



Evaluación de la vulnerabilidad socioecológica: estudio de caso en la Parroquia San Juan Cuenca, del río Chimborazo, Ecuador

Evaluation of social-ecological vulnerability: a case study in
the San Juan Parish, Chimborazo River Basin, Ecuador

Carlos Rolando Rosero Erazo¹
Andrés Agustín Beltrán Dávalos²
Dayana Alvarez³

Fecha de recibido: 29 de junio de 2021
Fecha de aceptado: 6 de diciembre de 2021

Resumen

Los aspectos socioecológicos determinados por un conjunto de variables capturan la vulnerabilidad relativa y actúan como herramientas visuales para identificar aquellas zonas susceptibles a cambios socioambientales. Estos índices son de fácil uso e interpretación, además de ofrecer una orientación para la toma de decisiones políticas dentro de la jurisdicción local, en aspectos tanto económicos como cuestiones de conservación y monitoreo de los ecosistemas. Las investigaciones más específicas, por otro lado, pueden generar planes para la reducción de riesgos en relación con

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador, correo electrónico: carlos.rosero1733@gmail.com

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador.

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador.

las adversidades presentes en la zona. Este caso de estudio en particular, relaciona la vulnerabilidad socioecológica con respecto a la sequía como una amenaza, por lo tanto, este artículo busca inquirir, a través de la identificación de aspectos SES, la representación de cada variable, escala, dinámicas e interacciones producidas. El uso del análisis de componentes principales (PCA) como medio de agregación espacial e índices de vulnerabilidad normalizada contribuyeron a la comparativa de distribución espacial de datos, así mismo, se logró identificar características de agregación, más no de dispersión. La vulnerabilidad resultante, en consecuencia, indica la variabilidad de tres componentes únicos y estadísticamente independientes que proporcionan más información en cuanto al índice normalizado, el mismo que fue realizado mediante la suma de todas las variables o criterios SES. Esta herramienta proporciona información relativa de la vulnerabilidad socioecológica, siendo un resultado que subyace a los impactos socioecológicos formados por condiciones ambientales cambiantes en el tiempo, como el clima y características intrínsecas de la colectividad. La presente investigación tiene lugar en la Unidad Hidrográfica nivel 7 del río Chimborazo con 124 km² de extensión, la que se delimitó según el *Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas: Caso Ecuador* (SUR UICN, 2009). Éste trabajo se realizó en un periodo de tres años desde el 1 de abril del 2017 al 31 de diciembre del 2020, para la obtención de datos de mayor fidelidad.

Palabras clave: *vulnerabilidad, PCA, aspectos socioecológicos, SES, dinámicas.*

Abstract

The socio-ecological aspects determined by a set of variables capture a relative vulnerability and act as visual tools to identify those areas susceptible to socio-environmental changes. These indices are easy to use and interpret, and also provide guidance to local policy makers on economic aspects and on issues related to the impact of ecosystem conservation and monitoring. The more specific investigations can generate plans for risk reduction in relation to the adversities present in the area, in this case study they are related to drought. This article investigates the identification of SES aspects from the conceptualization of each variable, scale, dynamics and interactions produced by each SES aspect. The use of principal component analysis as a means of spatial aggregation and also a normalized vulnerability index analysis helped in comparing the spatial distribution of data, in addition, helping to identify characteristics of aggregation rather than dispersion. The resulting vulnerability indicates the variability of three unique and statistically independent components that provide more information than the normalized index that was made by adding together all the SES variables or criteria.

This tool provides relative information on socio-ecological vulnerability and is also an underlying result of socio-ecological impacts formed by changing environmental conditions over time, such as climate and intrinsic characteristics of societies. The present investigation takes place in the Hydrographic Unit level 7 of the river Chimborazo with 124 km² of extension, which was delimited according to the *Manual of Procedures of Delimitation and coding of Hydrographic Units: Case Ecuador* (SUR UICN, 2009). This work was carried out in a period of 3 years from April 1, 2017 to December 31, 2020, to obtain data of greater fidelity.

Key words: *vulnerability, PCA, frameworks social-ecological, SIG, dynamics.*

Introducción

Los estudios de vulnerabilidad socioecológica presentan un enfoque multidisciplinario dirigido a los grupos sociales más vulnerables abarcando ciertas metodologías desde la perspectiva social y ambiental de toda América Latina (Kasperson *et al.*, 2012). Los indicadores que apuntan hacia la pobreza o exclusión de las comunidades, si bien forman parte de la sensibilidad de estas, no se adaptan al término de vulnerabilidad, dado que investigaciones y proyectos encaminados a fortalecer la resiliencia se han vuelto escasos ante el estereotipo de identificar los grupos potencialmente vulnerables y según (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], por sus siglas en inglés, 2014) la vulnerabilidad es una tendencia a ser afectado negativamente por la sensibilidad y falta de respuesta a adaptación, debido a esto, desde el enfoque al cambio climático, que persiste durante largos períodos a causa de procesos internos naturales o forzamientos externos como cambios antropógenos persistentes en la atmósfera o del uso del suelo; se debe adaptar los sistemas humanos a los daños y proyecciones climáticas.

Uno de los objetivos para estudios de esta índole es el direccionamiento a mejorar la capacidad de adaptación de las comunidades, siendo esta el eje de un sistema conjunto con visión a mejorar su condición y medrar sus competencias para hacer frente al estrés externo (Brooks, 2003).

De acuerdo con los medios socioecológicos, el término se entiende como una interacción dinámicas entre características sociales (S) y sistemas ecológicos (E), la usada por (Scholz & Binder, 2018) que establece tres interacciones: 1) $E \Rightarrow S$, donde el sistema ecológico influye sobre el social; 2) $S \Leftarrow E$, las actividades humanas afectan el sistema ecológico o los servicios del Ecosistema; 3) $S \Leftrightarrow E$, mantiene una reciprocidad entre el sistema social y el sistema ecológico, incluido los circuitos de retroalimentación y los procesos de aprendizaje en el sistema social en respuesta a los cambios en el sistema ecológico. Del mismo, a partir de las siguientes preguntas

se construye la premisa de la vulnerabilidad socioecológica: ¿cómo se conceptualizará la dinámica de los sistemas sociales y ecológicos?; ¿cómo se conceptualizará la interacción y la dinámica entre los sistemas sociales y ecológicos?; ¿en qué medida se trata a los sistemas sociales y ecológicos con respecto a la profundidad analítica?; ¿cómo seleccionar el marco apropiado para seleccionar un tema apropiado para el tema de investigación específico? (Turner y Carpenter, 1999) (Folke *et al.*, 2005) (Scholz, 2014).

Los sistemas socioecológicos (SES) se encuentran planteados en sistemas multinivel que brindan servicios esenciales para la sociedad, los mismos que se basan en el suministro de alimentos, energía y agua (Berkes y Folke, 2000). Las dinámicas, por otro lado, son los factores socioecológicos cambiantes con el tiempo, por ejemplo, ¿cómo y en qué medida cambian las estructuras sociales? o ¿cómo y en qué medida el aprendizaje en el sistema social juega un papel, o qué patrones de crecimiento o cambio ocurren dentro del sistema ecológico? (Binder *et al.*, 2013).

La literatura en torno al sistema socioecológico proporciona un marco útil para el desarrollo de mapas de vulnerabilidad al integrar los componentes socioeconómicos y biofísicos, haciendo de ésta una evaluación integral de la vulnerabilidad (Abson *et al.*, 2012). Muchos estudios de vulnerabilidad se vinculan a fenómenos naturales y posteriormente a la perspectiva social para poder mitigar futuros acontecimientos con medidas preventivas, aun así, se debe considerar que la exposición a dichos riesgos es irregular, así como su capacidad de respuesta y adaptación, incluyendo el tiempo y formas de acción (Berrouet *et al.*, 2018). En base a esto, uno de los conceptos más aceptados de vulnerabilidad social es el conjunto de atributos de un individuo o comunidad y que determina su capacidad para prever, resistir, soportar y reponerse al impacto de un evento brusco (Kok *et al.*, 2016).

Cuando se identifican varios aspectos de vulnerabilidad con algunas variables socioecológica se puede producir mapas de vulnerabilidad, los que actúan como poderosas herramientas visuales para identificar aquellas áreas más susceptibles a futuros cambios ambientales, y así lograr que dentro de las intervenciones políticas puedan abordarse los desafíos de esta problemática y reducir riesgos futuros (Abson *et al.*, 2012).

La vulnerabilidad es un fenómeno altamente complejo, donde los factores biofísicos y socioeconómicos afectan la exposición y sensibilidad (Adger, 2006). La combinación de múltiples indicadores de vulnerabilidad en índices de vulnerabilidad agregados debe superar la imposibilidad de comparación de las unidades en las que se pueden medir indicadores individuales (Adger, 2006). Un índice de vulnerabilidad basado en la normalización puede regresar puntuaciones similares en dos lugares donde esta es motivada por muy diferentes procesos (por ejemplo, pérdida de bosques o sequía). Probablemente ocurran múltiples tipos de vulnerabilidad simultáneamente

dentro de un sistema socioecológico y en respuesta a esto se puede argumentar que para brindar una investigación relevante para el uso en políticas locales, se debería cuantificar la vulnerabilidad en relación con un solo problema (Preston *et al.*, 2011).

En estudios de vulnerabilidad generalmente se profundiza en factores como: Exposición, Sensibilidad y la Capacidad de adaptación, siendo en primera instancia la presentación un factor que produce vulnerabilidad, de tal manera que si no hay planteamiento de un fenómeno particular, no existe riesgo (INE y PNUD, 2012). Esta Exposición al Cambio Climático puede darse por procesos internos naturales o fuerzas externas como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes (IPCC, 2013). Por otro lado, la Sensibilidad es el grado en que un sistema es forzado por variables antropogénicas e intrínsecas (Furniss *et al.*, 2013). Entre los estresores considerados de tipo antrópico y natural en el Ecuador, se encuentran: el cambio de uso de suelo, fragmentación, red vial, deforestación, minería, incendios, inundaciones, extracción de madera, erosión, movimiento en masas, especies invasoras y pendientes (Moncada *et al.*, 2000; Lewis *et al.*, 2004). La capacidad de adaptación incluidos los factores socioeconómicos institucionales, gobernanza y manejo se definen como aptitud, o el potencial de un sistema para tolerar, recuperarse o ajustarse exitosamente a cambios climáticos y antrópicos (IPCC, 2014); el análisis de la capacidad de adaptación se denominan amortiguadores y estos ayudan a la conservación de la biodiversidad, entre estos amortiguadores se reconocen las áreas protegidas, las que están relacionadas con acciones de conservación y son estimadas como una de las mejores opciones para la protección de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos (Naughton-treves *et al.*, 2005).

De acuerdo a estudios del Ministerio del Ambiente en colaboración con la GIZ y la Universidad Católica de Quito, se prevé una disminución de especies en la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo entre 27,94 y 40,2 por ciento, en los cuatro escenarios de desplazamiento de especies analizados y encaminados a líneas evolutivas, denominados como Escenarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI) A1B y A2A (Figura 1), este trabajo se enfoca en el estudio de 667 especies entre angiospermas, helechos, anfibios, reptiles y aves distribuidas en el territorio ecuatoriano (Cuesta *et al.*, 2015), los escenarios en los que se fundamenta la investigación de distribución de especies están basados en proyecciones de variables bioclimáticas y fisiográficas, con una proyección desde el año 2030 al 2060, los escenarios GEI de la línea evolutiva A1B se enfocan en un escenario equilibrado de uso de energías fósiles y alternativas, mientras que el escenario de GEI o línea evolutiva A2 involucra el crecimiento de población más elevado en los próximos años en comparación con el escenario A1B, cabe recalcar que la línea evolutiva (A2)

prevé un incremento en el CO₂ y sería el único escenario GEI donde la curva de emisiones se mantiene en crecimiento (IPCC, 2007) (Valdivia *et al.*, 005).

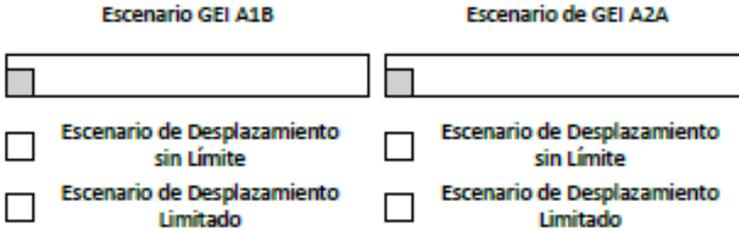


Figura 1. Escenarios de potenciales respuestas de acuerdo a niveles de desplazamiento.

Las potenciales respuestas de las especies de acuerdo a niveles de desplazamiento **sin límite** permiten que las especies colonicen el territorio con un clima idóneo, mientras que una capacidad de desplazamiento **limitada** se entiende que las especies solo podrán sobrevivir en sitios donde las condiciones climáticas se mantengan adecuadas (Cuesta *et al.*, 2015).

La Reserva de Producción Faunística de Chimborazo está representada con un 89,8 por ciento del área, debido a la presencia del páramo arenoso del Chimborazo (MAE, 2015), otra variable fundamental es la geología, ya que se ubica en una zona geológica de origen cuaternario representada por un estratovolcán llamado Chimborazo, la misma que presenta piroclastos primarios y retrabajados (cangahua); mientras que las faldas cercanas al cráter poseen domos constituidos por flujos de lava, andesítica y piroclastos, este tipo de formación cuaternaria presenta características erosionadas (Egües *et al.*, 2017).

Los Análisis de Componentes Principales (PCA) son una serie de herramientas de exploración de datos estadísticos, se basa en una ordenación de variables correlacionadas con diferentes atributos similares; en este caso, puntos en el espacio, y el conjunto de variables no correlacionadas que capturan la variabilidad en los datos subyacentes. Los PCA se pueden utilizar para identificar patrones dentro de datos multivariantes, por lo que se denomina un estudio no paramétrico y es independiente de cualquier hipótesis sobre distribución de probabilidad (Abdi y Williams, 2010).

Con la presente investigación se realizó un análisis de la Vulnerabilidad Socioecológica mediante la identificación y caracterización de aspectos socioecológicos, efectuando la conceptualización de cada criterio SES, identificación de la Escala, y ubicando las dinámicas e interacciones que pueda contener cada criterio SES. Los criterios SES pueden ser descritos también

como componentes de Exposición, Sensibilidad y Capacidad de Adaptación, mismas que se consideran en investigaciones realizadas por el IPCC. El análisis de índices de vulnerabilidad y el Análisis de Componentes Principales establece lineamientos estadísticos más robustos para la caracterización de diferentes vulnerabilidades y su distribución en la zona.

Metodología

Los criterios de los sistemas utilizados en la comparación, se relacionan con el contexto en el que se estudia los Sistemas Socio Ecológicos, describiendo las fuentes de información de donde provienen los análisis, es decir, el origen teórico de los criterios usados para la presente investigación.

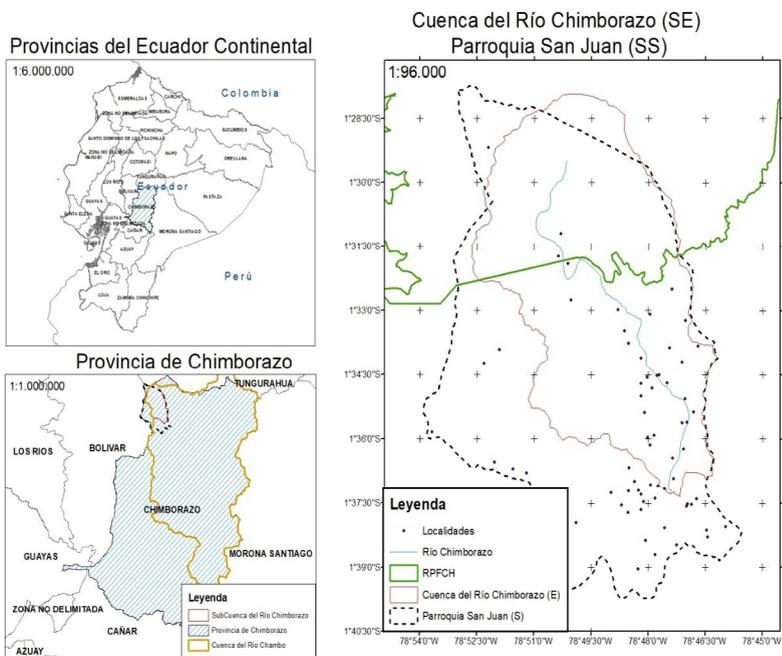


Figura 2. Ubicación de los sistemas: Cuenca del Río Chimborazo y Reserva de Producción Faunística Chimborazo (RPFCH).

Aspectos Socioecológicos

Selección de Criterios Socioecológicos

Los criterios usados, el propósito del desarrollo y las escalas; proporcionó una medida de evaluación de la vulnerabilidad socioecológica, una

estructura indicada y necesaria para permitir la retroalimentación en la toma de decisiones políticas dentro de la jurisdicción local, respecto a calidad ambiental y gestión para la reducción del impacto generado por adversidades naturales (Kristensen, 2004).

Debido a la asociación de Parroquia como un sistema social con políticas autónomas establecidas bajo legislación ecuatoriana, la relación tomada por parte del sistema ecológico se fundamenta en la Cuenca Hidrológica del río Chimborazo, tomando en cuenta las condiciones físicas y climatológicas propias del lugar, en este nivel de caracterización se observan las interacciones y dinámicas manifestadas (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios estructurales para el análisis de sistemas

<i>Criterios</i>	<i>Preguntas</i>	<i>Código de la pregunta</i>
<i>Sistema Social</i>		
Nombre del Sistema Social	¿Con que término se hace referencia al sistema social?	QSS 1.1
Escala del Sistema Social	¿Qué escalas incluye el sistema? (individuo, grupo, organización o sociedad)	QSS 2.2
Conceptualización del Sistema Social y su dinámica	¿Cómo se conceptualiza el sistema social?	QSS 3.1
	¿Cómo se consideran las dinámicas internas en el sistema social?	QSS 3.2
	¿Cómo se consideran las interacciones entre los niveles del sistema social?	QSS 3.3
<i>Sistema Ecológico</i>		
Nombre del Sistema Ecológico	¿Con qué termino se hace referencia al sistema ecológico?	QSE 1.1
Escala del Sistema Ecológico / Escala Espacial	¿En qué escalas espaciales se ha aplicado el criterio, por ejemplo escala Global, Regional, Nacional, Local?	QSE 2.1
Conceptualización del Sistema Ecológico y su dinámica	¿Cómo se conceptualiza el sistema ecológico?	QSE 3.1
	¿Se consideran diferentes niveles jerárquicos o el tipo de interacción?	QSE 3.2
	¿Cómo son las dinámicas dentro del sistema ecológico?	QSE 3.3

<i>Criterios</i>	<i>Preguntas</i>	<i>Código de la pregunta</i>
<i>Sistema Social</i>		
<i>Sistema Socioecológico</i>		
Conceptualización de las interacciones dentro del SES y sus dinámicas	¿Cómo se conceptualiza la interacción entre los sistemas sociales y ecológicos?	QSSE 1.1
	¿Cómo se conceptualizan las dinámicas entre el sistema social y el ecológico?	QSSE 1.2
Grado en que el Sistema Social y el Sistema Ecológico son tratados por igual.	¿Se tratan los sistemas sociales y ecológicos con la misma profundidad?	QSSE 2.1
Análisis – Orientación vs Acción – Orientación	¿Están los criterios de análisis y acciones orientados?	QSSE 3.1

Fuente: Binder *et al.*, 2013.

Las preguntas QSS1 nombrarán al sistema social como Parroquia San Juan, siendo una forma de delimitación asociada a la legislación ecuatoriana como política administrativa de “3er Nivel”; QSE1 se nombra al sistema ecológico como cuenca del río Chimborazo, siendo cuenca hidrográfica según su funcionamiento, un colector que recibe precipitación y convierte parte de esta en escurrimiento, es decir que su transformación depende de las condiciones climáticas y las características físicas propias del lugar (Gaspari *et al.*, 2012), de esta forma la unidad ecológica se fundamenta desde el enfoque hidrológico.

Vulnerabilidad

Combinando conjuntos de indicadores independientes e índices de Vulnerabilidad agregados, se puede brindar una visión general de la Vulnerabilidad Socio Ecológica (Füsselm, 2009), en el caso de datos de sequía vegetativa, estos cubren un período de 29 años. La elección de indicadores de vulnerabilidad eficientes es determinante para la confiabilidad de cualquier índice, sin embargo, existen problemas relacionados con la escala espacial para factores sociales, los que influyen para la definición de las zonas de vulnerabilidad socioecológica; para ello se realizó un análisis de la información utilizada, hallada en fuentes fidedignas, evitando la presencia de sesgos, siendo la principal adversidad evaluada, la sequía.

Se atienden dos aspectos fundamentales de vulnerabilidad en la presente investigación. Primero, los indicadores ambientales, que de cierta forma son

considerados una presión sobre los recursos biofísicos o tienen una presión sobre el bienestar de poblaciones, es decir, la sequía vegetativa presente en la zona. Y segundo, indicadores socioeconómicos de vulnerabilidad basado en los criterios socioecológicos como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicación de Criterios Estructurales para el análisis de sistemas en la cuenca del río Chimborazo

<i>Sistema Social</i>	
Nombre del Sistema Social	Parroquia San Juan
Escala del Sistema Social	Local / (Tabla 4)
Conceptualización del Sistema Social y su dinámica	Parroquia San Juan (Constitución del Ecuador, 2008) / (Tabla 4)
<i>Sistema Ecológico</i>	
Nombre del Sistema Ecológico	Cuenca del río Chimborazo (Gaspari et al., 2012) /
Escala del Sistema Ecológico	Local / (Tabla 5)
Conceptualización del Sistema Ecológico y su dinámica	Sistema Hidrológico Chimborazo (Gaspari et al., 2012) / (Tabla 5)
<i>Sistema Social Ecológico</i>	
Conceptualización de las interacciones dentro del SES y sus dinámicas	Ver Criterios SES del SSE (Tabla 6)
Grado en que el Sistema Social y el Sistema Ecológico son tratados por igual	Ver Criterios SES del SSE (Tabla 6)
Análisis – Orientación vs Acción – Orientación	Ver Criterios SES del SSE (Tabla 6)

PCA

Todos los PCA se llevaron a cabo utilizando el programa PAST 4.01 (Hammer *et al.*, 2001). Se aplicaron pruebas de correlación por pares para reducción de métricas a subconjuntos, mediante el uso de una matriz de correlación para los análisis de PCA, ya que esto estandariza los datos y evita posibles sesgos derivados de la inclusión de datos con diferentes escales y rangos. La elección de PC se basó en parte en el juicio subjetivo y la interpretabilidad de los componentes (Srivastava, 2002).

Normalización

Fue necesario el uso de la herramienta ArcGIS 10.3 y ENVI 3.2 para el análisis de los componentes principales de los datos obtenidos en los criterios de los sistemas socioecológicos.

Las 16 variables se normalizaron espacialmente a una escala de 0 a 1 usando la ecuación:

$$d \frac{1}{4} (c_{\text{cmin}}) / (c_{\text{max}} - c_{\text{min}}) \quad (1)$$

Donde d es el valor original y c_{min} y c_{max} los valores mínimos y máximos de datos, respectivamente; finalmente las variables normalizadas se sumaron y los resultados se normalizaron de nuevo para proporcionar un índice de vulnerabilidad final con un rango de 0 a 1 y así permitir la comparación directa con el PCA.

Tabla 3. Índices normalizados de Vulnerabilidad

Valores	Vulnerabilidad de aspectos espacialmente discretos
0.8-1	Muy alta
0.6-0.8	Alta
0.4-0.6	Media
0.2-0.4	Baja
0-0.2	Muy baja

Fuente: elaboración propia.

Por último, se define una auto relación espacial para establecer el nivel en que tanto objetos como actividades mantengan una unidad geográfica similar a otros, es decir, se definen las concentraciones o dispersiones de los valores de una variable (Goodchild, 2007). En la presente investigación se aplicó la autocorrelación espacial de las superficies de Moran (1950), donde los valores van entre +1 y -1, siendo los valores positivos (+1) los que indican una correlación positiva o con perfecta concentración, mientras que, valores negativos (-1) indican una correlación negativa, donde existe una perfecta dispersión de los datos; y el valor intermedio que es 0, indica patrones espaciales aleatorios.

Resultados

Se seleccionaron 13 criterios socioecológicos para la presente investigación. y se procedió a la descripción mediante el marco DPSIR, el que en primera instancia describe el fundamento teórico para cada criterio, el año de

representatividad y la fuente de datos (Cuadro 4). Estos criterios pueden considerarse variables espacialmente discretas en el momento de generar los PCA y el índice de Vulnerabilidad.

Tabla 4. Criterios Socioecológicos

<i>Criterios</i>	<i>Descripción</i>	<i>Año de representatividad</i>	<i>Fuente de datos</i>
VHI	Índice de sequía vegetativa indica el estado de salud de la vegetación	1991-2016	Rosero, Beltrán, y Cuadrado, 2020
MNDWI	Índice de estrés hidrológico, representa el déficit de agua en la CRC, Nivel de impacto entre períodos (1991-2007 y 2007 al 2016)	1991-2016	Rosero <i>et al.</i> , 2020
Numero de Curva CN	Variable hidrológica que determina la cantidad de escorrentía superficial presente en una cuenca hidrográfica	2019	Rosero <i>et al.</i> , 2019
Turbiedad de agua (TA)	Indicativo de probabilidad de contaminación microbiológica por compuestos tóxicos e indica mayor dificultad de desinfección efectiva de agua	2018	Berrones y Moreta, 2018
DBO5	Demanda biológica de oxígeno	2018	Berrones y Moreta, 2018
DQO	Demanda química de oxígeno	2018	Berrones y Moreta, 2018
Coliformes Fecales (CF)	Indicador de calidad de agua	2018	Berrones y Moreta, 2018
Vías de acceso (VA)	Estado de las vías	2013	IGM
Educación (ED)	Ubicación de centros educativos	2014	Ministerio de Educación
Desnutrición crónica, severa y leve (DC, DS, DL)	Salud en niños de 0 a 5 años de edad	2018	Ministerio de Salud

<i>Criterios</i>	<i>Descripción</i>	<i>Año de representatividad</i>	<i>Fuente de datos</i>
Conocimiento del cambio de recursos (CCR)	Conocimiento intrínseco en base a encuestas sobre cambios de la cobertura de suelo, usos de suelo, quema y afectación sobre sus medios de vida	2019	Encuesta
Valor del Recurso (VR)	Valor intrínseco dado por las comunidades con respecto al recurso	2019	Encuesta
Área Protegida (AP)	Existencia de una Reserva de Producción Faunística Chimborazo	2015	Ministerio del Ambiente

Fuente: elaboración propia.

Descripción de los criterios socioecológicos

VHI o **Índice de Salud de la Vegetación** (VHI, por sus siglas en inglés) evalúa el evento de sequía orientado a las zonas agrícolas en tiempo y espacio (Rojas, Li y Cumami, 2015). Este al ser un índice el que enfoca características físicas de la CRC se tomó como referencia al momento de identificar la adversidad presente en diferentes tiempos de análisis.

El **Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado** (MNDWI, por sus siglas en inglés) es un índice utilizado con mucha frecuencia para el control del riego en tiempo real mejorando significativamente las actividades agrícolas (Xu, 2006).

Tabla 5. Criterios SES (Sistemas Estructurales) para el SS (Sistema Social)

<i>Criterios de SES</i>	<i>QSS 3.1 Conceptualización</i>	<i>QSS 2.2 Escala</i>	<i>QSS 3.2 Dinámicas</i>	<i>QSS 3.3 Interacciones</i>
VHI	La conceptualización se enfoca en el sistema social como el impulsor de cambios en la cobertura de suelo a través del tiempo, y este como generador de la variabilidad de estrés vegetativo	Incluye todos los niveles jerárquicos	Dinámicas sociales no son conceptualizadas	Micro

<i>Criterios de SES</i>	<i>QSS 3.1 Conceptualización</i>	<i>QSS 2.2 Escala</i>	<i>QSS 3.2 Dinámicas</i>	<i>QSS 3.3 Interacciones</i>
MNDWI	La conceptualización social se enfoca en el sistema social como el impulsor de cambios en la cobertura de suelo a través del tiempo, y este como generador de la variabilidad del estrés hídrico	Social y ecológico	Dinámicas sociales no son conceptualizadas	Micro
CN	Este parámetro hidrológico se conceptualiza desde el enfoque social como una variable de cambio social a partir del cambio de cobertura de suelo	Social y Ecológico	Las dinámicas se enfocan desde las actividades humanas que causan un cierto nivel de impacto, medios de vida sobre características ecológicas	Micro
TA	Este parámetro es impactado debido al desvío del cauce natural	Interesados locales	Dinámicas sociales no son conceptualizadas	Micro
DBO5	Demanda de oxígeno valora el grado de carga de aguas residuales presentes en el medio	Interesados locales	Dinámicas sociales no son conceptualizadas	Micro
DQO	Demanda química de oxígeno es una medición indirecta de las cantidades de materia orgánica que se tomó en una muestra	Interesados locales	Dinámicas sociales no son conceptualizadas	Micro
CF	Una amenaza de carácter social, enfocada a la contaminación de aguas. Las presiones demográficas sin el suficiente abastecimiento de alcantarillado sanitario y las malas prácticas agropecuarias generan impactos sociales graves	Interesados locales	La dinámica se centra en la contaminación ambiental	Micro
VA	Enfoque físico con valor socio-económico, la accesibilidad es un factor importante para la producción	Tomadores de Decisión	La dinámica se centra en la accesibilidad (cercanía o lejanía) a recursos o medios de vida presentes en la zona de estudio	Macro-<->Micro

<i>Crterios de SES</i>	<i>QSS 3.1 Conceptualización</i>	<i>QSS 2.2 Escala</i>	<i>QSS 3.2 Dinámicas</i>	<i>QSS 3.3 Interacciones</i>
ED	Se conceptualiza como un valor físico o de espacio donde se desarrolla de forma íntegra la sociedad	Tomadores de Decisión	La dinámica se centra en los procesos de aprendizaje y la accesibilidad con enfoque de cercanía o lejanía del recurso	Micro
DC, DS, DL	Se conceptualiza desde el enfoque social como una de las principales amenazas para el desarrollo y supervivencia de las sociedades	Tomadores de Decisión	La dinámica está impulsada por malas prácticas agropecuarias y la falta de recursos para la mejora en calidad de agua	Macro-<Micro
CCR	Se conceptualiza desde el enfoque social como un valor intrínseco fundamentado en conocimientos sociales desarrollados a través del tiempo	Interesados Locales	La dinámica se centra en los procesos de aprendizaje	Micro
VR	Se conceptualiza desde el enfoque social como un valor intrínseco fundamentado en la valorización que se da a los recursos asociados a las formas de vida	Interesados Locales	La dinámica se centra en los procesos de aprendizaje	Micro
AP	Se conceptualiza desde el enfoque social como una medida de conservación de los recursos asociada a la toma de decisiones a partir de la generación de conocimientos socioambientales	Social Ecológico	Los impulsores de la dinámica son los procesos de recolección de conocimientos técnicos para la generación de medidas de conservación y adaptación	Micro

Tabla 6. Criterios SES (Sistemas Estructurales) para el SE (Sistema Ecológico)

<i>Crterios de SES</i>	<i>QSE 3.1 Conceptualización</i>	<i>QSE 2.1 Escala</i>	<i>QSE 3.2 Dinámicas</i>	<i>QSE 3.3 Interacciones</i>
VHI	Se conceptualiza como una amenaza de carácter natural, una sequía evaluada a través del tiempo	LOCAL	La dinámica se centra en la conservación y manejo de agua	Micro

<i>Criterios de SES</i>	<i>QSE 3.1 Conceptualización</i>	<i>QSE 2.1 Escala</i>	<i>QSE 3.2 Dinámicas</i>	<i>QSE 3.3 Interacciones</i>
MNDWI	Se conceptualiza como una amenaza de carácter natural, el déficit hídrico por falta de precipitación o debido al cambio de cobertura de suelo	LOCAL	La dinámica se centra en la medición del estado de la sequía vegetativa en el entorno	Micro
CN	Se conceptualiza como los niveles de escorrentía superficial asociada a la cobertura de suelo actual	LOCAL	La dinámica no se conceptualiza	Micro
TA	Se conceptualiza como la cantidad de partículas suspendidas en el cauce natural	LOCAL	La dinámica es socioecológica, se centra en las presiones humanas sobre el ecosistema	Micro
DBO5	Demanda de Oxígeno valora el grado de carga de aguas residuales presentes en el medio	LOCAL	La dinámica se centra en las características hidrológicas	Micro
DQO	Demanda química de oxígeno es una medición indirecta de las cantidades de materia orgánica que se tomó en una muestra	LOCAL	La dinámica se centra en la identificación de especies importantes en la RPFCH	Micro
CF	Es conceptualizada como una medida de contaminación ambiental generada por malas prácticas ambientales	LOCAL	La dinámica no se aborda en detalle	Micro
VA	La conceptualización desde el punto de vista de accesibilidad, más tiene un enfoque de recurso físico de importancia para el desarrollo socioeconómico	LOCAL	Dinámicas ecológicas no son conceptualizadas	Macro-<->Micro
ED	La conceptualización desde el punto de vista de accesibilidad al recurso educativo	LOCAL	Dinámicas ecológicas no son conceptualizadas	Micro
DC, DS, DL	La conceptualización en estos factores más tiene un sentido de sensibilidad del sistema macro	LOCAL	Dinámicas ecológicas no son conceptualizadas	Macro-<->Micro

<i>Criterios de SES</i>	<i>QSE 3.1 Conceptualización</i>	<i>QSE 2.1 Escala</i>	<i>QSE 3.2 Dinámicas</i>	<i>QSE 3.3 Interacciones</i>
CCR	La conceptualización en el factor de conocimiento del recurso más tiene un sentido de capacidad de adaptación localizada en la CRC	LOCAL	Dinámicas ecológicas no son conceptualizadas	Micro
VR	La conceptualización en el factor de valoración del recurso tiene más sentido desde el enfoque de capacidad de adaptación localizada en la CRC	LOCAL	Dinámicas ecológicas no son conceptualizadas	Micro
AP	Se conceptualiza como un recurso tangible e intangible para la generación de políticas de manejo. Tiene un enfoque de capacidad de adaptación	LOCAL	La dinámica ecológica es basada en la calidad de los ecosistemas presentes en la zona	Micro

Tabla 7. Criterios SES (Sistemas Estructurales) para el SSE (Sistema Socio-Ecológico)

<i>Criterios de SES</i>	<i>Conceptualización de la Interacción SE</i>	<i>QSSE 1.1</i>	<i>QSSE 1.2</i>	<i>QSSE 2.1</i>	<i>QSSE 3.1</i>
VHI	Las presiones humanas generadas por malas prácticas ambientales generan un impacto en la salud vegetativa en la CRC	Producto de la dinámica entre condiciones meteorológicas y cambio de cobertura de Suelo	S<->E	E>S	Análisis orientado
MNDWI	Las presiones humanas generadas por malas prácticas ambientales generan un impacto en el déficit hídrico en la CRC	Producto de la dinámica entre condiciones meteorológicas y cambio de cobertura de suelo	S<->E	E>S	Análisis orientado
CN	Las presiones humanas generadas por malas prácticas ambientales generan un impacto en el balance hídrico y mayor lavado de nutrientes en el suelo dentro de la CRC	Producto de la dinámica entre condiciones meteorológicas y cambio de cobertura de suelo	S<->E	E>S	Análisis orientado
TA	Las presiones humanas generan alteraciones en el flujo del cauce natural	No Conceptualizada	S->E	S ≈ E Antropocéntrico	Análisis orientado

<i>Criterios de SES</i>	<i>Conceptualización de la Interacción SE</i>	<i>QSSE 1.1</i>	<i>QSSE 1.2</i>	<i>QSSE 2.1</i>	<i>QSSE 3.1</i>
DBO5	Las presiones humanas tienen una interacción con el flujo y contaminación del cauce natural	No Conceptualizada	S->E	S = E Antropocéntrico	Análisis orientado
DQO	Las presiones humanas tienen una interacción con el flujo y contaminación del cauce natural	No Conceptualizada	S->E	S = E Antropocéntrico	Análisis orientado
CF	La contaminación por coliformes fecales tiene un impacto en el recurso agua en la CRC	No Conceptualizada	S->E	S>E Antropocéntrico	Análisis orientado
VA	Las vías de acceso impactan a los recursos expuestos por la intervención de medios de vida en la zona, por otro lado, se conceptualiza como un indicador impulsor de la economía local	No Conceptualizada	S->E	S>E Antropocéntrico	Acción orientada
ED	Los establecimientos educativos fortalecen los conocimientos y el valor que se le da a los recursos, el acceso a los establecimientos educativos ayuda al fortalecimiento del conocimiento y valoración socioecológica	No Conceptualizada	S->E	S>E Antropocéntrico	Acción orientada
DC, DS, DL	La desnutrición se conceptualiza como la interacción del recurso agrícola y su aporte en la seguridad alimentaria	No Conceptualizada	S->E	S>E Antropocéntrico	Análisis orientado
CCR	El conocimiento de los impactos generados sobre el Recurso es una fuente intrínseca de conservación de los recursos naturales	No Conceptualizada	S->E	S>E Antropocéntrico	Análisis orientado
VR	La valoración de los impactos sobre el recurso es una fuente intrínseca de conservación de los recursos naturales	No Conceptualizada	S->E	S>E Antropocéntrico	Análisis orientado

Crterios de SES	Conceptualización de la Interacción SE	QSSE 1.1	QSSE 1.2	QSSE 2.1	QSSE 3.1
AP	El área protegida es una fuente de conocimiento y buenas prácticas para la conservación de los recursos naturales	Aspecto dinámico entre conocimiento social y ecológico. Conservación socioecológica	S<->E	E<->S Eco-céntrico	Acción orientada

Fueron tres los componentes principales identificados por el PCA para el análisis de la CRC, juntos representaron un 66% de la variación en las 13 variables originales, el cuarto componente principal solo el 7.8% adicional de la variabilidad total de datos, mientras que, la carga de factores está dominada por educación, vías, desnutrición crónica, desnutrición leve, MNDWI, VHI (Tabla 6). El componente principal se encuentra cargado con el conocimiento del cambio del recurso, la valoración dada al recurso, la reserva de producción faunística Chimborazo y el número de curva o escorrentía superficial. El PC2 está cargado por la educación, las vías de acceso el MNDWI y el VHI. El PC3 se cargó con desnutrición leve, desnutrición crónica y coliformes fecales encontrados en la zona (Tabla 6).

Tabla 8. Componentes principales retenidos para el análisis espacial de la vulnerabilidad socioecológica

	PC 1	PC 1	PC 3
MNDWI	0.16241	0.41642	-0.014471
VHI	0.09204	0.47418	0.026547
TA	-0.38082	0.1065	0.20981
DBO5	-0.38758	0.17598	-0.10084
DQO	-0.3829	0.17519	-0.11282
CF	-0.30665	-0.034249	0.35388
ED	0.15182	0.50338	0.06001
VIA	-0.030669	0.41501	0.21088
DS	0.11758	-0.11458	0.19404
DC	0.11489	-0.060512	0.56782
DL	0.17505	-0.069746	0.53111
CCR	0.25325	-0.010498	0.2243
VR	0.36044	-0.15068	-0.20799
RPFCH	0.32406	0.23951	-0.13168
CN	0.22034	0.010692	-0.076172

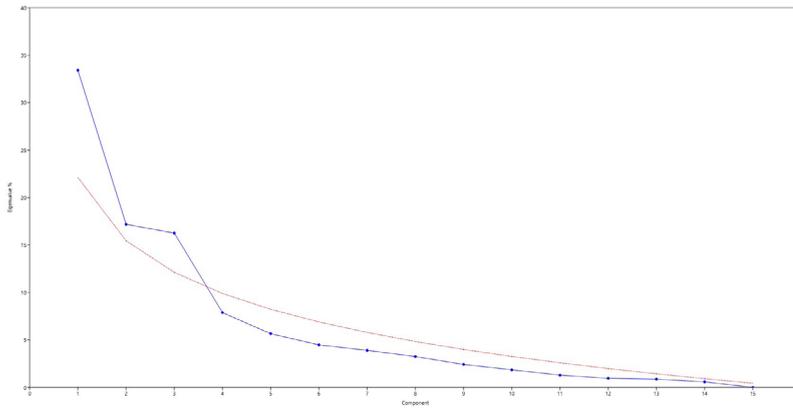
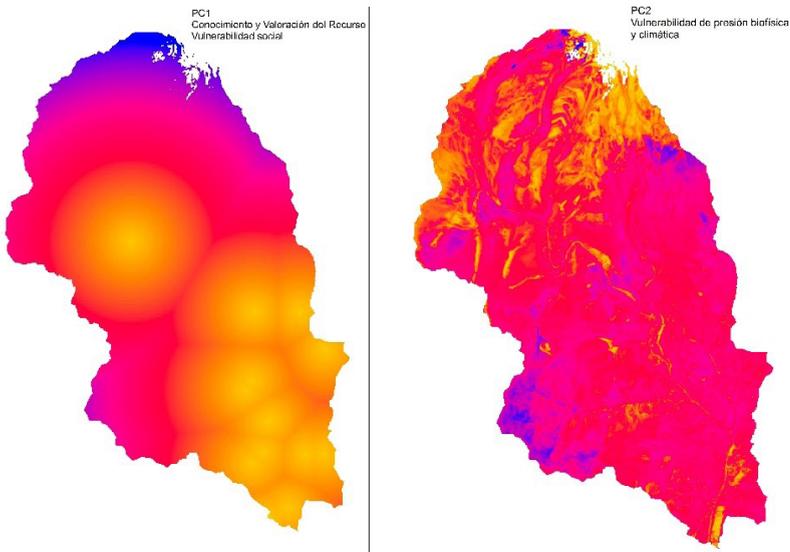
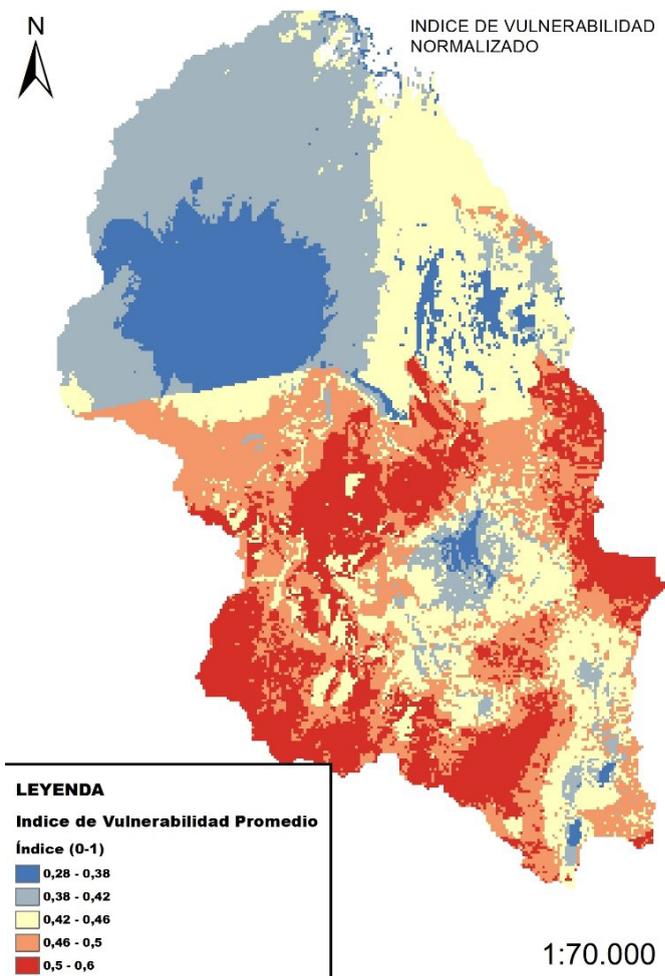


Figura 3. Aspectos espacialmente discretos de Vulnerabilidad socioecológica.



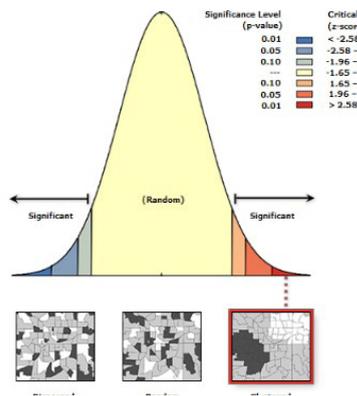
La Figura 3 indica que hay diferencias regionales en las fuentes de Vulnerabilidad socioecológica. El conocimiento y la valoración dada hacia los recursos que tienen dominan la Vulnerabilidad Socioecológica (PC1), mientras que las presiones que afectan el clima en un espacio físico, son altas en la Cuenca Baja del río Chimborazo, la vulnerabilidad en alimentación y



calidad de agua se ven incrementadas de igual forma en la Cuenca Baja del río Chimborazo a pesar de estar en una zona potencialmente agropecuaria. El índice normalizado de Vulnerabilidad proporciona espacios menos heterogéneos como se observa en la Figura 4b, dado el puntaje z de 16.35, hay una probabilidad de menos del 1% de que este patrón agrupado podría ser el resultado de una probabilidad aleatoria, es decir, que podemos observar patrones de distribución agregados, del mismo modo podemos distinguir los patrones de distribución en los PC 1, 2 y 3 donde la distribución de igual forma presenta sitios agregados, ya que el índice de Morans es más alto, por otro lado, se tiene una media de índices de vulnerabilidad en toda la Cuenca del río Chimborazo relacionados con vulnerabilidades medias que van de 0.28 a 0.60 (Figura 3).

a)

	PC1	PC2	PC3
Moran's Index:	0,921149	Moran's Index: 0,440621	Moran's Index: 0,934155
Expected Index:	-0,002033	Expected Index: -0,002033	-0,002033
Variance:	0,001076	Variance: 0,001066	0,001075
z-score:	28,140518	z-score: 13,558712	z-score: 28,556592
p-value:	0,000000	p-value: 0,000000	p-value: 0,000000



b)

Índice de Vulnerabilidad	
Moran's Index:	0,527013
Expected Index:	-0,002033
Variance:	0,001047
z-score:	16,352403
p-value:	0,000000

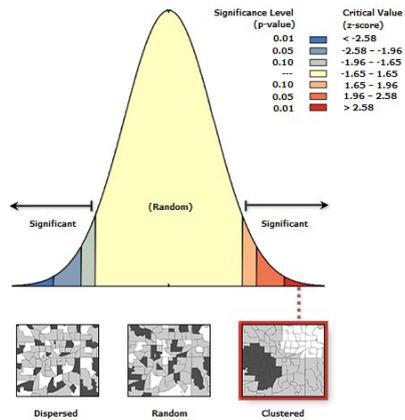


Figura 4. Distribución espacial índice de Morans.

Discusión

Todas las figuras de vulnerabilidad reflejan conjunto de datos y métodos que sustentan el análisis, los que van a ser la base para la elección de indicadores o variables, donde la escala en la que se esté trabajando nos ofrecerá un contexto, ya sea similar o dispar al que se observa en la presente investigación. Para este caso en particular se trató de trabajar con las variables a escala local detallados bajo el criterio de Sistemas Estructurales para los Sistemas Ecológicos y Sociales, respectivamente (Binder *et al.*, 2013) (Abson *et al.*, 2012). Los indicadores o criterios SES fueron elegidos a través de investigación exploratoria, donde se determinó por la disponibilidad limitada de geoinformación. Cabe recalcar que existen criterios SES importantes de vulnerabilidad socioecológica como valores intrínsecos propios de las sociedades como el conocimiento y el valor que se le asigne a los cambios de los recursos naturales presentes en la zona, además, desde el punto de vista ecológico la identificación de adversidades como la sequía es una limitante importante para la consideración de estas vulnerabilidades, debido a que nos brinda características importantes por su mutualidad con sus medios de vida; por otro lado, está la contaminación ambiental generada en el recurso hídrico presente en la cuenca baja del río Chimborazo, representada, según el concepto de índice de Vulnerabilidad como una Cuenca del río Chimborazo con impacto medio, en vista de presiones generadas por los criterios SES.

Es necesario tomar en cuenta las desventajas de la PCA, una de estas es la imposibilidad de establecer ponderaciones con respecto a la importancia de los indicadores e índices resultantes, ya que, cada indicador o criterio SES se lo trata con la misma importancia para la generación de la figura Vulnerabilidad, y en virtud de esto, el aspecto de Vulnerabilidad considera un aspecto relativo más no absoluto, por ejemplo, para las sociedades puede ser más apremiante la disminución de la contaminación hídrica que el propio factor de vulnerabilidad impulsado por las sequías. Los formuladores de decisiones a través del análisis de PCA e Índices Normalizados pueden ser una herramienta eficaz para el desarrollo y la identificación de zonas con alta vulnerabilidad; en particular, esta investigación determina que mediante el enfoque de PCA para el mapeo de vulnerabilidades no se deforma el término de criterios socioecológicos; sino más bien permite analizar que los resultados presentados se derivan de múltiples variables llamadas criterios SES, que pueden ser clasificados como exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación como se propone en varios estudios de esta índole, es necesario enfatizar que este mapeo proporciona información sumamente útil para los tomadores de decisiones.

Los PCA deben considerarse un punto de partida para estudios de vulnerabilidad socioecológica, ya que su aplicación va a contribuir a

decisiones políticas acertadas, sin embargo, se hallan aún problemas sin resolver como el uso de indicadores que reflejen una misma escala local; es preciso destacar que es fundamental el estudio de otras amenazas provocadas por el ser humano como la quema de pajonal para el incremento de la frontera agrícola, las transiciones paisajísticas con plantaciones forestales y el impacto generado por estas actividades antrópicas.

Conclusión

En la presente investigación se utilizó el análisis de componentes principales basada en un conjunto de variables recolectadas en campo. El análisis de Componentes Principales de la vulnerabilidad socioecológica a partir de la creación de un Sistema Estructural (SES) tanto para los sistemas sociales y ecológicos se fundamenta en un análisis previo a nivel de conceptualización de criterios en el sistema socioecológico, escala, dinámica e interacciones para lograr comprender las relaciones existentes en cada variable analizada.

La Vulnerabilidad es espacialmente discreta, con algunas zonas caracterizadas con distintos tipos de la misma. Como se observa en la presente investigación mediante el método de PCA e Índices de Vulnerabilidad por su amplio y consolidado conjunto de indicadores de vulnerabilidad individual y uso de variables fáciles de visualizar, nuestro análisis sugiere que hay una necesidad de considerar la escala al usar PCA para generar vulnerabilidades dispersas, dado que se puede observar que para cada uno de los análisis de patrones espaciales se componen de distribuciones espaciales agregadas más no dispersas.

Bibliografía

- Abdi, H. y Williams, L. (2010). *Principal component analysis*. John Wiley y Sons, Inc., 433-459. DOI: <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Abson, D. J., Dougill, A. J. y Stringer, L. C. (2012). Using Principal Component Analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa. *Applied Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.08.004>
- Adger, W. N. (2006). *Vulnerability*. *Global Environmental Change*, 16, 268-281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Berkes, F. y Folke, C. (2000). *Linking social an ecological system: management practices and social mechanisms for building resilience*. University of Manitoba, Ed.: Canada. <https://www.cambridge.org/vi/academic/subjects/life-sciences/ecology-and-conservation/linking-social-and-ecological-systems-management-practices-and-social-mechanisms-building-resilience?format=PB>
- Berrones, J. y Moreta, J. (2018). *Evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del río Chimborazo en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Berrouet, L. M., Machado, J. and Villegas-Palacio, C. (2018). *Vulnerability of socio-ecological systems: A conceptual Framework. Ecological Indicators*.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051>
- Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W. G. and Pahl-wostl, C. (2013). *Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. Resilience Alliance*.
DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Brooks, N. (2003). *A conceptual framework Vulnerability , risk and adaptation: A conceptual framework*. Tyndall Centre for Climate Change Research, (November). <https://pdfs.semanticscholar.org/01b2/0f52b177e3e441ad37ec6324ef43d78e42c4.pdf>
- Constitución del Ecuador. Constitución de la República del Ecuador*, Pub. L. No. Artículo 242, 1 (2008). Quito-Ecuador: Organización Territorial del Estado.
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Cuesta, F., Merino-Viteri, A., Muriel, P., Baquero, F., Freire, J., Torres, O. and Peralvo, M. (2015). *Escenarios de impacto del Cambio Climático sobre la biodiversidad en el Ecuador Continental*. Quito-Ecuador.
http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/Biodiversidad/IT/Escenarios_CC_Bio_SNAP_Ecuador_2015.pdf
- Egües, A., Gaona, M. y Albán, A. (2017). Mapa Geológico de la República del Ecuador 2017. Quito-Ecuador. <https://drive.google.com/file/d/1qYhMc4PKBg38Y-2dOm-RogOH8i5JMcu/view>
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P. and Norberg, J. (2005). *Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. Ecosystems*, (May 2014).
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Furniss, M., Roby, K., Cenderelli, D., Chatel, J., Clifton, C., Clingenpeel, A., Weinhold, M. (2013). *Assessing the Vulnerability of Watersheds to Climate Change. EEUU*.
https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr884.pdf
- Füsselm, H.-M. (2009). *Development and Climate Change*. Germany.
https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/9193/WDR2010_0004.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gaspari, F. J., Rodríguez, A., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revistas UNLP*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/25777/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Goodchild, M. F. (2007). A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 37-41.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02693798708927820>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. (2001). *Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*, 4(1), 1-9.
- INE and PNUD. (2012). *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático*. elaborado por Instituto Nacional de Ecología, México.
http://climasaludal.org/resources/images/public/avirtuales/cuarta_conferencia/140923_guia_metodologica.pdf

- IPCC (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- IPCC (2013). Climate Change 2013 The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by. Cambridge. Retrieved from http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., Turner, B. L., Hsieh, W. and Schiller, A. (2012). *Vulnerability to global environmental change. In The Social Contours of Risk: Volume II: Risk Analysis, Corporations and the Globalization of Risk.* DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849772549>
- Kok, M., Lüdeke, M., Lucas, P., Sterzel, T., Walther, C., Janssen, P. and de Soysa, I. (2016). A new method for analysing socio-ecological patterns of vulnerability. *Regional Environmental Change.* <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0746-1>
- Kristensen, P. (2004). The DPSIR Framework. Workshop on a Comprehensive / Detailed Assessment of the Vulnerability of Water Resources to Environmental Change in Africa Using River Basin Approach, 10. <https://www.ifremer.fr/dce/content/download/69291/913220/.../DPSIR.pdf>
- Lewis, S. L., Malhi, Y. and Phillips, O. L. (2004). Fingerprinting the impacts of global change on tropical forests. *The Royal Society, (February)*, 437-462. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1432>
- MAE (2015). *Análisis de vulnerabilidad ante riesgos naturales hidrometeorológicos en las áreas protegidas del Ecuador continental.* Quito. <http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/Biodiversidad/IT/Riesgos Final.pdf>
- Moncada, M., Vázquez, M., López, A. and Hernández, P. (2000). *EcoCiencia-REGAL Ecuador NCSA Perfil temático en biodiversidad.* Quito-Ecuador.
- Naughton-treves, L., Holland, M. B. and Brandon, K. (2005). The Role of Protected Areas in Conserving Biodiversity and Sustaining Local Livelihoods. *Annual Reviews*, 37. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.164507>
- Preston, B., Yuen, E. and Westaway, R. (2011). *Putting vulnerability to climate change on the map: A review of approaches, benefits, and risks* *Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks.* *Sustain Sci*, (July). <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0129-1>
- Rojas, O., Li, Y. and Cumami, R. (2015). Entendiendo el impacto de sequía provocada por El Niño en el área agrícola mundial: una evaluación utilizando el Índice de Estrés Agrícola de la FAO (ASI). Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/a-i4251s.pdf>

- Rosero, C., Beltrán, A. and Cuadrado, J. (2020). Evaluación de la sequía vegetativa mediante sensores remotos: Estudio de caso en la Cuenca del Río Chimborazo-Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 5(06), 228-259. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i6.1477>
- Rosero, C., Beltrán, A. y Santillán, M. (2019). Actualización de la cobertura de suelo mediante teledetección para la estimación del umbral de escorrentía en la Cuenca del Río Chimborazo threshold in the Chimborazo River Basin. *Ciencia Digital*, 3, 39-59. <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/517>
- Scholz, R. W. (2014). Environmental Literacy in Science and Society From Knowledge to Decisions, (January 2011). DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511921520>
- Scholz, R. W. & Binder, C. (2018). *The Paradigm of Human-Environment Systems*, (January 2003). https://www.researchgate.net/publication/239548218_The_Paradigm_of_Human-Environment_Systems/link/5c1518274585157ac1c42e62/download
- SENAGUA. (2009). Delimitación y codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador Escala 1:250000. Quito-Ecuador. <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/delimitacion-codificacion-Ecuador.pdf>
- Srivastava, M. (2002). *Methods of Multivariate Statistics*. Wiley-Interscience. <http://www.utstat.toronto.edu/~srivasta/solns.pdf>
- SUR UICN (2009). *Manual de Procedimientos de Delimitación y codificación de Unidades Hidrográficas: Caso Ecuador*. Quito, Ecuador. https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/Manual_de_procedimientos.pdf
- Turner, M. G. and Carpenter, S. R. (1999). *Tips and Traps in Interdisciplinary Research. Ecosystems*, (May 2014). DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00010895>
- Valdivia, C., Wittmaack, M. & Ceéda, J. (2005). *Modelos Climáticos, Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Escenarios Climáticos*, Chile. https://www.parc.ca/mcri/pdfs/WP_2_b.pdf
- Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, (March), 10. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>