parte de la biosfera y no un sistema independiente (Folke, 2006; Folke et al., 2016). En esencia, el enfoque de los sistemas socio-ecológicos enfatiza que las personas, las comunidades, las economías, las sociedades y las culturas son partes integradas de la biosfera y le dan forma, desde las escalas locales a las globales (Berkes & Folke, 1988; Folke, 2006). Al mismo tiempo, las personas, las comunidades, las economías, las sociedades y las culturas están conformadas, dependen y evolucionan con la biosfera (Figura 2.9). Por lo tanto, las personas no solo interactúan sino que son habitantes de la biosfera junto con toda la vida en la Tierra, configurando su capacidad de recuperación de diversas maneras, desde lo local a lo global, consciente o inconscientemente (Folke et al., 2016).

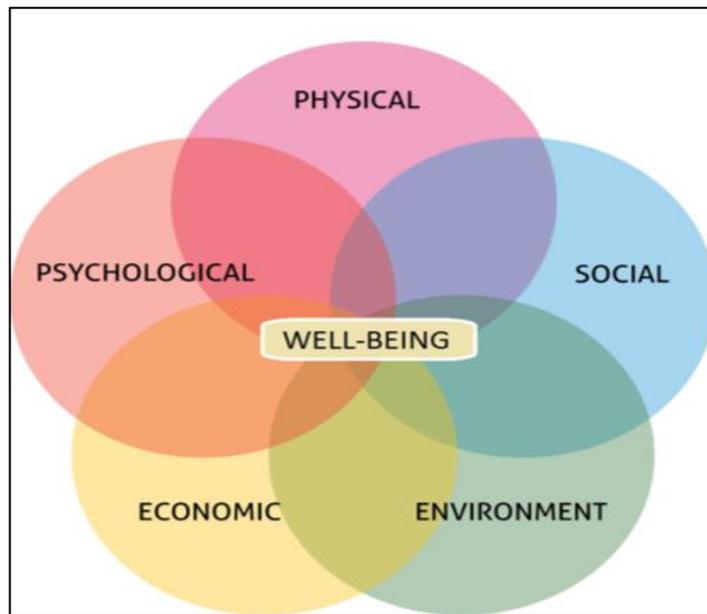


Figura 2.9 Diagrama de los factores detrás del bienestar humano que a menudo se retratan en la esfera del desarrollo. Fuente: Folke et al., 2016

De acuerdo con Tzoulas et al (2020), los sistemas sociales y ecológicos se pueden representar de acuerdo con los modelos de límites planetarios externos e

internos como son; el modelo ecológico de promoción de la salud, el enfoque de entornos y sobre los determinantes de la salud. En conjunto, esta combinación de modelos cubre los límites biofísicos, biológicos y socioeconómicos del desarrollo sostenible y el bienestar humano, incluidos factores como la salud ecológica física, psicológica, familiar, comunitaria, nacional, internacional y global; y factores biológicos, físicos, sociales, económicos y ambientales (Figura 2.10).

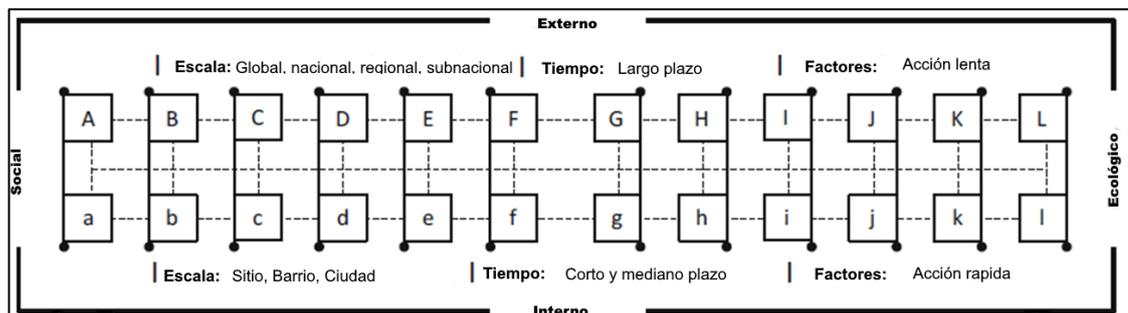


Figura 2.10 Modelo de sistema socio-ecológico con enfoque de soluciones basadas en la naturaleza. Las letras mayúsculas representan los factores del sistema externo A: Demografía, B: Cultura, C: Social, D: Tecnología, E: Regulatorio, F: Financiero, G: Biodiversidad, H: Cambio de suelo, I: Agua dulce y océanos, J: Atmosfera, K: Clima, L: Química. Las letras minúsculas representan los factores del límite interno como son: a: Personas, b: Estilo de vida, c: asentamientos, d: artificial, e: operacional, f: economía, g: Fauna y flora, h: suelo, i: agua, j: aire, k: tiempo, l: contaminación. Fuente: Modificado de Tzoulas et al., 2020.

Con esta consideración, podemos aseverar que los ecosistemas interactúan entre sí y generan productos que en muchos casos son de beneficio para el ser humano, como, por ejemplo, producción de alimentos, agua limpia y aire fresco, los árboles y otra vegetación actúan como filtro para la contaminación del aire y pueden reducir el riesgo de inundación por retención de escorrentía e infiltración. Además, la naturaleza tiene una influencia significativa en los humanos, por ejemplo, proporcionando entornos de restauración, con fines educativos, ofreciendo inspiración y promoviendo la creatividad. La provisión de estos servicios hacia los humanos por la naturaleza se definen como Servicios Ecosistémicos (Kabisch et al., 2017; Maes et al., 2014).

Sobre esta base, podemos categorizar a los servicios ecosistémicos en servicios de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales (Figura 2.11). Esta clasificación fue propuesta por el Informe de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en 2005 y es la más utilizada hasta la actualidad (Camacho & Ruiz Luna, 2012) la cual

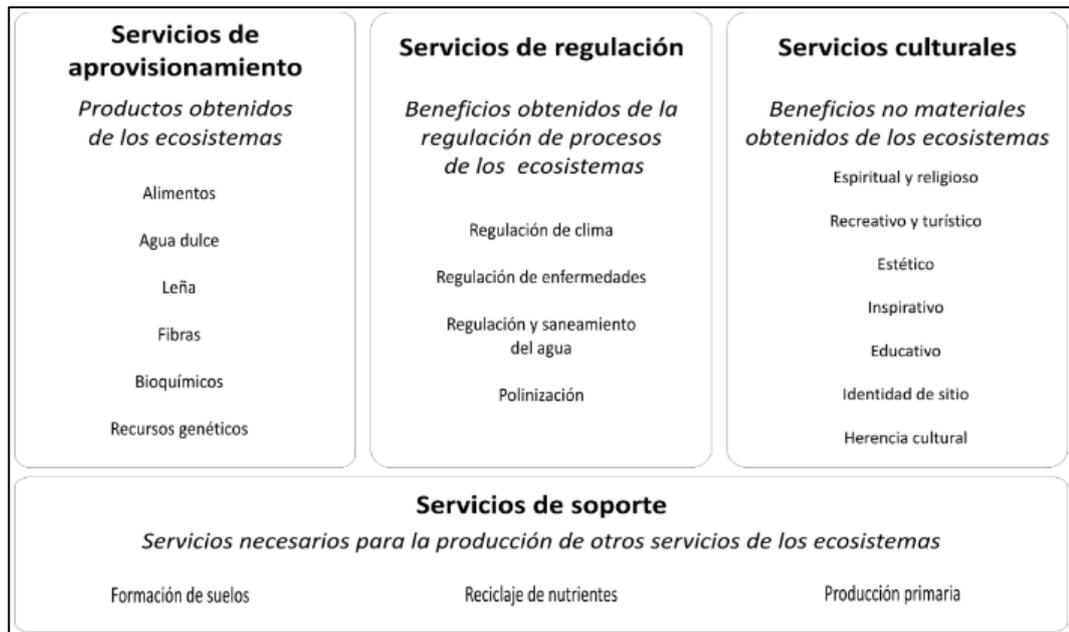


Figura 2.11 Clasificación de servicios ecosistémicos de acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Fuente: Camacho & Ruiz Luna, 2012.

II.3.3. Adaptación Basada en Ecosistemas.

De acuerdo con la Comisión Europea, la Adaptación Basada en Ecosistemas (ABE) forman parte de un conjunto de enfoques conocidos como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), entre las cuales se incluyen otros enfoques integradores como son los de infraestructura verde y de servicios ecosistémicos (Figura 2.12).

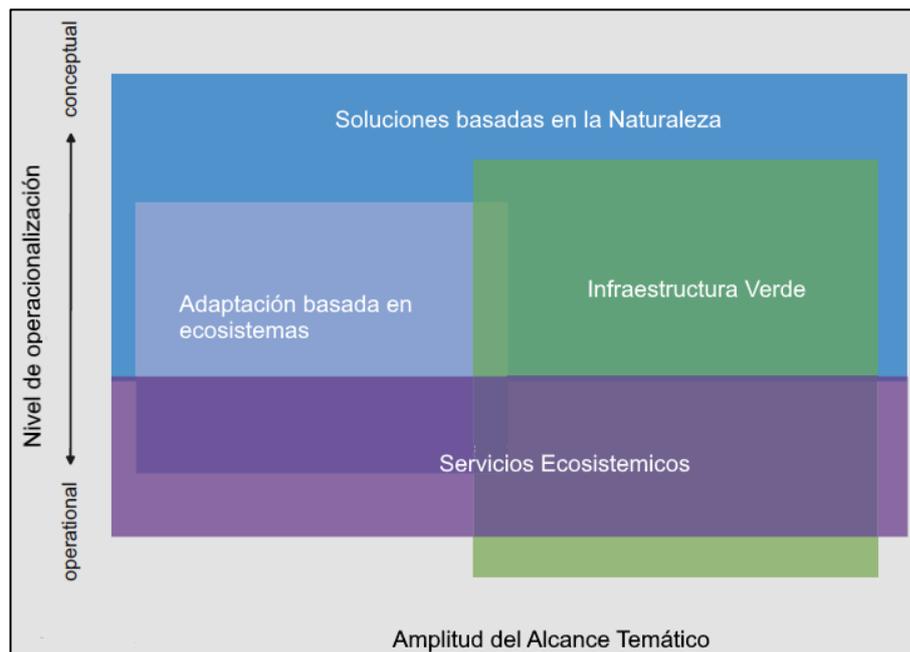


Figura 2.12 Interrelación entre las soluciones basadas en la Naturaleza y la adaptación basada en ecosistemas. Fuente: Modificado de Kabisch et al., 2017.

La Adaptación Basada en Ecosistemas (ABE), se define como: *“el uso de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas como parte de una estrategia general de adaptación para ayudar a la gente a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático”* (GIZ, EURAC, & UNU-EHS, 2018). En términos generales, se refiere a las acciones que protegen, administran y restauran el capital natural de manera que aborden los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa. Estos incluyen acciones estructurales y no estructurales, que van desde la restauración del ecosistema hasta la gestión integrada de recursos, infraestructura verde y más (Banco Mundial & World Resources Institute, 2019).

En un contexto general la adaptación basada en ecosistemas se han convertido en una alternativa válida para el desarrollo de infraestructura y la actualización de infraestructura en ciudades considerando un enfoque de resiliencia y sostenibilidad en armonía con el ecosistema urbano (Turner & Gardner, 2015), con un enfoque integrador en que las medidas de ABE están inspiradas en la naturaleza, utilizan la

naturaleza y/o son compatibles con la naturaleza (European Commission, 2015; Frantzeskaki, 2019).

Las opciones de ABE se pueden aplicar a diferentes escalas y en diferentes sectores por lo que, su implementación integra a varios actores, desde gobiernos nacionales y regionales hasta comunidades locales, empresas y ONG, así como también involucra múltiples campos académicos (Banco Mundial & World Resources Institute, 2019; BID, 2019; Zwierzchowska et al., 2019).

En las ciudades, las medidas de ABE pueden abarcar desde la microescala (edificios o jardines) hasta la macroescala a nivel de ciudad, permitiendo generar no solo beneficios ambientales sino también socioeconómicos, apoyándose en un enfoque de manejo de sistemas socio-ecológicos y de ecología urbana (Frantzeskaki, 2019; Zwierzchowska et al., 2019).

Las medidas de ABE son además altamente compatibles con los enfoques de trabajo comunitario creando varios beneficios sociales a nivel local impulsando un mayor compromiso por parte de los gobiernos. Así también las ABE en muchos casos son parte integral de las estrategias generales de adaptación incluyendo políticas y medidas de actuación debido a que, los esfuerzos de adaptación conducen a beneficios colaterales (Figura 2.13), que van más allá de la adaptación, como la conservación de la biodiversidad, mejoramiento de la calidad de vida, reducción del riesgo de desastres y restauración de ecosistemas (Banco Mundial & World Resources Institute, 2019; Chan et al., 2018; Kabisch et al., 2017).

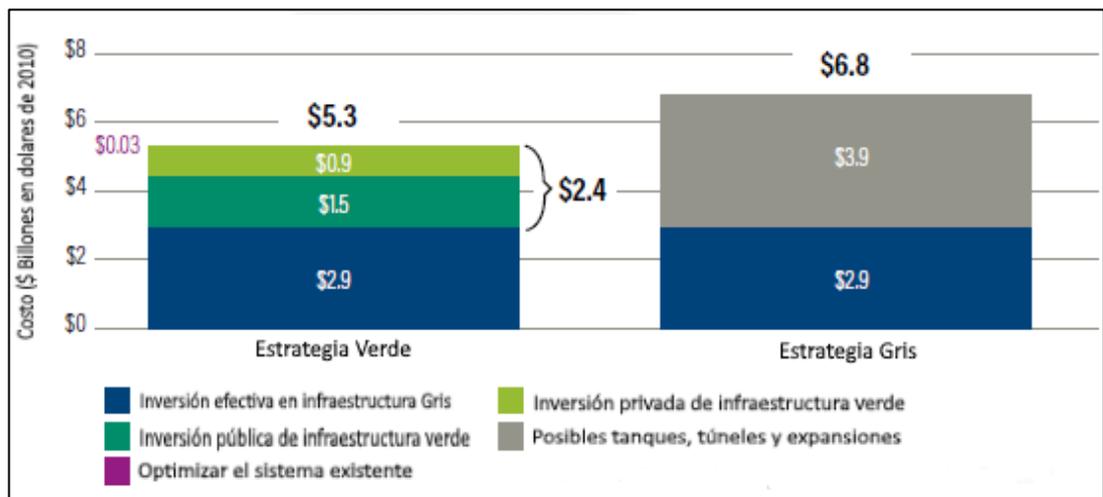


Figura 2.13 Reducción del costo de implementación mediante la mezcla de infraestructura verde y gris en la ciudad de Nueva York; la combinación de ambos tipos redujo en un 22 por ciento los costos que solo implementando infraestructura gris. Fuente: Modificado de Banco Mundial & World Resources Institute, 2019.

En este contexto, varios autores (Frantzeskaki, 2019; Hall & Balogh, 2019; Herzog, 2016; McPhearson et al., 2016; Tubridy, 2020; Wu, 2014) concuerdan que la adaptación basada en ecosistemas; a través de un enfoque de sistemas socio-ecológicos que incorporen conceptos de servicios ecosistémicos y ecología urbana es crucial para comprender los servicios urbanos y gestionar los ecosistemas y la infraestructura para cumplir con los objetivos y las necesidades de las poblaciones urbanas crecientes y diversas en el contexto de adaptación al cambio climático.

II.4. Métricas del paisaje y soporte para la toma de decisiones.

El soporte para la toma de decisiones se encuentra en la intersección entre la provisión de datos, el conocimiento experto y la toma de decisiones humana en un rango variable de escalas que pueden ser desde lo individual hasta el nivel de organizaciones e instituciones. En este sentido, es necesario la utilización de herramientas especializadas que permitan brindar apoyo para cuantificar los riesgos y la toma de decisiones para crear ambientes propicios que permitan la implementación de medidas de adaptación para reducir los impactos del cambio climático (IPCC, 2019a).

De acuerdo con el IPCC (2019), un entorno propicio para un correcto proceso de adaptación basado en sistemas de toma de decisiones necesita: (i) el desarrollo de políticas, estrategias y programas integrales; (ii) recursos humanos y financieros para asegurar que las políticas, programas y legislación se traduzcan en acciones; (iii) la toma de decisiones que se basa en la evidencia generada a partir de los sistemas de información funcional que permiten monitorear tendencias, rastrear y mapear acciones y evaluar el impacto de manera oportuna y completa; (iv) mecanismos de coordinación de gobernanza y alianzas; y (v) una perspectiva a largo plazo en términos de opciones de respuesta, monitoreo y mantenimiento.

Los ecosistemas naturales brindan una amplia gama de servicios beneficiosos, muchos de los cuales son críticos para el bienestar humano y para abordar desafíos ambientales como la biodiversidad y las crisis climáticas. Sin embargo, la rápida expansión de las tierras urbanas y agrícolas ha transformado significativamente el paisaje natural (Nature Geoscience, 2021).

La heterogeneidad espacial es omnipresente en todas las escalas y constituye la base fundamental de la estructura y el funcionamiento de los paisajes, ya sean naturales o culturales. Para comprender cómo los paisajes afectan y se ven afectados por las actividades biofísicas y socioeconómicas, debemos ser capaces de cuantificar la heterogeneidad espacial y su dependencia de escala, es decir, cómo los patrones cambian con la escala (Alberti, 2005; Wu, 2004).

La dependencia de la escala sobre la heterogeneidad espacial ha sido reconocida tanto en geografía como en ecología durante décadas. Por lo que, se pueden distinguir dos connotaciones diferentes pero relacionadas sobre la este tipo de dependencia (Wu, 2004):

- 1) La heterogeneidad espacial dependerá de la escala o nivel jerárquico analizado. Es decir, cada elemento del paisaje tendrá un nivel espacial operacional en el cual podrá ser mejor caracterizado.

- 2) La segunda connotación se refiere al problema de la unidad de área modificable o MAUP en el que se describe la dependencia de la heterogeneidad espacial observada en la escala de observación y análisis, a menudo discutida en términos de efectos de escala en la clasificación de imágenes y el análisis de patrones espaciales.

Los efectos de escala en el análisis de patrones espaciales pueden ocurrir en cada una de las siguientes tres situaciones: 1) cambio de tamaño de grano (o resolución) solamente, 2) cambio de extensión solamente y 3) cambio en grano y extensión.

II.4.1. Métricas del paisaje

El uso común del término "métricas de paisaje" se refiere exclusivamente a índices numéricos desarrollados para cuantificar patrones de mapas categóricos (o mosaicos de parches). Bajo la perspectiva del mosaico de parches, las métricas de paisaje son algoritmos que cuantifican características espaciales específicas de parches, clases de parches o mosaicos de paisajes completos, o el contexto espacial de celdas individuales dentro de un mosaico de parches. Las métricas de paisaje se dividen en dos categorías generales: las que cuantifican la composición del mapa sin referencia a los atributos espaciales, y las que cuantifican la configuración espacial del mapa, requiriendo información espacial para su cálculo (McGarigal y Marks 1995, Gustafson 1998).

En este trabajo nos enfocaremos en ciertas métricas de configuración espacial. La configuración se refiere al carácter espacial y la disposición, posición u orientación de los parches dentro de la clase o el paisaje. Algunos aspectos de la configuración, como el aislamiento de parches o el contiguo de parches, son medidas de la ubicación de los tipos de parches en relación con otros parches, otros tipos de parches u otras características de interés. Otros aspectos de la configuración, como la forma y el área del núcleo, son medidas del carácter espacial de los parches.

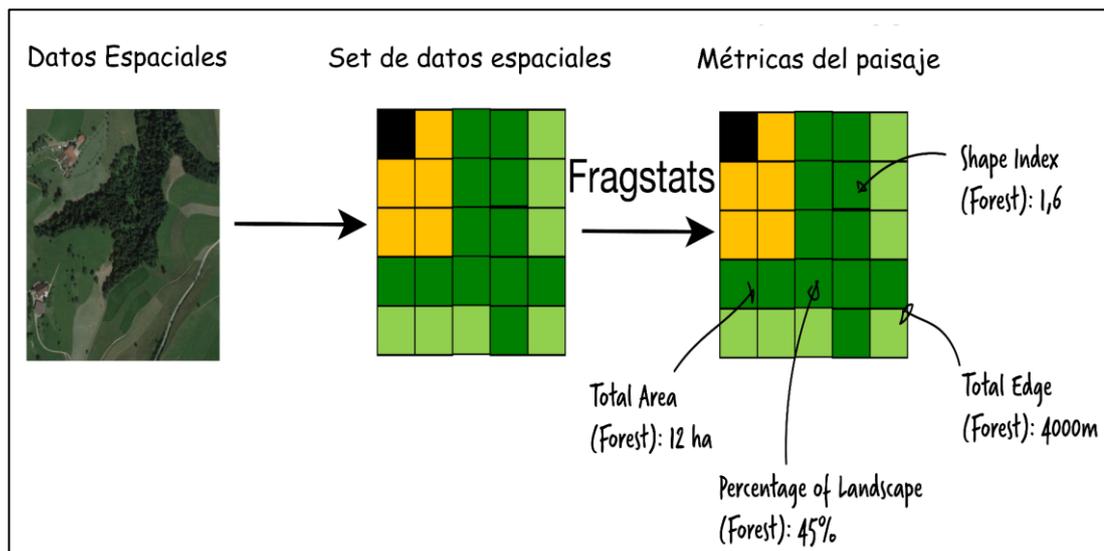


Figura 2.14 Ejemplo esquemático del cálculo de métricas del paisaje de tipo configuración espacial. Fuente: Modificado curso “Landscape ecology, EDX”.

Hay muchos aspectos de la configuración y la literatura está repleta de métodos e índices desarrollados para representarlos. Sin embargo, para este trabajo no enfocaremos en describir ciertas métricas de clases referidas por Ji et al (2006) para la caracterización de la expansión urbano que se describen a continuación:

1. **Índice de densidad de parche (PD, en inglés)**, el PD es igual al número de parches del tipo de cobertura correspondiente dividido por el área total de interés. Es una medida fundamental del patrón de cobertura del suelo de un tipo de clase o un paisaje de la cubierta de tierra construida. PD es igual al número de parcelas del tipo de parche correspondiente dividido por el área total del paisaje (m²), multiplicado por 10,000 y 100 (para convertir a 100 hectáreas). Tenga en cuenta que el área total del paisaje (A) incluye cualquier fondo interno presente. la densidad máxima de parches de una sola clase se alcanza cuando todas las demás celdas son de esa clase focal (es decir, en forma de tablero de ajedrez; porque las celdas adyacentes de la misma clase estarían en el mismo parche).

2. **Índice de parche grande (LPI, en inglés)**, el LPI a nivel de clase cuantifica el porcentaje del área total de tierra comprendida por el parche más grande, es una medida simple del dominio de un tipo cobertura sobre las otras. El LPI se acerca a 0 cuando el parche más grande del tipo de parche correspondiente es cada vez más pequeño. $LPI = 100$ cuando todo el paisaje consta de un solo parche del tipo de parche correspondiente; es decir, cuando el parche más grande comprende el 100% del paisaje.

3. **Índice de agregación (AI, en inglés)**, se calcula a partir de una matriz de adyacencia de parche, que muestra la frecuencia de los tipos aparecen lado a lado en el mapa, permitiendo cuantificar el grado de fragmentación de un tipo de cobertura terrestre o de un paisaje. AI es igual a 0 cuando el tipo de parche focal está desagregado al máximo (es decir, cuando no hay adyacencias similares); La IA aumenta a medida que el tipo de parche focal se agrega cada vez más y es igual a 100 cuando el tipo de parche se agrega al máximo en un solo parche compacto.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La metodología implementada en este trabajo para la selección de alternativas de ABE utilizó un análisis de decisiones multicriterio basado en SIG (SIG-MCA) apoyado en la aplicación de métodos exploratorios y cuantitativo para la identificación de sectores adecuados para la implementación de medidas de ABE en la microcuenca urbana (MU) del estero La Matanza de la ciudad de Durán.

El desarrollo de esta metodología implicó la ejecución de tres pasos principales:

- 1) Levantamiento de línea bases, a través de la recopilación, organización y análisis de la información sobre las amenazas climáticas más recurrentes y sistema socio-ecológico de la ciudad.
- 2) Desarrollo del mapa de zonas idóneas para la aplicación de medidas de ABE utilizando un análisis multicriterio con enfoque socio-ecológico.
- 3) Selección de medidas de Adaptación Basadas en Ecosistemas (ABE) adecuadas para la MU del estero La Matanza.

III.1. Area de estudio.

La microcuenca urbana (MU) del estero La Matanza está ubicada al norte de la ciudad de Durán. El eje principal de la microcuenca tiene una longitud de aproximadamente 400 metros, y su área de aportación es de 24 kilómetros cuadrados. Siendo de esta manera, la MU de La Matanza la más pequeña de las cuencas urbanas de la ciudad (Figura 3.15).

De acuerdo con la información proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Durán (GAD Durán) y el censo de población del 2010

realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Se estima que, en esta microcuenca, se encuentre asentada una población de 137 650 habitantes y un total de 173 de los 268 sectores urbanos (barrios) de la ciudad.

La precipitación media anual en Durán es de 1200 mm, donde el 97% de la precipitación ocurre durante la temporada de lluvias, de diciembre a abril. La precipitación máxima registrada en la ciudad ocurrió el 2 de marzo de 2013, con un total de 166 mm precipitados en 10 h (Borbor-Cordova et al., 2020). El análisis de la intensidad media de los períodos de tormentas más severas de la región presenta valores del orden de 50 mm / h para un período de 2 h (Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018). Las temperaturas medias mensuales oscilan entre los 23 °C y los 27 °C, con temperaturas máximas por encima de los 30 °C durante todo el año. Asimismo, los meses con mayor humedad son febrero y marzo, que coinciden con la temporadas de más lluvias (Litardo et al., 2020).

El paisaje de la MU del estero La Matanza estaba originalmente dominada por la zona ribereña del estuario del río Guayas compuesta principalmente de llanuras de inundación, matorrales, canales de marea (esteros) y pequeños cerros (hasta 80m.s.n.m.). Por lo que, esta MU era utilizada por poblaciones precolombinas para la agricultura, transporte y comercio (Da Cruz E Sousa & Miranda, 2018; SINDE, 2015). En la actualidad debido al rápido y desordenado crecimiento de la ciudad, la MU de la Matanza es la más urbanizada de la ciudad con alrededor de un 33% de área ocupada por viviendas, 32 % por vías vehiculares, 34% entre suelo descubierto y vegetación y solo el 2% por cuerpos de agua incluyendo los esteros. Provocando de esta manera que la MU del estero La Matanza sea altamente vulnerable a inundaciones, islas de calor y deslizamientos, los cuales pueden ser exacerbados debido al cambio climático.

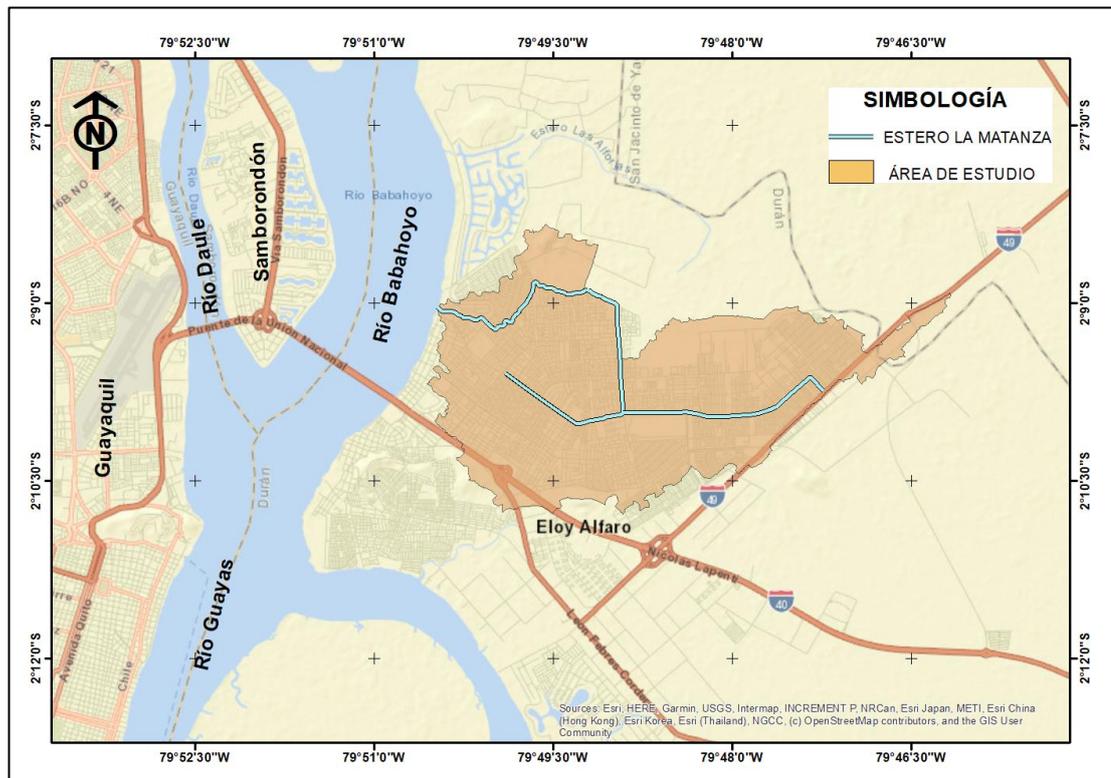


Figura 3.15 Ubicación de la microcuenca urbana del estero La Matanza.

III.2. Levantamiento de línea base.

En esta fase del trabajo se procedió a recopilar, organizar y analizar el contenido de la información existente, con el propósito de identificar las principales amenazas, vulnerabilidades y riesgos, entender las características principales del ecosistema y la sociedad, y finalmente recopilar información sobre iniciativas previas sobre medidas de ABE. La información utilizada y los productos elaborados se detallan en la Tabla 3.1.

Adicionalmente a esta información, se revisaron informes, estudios y publicaciones referentes a los ecosistemas y sistemas sociales de la ciudad, como son:

- Evaluación del efecto de la infraestructura verde en la disminución de la amenaza por inundaciones en el Cantón Durán de la Provincia del Guayas. Formulación de estrategias de planificación urbana, ejecutado por el Sistema de Investigación y

Desarrollo (SINDE) de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) en 2015.

- Estudio para el levantamiento de línea base y propuesta de reordenamiento del sistema de drenajes del cantón y diseño de la recuperación paisajística de un canal de aguas lluvias, ejecutado por el GAD de Durán en el año 2017.
- Sustainable Urban Drainage Systems for Durán City, Ecuador y Analysis of the Subsurface Urban Drainage Systems for Durán City, Ecuador, Tesis de grado desarrolladas por Viktor Plett y Ronny Wölfer respectivamente, estudiantes de la Universidad Hochschule Magdeburg–Stendal, Alemania en 2019.

Tabla 3.1 Resumen de la información recopilada y analizada, organizada en sus respectivos componentes socio-ecológicos.

Componente	Descripción	Fuente	Tipo	Año	Escala	Producto elaborado
Riesgo Climático	Mapa Multiriesgo (Inundaciones, Islas de calor)	RESCLIMA	Ráster	2019	4 x 4 m	Índice de riesgo climático
	Base de datos de eventos adversos 2010-2020	SNGRE	Tabla	2020	N/A	Índice de vulnerabilidad y riesgo
	Base de datos de Desinventar	UNDRR	Tabla	2020	N/A	Índice de vulnerabilidad y riesgo
Ecológico	Modelo Digital de Terreno	SIGTIERRAS	Ráster	2015	4 x 4 m	Índice de contraste hidromorfométrico
	Mapas topográficos	Instituto Geográfico Militar	Ráster/vector	1964/1990/2010	01:50.0	Hidrografía, delimitación de MU, Uso de suelo histórico
Social	Imagen Satelital	Quickbird	Ráster	2005	0.6 x 0.6 m	Verificación productos
	Imagen Satelital	SPOT	Ráster	2006	2.5 x 2.50 m	Verificación productos
	Orto-fotografía	SIGTIERRAS	Ráster	2012	0.4 x 0.4 m	Verificación productos

Orto-fotografía	GAD Durán	Ráster	2018	0.1 x 0.1 m	Uso de suelo de alta resolución
Censo Población y Vivienda	INEC	Tabla / vector	2010	Manzana	Índice socioeconómico
Base de registro social	MIES	Vector	2019	N/A	Índice socioeconómico
Sectores Urbanos de Durán	GAD Durán	Vector	2020	N/A	Unidad de análisis

III.3. Mapa de zonas idóneas para la aplicación de medidas de ABE.

La identificación de áreas para la aplicación de medidas de ABE en la MU del estero La Matanza, se realizó mediante la elaboración de un modelo de idoneidad (suitability model). En este caso específico, se empleó el enfoque de análisis de decisiones multicriterio (AMC) basado en SIG (Sistema de Información Geográfica), utilizando el software QGIS v.3.16.0. Este enfoque se utiliza comúnmente para respaldar la toma de decisiones en donde se escogen un número limitado y predeterminado de alternativas y asume la homogeneidad espacial de las preferencias con respecto a los diferentes niveles de valores de criterio (Bourne et al., 2016; Mentzafou et al., 2021).

El mapeo de las áreas idóneas utilizando el SIG-AMC se realizó a través de los siguientes pasos: (1) definir el objetivo, (2) selección de dimensiones y criterios, (3) estandarización de indicadores (normalización y escala de valor), (4) ponderación de las dimensiones, (5) agregación de criterios, y (6) validación de la precisión del modelo de idoneidad. El esquema simplificado del procedimiento se muestra en la Figura 16.

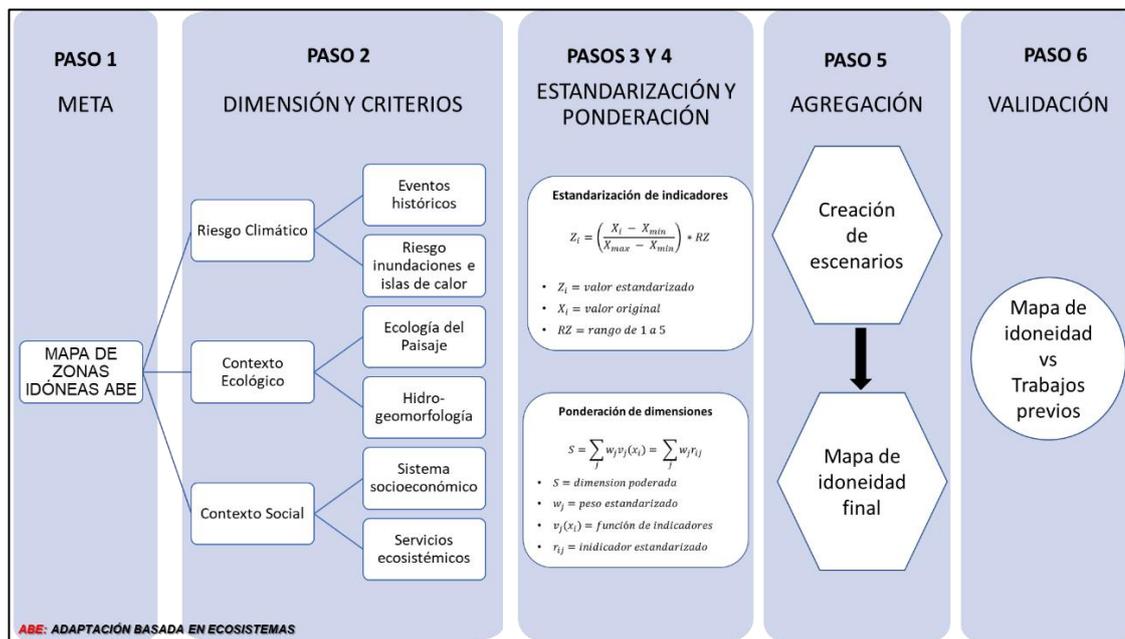


Figura 16 Esquema simplificado del procedimiento para la elaboración del Mapa de zonas idóneas para la aplicación de medidas de ABE en la MU del estero La Matanza.

III.3.1. Paso 1 y 2: Definición del objetivo y selección de dimensiones / criterios

En estas dos etapas, el objetivo principal fue generar los indicadores y criterios con base en la información disponible y las dimensiones del sistema socio-ecológico para la MU del estero La Matanza. En este sentido, se realizaron las siguientes acciones:

1. Todos los indicadores, independientemente del tipo, formato o cobertura espacial, se convirtieron a formato ráster.
2. Se selecciono como objetivo principal la construcción de un mapa que zonifique la MU del estero la Matanza de acuerdo con el nivel de idoneidad de los sectores urbanos para la aplicación medidas de ABE.
3. La MU del estero La Matanza se encuentra ubicado en el estuario interno del río Guayas (Barrera Crespo, 2016), por lo tanto, con base en la información disponible las características del ecosistema serán evaluadas desde el punto geomorfológico y de ecología del paisaje.

4. Los criterios se agruparán de acuerdo con el modelo de sistemas socio-ecológicos de soluciones basadas en la naturaleza en ambientes urbanos de Tzoulas et al (2020) considerando tres dimensiones: i) Riesgo Climático, ii) Contexto ecológico y iii) Contexto social (Tabla 3.2).
5. Para la elaboración del mapa de idoneidad se seleccionó y analizó el sentido de un total de 22 indicadores agrupados en 6 criterios y 9 índices (Tabla 3.2).
6. Para evaluar la similitud entre las variables, se realizó un análisis de correlación de Pearson simple utilizando el módulo de componentes principales del módulo Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS.

Tabla 3.2 Clasificación de las dimensiones, criterios e indicadores utilizados para el SIG-AMC.

Dimensión	Criterio	Índice	Indicador	Sigla	Sentido
Riesgo climático	Eventos históricos	Eventos históricos	Mapa de eventos adversos de inundación	Madv	(+)
	Riesgo de desastres	Riesgo multiamenaza	Riesgo inundaciones, deslizamientos e islas de calor	Rmulti	(+)
Contexto ecológico	Geomorfología	Índice de contraste hidromorfométrico	Depresiones cerradas	CD	(+)
			Distancia Vertical a canales	VD	(+)
			Área de Captación Modificada	ACM	(+)
			Índice topográfico de Humedad	TWI	(+)
			Flujo escorrentía	D8	(+)
	Ecología del paisaje	Índice de ecología del paisaje del agua	Densidad de parche agua	PD_agu	(+)
Índice de parche amplio agua			LPI_agu	(+)	

Contexto social		Índice de agregación agua	AI_agu	(+)	
		Índice de ecología del paisaje de la vegetación	Densidad de parche vegetación	PD_veg	(+)
			Índice de parche amplio vegetación	LPI_veg	(+)
			Índice de agregación vegetación	AI_veg	(+)
	Socioeconómico	Índice socioeconómico	Agregación de viviendas	AI_viv	(-)
			Densidad Poblacional	DP	(+)
			Categoría de Pobreza	CP	(-)
	Servicios ecosistémicos	Servicios ecosistémicos de Regulación	Alcantarillado sanitario	AASS	(-)
			Alcantarillado pluvial	AALL	(-)
		Servicios ecosistémicos de cultura	Suelo descubierto en riberas	AI_sde	(+)
Cercanía a canales o esteros			CRV	(-)	
Servicios ecosistémicos de provisión		Vías lastradas	LPI_vlas	(+)	
		Vías pavimentadas	LPI_vpav	(-)	

Los índices e indicadores que se presentan en la Tabla 3.2 se elaborarán de la siguiente manera:

- **Riesgo Climático**

Las amenazas hidrometeorológicas han tenido un fuerte impacto en las sociedades humanas y los ecosistemas. Se prevé que su impacto se vea agravado por los escenarios climáticos futuros generando nuevos riesgos. En este contexto las medidas de ABE pueden aumentar la capacidad de adaptación y resiliencia de los ecosistemas y comunidades disminuyendo su vulnerabilidad.

La dimensión de riesgo climático se construye con el objetivo de identificar donde es más probable que ocurran estos riesgos y poder implementar medidas ABE a través de dos índices: i) Eventos históricos y ii) Riesgo de desastres. El procedimiento para la generación de sus indicadores se describe a continuación:

Eventos históricos: Para caracterizar los eventos históricos se recopiló información de dos bases de datos. La primera correspondiente la base de datos de Desinventar (<https://www.desinventar.org/>) de las Naciones Unidas con información desde 1970 a 2019 y la segunda la base de eventos adversos del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias con información desde 2010 a 2020 (Anexo 1). En ambas bases se identificaron los eventos hidrometeorológicos y se agruparon en una sola base evitando duplicidades. Luego, estas fueron integradas en la capa vector de sectores urbanos **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y rasterizada para su estandarización y su categorización de idoneidad (Suitability) (Tabla 3.3).

Riesgo Multiamenaza: Para la elaboración de este índice, se tomó el mapa de riesgos multiamenaza (inundaciones, islas de calor y deslizamientos) del proyecto RESCLIMA ejecutado por la ESPOL en conjunto con el GAD Durán en 2019 y se lo recortó (Clip) para el área de estudio, luego fue estandarizado y categorizado de acuerdo con su idoneidad (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Clasificación de los Índices de riesgo climático con su respectivo nivel de idoneidad.

RIESGO CLIMÁTICO			
<i>Eventos históricos (1 - 5)</i>	No	# de eventos x sector	Idoneidad
	1	0	1
	2	1	2
	3	2	3
	4	3	4
	5	6	5
<i>Riesgo Multiamenaza (1 - 5)</i>	No	Nivel de riesgo	Idoneidad
	1	Muy bajo	1
	2	Bajo	2
	3	Medio	3
	4	Alto	4
	5	Muy Alto	5

- **Contexto Ecológico**

La ciudad de Durán se encuentra ubicada en un ecosistema de estuario (río Guayas) por lo tanto, la visibilidad de los atributos abióticos de los estuarios refleja el hecho de que los estuarios son, en gran medida, ecosistemas dominados físicamente. Para comprender los ecosistemas estuarinos y cómo funcionan, se debe tener una buena comprensión de la geología, hidrología y paisaje (Day et al., 2013). En este contexto, en esta fase del trabajo se caracterizó las características de la ecología del paisaje que se mantienen normales y cuales se han modificado, con un enfoque de idoneidad para la aplicación de medidas de ABE, priorizando la hidrología y paisaje como se describe a continuación:

Índice de contraste hidromorfométrico (HCI) : La ciudad de Durán se encuentra asentada en la zona interna del estuario del río Guayas y naturalmente esta zona ribereña está compuesta por zonas propensas a inundaciones (humedales), para caracterizar su hidrología se construyó el Índice de contraste hidromorfométrico desarrollado por García-Rivero et al (2017), el cual es un índice que permite caracterizar el potencial de inundación de un territorio a partir de sus atributos geomorfológicos e hidrológicos a partir de los siguientes indicadores:

- **Depresiones cerradas (CD, en inglés):** estas formas representan depresiones dentro de otras depresiones (depresiones anidadas) o morfologías de tipo plano hundidas por encima del nivel general y que en presencia de precipitaciones intensas o prolongadas acumulan aguas de escorrentía.
- **Distancia vertical a la red de drenaje (VD, en inglés):** es la distancia vertical desde la red de drenaje a las alturas adyacentes, desde el punto de vista geomorfológico puede correlacionarse con las diferentes llanuras de inundación que pueden alcanzar las aguas de los cauces. De acuerdo con su valor representa niveles de proximidad al lecho del río.
- **Área de captación modificada (MCA, en inglés):** representa el área que recibe una cantidad de flujo que se acumula por unidad de área. Este factor es muy usado para describir zonas propensas a inundaciones.
- **Flujo de escorrentía sobre tierra D8 (Rf-D8, en inglés):** este indicador se forma cuando las precipitaciones son superiores a la capacidad de infiltración del suelo debido a su alta humedad causando sobresaturación. De acuerdo con (García-Rivero et al., 2017), la relevancia de este factor es corroborada por la extensa literatura sobre este tema.
- **Índice de humedad topográfica (TWI, en inglés):** Este índice se usa principalmente para representar la producción de escorrentía que se origina cuando el terreno está saturado de agua y la capa freática se acerca a la superficie. Este índice permite asumir las condiciones del terreno durante fenómenos hidrometeorológicos extremos con lluvias intensas o muy prolongadas (Conrad et al., 2015).

Los indicadores de este índice fueron calculados a partir del modelo digital de terreno de Duran (Tabla 3.1), utilizando el programa SAGA 7.6.2. Luego fue estandarizado y categorizado de acuerdo con su idoneidad (Tabla 3.5).

Índices de ecología del paisaje (LEI): Para la construcción de este índice, se utilizaron las métricas del paisaje de Densidad de Parche (PD), Índice de Parche Amplio (LPI) e Índice de Agregación (AI) para las clases de agua y vegetación. Estas métricas son sugeridas en el estudio realizado por Ji et al (2006), en el cual caracterizo la expansión urbana de la ciudad de Kansas city en Estados Unidos, mediante la utilización de imágenes de satelitales de diferentes años y métricas del paisaje. Las métricas del paisaje fueron calculadas utilizando el programa FRAGSTATS 4.2.1. luego fueron estandarizadas y agregadas para cada uno de los sectores urbanos dentro de la MU del estero La Matanza como se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.4 Descripción de las métricas del paisaje utilizadas para la caracterización de la expansión urbana.

Índice	Acrónimo	rango	Formula	Unidad
Densidad de Parche	PD	PD>0	$PD = \frac{n_i}{A} (10.000)(100)$	Numero por 100 hc
Índice de parche amplio	LPI	$0 < LPI \leq 100$	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$	porcentaje
Índice de agregación	AI	$0 \leq AI \leq 100$	$AI = \frac{g_{ii}}{\max(g_{ii})} (100)$	porcentaje

Es importante mencionar que, previo al cálculo de las métricas del paisaje fue necesario la elaboración de un mapa de clasificación de uso de suelos de alta resolución. El mapa de clasificación de uso de suelo (LUC-Durán) fue elaborado de acuerdo con la metodología propuesta por Chapa et al (2019) utilizando la ortofotografía levantada por el GAD Durán en 2018 (Tabla 3.1) y el módulo de Clasificación Semiautomática V 7.0.0 del programa QGIS. Finalmente, los índices fueron calculados, estandarizados y clasificados de acuerdo con su idoneidad como se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Clasificación de los Índices de contexto ecológico con su respectivo nivel de idoneidad.

CONTEXTO ECOLÓGICO			
Índice de contraste hidromorfométrico (1 - 5)	No	HCI	Idoneidad
	1	1.04- 2.00	1
	2	2.00 - 2.10	2
	3	2.10 - 2.22	3
	4	2.22 - 2.40	4
	5	2.40 - 3.28	5
Índice de ecología del paisaje del agua (1 - 5)	No	LEI	Idoneidad
	1	0	1
	2	0 - 0.89	2
	3	0.89 - 0.94	3
	4	0.94 - 1.09	4
	5	1.09 - 2.10	5
Índice de ecología del paisaje de la vegetación (1 - 5)	No	LEI	Idoneidad
	1	0 - 0.79	1
	2	0.79 - 1.00	2
	3	1.00 - 1.13	3
	4	1.13 - 1.21	4
	5	1.21 - 2.41	5

- **Contexto Social**

Para que las medidas de ABE sean eficaces, deben planificarse e implementarse a nivel local de forma que permitan una gestión adaptativa eficaz incluyendo elementos como: la prestación de servicios ecosistémicos, la planificación del uso de la tierra, infraestructura y la gestión de los recursos naturales; con el objetivo de crear un vínculo directo con los contextos y desafíos específicos de la ciudad (Bourne et al., 2016; Tzoulas et al., 2007).

Sobre esta base, para la evaluación de las características relacionadas con las acciones humanas y su interacción con el ecosistema del estero La Matanza. Se seleccionaron una serie de indicadores que permitan caracterizar el contexto social desde un enfoque socioeconómico y de servicios ecosistémicos (Tabla 3.2) como se describe a continuación:

Índice socioeconómico (ISEC): Este índice fue elaborado a través de la agregación de tres indicadores que representan la disposición de las viviendas, densidad poblacional y nivel de pobreza por sector urbano. Las fuentes de información utilizadas para estos indicadores fueron: el LUC-Durán, Censo de Población y Vivienda del Ecuador del año 2010 a escala de manzana censal y la base de datos del Registro Social 2019 respectivamente (Tabla 3.1).

La disposición de las viviendas para cada sector urbano fue calculada a través del Índice de agregación (IA) de la clase viviendas del LUC-Durán, utilizando el programa FRAGSTATS. La densidad poblacional fue calculada utilizando la calculadora de campos del programa QGIS a través de la división del total de personas (hombres y mujeres) para el área en metros de cada sector urbano. El indicador de pobreza fue calculado a partir de la interpolación (método Kriging) de los datos de categoría de pobreza (Extrema pobreza, Pobreza moderada y No pobre) del Registro Social.

Finalmente, cada indicador fue estandarizado y agregado para cada uno de los sectores urbanos dentro de la MU del estero La Matanza como se muestra en la Tabla 3.6.

Índices de servicios ecosistémicos (SE): Para la caracterización de los servicios ecosistémicos se utilizó la clasificación sugerida por Beißler & Hack (2019), donde se plantea la evaluación del potencial de servicios ecosistémicos de ríos urbanos en países en desarrollo a partir de tres servicios: regulación, provisión y culturales. Debido a la complejidad para evaluar todos los servicios de los ecosistemas ribereños del estero La Matanza. Se escogieron indicadores estratégicos teniendo en consideración los criterios de disponibilidad de información e importancia en el área de estudio (Tabla 3.2).

El cálculo de los indicadores para representar los Servicios Ecosistémicos de Regulación (SE-REG), se realizó utilizando la información del Censo de Población y Vivienda del Ecuador del año 2010 referente a los servicios de alcantarillado y

saneamiento (AALL y AASS) dado que estos son grandes déficits en el área de estudio y en los cuales la zona ribereña aún mantiene sus servicios naturales parcialmente (Borbor-Cordova et al., 2020). Dependiendo de su disponibilidad cada sector urbano fue marcado con un 1 si posee y 0 si no posee servicios de AALL y AASS.

Para el cálculo de los indicadores que representen los Servicios Ecosistémicos culturales (SE-CUL), se trabajó bajo el criterio de que mientras más cercano sea el sector y más espacio descubierto tenga mas posibilidades de ofrecer servicios culturales posee; esto tomando en consideración que al ser un área urbana, la cercanía al estero y la disponibilidad de espacio son factores que determinan las actividades que los habitantes relacionan con la zona ribereña (Hermida et al., 2019). El cálculo de la cercanía al estero se realizó utilizando el shapefile del eje del estero y los canales de agua dentro de la MU y luego utilizando la herramienta de proximidad de QGIS se calculó la distancia euclidiana al eje de los esteros y canales. Para el cálculo del índice de suelo descubierto se usó el Índice de agregación (IA) de la clase de suelo descubierto del LUC-Durán, utilizando el programa FRAGSTATS.

Los indicadores que representan los Servicios Ecosistémicos de provisión (SE-PROV), fueron calculado teniendo en cuenta que el 32% del uso de suelo de la MU del estero la Matanza es de vías lastradas y pavimentadas denotando de esta manera que el espacio para asentamientos y movilidad dentro de la MU es vital para la población. Para caracterizar estos servicios se utilizó el índice de parche amplio (LPI) de las clases de vías lastradas y pavimentadas del LUC-Durán, utilizando el programa FRAGSTATS. El sentido de estos indicadores se presenta en la Tabla 3.2.

Finalmente, cada indicador fue estandarizado y agregado para cada uno de los sectores urbanos dentro de la MU del estero La Matanza como se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Clasificación de los Índices de contexto social con su respectivo nivel de idoneidad.

CONTEXTO SOCIAL			
Índice socioeconómico (1 - 5)	No	ISEC	Idoneidad
	1	0.06 - 0.36	5
	2	0.36 - 0.52	4
	3	0.52 - 0.68	3
	4	0.68 - 0.83	2
	5	0.83 - 1.93	1
Servicios ecosistémicos de provisión (1 - 5)	No	SE-PROV	Idoneidad
	1	0 - 0.45	1
	2	0.45 - 1.00	2
	3	1.00 - 1.53	3
	4	1.53 - 1.75	4
	5	1.75 - 2	5
Servicios ecosistémicos de cultura (1 - 5)	No	SE-CUL	Idoneidad
	1	0.14 - 1.03	1
	2	1.03 - 1.26	2
	3	1.26 - 1.44	3
	4	1.44 - 1.64	4
	5	1.64 - 1.99	5
Servicios ecosistémicos de Regulación (1 - 5)	No	SE-REG	Idoneidad
	1	0	1
	2	1	3
	3	2	5

III.3.2. Paso 3 y 4: Estandarización de indicadores y ponderación de dimensiones

La estandarización de criterios (paso 3) es el procedimiento para transformar información de diferentes fuentes en unidades comparables. En este trabajo se utilizó el procedimiento de rango de puntuación el cual es uno de los métodos más usados en SIG (Mentzafou et al., 2021).

Como primer paso se procedió con la estandarización de los 22 indicadores calculados, sobre el supuesto de que la función de valor de cada uno de ellos tiene una forma lineal utilizando la siguiente fórmula:

$$Z_i = \left(\frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) * RZ \quad (1)$$

donde X_i es el valor original del indicador i , X_{min} es el puntaje mínimo de cada indicador, X_{max} el puntaje máximo de cada indicador y RZ es el rango de estandarización, aquí establecido en 1. Adicionalmente a cada indicador se le dio un sentido siendo positivo (+) cuando su valor máximo aporta al criterio y siendo negativo (-) cuando su valor mínimo aporta al criterio. En el caso de indicadores con sentido negativo su estandarización se realizó utilizando la siguiente formula:

$$Z_i = 1 - \left(\frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) * RZ \quad (2)$$

Luego, los indicadores estandarizados fueron agrupados de acuerdo con las características de cada criterio y se crearon un total de 9 mapas compuestos (índices, paso 2). Las variables cuantitativas se describieron en escalas numéricas mientras que las clases cualitativas se tradujeron en calificaciones categóricas.

Para ser comparables, los índices se estandarizaron a una escala adimensional común que va del 1 al 5. Las puntuaciones más altas se dieron a las clases más adecuadas para la implementación de medidas de ABE y las más bajas a las clases menos adecuadas para ese propósito.

Finalmente, se realizó la ponderación de las dimensiones, la cual se basó en el método de comparaciones por pares de acuerdo con el conocido Proceso de Jerarquización Analítica (AHP, por sus en inglés), que es una adaptación del método anterior y se basa en los juicios de expertos para derivar escalas de prioridad (Saaty & Vargas, 2012).

La determinación de los pesos se basa en el desarrollo de prioridades (en este caso, la importancia de una dimensión sobre otra), que a su vez son derivadas a partir de una evaluación de concordancia, llamados así debido a que solo se permite el análisis de relación de un par de criterios a la vez.

De acuerdo con Saaty & Vargas (2012), el AHP emplea una escala fundamental de valores para representar las intensidades de los juicios, que oscilan entre 1 y 9 (Tabla 3.7) y todos los criterios identificados se comparan entre sí en una matriz de comparación por pares. Una vez que se obtiene la matriz de comparación por pares, se puede calcular un vector de pesos del criterio, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Los pesos se obtienen como la única solución para:

$$C_w = \lambda_{max} w \quad (3)$$

Donde λ_{max} es el valor propio más grande de C.

Tabla 3.7 Escala fundamental para la comparación por pares.

<i>Nivel de importancia</i>	<i>Descripción</i>
1	Igual importancia
2	Débil
3	Moderada importancia
4	Moderadamente más importante
5	Fuerte importancia
6	Fuertemente más importante
7	Muy fuerte o importancia demostrada
8	Muy, muy fuerte
9	Extremadamente importante

Por otro lado, el índice de consistencia CR de una matriz de comparación por pares define la probabilidad de que las calificaciones de la matriz (calificación de cada criterio entre sí con respecto a su importancia relativa) se generaron aleatoriamente. CR se puede definir como:

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI (n - 1)} \quad (4)$$

Donde n es el número de criterios en consideración y RI es el índice aleatorio, que es el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente y depende del número n de elementos que se comparan (Tabla 3.8). Las calificaciones de CR superiores a 0,10 indican que los juicios por pares son casi aleatorios y poco fiables, mientras que un CR inferior a 0,10 indica un nivel razonable de coherencia en las comparaciones por pares y que el ajuste es pequeño en comparación con los valores reales de las entradas del vector propio (Mentzafou et al., 2021; Saaty & Vargas, 2012).

Tabla 3.8 Valores medios del índice de consistencia por número de criterios (RI).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45

III.3.3. Paso 5 y 6: Agregación de criterios y validación.

Una vez estandarizados todos los criterios, se procedió con la agregación de cada uno de ellos, utilizando la calculadora ráster de QGIS, con base en los índices descritos en la sección anterior (Tabla 3.2). De la siguiente manera:

Tabla 3.9 Formulas de agregación para la creación de los índices generados

Índice	Formula de agregación
Riesgo Climatico (IRC)	$IRC = Madv + Rmulti$
Contraste hidromorfométrico (HCI)	$HCI = CD + MCA + Rf - D8 + TWI - VD$

Ecología del paisaje del agua (LEI_agua)	$LEI_{agua} = PD_{agua} + LPI_{agua} + AI_{agua}$
Ecología del paisaje de la vegetación (LEI_veg)	$LEI_{veg} = PD_{agua} + LPI_{agua} + AI_{agua}$
Socioeconómico (ISEC)	$ISEC = AI_{viv} + DP + CP$
Servicios ecosistémicos de provisión (SE-PROV)	$SE-PROV = LPI_{vlas} + LPI_{vpav}$
Servicios ecosistémicos de cultura (SE-CUL)	$SE-CUL = AI_{sde} + CRV$
Servicios ecosistémicos de regulación (SE-REG)	$SE-REG = AASS + AALL$

Luego de la agregación de cada índice fueron reclasificados de acuerdo con su idoneidad utilizando las tablas 3.3, 3.5 y 3.6 e integrados de acuerdo con sus dimensiones con las siguientes reglas:

Tabla 3.10 Formulas de agregación para la creación de las dimensiones propuestas

Dimensión	Formula de agregación
Riesgo Climático (RC)	$RC = Madv + Rmulti$
Contexto Ecológico (CE)	$CE = HCI + LEI_{agua} + LEI_{veg}$
Contexto Social (CS)	$CS = ISEC + SE - PROV + SE - REG + SE - C$

Una vez calculadas las dimensiones se procedió a crear los mapas de idoneidad teniendo en consideración 4 escenarios como se muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Formulas de agregación para la creación de los mapas de idoneidad

Escenarios de idoneidad	Formula de agregación
Índice de Idoneidad general (SI)	$SI = RC + CE + CS$
Índice de Idoneidad priorizando el riesgo climático (SI_R)	$SI_R = 0.5RC + 0.25CE + 0.25CS$
Índice de Idoneidad priorizando el contexto ecológico (SI_ECO)	$SI_ECO = 0.25RC + 0.50CE + 0.25CS$
Índice de Idoneidad priorizando el contexto social (SI_SOC)	$SI_SOC = 0.25RC + 0.25CE + 0.50CS$

Finalmente, el mapa de idoneidad final está compuesto por la adición de los cuatro mapas de la Tabla 3.11 y validado a través de su comparación con los estudios descritos en los pasos 1 y 2.

III.4. Selección de medidas de adaptación basadas en la naturaleza.

Con base en la información analizada a través de la línea base y los mapas de idoneidad dependiendo de su nivel, en esta etapa se pueden identificar las opciones de Adaptación Basada en el Ecosistema (ABE). Estas opciones deberán tener como objetivo reducir riesgo y aumentar la capacidad de adaptación del sistema socio-ecológico de la MU del estero La Matanza. Las medidas ABE propuestas no serán medidas nuevas; sino, de hecho, estas se enmarcarán en un enfoque de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) que apoyan la restauración, conservación y uso

sostenible de la biodiversidad y los ecosistemas recomendadas por (Castellar et al., 2021; Debele et al., 2019).

RESULTADOS

Los resultados de este trabajo en la MU del estero La Matanza, se muestran en tres secciones. La primera, presenta los resultados correspondientes al análisis de información secundaria para comprender el sistema socio-ecológico de la MU. La segunda parte, describe los resultados de la priorización del área de estudio a partir de su idoneidad para la aplicación de medidas ABE y la tercera, enlista las medidas de ABE propuestas para la MU del estero La Matanza.

IV.1. Sistema socio ecológico del estero La Matanza.

La caracterización del sistema socio-ecológico del estero la matanza se llevó a cabo a partir de 3 componentes: riesgo climático, factores ecológicos y factores sociales. Obteniendo los siguientes resultados.

IV.1.1. Riesgo climático.

En lo que respecta al riesgo climático, debido a su disposición geomorfológica en el estuario interno del río Guayas, la topografía es uno de los principales impulsores y por ende las inundaciones por anegamiento son más común e importante en comparación con las fluviales. En este aspecto, se identificaron 3 amenazas climáticas primordiales como son las inundaciones (precipitaciones o mareas), los deslizamientos y las islas de calor.

Las inundaciones son la amenaza más recurrente en la zona constituyendo el 58% de los reportes de eventos peligrosos en el cantón, seguido por los deslizamientos con un 27% (Figura 17). Sobre el efecto de islas de calor no se tiene reportes de emergencia, esto se debe principalmente a que esta amenaza no se encuentra dentro del catálogo de eventos peligrosos del SNGRE y/o desconocimiento de la población en el momento de su reporte en las llamadas de emergencia. No obstante, durante el

proyecto RESCLIMA (2019), la evaluación de esta amenaza demostró que existen diferencias promedio de la temperatura urbana con respecto al entorno rural, en un rango de 0.8°C hasta 1.6°C.

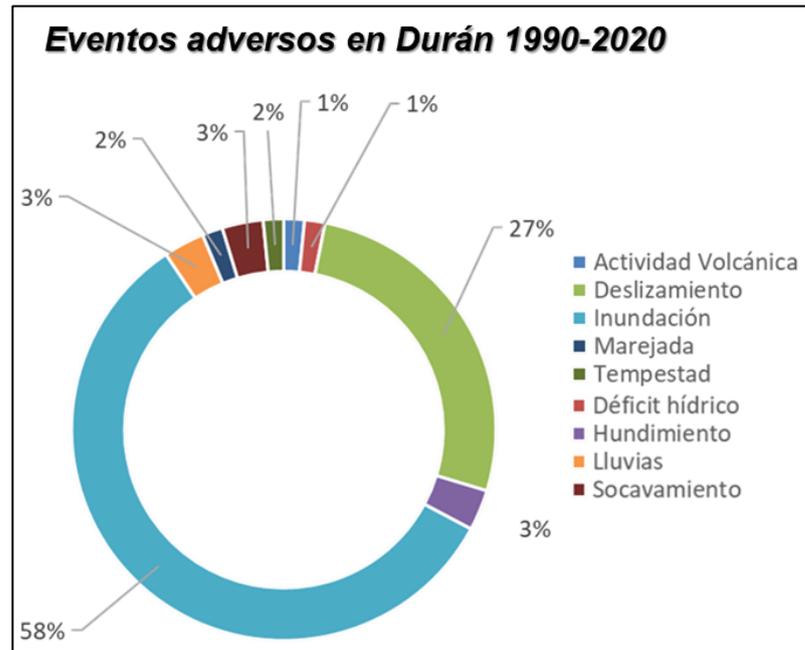


Figura 17 Porcentaje de eventos peligrosos de origen natural en le MU del estero La Matanza. Actividad volcanica corresponde a procesos de caída de ceniza en la ciudad. Fuente: SNGRE, 2020; UNDRR, 2020.

Desde la perspectiva del riesgo de estas 3 amenazas, tomando en consideración la vulnerabilidad y exposición de la población, el 51 % del área de la MU del estero La Matanza tiene un nivel de riesgo alto a muy alto, siendo los sectores al norestes, centro y sur los de mayor riesgo climático; debido principalmente a la alta susceptibilidad del terreno y condiciones socioeconómicas (Figura 18).

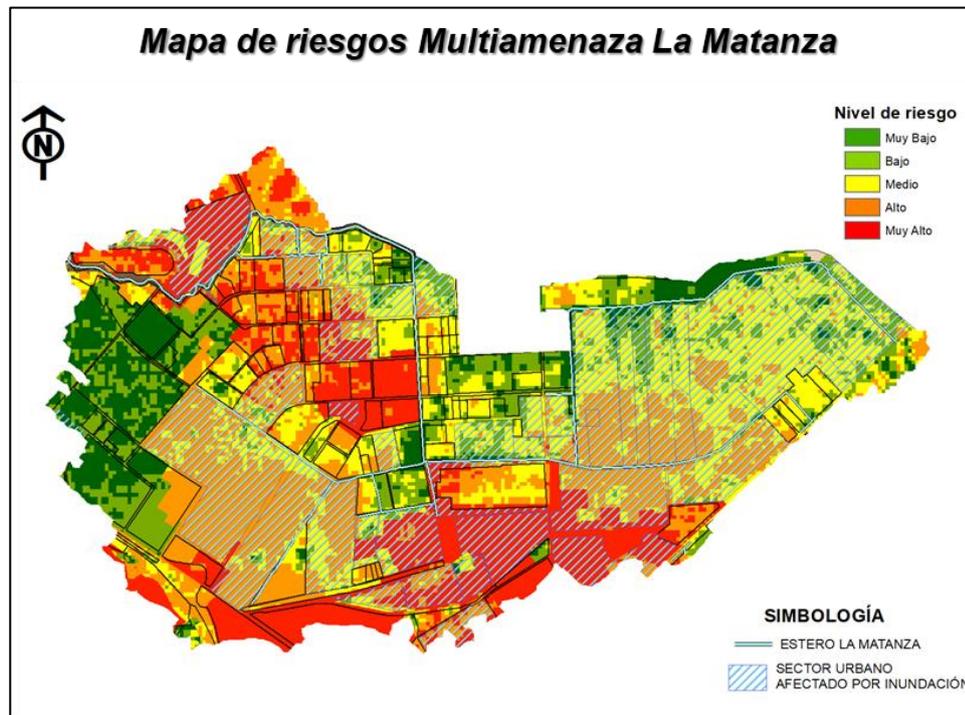


Figura 18 Mapa de riesgos multiamenaza de la MU del estero La Matanza. Fuente: RESCLIMA, 2019.

IV.1.2. Factores ecológicos

Un estuario y sus zonas de ribera son la transición entre un río y el mar, por lo tanto, son ecosistemas únicos y sumamente productivos. En un estuario existe un intercambio entre el río que descarga agua dulce y el mar que llena el estuario de agua salada. Debido a sus condiciones hidráulicas y morfológicas particulares actúan como sumideros de sedimentos tanto del río como del mar. Entre sus características más destacadas, la topografía es crucial, ya que proporciona las condiciones de contorno más importantes para la hidráulica de las mareas, la mezcla y la intrusión de agua salada.

Este es el caso de la MU del estero La Matanza, que se ubica en la ribera izquierda del río Babahoyo en el estuario interno del río Guayas; se extiende de este a oeste en un área de aporte de 24 km² con una forma ovalada, la cota máxima es de 63 m.s.n.m y la mínima es de 0,5 m.s.n.m. El canal principal tiene aproximadamente 3 km de longitud el cual se clasifica como un canal de marea (estero), debido a que tiene

influencia directa del estuario lo cual determina el nivel de agua en el cauce en dos picos máximos diarios. La forma del canal es poco sinuosa y meandriforme con un ancho en el cauce que varía entre 90 metros en su desembocadura hasta 30 metros aguas adentro. El cauce principal, está conectado a una red de canales artificiales en forma rectangular cuya longitud combinada alcanza aproximadamente 20 km lineales (Figura 19).

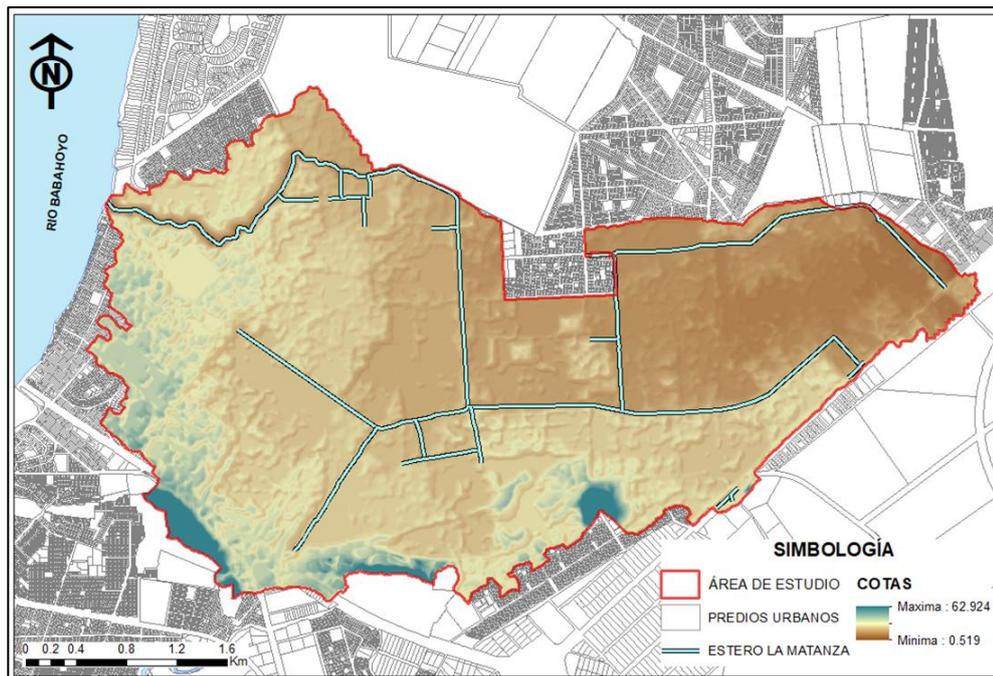


Figura 19 Hidrografía y morfología de la MU del estero La Matanza

Las zonas ribereñas de la MU de La Matanza se caracterizan por presentar una amplia llanura aluvial cubierta de matorrales y depresiones cerradas que propician espacios para inundaciones, con excepción de su zona sur donde se destacan una serie de pequeños cerros con vegetación de bosque seco. Hacia su desembocadura al oeste en el río Babahoyo la morfología del cauce es más incisiva (profunda), por lo que se puede aún observar sus diques con alturas de hasta 3 metros sobre el cauce, además de pequeños parches de manglar en donde se alberga una rica biodiversidad en fauna.

En la actualidad, la MU se encuentra altamente antropomorfizada debido al desarrollo urbano formal e informal, dando, así como resultado una ocupación de uso

de suelo que mantiene una cobertura de 12% vegetal, 20% entre baldío y matorrales y un 2% de cuerpos de agua. Que en comparación con el uso de suelo de 1964 donde el área de matorral e inundables ocupaban el 58% y 31% respectivamente, la MU ha sufrido un cambio en mas del 50% de su ecosistema natural (Figura 20).

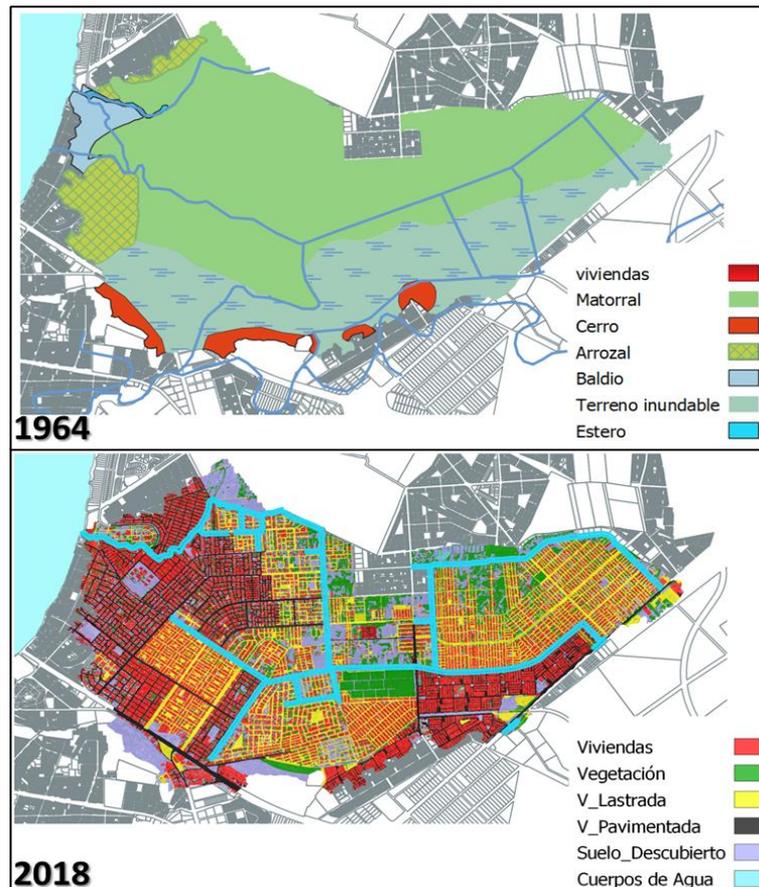


Figura 20 Uso de suelo de la MU del estero La Matanza entre 1964 y 2018, se puede observar el alto grado de antropización actual, así como la diferencia en el área cubierta por matorral.

IV.1.2. Factores sociales

De acuerdo con el último censo de población y viviendas (2010), la MU del estero La Matanza alberga una población de 137650 habitantes que se refleja en una densidad poblacional de 83 personas por hectárea. Siendo así, que en esta MU se asienta el 60% del total de la población del área urbana del cantón. Por lo tanto, considerando este escenario, se plantea a la urbanización como el principal impulsor que está transformando el paisaje de la MU del estero La Matanza.

La urbanización impacta directamente en los ecosistemas al reemplazar la vegetación con estructuras urbanas como viviendas, vías (lastradas o pavimentadas) e indirectamente al modificar la composición y estructura de los suelos y rellenando o reencausando los esteros naturales, provocando altos impactos en la hidrología local, siendo así los cuerpos de agua y la vegetación las clases más afectadas en los últimos 54 años (Figura 21).

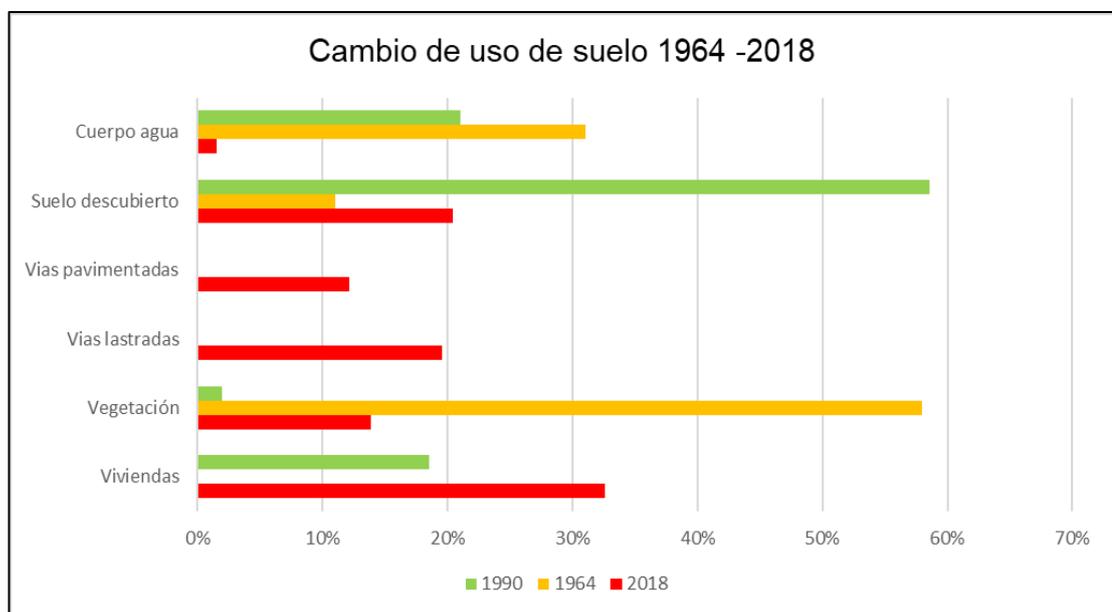


Figura 21 Cambios en el uso y cobertura del suelo en la MU del estero La Matanza en los años 1990, 1964 y 2018. La vegetación y los cuerpos de agua han sido las clases más afectada en los últimos 54 años.

La urbanización tiene un impacto dual, por un lado, amenaza la estructura y las funciones del ecosistema y, por otro lado, aumenta las demandas ecológicas sobre la provisión sostenible de servicios de los ecosistemas (Figura 22). Específicamente en la MU del estero La Matanza existe una alta inequidad social que se ve reflejada en una población en la cual, el 57% tiene educación entre primaria y secundaria, y solo un 8.35 % educación superior, el 75% de la población está en condición de pobreza por necesidades básicas insatisfechas y más del 50% de los sectores urbanos están en estado de asentamientos informales o de hecho consolidados. Este escenario socioeconómico plantea además un gran déficit de infraestructura de servicios básicos en la MU del estero La Matanza, siendo así que de los sectores urbanos en el área de estudio el 65% no tiene servicio de alcantarillado pluvial, el 77% no tiene alcantarillado sanitario y el 51% no tiene acceso a una red pública de agua potable.

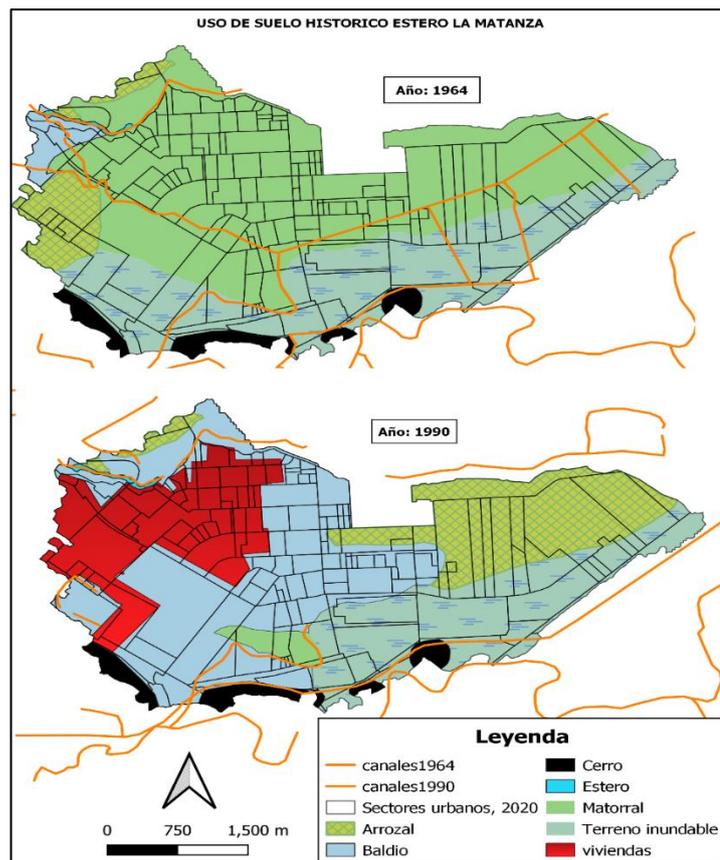


Figura 22 Cambios en el uso de suelos históricos debido a la expansión urbana en la MU del estero La Matanza. Se puede observar la fragmentación de los canales y el avance de la franja urbana en los 26 años.

IV.2. Idoneidad para la aplicación de medidas ABE en el estero La Matanza.

IV.2.1. Clasificación de uso y ocupación de suelos

Los datos de cobertura y uso del suelo son fundamentales para comprender los patrones generales a largo plazo del cambio del paisaje urbano. Por lo tanto, se realizó una clasificación en alta resolución de la cobertura del suelo de la micro cuenca (MU) urbana, con el fin de caracterizar las particularidades principales del paisaje en la MU del estero La Matanza.

Se identificaron seis tipos principales de cobertura del suelo: viviendas, vegetación, vías lastradas, vías pavimentadas, suelo descubierto y cuerpos de agua (Figura 23).

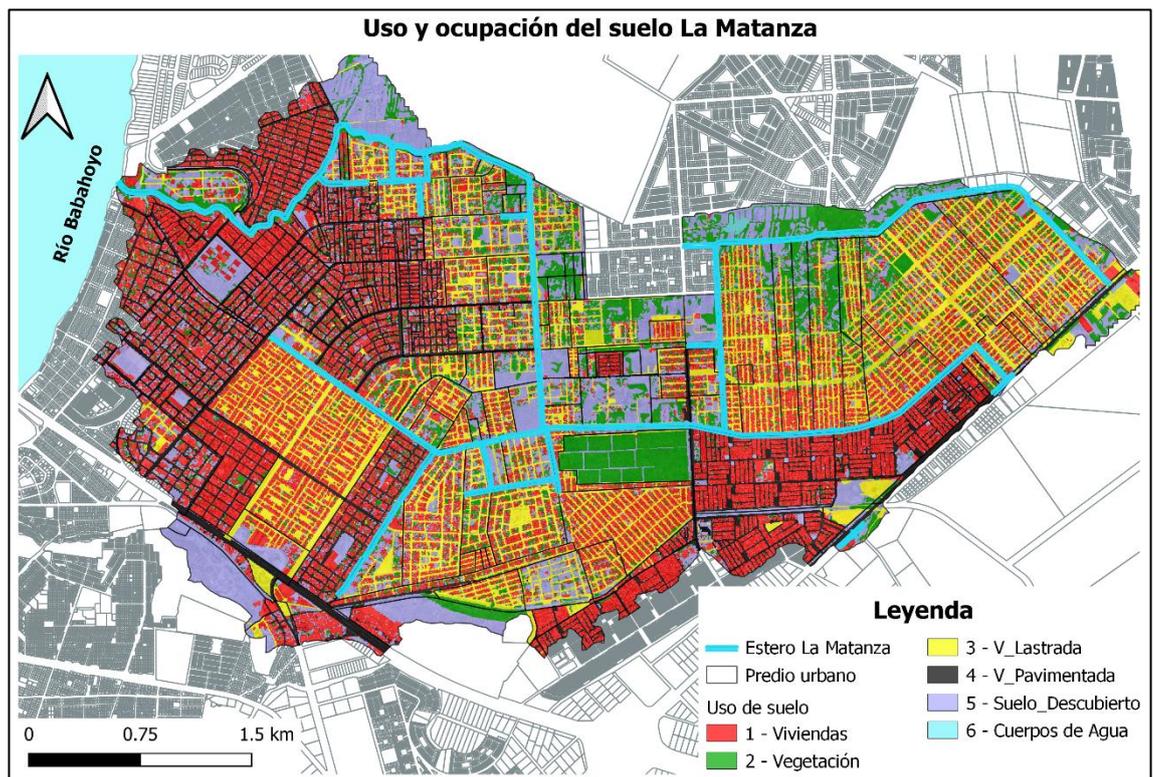


Figura 23 Mapa de uso y cobertura de suelo de alta resolución de la MU del estero La Matanza.

La clase "viviendas" representa las áreas residenciales de casas individuales y edificios de apartamentos, centros comerciales e instalaciones comerciales. Las clases de "vías pavimentadas y lastradas" corresponden a carreteras y calles principales, secundarias y estacionamientos. La clase "vegetación" incluye manglares, pastizales y tierras de cultivo. La clase "suelo descubierto", representa a matorrales y suelos con poca vegetación y finalmente la clase "cuerpos de agua", clasifica a esteros, canales y pozas de agua.

La clase con mayor porcentaje de cobertura corresponde a las viviendas (33 %), seguido por las vías lastradas y suelo descubierto con un 20% de cobertura entre ambas clases; la cobertura con menor cobertura corresponde a la de cuerpos de agua con un 2 % del total del paisaje. El porcentaje de cada clase con respecto al área de estudio se muestra en la Figura 24.

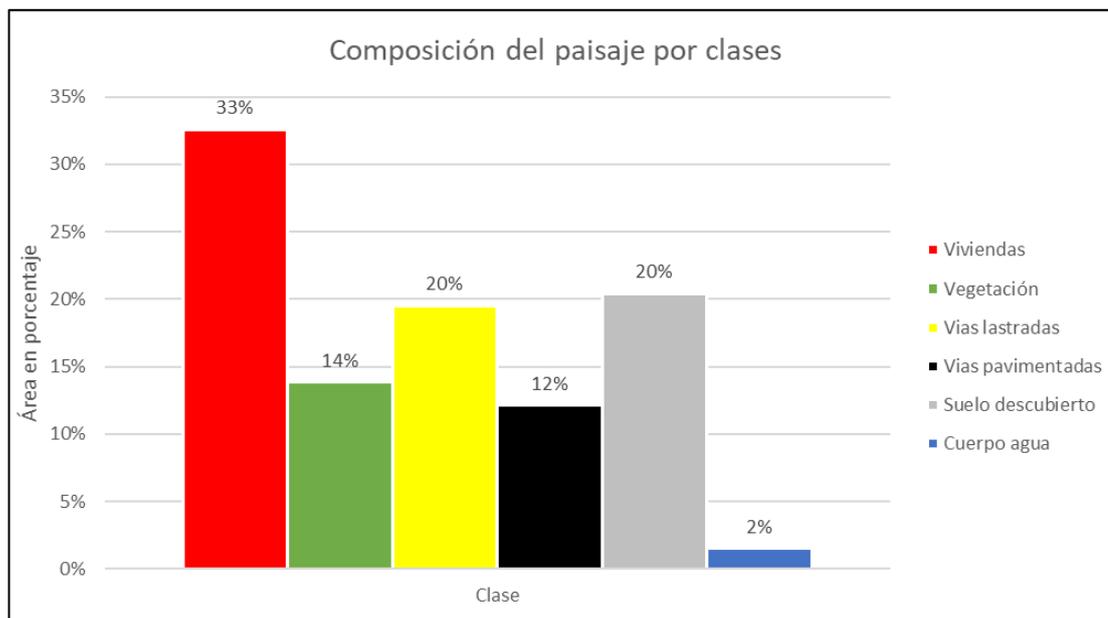


Figura 24 Distribución en porcentajes de las clases de uso y cobertura de suelo identificadas en la MU del estero La Matanza.

El análisis de precisión del usuario de la clasificación y cobertura del uso del suelo, se realizó utilizando un total de 400 muestras aleatorias estratificadas entre las

seis clases obteniendo como resultado una precisión del 85,52% y un índice Kappa de 0.81. Siendo de esta forma una clasificación aceptable.

IV.2.2. Indicadores para la caracterización espacial del sistema socio-ecológico.

Los dieciocho criterios utilizados para identificar la idoneidad para la aplicación de medidas de ABE en la MU del estero La Matanza, se clasificaron de acuerdo con la distribución de sus datos en 5 clases y llevaron a la producción de los mapas que permitirían caracterizar espacialmente las dimensiones de acuerdo con su aptitud.

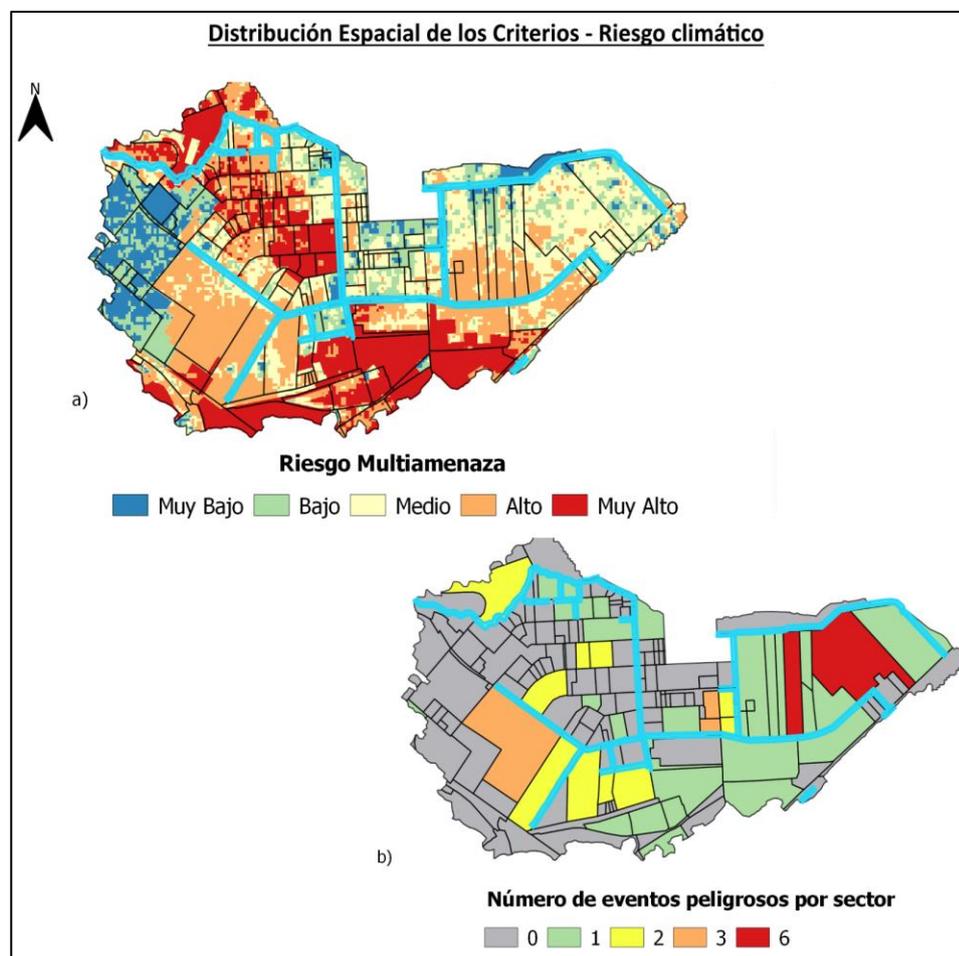


Figura 25 Mapas de la distribución espacial de los indicadores utilizados para caracterizar la dimensión de riesgo climático.

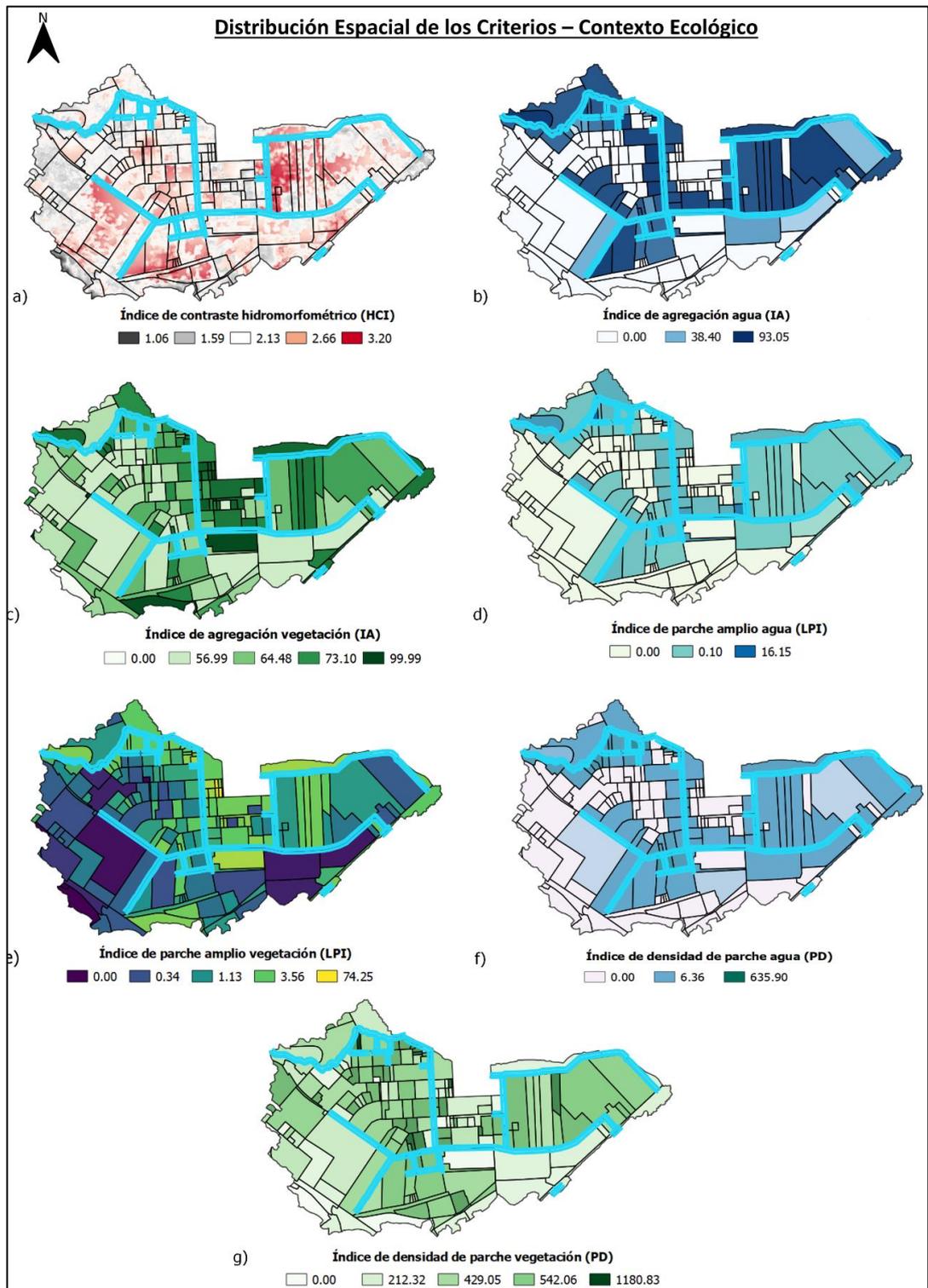


Figura 26 Mapas de la distribución espacial de los indicadores utilizados para caracterizar la dimensión de contexto ecológico.

Con base en los resultados, en lo que respecta al número de eventos peligrosos los sectores de una sola fuerza, 5 de Junio y Luz María son los más afectados; sin embargo, tomando en consideración el mapeo del riesgo se ve un patrón de alto y muy alto riesgo en las zonas centrales norte y sur de la MU especialmente en sectores como 28 de agosto y Héctor Cobos (Figura 25). En relación con los criterios ecológicos, la MU presenta una alta susceptibilidad a inundaciones por anegamiento en las zonas este (Ej. 2088 Hectáreas), centrales y sur (Ej. 5 de Junio, El Ejercito, 28 de agosto, Valparaíso) del área de estudio, así también estas mismas zonas son las que presentan la mayor densidad, tamaño y agregación de vegetación y agua (Figura 26). En el contexto social, en las zonas centrales y sur anteriormente descritas los criterios muestran un gran déficit en los servicios de alcantarillado pluvial y sanitario especialmente, así como un alto índice de pobreza, vías lastradas y una baja agregación de viviendas; no obstante, en estas mismas zonas, existe menos densidad poblacional y más cercanía al estero y/o canales (Figura 27).

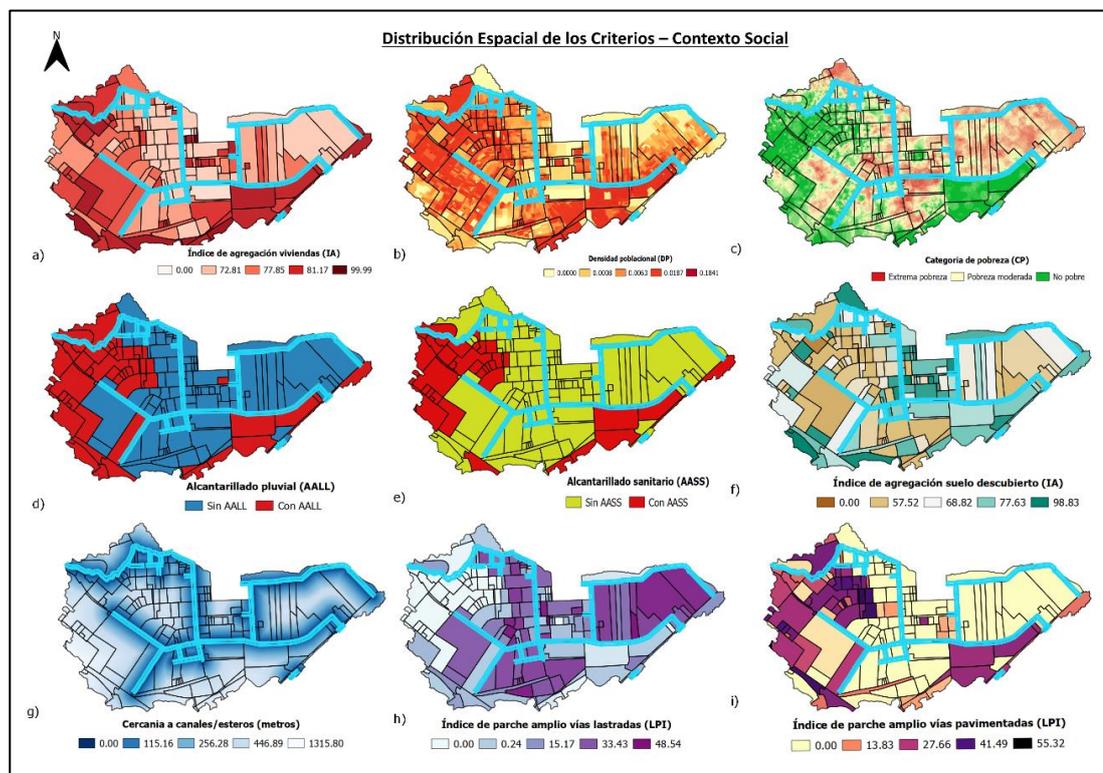


Figura 27 Mapas de la distribución espacial de los indicadores utilizados para caracterizar la dimensión de contexto social.

De acuerdo con el análisis de correlación realizado (Anexo 2) los criterios de riesgo climático presentan una correlación muy baja entre si ($R=0.12$) al igual de los criterios de contexto ecológico con un R máximo de 0.68 alcanzado entre los criterios de índice de agregación vegetal e índice de parche amplio de vegetación, lo cual puede significar que mientras más grande sea la cubierta vegetal mayor será el nivel de interconexión entre sus similares. En lo que respecta a los criterios de contexto social, estos presentan valores de correlación altos ($R_{max}= 0.85$) principalmente entre los criterios de vías pavimentadas y alcantarillado pluvial lo cual es lógico debido a que en estas zonas el nivel de urbanización es mayor.

IV.2.3. Mapas índices y dimensiones.

Un total de nueve mapas índice fueron creados para evaluar espacialmente la idoneidad de las dimensiones de riesgo climático, contexto ecológico y contexto social (Figura 28).

Con base en los resultados obtenidos, los índices de riesgo climático que corresponden al número de eventos adversos (M_{adv}) y riesgo climático multiamenaza (R_{multi}) presentan sus valores de idoneidad más altos en los sectores de 5 de Junio, Héctor Cobos, Los Naranjos, Cali Murillo, Roberto Gilbert, Gregorio 1 y 2, y Una Sola Fuerza de la 1 y 2.

Mientras que, los índices del componente ecológico, conformados por el Índice de contraste hidromorfométrico (HCI), Índice de ecología del paisaje del agua (LEI_agua) e Índice de ecología del paisaje de la vegetación (LEI_vege); presentan sus valores de idoneidad más altos en los sectores de: Chojampe, Mafringa, Divino Niño, Playas del Eden, Primero de Mayo Gladys Maldonado, Policía Nacional, El Ejercito, Gladys Mora Garcia, Hugo Baquerizo, Trabajadores Clínica de Guayaquil, María Luisa de Gilbert, Pueblo Organizado, Los Geranios, Peñón del Río, la zona rural al norte y todos los sectores de las 288 Hectáreas.

En lo que respecta a los índices del componente social como son, el Índice socioeconómico (ISEC), Servicios ecosistémicos de Regulación (SE_REC), Servicios ecosistémicos de cultura (SE_CUL) y Servicios ecosistémicos de provisión (SE_PROV), presentan sus valores más altos de idoneidad en los sectores de San Jacinto, EMAG, Los Rosales, Angel Alarcón, José Joaquín de Olmedo, General Alfaro, Sindicato de Voceadores, Primero de Mayo, Derecho de los Pobres, Gregorio 2, 28 de Agosto, los sectores de las 288 Hectáreas y la zona rural norte.

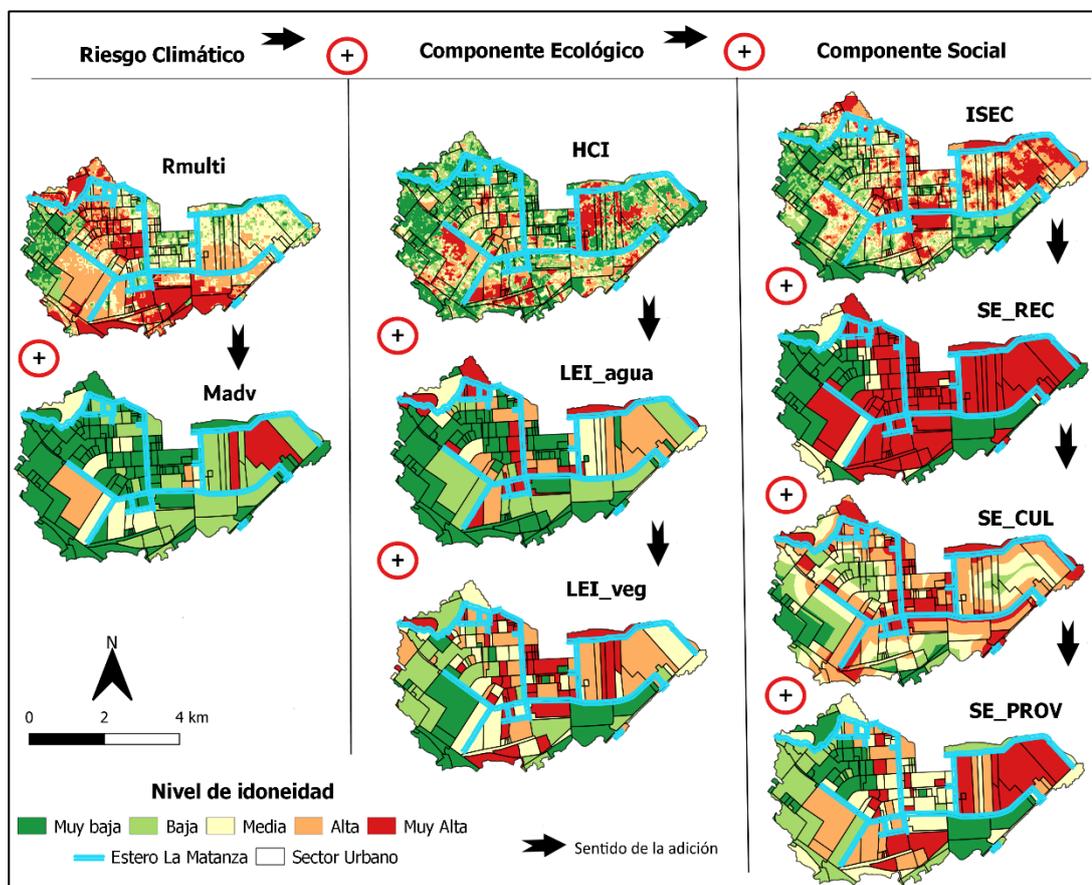


Figura 28 Mapas de la distribución espacial de los índices y dimensiones utilizados para caracterizar la idoneidad por componente para la aplicación de medidas ABE en la MU del estero La Matanza. (*Madv*) Número de eventos adversos, (*Rmulti*) Riesgo climático multiamenaza, (*HCI*) Índice de contraste hidromorfométrico, (*LEI_agua*) Índice de ecología del paisaje del agua, (*LEI_veg*) Índice de ecología del paisaje de la vegetación, (*ISEC*) Índice socioeconómico, (*SE_REC*) Servicios ecosistémicos de Regulación, (*SE_CUL*) Servicios ecosistémicos de cultura y (*SE_PROV*) Servicios ecosistémicos de provisión.

IV.2.4. Mapa de idoneidad.

El mapa de áreas idóneas elaborado con el objeto de resaltar la ubicación en el paisaje de las áreas adecuadas para la implementación de medidas de ABE. Priorizo los sectores para la restauración, conservación y gestión sostenible de los ecosistemas y garantizar su funcionalidad con base en la resiliencia climática urbana y el desarrollo urbano local, destacando para los tomadores de decisiones los lugares que obtendrán el máximo beneficio con base en el sistema socio-ecológico de la MU del estero La Matanza.

Por lo tanto, se elaboraron un total de 4 mapas temáticos de idoneidad: (1) con igual ponderación, (2) priorizando el contexto social, (3) priorizando el contexto ecológico y un (4) priorizando los riesgos climáticos (Figura 29). Todos estos, teniendo en consideración el Proceso de Jerarquización Analítica (AHP, por sus en inglés) de Saaty & Vargas (2012) y la matriz de valores de preferencia asignados y ponderaciones para cada una de las tres dimensiones (Tabla 4.1) con una razón de consistencia (CR) de 0.001, que al ser inferior a 0,10 cumple los criterios establecidos por Saaty & Vargas (2012).

Tabla 4.1 Matriz de comparación por pares de las 3 dimensiones utilizando el método de proceso de jerarquía analítica (AHP).

	Análisis de preferencias			Pesos Priorizando		
	Riesgo Climático	Contexto Natural	Contexto Social	Riesgo climático	Contexto Natural	Contexto Social
Riesgo Climático	1.00	0.50	1.00	50%	25%	25%
Contexto Natural	2.00	1.00	2.00	25%	50%	25%
Contexto Social	1.00	0.50	1.00	25%	25%	50%
Razón de consistencia				0.001		

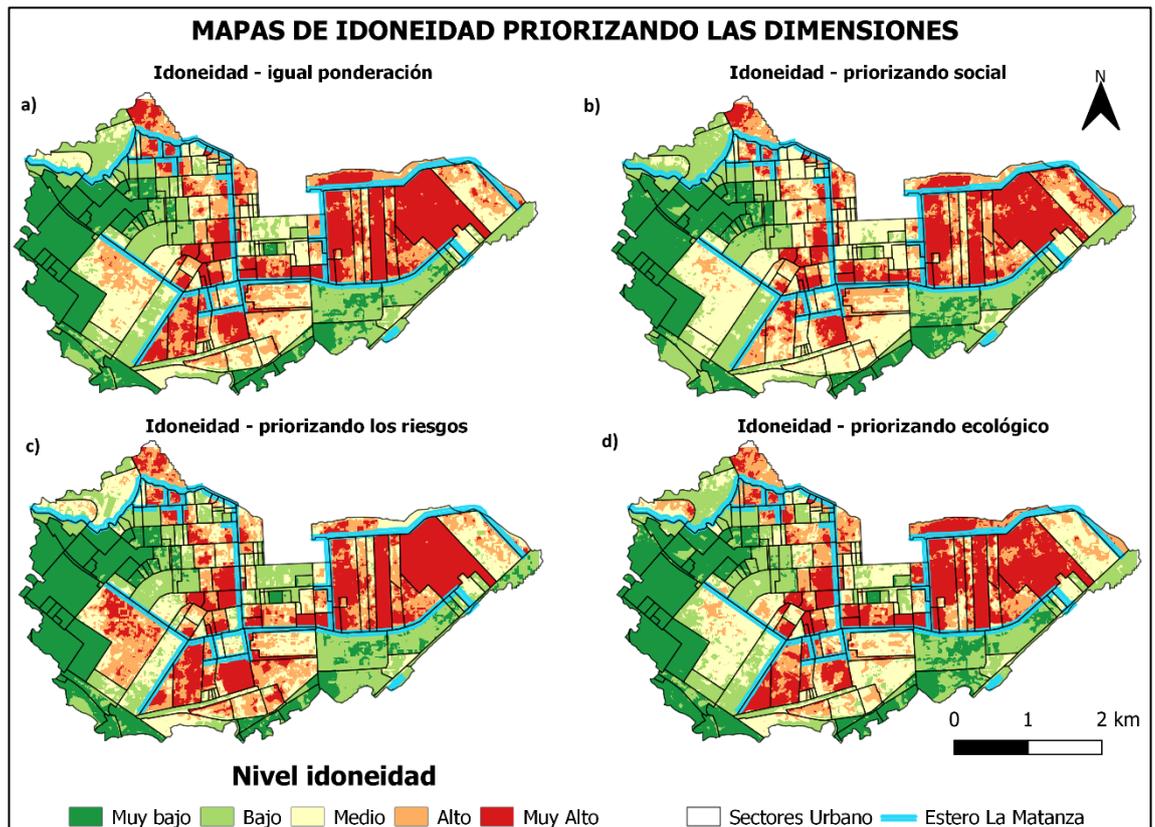


Figura 29 Mapas temáticos de idoneidad; (a) con igual ponderación, (b) priorizando el contexto social, (c) priorizando los riesgos climáticos y (d) priorizando el contexto ecológico.

Utilizando estos 4 mapas, se construyó el mapa final de idoneidad para la aplicación de medidas ABE en la MU del estero La Matanza, teniendo como resultado que el 47 % de la MU tiene sectores con muy alta y alta idoneidad, el 19% tiene una idoneidad media y el 34% restante tiene entre baja y muy baja idoneidad (Figura 30).

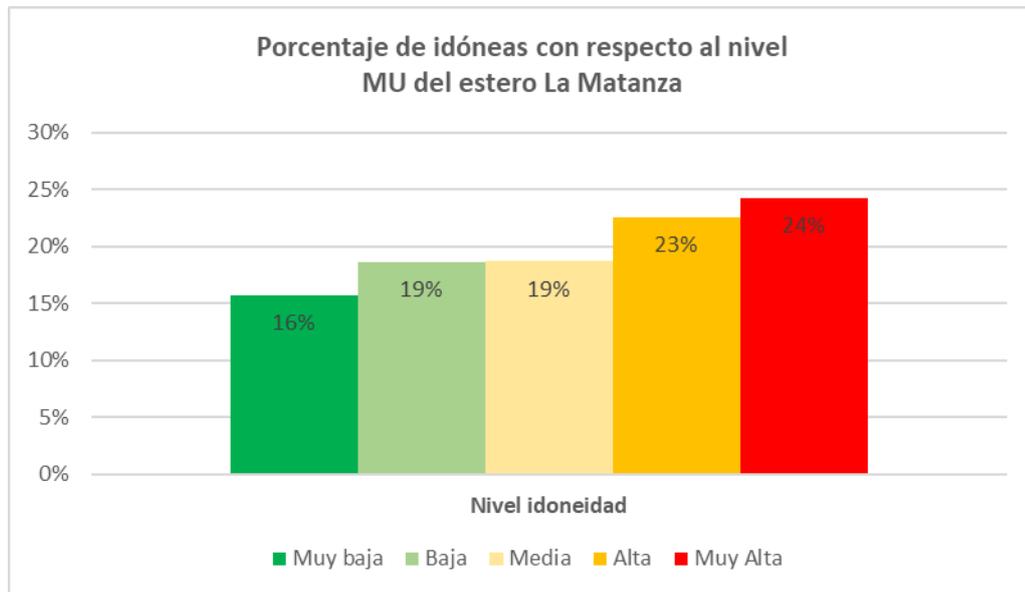


Figura 30 Porcentaje de área por nivel de idoneidad para la aplicación de medidas ABE de la MU del estero La Matanza.

En relación con la distribución espacial, en el área de estudio se observa una clara tendencia de idoneidad hacia las zonas de norte y este (Figura 31). Los sectores de con idoneidad muy alta son: Hugo Baquerizo Domínguez, Una sola fuerza 1 y 2, Galileo Galilei, Divino niño, Marfingra, Primero de mayo, Gladys Mora Garcia, Pueblo organizado, Angela Alarcón, Chojampe, Jesús del Gran Poder, Nueva Jerusalén, Unidos venceremos 2, Nuevos horizontes1 y 2, Policía Nacional, María Luisa de Gilbert, E.M.A.G, El Ejército, Trabajadores clínica de guayaquil, Progreso, Gregorio 2, 12 de agosto, 10 de agosto, San jacinto, Gladys Maldonado, Los rosales, Jose Joaquín de olmedo, Dos hermanos, Por un futuro mejor, Ficus 4. Mientras que los de menor idoneidad son: Brisas del recreo, SECAP, Antonio José de Sucre, El recreo 2da etapa, San Carlos, El recreo 1ra etapa, Zona industrial, El trébol, Alberto Maldonado, Unidad nacional, Barrio lindo, Alberto Maldonado 2, Combatientes del 41, Primavera_1, Ana maría de olmedo, Pedro Menéndez, Bellavista, Los sauces, 12 de noviembre, Abel gilbert 1, 27 de diciembre, Rina Ortiz de Bucaram, Rosa Hanna de Muse, Guillermo Molina de Frank, Democracia norte, Alberto Maldonado 3; la lista detallada de la idoneidad por sector urbano se puede consultar en el Anexo 3.

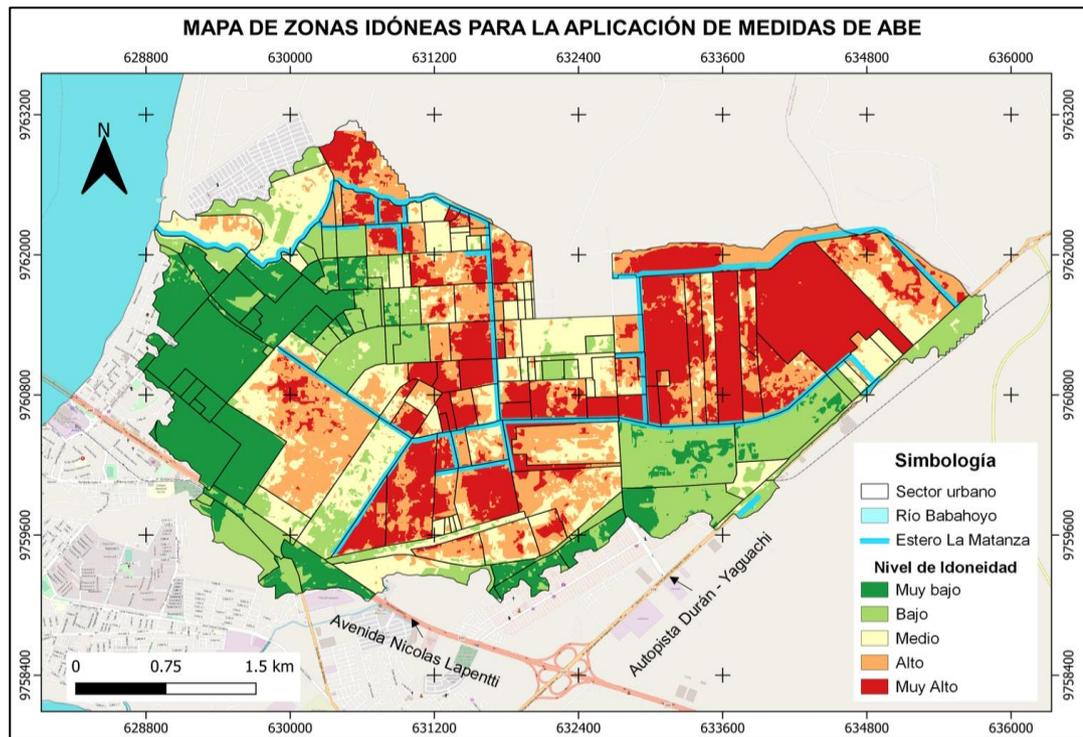


Figura 31 Mapa de idoneidad para la aplicación de medidas de adaptación basadas en la naturaleza de la MU del estero La Matanza.

En cuanto a la confiabilidad del modelo, el coeficiente de correlación entre los sectores donde anteriores trabajos plantean soluciones verdes o de adaptación y el puntaje de idoneidad, fue del 17.04 % con un Kappa Hat de 0.25, lo cual en este caso se considerará aceptable teniendo en consideración la poca información que existe en el sector sobre medidas de ABE en el MU del estero La Matanza. Cabe señalar que un puntaje de idoneidad bajo no implica necesariamente que no se puedan implementar medidas de adaptación basadas en ecosistemas, sino que el procedimiento sería más complicado.

IV.3. Medidas para la adaptación basada en ecosistemas (ABE) en el estero La Matanza.

Las acciones de adaptación basadas en ecosistemas (ABE) dependen en gran medida del contexto socio-ecológico. Por lo tanto, es importante considerar las condiciones particulares de cada zona de idoneidad identificadas para considerar que opciones son adaptables al contexto local. La Tabla 4.2 presenta las características identificadas por cada nivel de idoneidad en la MU del estero La Matanza.

Tabla 4.2 Descripción detallada de las características del sistema socio-ecológico por nivel de idoneidad de la MU del estero La Matanza.

Nivel de idoneidad	Descripción
Muy Alta (5)	Zona caracterizada por presentar una densidad de viviendas muy baja (IA: <1%) y poblacional muy baja (DP:0.0001 hab/m ²), extrema pobreza y falta de servicios básicos de alcantarillado, asentados junto a canales/esteros. Son comunes amplias zonas de suelo descubierto (IA:98.83%) con amplias vías lastradas (LPI: 48.54%), no se observan vías pavimentadas. Las áreas cubiertas por vegetación son muy comunes (PD: 1180.83 parches /hectárea), muy amplias (LPI: > 74.25%) y muy compactas (IA:>99.99%). Mientras que, las áreas con agua son permanente (IA: 93.05%), amplias (LPI: 16.15%) y abundantes (PD: 635.90 parches /hectárea). El terreno tiene una muy alta susceptibilidad a inundaciones (HCI:3.20) por lo que, los eventos de este tipo son muy comunes y el riesgo de desastres muy alto.
Alta (4)	Zona caracterizada por presentar una densidad de viviendas media (IA: 72.81%) y poblacional baja (DP:0.0008 hab/m ²), extrema pobreza y falta de servicios básicos de alcantarillado, asentados a no más de 100 metros de distancia de canales/esteros. Son comunes grandes zonas de suelo descubierto (IA:77.63%) con grandes vías lastradas (LPI: 33.43%), vías pavimentadas ocasionales (LPI: 13.83%). Las áreas cubiertas por vegetación son comunes (PD: 542.06 parches /hectárea), amplias (LPI: > 3.56%) y compactas (IA:73.10%). Mientras que, las áreas con agua son permanente (IA: 93.05%), amplias (LPI: 16.15%) y abundantes (PD: 635.90 parches /hectarea). El terreno tiene una alta susceptibilidad a inundaciones (HCI: 2.66) por lo que, los eventos de este tipo son comunes y el riesgo de desastres alto.

<p>Media (3)</p>	<p>Zona caracterizada por presentar una densidad de viviendas media (IA: 77.81%) y poblacional media (DP:0.0063 hab/m²), pobreza moderada y servicios básicos de alcantarillado en casos excepcionales, asentados a no más de 250 metros de distancia de canales/esteros. Son comunes zonas de suelo descubierto medianas (IA:68.82%), con una mezcla entre vías lastradas (LPI: 15.17%) y vías pavimentadas (LPI: 27.66%). Las áreas cubiertas por vegetación son ocasionales (PD: 429.05 parches /hectárea), no muy amplias (LPI: 1.13%) y poco compactas (IA:64.48%). Mientras que, las áreas con agua son escasas (IA: 38.40%), pequeñas (LPI: 0.10%) y poco abundantes (PD: 6.36 parches /hectárea). El terreno tiene una susceptibilidad media (HCI: 2.13) a inundaciones por lo que, los eventos de este tipo son poco comunes y el riesgo de desastres medio.</p>
<p>Baja (2)</p>	<p>Zona caracterizada por presentar una densidad de viviendas alta (IA: 81.17%) y poblacional alta (DP:0.0187 hab/m²), pobreza moderada y los servicios básicos de alcantarillado son comunes, asentados a no más de 445 metros de distancia de canales/esteros. Son comunes zonas de suelo descubierto pequeñas (IA:57.52%), donde las vías pavimentadas (LPI:41.49%) son predominantes sobre las vías lastradas (LPI: 0.24). Las áreas cubiertas por vegetación son escasas (PD: 212.32 parches /hectárea), pequeñas (LPI: 0.34%) y muy poco agregadas (IA:56.99%). Mientras que, las áreas con agua son casi inexistentes (IA: 0.001%), pequeñas (LPI: 0.10%) y muy poco abundantes (PD: <6.36 parches /hectárea). El terreno tiene una susceptibilidad baja (HCI:1.59) a inundaciones por lo que, los eventos de este tipo son muy extraños, el riesgo de desastres es bajo.</p>
<p>Muy Baja (1)</p>	<p>Zona caracterizada por presentar una densidad de viviendas muy alta (IA: >99%) y poblacional muy alta (DP:0.1841 hab/m²), la pobreza es muy baja, por lo que, se cuenta con servicios básicos de alcantarillado, so por lo general sectores asentados a más de 1 km de distancia de canales/esteros. Las zonas de suelo descubierto son escasas (IA:<30%), No existen vías lastradas (LPI: 0%) y las vías pavimentadas resaltan en el paisaje (LPI: >55.32%). Las áreas cubiertas por vegetación son prácticamente inexistentes (PD: 0.001 parches /hectárea), muy pequeñas (LPI: 0.001%) y muy dispersas (IA:0.001%). Mientras que, las áreas con agua son inexistentes (IA: 0%, LPI: 0%, PD: 0). El terreno tiene una susceptibilidad muy baja (HCI:1.06) a inundaciones por lo que, no se han reportado eventos adversos, el riesgo de desastres es muy bajo.</p>

Con base en la información analizada a través de la línea base y los mapas de idoneidad dependiendo de su nivel, se identifico un total de 32 opciones de Adaptación Basada en el Ecosistema (ABE) para la MU del estero La Matanza (Tabla 4.3),

tomando como referencia las clasificaciones y propuestas de medidas presentadas por Castellar et al (2021) y Debele et al (2019).

Tabla 4.3 Propuesta de medidas de adaptación basadas en la naturaleza para la MU urbana del estero La Matanza.

Nivel de idoneidad	Tipo de media ABE	Opciones de ABE	Ejemplo de ABE
Muy Alta (5)	Verde, Azul	Cuenca de infiltración, Estanque de retención (húmedo), Humedal construido, Crear y preservar hábitats y refugios para la biodiversidad, Uso de vegetación preexistente, Sistemas de control de erosión, Ingeniería de ribera.	 <p style="text-align: center;">Cuenca de infiltración. Fuente: https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=File:Center_pond.jpg</p>
Alta (4)	Verde, Azul	Cuenca de infiltración, Estanque de retención (húmedo), Jardín de lluvia, Zanjas de bio-retención, Humedal construido, Crear y preservar hábitats y refugios para la biodiversidad, Bosque urbano, Uso de vegetación preexistente, Sistemas de control de erosión, Ingeniería de ribera, Ríos o arroyos, incluido el cambio de meandros, la reapertura de corredores azules, Reperfilado / extensión de llanura	 <p style="text-align: center;">Recuperación integral de humedales, cuencas de infiltración Fuente: SINDE, 2015</p>

		aluvial, Elementos de desvío y desvío	
Media (3)	Verde, Azul, Híbrida entre Verde-Gris o Azul-Gris	Zanjas de bio-retención, Jardín de lluvia, Parques inundables, Humedal construido, Bosque urbano, mejoramiento del suelo, Ingeniería de ribera, Ríos o arroyos, incluido el cambio de meandros, la reapertura de corredores azules, Elementos de desvío y desvío	 <p>Recuperación ecológica canal 5 de junio (ingeniería de riberas) Fuente: Estudio Canales Duran, 2017</p>
Baja (2)	Híbrida entre Verde-Gris o Azul-Gris	Jardín de lluvia, Zanjas de bio-retención, Fachada verde, Fachada verde, Sistema de muro verde, Jardín móvil vertical, Jardinera de pared verde, Pérgola con vegetación, Techo verde extenso, Cubierta verde intensivo, Cubierta vegetal semi-intensiva, Arbolado urbano, Pasillos verdes, Gran parque urbano, Jardín de bolsillo / parque, Compostaje, Pavimento de rejilla vegetal (permeable)	 <p>Enghaveparken park Copenhagen, cuencas de infiltración Fuente: https://stateofgreen.com/en/partners/tredje-natur/solutions/125669/</p>

<p>Muy Baja (1)</p>	<p>Hibrida entre Verde-Gris o Azul-Gris</p>	<p>Jardín de lluvia, Zanjas de bio-retención, Fachada verde, Fachada verde, Sistema de muro verde, Jardín móvil vertical, Jardinera de pared verde, Pérgola con vegetación, Techo verde extenso, Cubierta verde intensivo, Cubierta vegetal semi-intensiva, Arbolado urbano, Pasillos verdes, Gran parque urbano, Jardín de bolsillo / parque, Compostaje, Pavimento de rejilla vegetal (permeable)</p>	 <p>Jardines de lluvia y zanjas de bio-retención (Calles centro de Durán) Fuente: SINDE, 2015</p>
---------------------	---	---	---

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido identificar medidas de adaptación basadas en ecosistemas (ABE) específicas para el contexto socio-ecológico de la microcuenca urbana (MU) del estero La Matanza en la ciudad de Durán. Además, se ha demostrado las ventajas del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en conjunto con un enfoque de análisis de decisiones multicriterio (AMC) para la integración de información de diferentes fuentes y caracterizar sistemas socio-ecológicos urbanos.

La metodología propuesta es totalmente replicable en ciudades de igual o mayor tamaño a nivel nacional; debido a que, se ha utilizado información base que disponen todos los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales de Ecuador.

La inclusión de métricas del paisaje entre los indicadores, criterios y dimensiones para la caracterización del contexto social y ecológico plantea una gran oportunidad para innovar en el uso de estos indicadores no solo desde el punto de vista ambiental, sino que también desde la perspectiva de ordenamiento territorial y desarrollo urbano.

A pesar del alto nivel de urbanización en las MU del estero La Matanza que ha resultado en la fragmentación, degradación y pérdida del hábitat y, en consecuencia, la disminución de la biodiversidad. Se ha demostrado que la microcuenca (MU) urbana del estero La Matanza, tiene un alto potencial para una recuperación sostenible a través de la implementación de medidas ABE, especialmente en los sectores con altos niveles de inequidad social y expansión urbana. En este sentido, de lograrse implementar estas acciones de ABE, estas se convertirían en un potenciador importante para la reducción de riesgos de desastres, mejoramiento de calidad de vida, protección del medio ambiente y fortalecimiento de los medios de vida de la población.

Finalmente, durante este trabajo se identificaron varias brechas de investigación. Por ejemplo, se dispone de una investigación limitada sobre la evaluación de los costos y beneficios económicos de las ABE frente a la ingeniería tradicional cuando se implementan para evitar inundaciones. Sin embargo, la información generada puede servir de línea base para focalizar acciones de implementación a través de fondos propios municipales o internacionales de cooperación.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Es indispensable actualizar la información censal a nivel urbano, debido a que el último censo fue realizado hace más de 10 años y en este tiempo la MU del estero La Matanza ha sufrido una gran expansión urbana formal e informal. Esta actualización puede iniciarse en los sectores con mayor idoneidad de forma total o utilizando grupo control dependiendo de los recursos disponibles, con el objetivo de validar los resultados obtenidos en este trabajo.

Debido a que el tiempo de investigación es limitado el análisis multicriterio se realizó a partir del criterio del autor. Sin embargo, se puede usar esta herramienta tomando en consideración el criterio de tomadores de decisiones y comunidad lo cual permitiría ajustar los pesos en los diferentes criterios y dimensiones evaluados y ajustar las áreas de idoneidad y soluciones ABE en un contexto más local.

Es necesario actualizar el modelo digital de terreno del cantón debido que el disponible tiene una antigüedad de 9 años, tiempo en el cual, en el cantón han existido grandes cambios debido a la expansión urbana e industrial. La actualización de este modelo permitiría actualizar los estudios hidrológicos y de amenazas naturales permitiendo así identificar medidas adecuadas para el manejo de canales y reducción de inundaciones.

Las soluciones basadas en la naturaleza son medidas costo efectivas que tienen múltiples beneficios como son: el aumento de la resiliencia local a través de la reducción de inundaciones e islas de calor, fortalecimiento de medios de vida al aumentar el turismo debido su belleza escénica, reducción de desigualdades y mejoramiento del bienestar humano aumentando espacios más seguros y de esparcimiento para los habitantes. Por lo que, incluir dentro de los planes de ordenamiento territorio (PDOT) y planes de uso y gestión de suelos (PUGS) municipal

un enfoque de adaptación basada en ecosistemas permitiría fortalecer económica y socialmente al cantón.

El estero La Matanza y sus canales son un componente importante del sistema socio-ecológico cantonal, sin embargo, actualmente este se encuentra subutilizado. En este contexto se recomienda, ahondar en esfuerzo para financiar proyectos piloto de medidas ABE en la MU; como por ejemplo aprovechando que la red de canales analizar la factibilidad de sistemas fluviales locales de transporte público en el cantón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberti, M. (2005). The effects of urban patterns on ecosystem function. *International Regional Science Review*, 28(2), 168–192. <https://doi.org/10.1177/0160017605275160>
- Banco Mundial, B., & World Resources Institute, W. (2019). *Integrating Green and Grey - Creating Next Generation Infrastructure*. https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/integrating-green-gray_0.pdf
- Barrera Crespo, P. D. (2016). *Delft3D Flexible Mesh modelling of the Guayas River and Estuary system in Ecuador* [Delft University of Technology; National University of Singapore]. <http://repository.tudelft.nl/>.
- Berkes, F., & Folke, C. (1988). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press.
- Berrang-Ford, L., Pearce, T., & Ford, J. D. (2015). Systematic review approaches for climate change adaptation research. *Regional Environmental Change*, 15(5), 755–769. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0708-7>
- BID. (2019). *Nature-Based Solutions: Increasing Private Sector Uptake for Climate-Resilience Infrastructure in Latin America and the Caribbean Climate Change Division* (Issue December). <http://www.iadb.org>
- Borbor-Cordova, M. J., Ger, G., Valdiviezo-Ajila, A. A., Arias-Hidalgo, M., Matamoros, D., Nolivos, I., Menoscal-Aldas, G., Valle, F., Pezzoli, A., & Cornejo-Rodriguez, M. D. P. (2020). An operational framework for urban vulnerability to floods in the guayas estuary region: The duran case study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su122410292>
- Bourne, A., Holness, S., Holden, P., Scorgie, S., Donatti, C. I., & Midgley, G. (2016). A socio-ecological approach for identifying and contextualising spatial ecosystem-based adaptation priorities at the sub-national level. *PLoS ONE*, 11(5), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155235>
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Camacho, V., & Ruiz Luna, A. (2012). Conceptual Framework and Classification of

Ecosystem Services. *Revista BioCiencias*, 1(4), 3–15.

- Castellar, J. A. C., Popartan, L. A., Pueyo-Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., Corominas, L., Comas, J., & Acuña, V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y. T., Xu, Y., & Thorne, C. R. (2018). “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76(March), 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>
- Chapa, F., Hariharan, S., & Hack, J. (2019). A new approach to high-resolution urban land use classification using open access software and true color satellite images. *Sustainability (Switzerland)*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/su11195266>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Da Cruz E Sousa, R., & Miranda, O. L. (2018). Incorporating wetlands in hydrologic and hydraulic models for flood zone delineation: An application to Durán, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28(March), 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.03.023>
- Day, J. W., Hall, C. A. S., Kemp, W. M., & Yanez-Arancibia, A. (2013). Estuarine ecology. In *Estuarine ecology* (2nd ed). John Wiley & Sons, Inc.
- Debele, S. E., Kumar, P., Sahani, J., Marti-Cardona, B., Mickovski, S. B., Leo, L. S., Porcù, F., Bertini, F., Montesi, D., Vojinovic, Z., & Di Sabatino, S. (2019). Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environmental Research*, 179, 108799. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108799>
- European Commission. (2015). *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on “Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities” (full version)*. <https://doi.org/10.2777/765301>
- European Environment Agency. (2018). *Climate-ADAPT 10 case studies - How Europe is adapting to climate change*. 28. <https://doi.org/10.2800/097442>

- Fernandez, M. A., Bucaram, S. J., & Renteria, W. (2015). Assessing local vulnerability to climate change in Ecuador. *SpringerPlus*, 4(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1536-z>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3). <https://doi.org/10.5751/ES-08748-210341>
- Frantzeskaki, N. (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science and Policy*, 93(October 2018), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>
- García-Rivero, A. E., Olivera, J., Salinas, E., Yuli, R. A., & Bulege, W. (2017). Use of hydrogeomorphic indexes in SAGA-GIS for the characterization of flooded areas in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(19), 9078–9086.
- Hall, M. H. P., & Balogh, S. B. (2019). Understanding Urban Ecology. In *Understanding Urban Ecology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11259-2>
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change*, 3(9), 802–806. <https://doi.org/10.1038/nclimate1979>
- Hermida, M. A., Cabrera-Jara, N., Osorio, P., & Cabrera, S. (2019). Methodology for the assessment of connectivity and comfort of urban rivers. *Cities*, 95(June), 102376. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.06.007>
- Herzog, C. P. (2016). A multifunctional green infrastructure design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro. *Landscape and Ecological Engineering*, 12(1), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s11355-013-0233-8>
- ICLEI, & C40. (2018). *Data speak louder than words: findings from an initial stocktake of climate change adaptation and urban resilience efforts*.
- Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General, U. N. (2019). *Global Sustainable Development Report 2019: The Future is Now -Science for Achieving Sustainable Development*.

- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (S. Salomon, D. Quin, & M. Manning (eds.); 1 ra). Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). Cambio climático - Bases físicas Resumen para responsables de políticas. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y Vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. *Ipcc*, 33.
<https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to. In *In press*.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.025>
- IPCC. (2019a). Climate Change and Land: Risk management and decision-making in relation to sustainable development. In *IPCC Special Report on climate change*.
- IPCC. (2019b). Summary for policymakers In: Climate Change and Land. In *Special report on climate change desertification, land degradation, sustainable land management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (Issues vii, 973).
https://doi.org/http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/spm.html
- Ji, W., Ma, J., Twibell, R. W., & Underhill, K. (2006). Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), 861–879.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2005.09.002>
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (2017). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice - Theory and Practice of urban Sustainability Transitions* (N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, & A. Bonn (eds.)). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Klein, R. J. T., Nicholls, R. J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Environmental Hazards*, 5(1), 35–45.
<https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>

- Litardo, J., Palme, M., Borbor-Cordova, M., Caiza, R., Macias, J., Hidalgo-Leon, R., & Soriano, G. (2020). Urban Heat Island intensity and buildings' energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 62(February), 102387. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102387>
- Long, Y., & Ye, Y. (2019). Measuring human-scale urban form and its performance. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 191, Issue July, pp. 2017–2019). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103612>
- MAE, U. y G. (2019). *Nuestra experiencia de Adaptación basada en Ecosistemas en Manabí – Ecuador. Programa Regional “Estrategias de Adaptación al cambio climático basadas en Ecosistemas en Colombia y Ecuador.”*
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Murphy, P., Paracchini, M., Barredo, J., Grizzetti, B., Cardoso, A., Somma, F., Petersen, J.-E., Meiner, A., Gelabert, E., Zal, N., Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Romao, C., Piroddi, C., Egoh, B., ... Lavalle, C. (2014). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Indicators for ecosystem assessment under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020 : 2nd report - final, February 2014. In *Technical Report* (Vols. 2014–080, Issue February 2014). <https://doi.org/10.2779/75203>
- McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- McPhearson, T., Pickett, S. T. A., Grimm, N. B., Niemelä, J., Alberti, M., Elmqvist, T., Weber, C., Haase, D., Breuste, J., & Qureshi, S. (2016). Advancing Urban Ecology toward a Science of Cities. *BioScience*, 66(3), 198–212. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw002>
- Mentzafou, A., Blagojević, M., & Dimitriou, E. (2021). A gis-mcda-based suitability analysis for meeting targets 6.3 and 6.5 of the sustainable development goals. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13084153>
- NASA, C. C. (2020). *Las causas del cambio climático*. June 26, 2020. <https://climate.nasa.gov/causas/>
- Nature Geoscience, E. (2021). Returning lands to nature. *Nature Geoscience*, 14(7), 453. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00795-0>
- Olaya, P. (2016). *Estado ecológico del sistema estuarino del Río Guayas, Cantón Durán, Ecuador: Simulación numérica de su dinámica fluvial y principios ecológicos para el diseño de actuaciones de restauración y/o recuperación.*

- Ortega, A. O. (2020). La ciudad intermedia: crecimiento y dinámicas de desarrollo. *Territorios*, 43, 1–8.
- Owen, G. (2020). What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature. *Global Environmental Change*, 62(March), 102071. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102071>
- Plett, V. (2019). *Sustainable Urban Drainage Systems for Durán City, Ecuador*. Hochschule Magdeburg.
- RESCLIMA. (2019a). *Informe para tomadores de decisiones Diseñando Estrategias para la resiliencia climática en ciudades*.
- RESCLIMA. (2019b). *Reporte técnico metodología, análisis y resultados de vulnerabilidad, amenaza, riesgos, multiamenaza y riesgos múltiples*.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (F. S. Hillier, C. C. Price, & S. F. Austin (eds.); Second Edi, Vol. 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- Sánchez, R. J., Lardé, J., Chauvet, P., & Jaimurzina, A. (2017). *Inversiones en infraestructura en América Latina: Tendencias, brechas y oportunidades*.
- SINDE, S. de investigación y D. (2015). *Evaluación del efecto de la infraestructura verde en la disminución de la amenaza por inundación en el cantón Durán*.
- Tubridy, D. (2020). Green climate change adaptation and the politics of designing ecological infrastructures. *Geoforum*, August 2019, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.04.020>
- Turner, M. G., & Gardner, R. H. (2015). Landscape Ecology in Theory and Practice. In M. G. Turner & R. H. Gardner (Eds.), *Landscape Ecology in Theory and Practice* (Second). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>
- Tzoulas, K., Galan, J., Venn, S., Dennis, M., Pedroli, B., Mishra, H., Haase, D., Pauleit, S., Niemelä, J., & James, P. (2020). A conceptual model of the social–ecological system of nature-based solutions in urban environments. *Ambio*, 2–11. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01380-2>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>

- UNDRR. (2019). *United Nations Office for Disaster Risk Reduction To download the full report visit : <https://gar.unisdr.org> To share your comments and news on the GAR on Twitter and Facebook , please use # GAR2019.*
- UNISDR. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. In *Resolución aprobada por la Asamblea General el 3 de junio de 2015*. http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf
- University of Notre Dame. (2020). *Notre Dame Global Adaptation Initiative*. <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>
- Valle, F. (2018). *Flood vulnerability analysis in Durán Canton , Ecuador : Case study of the urban area*. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO.
- Vanacker, V., Molina, A., Torres, R., Calderon, E., & Cadilhac, L. (2018). Challenges for research on global change in mainland Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 4(1), 114–118. <https://doi.org/10.1080/23766808.2018.1491706>
- Vergara, W., Rios, A. R., Galindo, L. M., Gutman, P., Isbell, P., Suding, P., & Samaniego, J. (2014). *El Desafío Climático y de Desarrollo en América Latina y el Caribe Opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-desafío-climático-y-de-desarrollo-en-América-Latina-y-el-Caribe-Opciones-para-un-desarrollo-resiliente-al-clima-y-bajo-en-carbono.pdf>
- Wölfer, R. (2019). *Analysis of the Subsurface Urban Drainage Systems for Durán City, Ecuador*. Hochschule Magdeburg.
- Wu, J. (2004). Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations. *Landscape Ecology*, 19(2), 125–138. <https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000021711.40074.ae>
- Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>
- Zwierzchowska, I., Fagiewicz, K., Poniży, L., Lupa, P., & Mizgajski, A. (2019). Introducing nature-based solutions into urban policy – facts and gaps. Case study of Poznań. *Land Use Policy*, 85(March), 161–175. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.025>

ANEXOS

ANEXO 1

Matriz de datos eventos adversos y metricas del paisaje de la Microcuena Urbana del estero La Matanza

Sector	# Inundaciones	# Inundaciones mareas	# Deslizamientos	Sector con AALL	Sector con AASS	PD_viviendas	LPI_viviendas	AI_viviendas	PD_vegetación	LPI_vegetación	AI_vegetación	PD_vía lastrada	LPI_vía lastrada	AI_vía lastrada	PD_vía pavimentada	LPI_vía pavimentada	AI_vía pavimentada	PD_suelo descubierto	LPI_suelo descubierto	AI_suelo descubierto	PD_cuerpo de agua	LPI_cuerpo de agua	AI_cuerpo de agua
10 DE AGOSTO	0	0	0	0	0	659.52	3.8485	72.4496	756.5177	1.8622	60.8179	96.9894	39.4786	83.1195	0	0	0	814.7114	7.1384	65.966	0	0	0
12 DE AGOSTO	1	0	0	0	0	586.14	6.7524	73.5037	854.0997	1.2058	54.7554	167.4705	33.6281	75.8918	0	0	0	1021.5702	1.6881	57.8685	100.4823	0.4287	51.6667
12 DE NOVIEMBRE	0	0	0	1	1	441	2.0413	80.441	320.7745	0.2391	58.4768	69.2581	80.9603	51.0323	28.8989	83.2728	0	539.4844	1.6447	69.9524	0	0	0
16 DE OCTUBRE	1	0	0	0	0	834.54	4.7605	73.1873	435.4136	2.4383	68.1597	36.2845	38.7518	80.6068	0	0	0	961.5385	1.9158	59.7826	0	0	0
27 DE DICIEMBRE	0	0	0	1	1	320.63	9.2344	80.6202	271.3102	0.513	57.3529	0	0	73.9937	36.8193	79.6685	0	419.2976	19.85	86.8745	0	0	0
28 DE AGOSTO	0	0	0	0	0	389.25	2.634	79.6171	510.8992	2.089	66.8342	121.6427	15.7	74.2289	56.7666	15.713	86.1899	551.4467	7.863	75.1139	0	0	0
28 DE AGOSTO 2	1	0	0	0	0	331.9141	1.6435	81.0863	440.6446	0.3296	50.2902	11.4453	37.0462	77.5519	0	0	0	517.9005	0.7737	54.0084	2.8613	0.0046	0
5 DE JUNIO	3	0	0	0	0	344.9397	1.9809	80.4392	277.9291	0.0668	53.3808	7.6897	31.0648	80.7724	9.8868	2.9652	82.3988	421.8371	0.0633	47.0339	2.1971	0.0053	0
6 DE OCTUBRE	0	0	0	0	0	1002.6738	15.508	81.2698	501.3369	1.3369	66.6667	501.3369	47.3262	79.7015	0	0	0	334.2246	1.3369	58.3333	0	0	0
7 HERMANAS	1	0	0	0	0	236.4439	8.1967	86.392	202.6662	10.953	83.5873	56.2962	14.664	78.3009	0	0	0	213.9254	12.6464	85.5064	22.5185	14.1056	87.4918
A.P.U.G	0	0	0	0	0	144.934	1.9265	80.9013	133.7852	2.5865	78.5047	55.7438	21.9229	95.3154	0	0	0	89.1902	34.9982	93.4358	0	0	0
ABEL GILBERT 1	0	0	0	1	1	361.9174	2.159	76.8025	489.2587	0.336	56.9973	0	0	73.7239	29.8542	77.8253	0	817.6651	7.6065	70.954	0	0	0
ABEL GILBERT 1B	0	0	0	1	1	387.8976	19.3949	78.1934	678.8208	1.7067	59.6591	0	0	48.4872	33.3592	77.7506	0	1115.2056	1.3189	56.3798	0	0	0
ABEL GILBERT PONTON 1	2	0	0	1	1	447.3873	3.4651	79.6852	458.4352	0.4721	58.8972	63.2324	1.6272	64.0801	15.8081	33.8589	78.9242	627.0551	0.5733	58.7422	15.8081	0.6576	78.7013
ALBERTO MALDONADO	0	0	0	1	1	432.2917	5.0167	77.3271	630.2083	0.525	59.9298	0	0	83.3333	25.7583	78.7599	0	942.7083	0.75	57.1631	0	0	0
ALBERTO MALDONADO 2	0	0	0	1	1	1112.0996	8.7782	72.9459	667.2598	2.847	68.7898	0	0	74.14	37.3665	80.4714	741.3998	7.4733	69.4704	0	0	0	0
ALBERTO MALDONADO 3	0	0	0	1	1	676.59	8.525	73.913	338.295	2.8417	70.1493	0	0	169.1475	38.9716	83.7294	0	676.59	16.5088	71.6621	0	0	0
ANA MARÍA DE OLMEDO	0	0	0	1	1	338.4095	1.9831	79.0207	418.7817	0.1421	50.7785	0	0	84.6024	35.2555	77.1246	0	888.3249	0.4805	53.5869	0	0	0
ANEXO GUAYAQUIL INDEP	0	0	0	1	1	629.1946	16.5548	76.9939	349.5526	3.132	69.5122	0	0	139.821	20.0224	80.3571	0	1118.5682	1.7897	56.9231	0	0	0
ENDIENTE	0	0	0	0	0	512.2951	14.918	80.7829	717.2131	24.4262	83.8384	307.377	7.377	70.7865	0	0	0	922.1311	16.5574	69.7819	0	0	0
ANGEL PUTAN	0	0	0	0	0	908.4302	1.5988	55.8824	817.5872	20.9302	77.6	90.843	31.1047	79.6482	0	0	0	999.2733	10.9012	70.8333	635.9012	0.7267	25
ANGELA ALARCON	0	0	0	1	1	447.3873	4.1995	76.9462	521.9518	0.4295	58.4973	0	0	44.7387	41.088	82.4748	0	1014.0778	0.5727	51.6999	0	0	0
ANTONIO JOSE DE SUCRE	0	0	0	0	0	445.6328	6.9519	84.5161	779.8574	21.9251	78.0303	111.4082	16.7558	80.9524	0	0	0	891.2656	10.8734	79.8077	111.4082	11.943	85.4701
ARTURO GUEVARA	0	0	0	0	0	423.8246	3.8992	78.1655	473.2708	1.7405	68.4227	84.7649	22.5249	76.3412	0	0	0	579.2269	1.5258	64.6292	21.1912	1.5258	78.6058
ATAHUALPA	0	0	0	1	1	132.4714	54.6206	87.7027	278.1899	1.1234	58.5616	0	0	304.6842	22.4036	72.1832	0	476.897	1.1446	49.5528	0	0	0
BARRIO LINDO	0	0	0	1	1	439.8311	23.7157	80.7692	571.7804	1.9001	56.9038	0	0	131.9493	35.1161	80.7492	0	967.6284	2.7445	50.3311	0	0	0
BELLAVISTA	0	0	0	1	1	318.2281	9.8778	76.6858	318.2281	9.4196	79.6396	0	0	127.2912	29.7352	80.5369	0	1018.3299	1.6293	56.7515	199.9369	0.8656	49.4382
BRISAS DEL ESTERO	0	0	0	1	1	102.6273	39.9672	93.1669	369.4581	1.1494	55.8974	41.0509	13.7931	93.2143	102.6273	9.9507	64.8649	0.6897	43.5374	0	0	0	0
BRISAS DEL RECREO	0	0	0	1	1	734.2407	3.6103	73.2548	340.2579	0.3438	49.6815	89.5415	5.5301	72.7848	89.5415	43.2951	81.9366	1056.5903	0.6877	52.9891	0	0	0
CALI MURILLO	2	0	0	1	0	56.4867	21.6663	92.0114	25.6758	18.4373	96.8063	5.1352	3.3111	94.2484	102.7031	0.912	64.9073	215.6766	48.2047	95.9768	0	0	0
CANTERA BANCO DEL PICH	0	0	0	0	0	850.3401	4.8591	72.9688	698.4937	1.9922	63.0058	0	0	121.4772	36.4431	79.0123	0	1062.9252	5.0534	65.4126	0	0	0
INCHA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107.7586	100	98.3798	0	0	0
CARLOS CARRERA	0	0	0	1	0	467.9144	5.5615	82.8431	467.9144	38.1818	87.6957	200.5348	5.0267	68	0	0	0	868.984	17.3262	79.4595	0	0	0
CEMENTERIO	0	0	0	0	0	129.5337	4.3782	87.9538	210.4922	13.057	83.6056	80.9585	6.5026	80.4538	16.1917	28.3679	87.0466	210.4922	14.1969	81.851	0	0	0
CENTROS MUNICIPALES	0	0	0	0	0	333.4604	0.7622	58.6207	285.8232	14.1006	83.3977	381.0976	13.3384	75.5459	0	0	0	381.0976	16.6159	87.4502	238.186	7.5457	78.1903
CERRO GRANDE	0	0	0	0	0	173.4305	2.2546	77.5641	238.4669	22.2685	87.6764	8.0125	325.1821	8.0125	0	0	0	368.5397	35.5879	91.1683	0	0	0
CHOJAMPE	0	0	0	1	0	673.6527	7.7046	75.0973	723.5529	0.998	51.9868	0	0	74.8503	38.004	80.7983	0	1147.7046	3.513	59.9045	0	0	0
CINCO HERMANAS	0	0	0	0	0	417.1301	13.3111	82.1374	532.9996	1.7056	58.5526	69.5217	1.409	77.2973	23.1739	29.5143	74.9837	718.3908	0.8157	50.9091	0	0	0
CIPRESÉS	0	0	0	1	1	501.5764	6.9647	73.0636	483.6629	1.8343	67.5225	0	0	250.7882	32.4735	80.8417	0	770.278	4.8151	68.7915	0	0	0
COLINAS DEL RECREO	0	0	0	1	0	12.1856	2.8466	94.0594	0	0	6.0928	0.2925	81.6327	0	0	0	0	12.1856	95.1453	98.8314	0	0	0
COMBATIENTES DEL 41	0	0	0	1	1	76.5931	11.2745	96.9512	153.1863	30.3922	96.4583	153.1863	21.8137	91.8429	0	0	0	306.3725	25.9804	90.2222	229.7794	4.5343	64.6341
CONCESIÓN MINERA	0	0	0	0	0	508.8823	9.6225	79.8133	740.1925	3.923	62.6113	46.262	35.5292	85.262	0	0	0	878.9785	5.0333	63	231.3101	0.5922	47.3684
CONFRATERNIDAD INTERPR	0	0	0	1	1	1280.7377	22.9508	85.8407	256.1475	0.8197	100	0	0	256.1475	55.3279	84.1463	0	1536.8852	7.377	56.338	0	0	0
OVINCIAL	0	0	0	0	0	325.2129	7.5213	80.9015	620.8609	1.1826	53.5055	177.3888	42.0057	79.2453	0	0	0	561.7313	1.1353	57.5342	118.2592	0.6149	52
CRISTINA PUIG	0	0	0	1	1	258.0867	1.7206	75.4522	172.0578	22.9181	86.847	64.5217	5.1961	80.0847	43.0145	10.5299	93.6426	215.0723	22.8493	88.3059	21.5072	6.4656	82.1138
DEMOCRACIA NORTE	0	0	0	0	0	254.5306	0.3462	63.7602	337.2531	4.2761	81.7425	44.5429	3.6245	74.0791	0	0	0	90.7912	6.3633	90.7912	2.7184	82.4351	0
DERECHO DE LOS POBRES	0	0	0	0	0	485.5716	8.1761	73.2095	485.5716	3.5886	70.777	69.3674	25.3792	79.9275	0	0	0	809.286	5.4384	69.6	300.5919	1.1469	65.75
DIVINO NIÑO	3	0	0	0	0	282.0397	7.3556	81.1291	310.2437	0.4513	50	28.204	39.9368	78.2456	0	0	0	733.3032	5.4603	69.3609	0	0	0
DOS HERMANOS	1	0	0	0	0	331.5133	6.1778	78.9996	468.0187	0.9672	59.9469	19.5008	45.8658	79.8114	0	0	0	760.5304	1.4041	54.4444	0	0	0
E.M.A.G	1	0	0	0	0	491.639	1.8206	75.0573	547.2963	0.3414	57.5055	46.381	34.9626	80.0366	0	0	0	825.5825	1.3704	61.2208	21.6445	1.504	81.746
EDEN 1	0	0	0	1	0	639.0593	14.5194	73.5149	511.2474	1.4315	59.0909	0	0	1405.9305	41.1043	71.6312	0	766.8712	1.636	53.0612	0	0	0
E.L. CONDOR	0	0	0	0	0	225.7605	13.8973	88.4362	142.5856	1.5019	70.1357	47.5285	0.076	33.3333	213.8783	10.7034	69.						

JOSE POLI VERA	0	0	0	0	0	0	0	218.9142	74.2557	93.2266	0	0	0	0	0	437.8284	13.4851	83.7121	0	0	0			
JULIO COLL	0	0	0	0	0	801.0045	2.6671	65.2256	757.707	4.78	71.0692	43.2975	44.6484	79.6178	0	0	887.5996	2.1129	55.8997	0	0	0		
LA DOLOROSA	0	0	0	0	0	762.7423	1.9383	64.3963	358.9375	26.2024	78.6408	134.6016	9.8349	71.0183	0	0	628.1407	13.7832	77.7473	0	0	0		
LA PEREGRINA	0	0	0	0	0	1019.0217	7.1558	72.0517	396.2862	2.1739	65.0407	396.2862	8.1522	78.0069	113.2246	20.0181	82.7423	905.7971	2.9891	62.9393	0	0	0	
LA PIRAMIDE	0	0	0	0	0	711.7438	4.484	75.6906	756.2278	3.274	62.8571	133.452	15.8007	77.1167	177.9359	1.2811	69.7674	355.8719	11.7438	82.6489	133.452	16.1566	83.6066	
LA UNION	0	0	0	0	0	286.4583	9.625	84.0435	173.6111	0.5556	59.0323	26.0417	27.2222	85.5917	60.7639	0.0556	35	147.5694	36.3194	92.9966	0	0	0	
LAS PLAYAS EDEN 2	0	0	0	0	0	50.4948	1.5148	89.434	88.366	13.6336	92.3734	25.2474	6.9683	72.1037	0	0	37.8711	68.7336	95.1976	25.2474	2.6055	74.0157	0	
LAS VIOLETAS	0	0	0	0	0	389.1051	24.7471	76.358	583.6576	2.9572	65.6209	316.1479	15.1751	73.3333	0	0	924.1245	8.5603	67.8439	48.6381	1.284	78.7611	0	
LEONOR ELIZALDE DE GILBERT	0	0	0	0	0	269.5256	1.3177	70.6383	164.7101	1.725	66.7488	194.6574	8.7925	71.2644	0	0	164.7101	70.8912	94.8338	59.8946	3.7374	75.1701	0	
LOS CEREZOS	0	0	0	0	0	650.5506	2.0667	72.333	575.1245	0.9202	61.4022	94.2827	33.0517	79.7331	0	0	556.2679	3.2282	77.0744	141.424	2.1572	69.1919	0	
LOS CIPRESES	1	0	0	0	0	597.4444	4.8186	75.1702	731.5646	1.1315	58.4439	24.3855	34.842	77.9559	0	0	658.4081	3.5115	65.0221	0	0	0	0	
LOS ESTEROS	0	0	0	1	1	353.7736	15.3396	85.2286	353.7736	2.7736	66.8099	0	0	0	58.9623	18.9057	76.2372	495.283	2.434	64.4628	129.717	3.283	72.5537	0
LOS GERANIOS	1	1	0	0	0	616.2532	3.1489	72.5309	656.0115	4.4529	69.2816	318.0662	20.8969	77.5521	0	0	974.0776	2.5763	68.1065	19.8791	0.6997	85.2941	0	
LOS MIRLOS	0	0	0	0	0	626.9705	1.8057	66.7904	537.4033	3.7833	74.5554	143.3075	29.4067	80	197.0479	5.8469	76.6917	734.4511	1.8917	63.8864	0	0	0	
LOS NARANJOS	0	0	0	0	0	494.8987	2.4364	74.9457	380.6913	2.4212	74.6616	19.0346	30.4401	81.3235	0	0	742.3481	6.624	73.6161	9.5173	3.7308	87.5546	0	
LOS ROSALES	1	1	0	0	0	628.5197	3.6203	73.8585	615.9493	1.8302	59.879	138.2743	33.4473	79.5448	0	0	993.0611	1.4883	58.5523	125.7039	0.9453	72.9282	0	
LOS SAUCES	0	0	0	1	0	905.7971	28.1159	88.2653	362.3188	1.4493	60	181.1594	4.3478	86.3636	1268.1159	25.2174	69.5	0	0	0	0	0	0	
LOS TULIPANES	0	0	0	0	0	0	0	0	295.5859	35.0499	91.1385	32.8429	6.2007	91.5888	0	0	65.6858	44.9816	93.3255	32.8429	3.1004	74.5098	0	
LOTIZACION INDEPENDENCIA	0	0	0	0	0	50.6894	1.2976	91.6667	202.7575	33.4144	85.7627	152.0681	0.4866	53.3333	0	0	152.0681	35.9286	87.2021	0	0	0	0	
LUZ MARÍA	3	0	0	0	0	369.4581	6.4039	77.5967	584.9754	1.2069	61.9565	107.7586	13.0049	79.4269	15.3941	9.6798	85.3887	831.2808	5.1232	66.954	0	0	0	
MA LUISA GILBERT	0	0	0	0	0	810.0052	1.6071	68.3435	631.804	0.985	64.428	32.4002	25.7258	80.945	105.3007	11.3142	79.5628	866.7055	1.309	63.8284	24.3002	2.4883	84.1096	0
MACIAS PORRO	0	0	0	0	0	415.9734	10.6489	84.058	311.98	29.7837	81.1321	207.9867	12.3128	77.2059	0	0	519.9667	18.9684	79.1866	0	0	0	0	
MARFINGRA	2	0	0	0	0	480.9115	1.7165	71.3725	462.4149	7.3986	75.5662	17.0761	76.2402	18.4966	4.4392	88.3636	425.4217	7.8722	79.6225	36.9932	11.9562	85.4356	0	
MARTHA BUCARAM DE RODOS	0	0	0	0	0	785.6853	6.3666	70.3671	709.6513	10.7056	73.107	25.3447	27.4939	83.3461	0	0	861.7194	6.8532	68.821	0	0	0	0	
MI HOGAR	0	0	0	0	0	272.2791	1.284	67.7242	229.2877	12.4732	85.2153	42.9914	25.8101	85.4981	0	0	487.2363	17.0437	80.6865	0	0	0	0	
MODULAR	0	0	0	0	0	328.6015	20.8202	85.8159	262.8812	0.3155	46.8085	0	0	0	98.5804	33.0705	75.5136	262.8812	1.5247	63.3803	0	0	0	
MZ 18 LOTE 5	0	0	0	0	0	395.5696	1.8987	100	395.5696	46.8354	95.3846	395.5696	31.0127	84.5238	0	0	791.1392	18.3544	84.6154	0	0	0	0	
NUOVA JERUSALEM	0	0	0	0	0	905.7971	3.2938	67.6364	576.4163	7.1146	77.5401	164.6904	33.7286	79.1016	164.6904	0.2635	50	658.7615	8.6957	74.4479	164.6904	6.8511	69.0722	0
NUOVA LUZ	0	0	0	0	0	631.921	2.616	73.2147	491.4941	0.4333	56.5928	50.1525	33.3333	79.5221	0	0	772.3479	0.7222	59.625	40.122	3.6431	72.1239	0	
NUOVO GUAYAQUIL	0	0	0	0	0	482.6255	36.1004	82.2888	965.251	7.1429	66.2069	1206.5637	24.3243	77.1654	0	0	1447.8764	5.2124	61.236	0	0	0	0	
NUOVOS HORIZONTES 1 2	1	0	0	0	0	498.2782	0.9806	75.0756	608.227	1.5683	66.3883	49.126	37.8074	80.2547	0	0	657.353	1.3999	66.4721	30.4113	0.554	76.7964	0	
ORAMA GONZÁLEZ	2	0	0	1	0	316.3181	2.4159	79.8764	449.7647	0.5377	61.9573	217.4687	0.2728	49.1736	74.137	26.9898	78.6074	709.2444	4.3019	69.7151	29.6548	0.1028	38.3929	0
OSWALDO HURTADO	0	0	0	0	0	108.6957	0.6957	75	978.2609	18.9565	83.6317	0	0	0	0	0	108.6957	62.7826	91.5205	0	0	0	0	
PALACIOS DUARTE	0	0	0	0	0	153.437	1.473	82.5	153.437	13.5025	89.5495	51.1457	3.6825	90.7895	0	0	51.1457	67.8396	95.9375	0	0	0	0	
PARQUE DE LA HERRADURA	1	0	0	0	0	443.1976	1.8349	78.4545	616.8214	0.8261	61.163	31.9833	36.9398	78.7228	0	0	662.5119	0.6068	53.5748	27.4143	1.1185	80.7692	0	
PEDRO MENENDEZ	0	0	0	1	1	170.3719	5.8578	90.9459	140.0836	0.9147	67.0223	0	0	0	22.7163	24.1035	76.9525	212.0184	0.2908	55.9585	0	0	0	
PENÓN DEL RÍO	0	0	0	1	1	166.0545	3.3211	86.6159	312.5733	18.8872	85.2163	19.5358	12.667	77.2194	14.6519	3.7196	79.6117	249.0818	4.0166	83.9026	4.884	7.8768	88.6783	0
PISCINAS DE OXIDACION	0	0	0	0	0	61.9596	0.0551	41.9355	48.1908	37.71	97.7595	13.7688	2.3297	74.5098	0	0	24.0954	5.8435	76.5357	0	0	0	0	
POLICIA NACIONAL	0	0	0	0	0	450.2673	4.6363	76.2534	406.693	1.1852	66.7615	159.7723	27.7248	81.794	0	0	501.1039	5.868	75.9949	36.3119	3.3465	85.4288	0	
POPULAR GUAYAS	0	0	0	1	1	476.6141	7.0158	77.4968	667.2598	1.9319	62.9259	0	0	0	222.4199	32.8927	75.9494	667.2598	1.9827	57.9088	0	0	0	
POR GUAYAQUIL INDEPENDIENTE	0	0	0	1	1	385.5645	11.8445	77.6715	616.9031	1.7273	59.901	0	0	0	308.4516	19.2474	79.5996	809.6854	4.5034	65.625	0	0	0	
POR UN FUTURO MEJOR	1	0	0	0	0	439.2815	3.3483	80.1545	457.5849	4.0316	74.1002	67.1125	31.4623	77.8977	0	0	512.4951	5.7107	75.0933	12.2023	0.3417	82.0225	0	
PRIMAVERA 1	1	0	0	1	1	768.1564	28.7151	73.0715	0	0	0	0	0	0	1606.1453	1.5642	46.3415	768.1564	18.324	72.3325	0	0	0	
PRIMERO DE MAYO	0	0	0	0	0	624.2197	3.2459	73.1538	728.2563	2.3304	62.5628	52.0183	38.0774	81.3168	0	0	806.2838	7.2826	70.34	52.0183	6.9496	81.6425	0	
PROGRESO	0	0	0	0	0	731.8038	3.1962	72.4764	613.1329	2.4051	68.0089	178.0063	32.9114	79.3171	0	0	672.4684	3.2278	69.7439	217.5633	1.6772	63.2813	0	
PUEBLO ORGANIZADO	0	0	0	0	0	368.5302	1.5942	68.8564	409.4781	4.0183	75.8457	81.8956	10.3079	77.9352	0	0	218.3883	45.9707	89.7734	13.6493	3.1666	86.4151	0	
RINA ORTIZ DE BUCARAM	0	0	0	1	1	424.8489	38.8973	82.7014	424.8489	0.4532	44.2308	0	0	0	141.6163	39.3505	81.6733	755.287	1.3595	52.8409	0	0	0	
ROBERTO GILBERT	2	0	0	0	0	653.049	2.4837	72.7116	567.4032	0.7708	60.2479	128.4687	39.0202	83.6735	0	0	952.8092	1.3189	61.3173	0	0	0	0	
ROSA HANNA DE MUSE	0	0	0	1	1	464.684	47.3978	80.1471	232.342	0.9294	70	0	0	348.513	17.658	73.3746	813.197	5.3903	66.9811	0	0	0	0	
RURAL	0	0	0	0	0	10.0348	0.2194	78.5714	270.9393	3.8534	74.7258	20.0696	0.5138	64.7826	0	0	93.658	70.5004	94.9729	33.4493	4.4795	77.8024	0	
RURAL 2	0	0	0	0	0	0	0	771.6049	65.4321	88.0734	385.8025	3.0864	80	0	0	0	2314.8148	11.7284	62.2951	0	0	0	0	
RURAL 3	0	0	0	0	0	50.9954	0.1183	56.2842	160.6356	32.5392	87.2636	56.095	0.0979	51.9531	0	0	198.8822	10.9701	85.4792	73.9434	3.4555	82.4063	0	
SAN CARLOS	0	0	0	1	1	535.9057	11.3612	78.739	401.9293	0.5359	52.7778	0	0	0	66.9882	45.552	80.3218	937.8349	2.7867					

ANEXO 2

Matrices de correlación entre los criterios utilizados por cada dimensión del análisis multicriterio.

Tabla 1. Matriz de correlación - criterios ecológicos

Criterio	HCI	AI_agua	AI_vegetación	LPI_agua	LPI_vegetación	PD_agua	PD_vegetación
HCI	1.00	0.07	0.03	-0.08	-0.05	-0.03	0.11
AI_agua	0.07	1.00	0.32	0.55	0.10	0.36	0.23
AI_vegetación	0.03	0.32	1.00	0.29	0.68	0.13	-0.08
LPI_agua	-0.08	0.55	0.29	1.00	0.24	0.33	0.01
LPI_vegetación	-0.05	0.10	0.68	0.24	1.00	0.18	-0.29
PD_agua	-0.03	0.36	0.13	0.33	0.18	1.00	0.15
PD_vegetación	0.11	0.23	-0.08	0.01	-0.29	0.15	1.00

HCI= Índice de contraste hidromorfométrico

AI= Índice de agregación

LPI= Índice de parche amplio

PD= Índice de densidad de parche

Tabla 2. Matriz de correlación - criterios sociales

Criterio	Densidad de vivienda	Densidad poblacional	Categoría Pobreza	AASS	AALL	Suelo descubierto	Cercanía a canales	Vías Lastradas	Vías Pavimentadas
Densidad de vivienda	1.00	0.35	0.44	0.41	0.46	-0.08	0.23	-0.22	0.36
Densidad poblacional	0.35	1.00	0.44	0.42	0.46	-0.29	0.13	-0.30	0.50
categoría Pobreza	0.44	0.44	1.00	0.59	0.64	-0.04	0.32	-0.48	0.61
AASS	0.41	0.42	0.59	1.00	0.79	-0.03	0.31	-0.57	0.67
AALL	0.46	0.46	0.64	0.79	1.00	-0.04	0.32	-0.71	0.85
Suelo descubierto	-0.08	-0.29	-0.04	-0.03	-0.04	1.00	-0.08	-0.31	-0.17
Cercanía a canales	0.23	0.13	0.32	0.31	0.32	-0.08	1.00	-0.14	0.25
Vías Lastradas	-0.22	-0.30	-0.48	-0.57	-0.71	-0.31	-0.14	1.00	-0.68
Vías Pavimentadas	0.36	0.50	0.61	0.67	0.85	-0.17	0.25	-0.68	1.00

Tabla 3. Matriz de correlación - riesgo climático

Criterio	Riesgo Multiamenaza	Eventos adversos
Riesgo Multiamenaza	1.00	0.12
Eventos adversos	0.12	1.00

ANEXO 3

Lista detallada del nivel de idoneidad por sector urbano

Sector urbano	Media	Mayoría	Mínimo	Máximo
Hugo_baquerizo_dominguez	5	5	4	5
Una_sola_fuerza_1_2	5	5	3	5
Galileo Galilei	5	5	4	5
Divino_niño	5	5	3	5
Marfingra	5	5	4	5
Primero_de_mayo	5	5	4	5
Gladys_mora_garcia	5	5	4	5
Una_sola_fuerza_1_2b	5	5	3	5
Pueblo organizado	5	5	3	5
Angela_alarcon	5	5	3	5
Chojampe	5	5	4	5
Jesus_del_gran_poder	5	5	2	5
Nueva_jerusalem	5	5	4	5
Unidos_venceremos_2	5	5	2	5
Nuevos_horizontes_1_2	5	5	3	5
Policia_nacional	5	5	3	5
Ma_luisa_gilbert	5	5	4	5
E.m.a.g	5	5	3	5
El ejercito	5	5	3	5
Trabaj_clinica_guayaquil	5	5	3	5
Progreso	5	5	4	5
Gregorio_2	5	5	3	5
12_de_agosto	5	5	3	5
10_de_agosto	5	5	3	5
San jacinto	5	5	3	5
Gladys_maldonado	5	5	3	5
Los rosales	5	5	3	5
Jose_joaquin_de_olmedo	5	5	4	5
Dos hermanos	4	5	2	5
Por_un_futuro_mejor	4	5	3	5
Ficus_4	4	5	3	5
Los tulipanes	4	4	3	5
San Genaro	4	4	3	5
Rural_3	4	4	3	5
Parque de la herradura	4	4	3	5
Los geranios	4	4	3	5
Rural	4	4	3	5
Sindicato_de_voceadores_de_periodicos	4	4	3	5
Jerusalén	4	4	4	5

General Alfaro	4	4	3	5
Gregorio_1	4	4	3	5
7_hermanas	4	4	4	5
Valle_de_los_lirios	4	4	3	5
Sindicato_de_voceadores	4	4	3	5
Las_playas_eden_2	4	4	3	5
Gabriel_garcia_moreno	4	4	3	5
Los naranjos	4	4	3	5
Ficus_3	4	4	3	5
Los cipreses	4	4	2	5
Jorge Valdez	4	4	3	5
Confraternidad_interprovincial	4	4	3	5
La pirámide	4	4	3	5
Los mirlos	4	4	2	5
Jardines_de_duran	4	4	3	5
Frente_de_lucha_popular	4	4	3	5
Una_sola_fuerza_3	4	4	3	5
28_de_agosto_2	4	4	2	5
5_de_junio	4	4	1	5
Valparaiso_2	4	4	2	5
Roberto gilbert	4	4	3	5
Julio Coll	4	4	3	5
Los cerezos	4	4	3	5
Piscinas_de_oxidacion	4	4	2	5
Arturo_guevara	4	4	3	5
Guillermo_gilbert_estrada	4	4	2	5
El cóndor	4	4	3	5
Las violetas	4	3	3	5
Mz_18_lote_5	3	3	2	4
Leonor_elizalde_de_gilbert	3	3	3	5
Derecho_de_los_pobres	3	3	3	5
Atahualpa	3	3	2	5
Luz maría	3	3	2	5
Shadai	3	3	2	5
Trabajadores_universidad_de_guayaquil	3	3	2	5
Nueva luz	3	3	3	5
Peñon_del_rio	3	3	2	4
Cristina_puig	3	3	3	5
Rural_2	3	3	3	4
Heroes_nacionales	3	3	2	5
Jose_poli_vera	3	3	2	4
Filanbanco	3	3	3	4
6_de_octubre	3	3	3	4

Nuevo guayaquil	3	3	3	5
Martha_bucaram_de_roidos	3	3	3	5
Ficus	3	3	2	5
Lotizacion_independencia	3	3	3	5
Jorge_bataglia	3	3	3	4
La dolorosa	3	3	3	4
Familiares_galarraga	3	3	3	4
Valparaiso_1	3	3	3	4
16_de_octubre	3	3	2	5
Subdivisión_lote_22	3	3	3	3
Subdivision_lote_21	3	3	2	3
Oswaldo_hurtado	3	3	2	4
Macias_porro	3	3	2	4
Huertos familiares	3	3	2	4
Mi hogar	3	3	2	4
Hogar_san_jose	3	3	2	4
Ficus_2	3	3	2	5
La peregrina	3	3	2	5
Cantera_banco_del_pichincha	3	3	1	5
Inverisei	3	3	2	4
Centros municipales	3	3	2	4
Carlos carrera	3	3	2	4
Cinco hermanas	3	3	2	5
Hector_cobos_1_2	3	3	2	5
Orama_gonzález	3	3	2	5
A.p.u.g	3	3	2	3
28_de_agosto	3	3	2	5
Angel_putan	3	3	2	4
La unión	3	3	2	4
Eden_1	2	2	2	3
Palacios duarte	2	2	2	3
Cali_murillo	2	2	2	4
Cipreses	2	2	2	4
Cerro grande	2	2	2	3
Los esteros	2	2	1	3
Hector_cobos_4b	2	2	2	5
Telmo_barragan	2	2	2	4
Abel_gilbert_ponton_1	2	2	1	3
Zona_industrial_2	2	2	1	5
Union_y_progreso	2	2	2	5
Brisas_del_estero	2	2	2	5
Fundacion_mariana_de_jesus	2	2	2	5
Colinas_del_recreo	2	2	1	4

Grillo_gilbert	2	2	2	3
El paraíso	2	2	2	3
Hogar_y_techo	2	2	1	3
Hector_cobos_4	2	2	2	2
Unidos_somos_mas	2	2	1	2
Modular	2	2	1	2
Cementerio	2	2	1	2
Popular guayas	2	2	1	2
Elsa_bucaram	2	2	1	4
Por_guayaquil_independiente	2	2	1	2
Santa rosa	2	2	1	3
El_recreo_4ta_etapa	2	2	1	5
Santa marianita	2	2	1	3
Concesión minera	2	2	1	2
El_recreo_5ta_etapa	2	2	1	5
Unidos venceremos	2	2	1	3
San Gabriel	2	2	1	3
El_recreo_3ra_etapa	2	2	1	3
Anexo_guayaquil_independiente	2	2	1	2
San Enrique	2	2	1	2
Fernando Díaz	2	2	1	2
Brisas_del_recreo	1	1	1	3
Secap	1	1	1	2
Antonio_jose_de_sucre	1	1	1	2
El_recreo_2da_etapa	1	1	1	3
San Carlos	1	1	1	2
El_recreo_1ra_etapa	1	1	1	2
Zona industrial	1	1	1	3
El trébol	1	1	1	2
Alberto Maldonado	1	1	1	3
Unidad nacional	1	1	1	3
Barrio lindo	1	1	1	2
Alberto_maldonado_2	1	1	1	2
Combatientes_del_41	1	1	1	2
Primavera_1	1	1	1	2
Ana_maría_de_olmedo	1	1	1	2
Pedro_menendez	1	1	1	3
Bellavista	1	1	1	2
Los sauces	1	1	1	2
12_de_noviembre	1	1	1	2
Abel_gilbert_1	1	1	1	2
Abel_gilbert_1b	1	1	1	2
27_de_diciembre	1	1	1	1

Rina_ortiz_de_bucaram	1	1	1	1
Rosa_hanna_de_muse	1	1	1	1
Guillermo_molina_de_frank	1	1	1	1
Democracia norte	1	1	1	1
Alberto_maldonado_3	1	1	1	1