

Índice de Estado Ecosistémico de Barrancas (IEEB); una metodología para evaluar barrancas urbanas

**Dr. Víctor Gutiérrez Pacheco,
Dra. Sonia Emilia Silva Gómez y
M. en C. Laura Leonor Varela Olguín**
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Resumen

Las barrancas son formaciones geológicas características de la ciudad de Puebla y de otras ciudades del Altiplano Central de México. Actualmente sufren procesos de degradación, que comprometen su viabilidad, en acciones como disposición de contaminantes sólidos y líquidos, asentamientos humanos irregulares, extracción de materiales pétreos, deforestación, invasión de especímenes exógenos y sobrepastoreo, entre otros. Esto a pesar de evidencias en el sentido de que las barrancas urbanas proveen servicios ecosistémicos a la urbe como: control de la erosión y formación de suelo, control de inundaciones, recarga de acuíferos, refugio y hábitat de especies residentes y migratorias, y regulación del clima local y global, entre otros. Para una ciudad como Puebla, con carencia de espacios arbolados y áreas de conservación ecológica, las barrancas se constituyen en los pocos espacios con potencial para contribuir a abatir dicho déficit, de ahí que se precisa actuar hacia su recuperación y conservación, para lo cual se hace necesario generar metodologías que provean información sobre las mismas. El objetivo de este trabajo fue el desarrollar una metodología de evaluación de barrancas urbanas, ante su inexistencia, que provea información sobre el estado ecosistémico en que se encuentran, así como probar dicha metodología en dos barrancas de la ciudad. A través de técnicas cualitativas multicriterio, se diseñó una metodología de diagnóstico simplificada, que conforma el Índice de Estado Ecosistémico de Barrancas (IEEB), el cual se aplicó en las barrancas Malinalli y El Conde. El IEEB quedó conformado por 9 indicadores, cuyo eje central es la evaluación del componente forestal leñoso, así como de otros elementos propios de la presencia antrópica. De acuerdo al IEEB, la barranca Malinalli

presentó un estado ecosistémico excelente, mientras la barranca El Conde un estado pobre, conforme a una escala propuesta de cinco valores. La aplicación del índice permitió observar el comportamiento independiente entre los indicadores, su capacidad para describir las condiciones de las barrancas y su sensibilidad a las diferencias ecosistémicas de las mismas. Así como contrastar las condiciones de las barrancas, producto de la actividad antrópica en los sitios.

Abstract

The ravines are characteristic geological formations of the city of Puebla and other cities of the Central Highlands of Mexico. Currently, they are suffering degradation processes, that risk their viability. Actions like disposal of solid and liquid pollutants, irregular human settlements, extraction of stone materials, deforestation, invasion of exogenous specimens and overgrazing, among others are common, despite the evidence that has shown that urban ravines provide ecosystem services to the city such as: erosion control and soil formation, flood control, aquifer recharge, refuge and habitat for resident and migratory species, and regulation of the local and global climate, among others. For a city like Puebla, with a lack of wooded spaces and ecological conservation areas, the ravines constitute the few spaces with the potential to contribute to reducing this deficit. Hence, it is necessary to act towards their recovery and conservation. For this reason, it is necessary to generate methodologies that provide information about them. The objective of this work was to develop a methodology for evaluating urban ravines, since it doesn't exist, that provides information on the ecosystem state in which they are found, as well as testing this methodology in two city ravines. Through qualitative multicri-

teria techniques, a simplified diagnostic methodology was designed, which makes up the Ravines Ecosystem State Index (RESI), which was applied in the Malinalli and El Conde ravines. The RESI was made up of nine indicators, whose central axis is the evaluation of the woody forest component, as well as other elements typical of the anthropic presence. According to the RESI, the Malinalli ravine presented an excellent ecosystem state, while the El Conde ravine a poor condition, according to a proposed scale of five values. The application of the index allowed observing the independent behavior between the indicators, their ability to describe the conditions of the ravines and their sensitivity to their ecosystem differences. As well as to contrast the conditions of the ravines, as a product of the anthropic activity in the sites.

Palabras clave

Área verde, bosque de encino, ecosistema, relicto, riqueza de especies

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales a los que se enfrenta la humanidad requieren de una respuesta rápida y eficaz. Un principio sobre el cual se debe construir dicha respuesta es que es imperativo primero conocer lo que se tiene (Sayre, 2002).

Un instrumento estadístico, que se ha revelado como una valiosa herramienta en el proceso del conocer es el indicador, entendido este como una medida o “parámetro, o valor derivado de otros parámetros, dirigido a proveer información y describir el estado de un fenómeno” (Romanelli y Massone, 2016).

Huaico-Malhue, Pérez-Morales y Daessle

(2017) plantean que, “Un indicador o conjunto de ellos integrados en un índice, es una herramienta que adquiere utilidad para: (a) detectar áreas frágiles o propensas a sufrir degradación, (b) trazar las áreas donde la degradación ya es un problema, (c) estimar su gravedad o (d) comprender mejor los procesos asociados con la degradación”.

La ciudad de Puebla presenta un sistema de barrancas, característica compartida con otras ciudades del Altiplano Central de México, las cuales son accidentes geográficos de origen volcánico y erosión hídrica, que se presentan como formas lineales negativas del relieve, estrechas, con laderas abruptas, y que llegan a alcanzar algunos kilómetros en longitud y algunas decenas de metros en anchura y profundidad (Lugo, 2011).

En las últimas décadas estas barrancas urbanas han experimentado una degradación creciente debido a la disposición de contaminantes, a la conformación de asentamientos humanos irregulares y en general, al impacto humano negativo sobre dicho ecosistema. La preocupación por el mismo deriva del reconocimiento de que los espacios arbolados urbanos proveen múltiples servicios ecosistémicos a la ciudad: continuidad de los procesos evolutivos, control biológico de plagas, control de la erosión y formación de suelo, control de inundaciones, depuración del agua, recarga de acuíferos, reciclamiento de materiales de deshecho, refugio y hábitat de especies residentes y migratorias, y regulación del clima local y global, entre otros (Morales-Cerdas, Piedra, Romero y Bermúdez, 2018).

Inventarios florísticos recientes realizados en dos barrancas de la ciudad dan cuenta de la existencia, aún, de relicto de

bosque de encino con una importante riqueza de especies, géneros y familias, un alto componente endémico e incluso especies en la categoría de amenazadas según la NOM-059-SEMARNAT-2010: *Acacia Angustissima* (Mill.) Kuntze, *A. Schaffneri* (S. Watson) F. J. Herm, *Agave* spp., *Arbutus xalapensis* Kunth, *Dasyllirion acrotrichum* (Schiede) Zucc, *Erythrina coralloides* DC, *Juniperus deppeana* var. *deppeana* Steud, *J. fláccida* Schltdl, *Buddleja cordata* Kunth y *Prunus salicifolia* Kunth entre otras, así como múltiples herbáceas (Gutiérrez, Silva y Varela, 2021). Los bosques de encino son las comunidades vegetales más diversas de esta región, así como el soporte y refugio para otras formas de vida como aves, pequeños mamíferos, reptiles, anfibios e invertebrados (Valencia-Avalos, 2004).

La presencia de este relicto se constituye en un elemento importante a considerar en la planeación citadina, siendo cruciales estos resultados para una ciudad carente de suficientes áreas verdes (ICMA, 2020), con áreas verdes de gran pobreza específica (Gutiérrez-Pacheco, Silva-Gómez, Tuxtla-Tlamaní y Hernández-Zepeda, 2015; Domínguez, Acocal, Esteban, Aguilar y Torres, 2016), y con inexistencia, dentro de la urbe, de espacios disponibles para la creación de zonas de preservación ecológica excepto, precisamente, las barrancas.

Es en este contexto, donde el estudio y evaluación del sistema de barrancas a través de indicadores, se torna en una propuesta estratégica de investigación como un paso hacia la incorporación de las mismas al inventario de áreas verdes de la ciudad de Puebla, donde actualmente no se encuentran (Ayuntamiento de la ciudad de Puebla, 2016), y la implementación de

programas para su recuperación y conservación. De ahí que se plantearon como objetivos de este trabajo la sistematización de indicadores conformados en un índice, cuyo propósito fuese la determinación del estado ecosistémico de barrancas urbanas y su implementación en dos barrancas de la ciudad de Puebla, con la premisa de que tal metodología, a la luz de las Evaluaciones Ecológicas Rápidas, debe de ser científicamente viable, aunque no lo exhaustiva y detallada como sería el ideal, de tal forma que sea relativamente fácil de implementar haciendo posible evaluar una barranca en un tiempo razonablemente corto y que no requiera de personal especializado (Sayre, 2002; Munné, Prat, Solá, Bonada y Rieradevall, 2003).

De forma general, se procedió en un primer momento a través del método hipotético-deductivo planteando que se puede probar la hipótesis de que es factible diseñar indicadores que evalúen variables clave de las barrancas y que, por lo tanto, registren de forma clara las diferencias entre una y otra dando como resultado un gradiente de estado para el sistema. Se aplicaron los indicadores a dos barrancas de la ciudad permitiendo determinar el estado ecosistémico de las mismas. Finalmente, se discurió conforme al método inductivo estableciendo que los resultados arrojados por las barrancas evaluadas son un indicativo de lo que está sucediendo en todo el sistema y que por tanto la metodología puede implementarse en otras barrancas del mismo.

2. METODOLOGÍA

En la selección y diseño de los indicadores que conforman el índice, se procedió de conformidad con la mecánica de trabajos cualitativos de evaluación multicriterio,

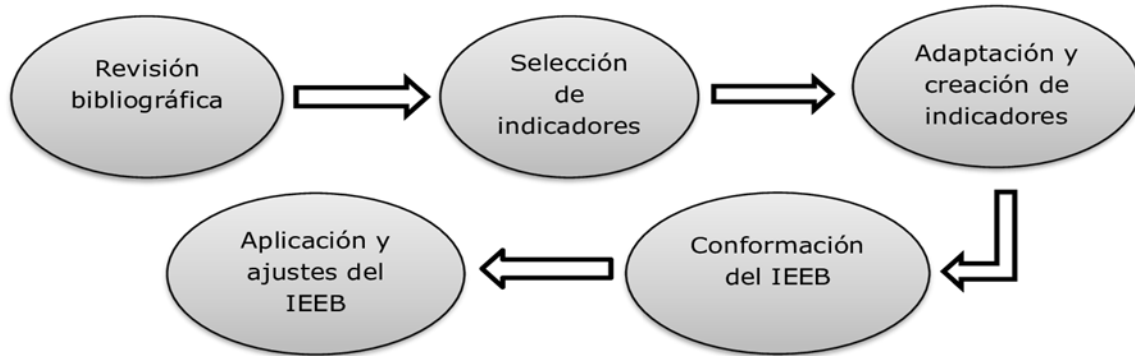


Figura 1. Metodología general para la conformación del IEEB

en los cuales se involucran problemas ambientales, sociales y de uso de recursos en general, y donde se combinan dimensiones económicas, sociales y ecológicas. Esto en correspondencia con la lógica de que son trabajos que intentan en su integralidad minimizar las consecuencias de enfoques menos amplios en la investigación de los grupos humanos y sus interacciones (Grajales-Quintero, Serrano-Moya y Hahn, 2013).

Así, para la conformación del índice se procedió a través de un conjunto de pasos secuenciales (Figura 1):

1.- Revisión bibliográfica a fin de detectar la posible existencia de una herramienta metodológica que permitiese evaluar de forma integral y rápida a sistemas como las barrancas.

2.- Ante la inexistencia de tal herramienta, búsqueda de indicadores o índices que evalúen al menos aspectos parciales presentes en las barrancas, tanto los estrictamente ecológicos, como también aquellos derivados de la presencia humana y de los impactos derivados de esta misma. Y que

pudiesen ser la base para el diseño de un índice cuyo objeto a evaluar sean las barrancas urbanas,

3.- Adaptación de los indicadores base a las necesidades del proyecto y generación de indicadores complementarios que conformaran el Índice de Estado Ecosistémico de Barrancas (IEEB).

4.- Conformación del IEEB.

5.- Aplicación del IEEB en dos barrancas de la ciudad de Puebla a fin de determinar si los indicadores propuestos se ajustaban al objeto a evaluar, hacer los ajustes pertinentes, y con ello determinar el estado ecosistémico de las mismas.

Revisión bibliográfica y selección de indicadores base: Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos como el Web of Science empleando como descriptores las palabras clave: barranca, Puebla, México, estudio, índice, diagnóstico, ravine, gully, study, index, en diversas combinaciones. La búsqueda se hizo para publicaciones en inglés y/o en español, de ahí la presencia de términos en ambos

idiomas. El periodo de prospección fue del año 2000 a la fecha. Esto permitió detectar algunos índices diseñados para evaluar diversos aspectos de cuerpos de agua lóticos. Por compartir dichos cuerpos de agua algunas características con las barrancas, se hizo una revisión de dichos índices a fin de seleccionar indicadores que fueran la base para este trabajo.

Adaptación y creación de indicadores: Para la adaptación y creación de los indicadores que conforman el IEEB, se consideró de forma importante más no limitante, la propuesta teórica-metodológica de la OCDE para la construcción de indicadores: PER (Presión-Estado-Respuesta). Tal consideración se debe a que el modelo PER se ha convertido en una herramienta analítica que trata de categorizar o clasificar la información sobre los recursos naturales y ambientales a la luz de sus interrelaciones con las actividades sociodemográficas y económicas (INEGI e INECOL, 2000; Romanelli y Massone, 2016).

Al buscar en la evaluación alcances más allá de los estrictamente ecológicos clásicos, se buscó un sustento con enfoque constructivista que se reflejara en la composición de los indicadores. Así mismo, el trabajo se apoyó en el esquema de la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU, en cuanto a los elementos que deben integrar los indicadores diseñados (INEGI e INECOL, 2000; Romanelli y Massone, 2016).

Conformación del IEEB: Definidos los indicadores, se les otorgó el peso que cada uno de ellos tiene dentro del índice, de tal manera que la puntuación final que el índice otorga a una barranca en evaluación, es la sumatoria de los valores arrojados por cada uno de los indicadores. Así mismo, se diseñó una escala de calidad con

semaforización relacionada.

Aplicación y ajustes del IEEB: Se aplicaron los nueve indicadores que conforman el IEEB a dos barrancas de la ciudad. Una con evidentes impactos antrópicos como presencia de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial, aguas residuales domésticas e industriales y asentamientos humanos informales entre otros, y otra con mínima o nula presencia de tales impactos.

Los datos de las barrancas evaluadas se recabaron a través de recorridos por las mismas, haciendo mediciones, tipificación y conteos de los elementos correspondientes a efecto de determinar porcentajes, números y tipos en gabinete. Se consideraron las recomendaciones, para los efectos correspondientes, de Munné et al., (2003).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Revisión bibliográfica: Esta actividad arrojó trabajos abocados a la creación de índices para evaluar el estado ecosistémico de ríos o arroyos, o que han utilizado índices ya existentes para los mismos fines: RFV [Riparian Forest Evaluation] (Magdaleno, Martínez y Roch, 2010), RQI [Riparian Quality Index] (García, González, Lara y Garilleti, 2006), ISC [Index of Stream Condition] (Ladson et al., 1999) y el QBR [Riparian Forest Quality] (Munné et al., 2003), de los más reconocidos.

Selección de indicadores base: En mayor o menor importancia, estos índices contemplan el bosque de galería en sus procedimientos, sin embargo, Munné et al. (2003) le dan una importancia mayor a dicho elemento, por lo que el índice QBR considera, en su propuesta, la calidad de bosque de ribera y la morfología de las riberas del canal.

De acuerdo a un criterio de pertinencia,

dadas las características de los indicadores que conforman el índice y la metodología usada para la aplicación de los mismos, a más de la amplia utilización de dicho índice en cuerpos de agua lóticos de México y de otras partes del mundo (López-Delgado, Vásquez-Ramos, Villa-Navarro y Reinoso-Flores, 2015; Rodríguez-Téllez et al., 2016), se eligieron dichos indicadores como la base sobre la cual construir el IEEB con las respectivas adecuaciones. Tal elección se hizo con base en la consideración de que esta herramienta, por una parte, pone énfasis en la importancia que tiene la vegetación como elemento articulador de todos los demás elementos a evaluar, así como del estado ecosistémico del sitio, y por la otra en que, precisamente, no se limita únicamente a los aspectos ecológicos de los ríos y arroyos, sino que considera también aspectos relacionados con la estructura del cauce y la presencia de impactos humanos en el mismo. Además, la evaluación va más allá de la composición de la flora del lugar al considerar aspectos como la estructura, calidad y cobertura de la vegetación ribereña.

Adaptación y creación de indicadores: De los cuatro indicadores que conforman el QBR, se adaptaron y rediseñaron cinco indicadores que se agruparon en el indicador compuesto del IEEB: Estado de la cubierta vegetal (Tabla 1).

Si bien es cierto que el trabajo de Munne et al. (2003), aborda en su evaluación la condición de la vegetación ribereña, la naturalidad o no del cauce y la presencia de estructuras de origen antrópico en el mismo, se consideró necesario, dadas las características particulares de las barrancas, incorporar otros indicadores que amplíen la evaluación a otras variables relacionadas con la vegetación y la interacción de los elementos biofísicos del sitio con la acción humana sobre los mismos. Por tal situación, se propusieron cuatro indicadores más que permiten evaluar variables que están distintivamente presentes en las barrancas urbanas, y que no se encuentran comúnmente en ecosistemas rurales (Tabla 1).

INDICADOR COMPUESTO	INDICADORES	DEFINICIÓN Y FORMA DE CALCULARLO
Estado de la cubierta vegetal	Calidad de la vegetación	Conteo de especies arbóreas y/o arbustivas autóctonas para determinar si son individuos aislados o están conformando comunidades
	Grado de cubierta vegetal	Porcentaje de área cubierta por árboles y/o arbustos respecto del área total
	Estructura de la cubierta	Porcentaje del área de terreno cubierta por sombra de árboles y/o arbustos respecto del área total
	Continuidad con el sistema forestal adyacente	Porcentaje del área colindante a la barranca en que el ecosistema de la barranca se mantiene
	Continuidad de la comunidad a lo largo de la barranca	Porcentaje de área dentro de la barranca donde la comunidad de bosque pierde continuidad en función del área total
-----	Grado de naturalidad del cauce de la barranca	Tipo de modificaciones al cauce de la barranca como estructuras permanentes, modificación de paredes, formación de terraplenes, y rellenado y/o canalización
-----	Actividades económicas dentro de la barranca	Tipo y porcentaje de área comprometida por actividades económicas dentro de la barranca como: pastoreo, cultivo, extracción de materiales pétreos entre otras
-----	Presencia de casas-habitación	Número de casas-habitación dentro de la barranca o porcentaje del área de la barranca comprometida por construcciones en función del área total
-----	Contaminación de la barranca	Tipo de residuos sólidos presentes en la barranca, así como de la presencia o no de aguas residuales

Fuente: elaboración propia

Tabla 1. Indicadores que conforman el IEEB

Conformación del IEEB: El IEEB presenta valores que van de 0 a 100 y es la sumatoria de los valores del indicador compuesto y de los cuatro indicadores simples. El valor total de cada indicador es la media aritmética de los valores que para el mismo se obtienen del total de fracciones o zonas de muestreo de las barrancas (Tabla 2).

El valor aportado por el indicador compuesto deriva inicialmente del valor aportado por el indicador Calidad de la vegetación. El valor puede ir de 0 a 40 puntos. Este valor inicial puede ser ajustado por los otros cuatro indicadores en valores de -10, -5, +5 y +10. El valor final para el indicador compuesto no puede ir más allá de los 40 puntos y de los 0 puntos. Esto es que si el valor final es mayor a 40 se registra como 40 puntos y si es menor de 0 se registra como 0 puntos. Valores superiores a 40 y valores negativos están excluidos (Tabla 2).

Como podemos ver, para efectos del Índice, se destaca el papel de la vegetación como elemento estructurador de los ecosistemas y se enfoca importantemente al problema que reviste la presencia de especies introducidas en los hábitats, lo que genera competencia sobre los recursos. Los indicadores adicionales se enfocan a calificar la importancia que para un ecosistema tiene la pérdida de su continuidad por su fragmentación y el efecto de isla.

Los otros cuatro indicadores que conforman el índice suponen la posible modificación de la barranca por la presencia de actividades y/o estructuras de origen antrópico en el cauce de la misma, lo cual casi siempre se traduce en impactos negativos sobre el ecosistema que por lo tanto penalizan el valor final del IEEB (Tabla 2).

Tabla 2. Conformación del IEEB y calificaciones propuestas

a).- Estado de la cubierta vegetal (Puntuación entre 0 y 40)		Suma
i).-Calidad de la vegetación		
Puntuación	Estado	
40	Solo especies arborísticas autóctonas	
30	Solo una especie arborística alóctona con especímenes aislados	
20	De dos a cinco especies arborísticas alóctonas con especímenes aislados	
10	Más de cinco especies arborísticas alóctonas con especímenes aislados	
0	Comunidades de especies alóctonas	

Los siguientes cuatro indicadores modifican el valor arrojado por el indicador anterior.

α).- Grado de la cubierta vegetal	
Puntuación	Estado
10	Cubierta vegetal al 80% (las plantas anuales no se consideran)
5	Cubierta entre el 50% y el 80%
-5	Cubierta entre el 10% y el 49%
-10	Cubierta < al 10%

β).- Estructura de la cubierta

Puntuación	Estado
10	Recubrimiento de árboles \geq al 50% y de 0 a 50% de arbustos
5	Recubrimiento de árboles entre el 25% y el 49% y de arbustos de al menos el 25%
-5	Recubrimiento de árboles entre el 25% y el 49% y menos del 25% de arbustos
-10	Menos de recubrimiento del 25% de árboles, con o sin arbustos

γ).- Continuidad con el sistema forestal adyacente

Puntuación	Estado
10	Continuidad al 80%
5	Continuidad entre el 50% y el 80%
-5	Continuidad entre el 25% y el 49%
-10	Continuidad entre el 0% y el 24%

δ).- Continuidad de la comunidad a lo largo de la barranca

Puntuación	Estado
10	Uniforme y ocupando del 80% de la barranca
5	Continuidad entre el 50% y el 80%
-5	Continuidad entre el 25% y el 49%
-10	Continuidad entre el 0% y el 24%

b).- Grado de naturalidad de la barranca (Puntuación entre 0 y 10) Suma

Puntuación	Estado
10	Barranca sin modificaciones
7	Modificaciones de paredes y terraplenes
5	Presencia de estructuras rígidas aisladas
0	Canalización de la barranca o relleno

c).- Actividades económicas dentro de la barranca (Puntuación entre 0 y 10) Suma

Puntuación	Estado
10	Sin actividades económicas
8	Actividades económicas sin extracción de materiales
5	Actividades extractivas en hasta el 10% del área de la barranca
0	Actividades extractivas en más del 10% del área de la barranca

d).- Presencia de casas-habitación (Puntuación entre 0 y 20) Suma

Puntuación	Estado
20	Sin casas-habitación
15	Presencia de una casa-habitación
10	Núcleo habitacional de dos a diez casas
5	Núcleo habitacional de 11 casas hasta una ocupación de un 49% del área de la barranca
0	Núcleo habitacional en un área igual o mayor al 50 % de la barranca

e).- Contaminación de la barranca (Puntuación entre 0 y 20)	Suma
Puntuación	Estado
20	Sin contaminación de agua y sólidos
0	Agua contaminada c/s residuos sólidos
	Modificaciones a la primera puntuación
-5	Presencia de Residuos Sólidos Urbanos
-10	Presencia de Residuos de Manejo Especial
-15	Presencia de Residuos Peligrosos

PUNTUACIÓN FINAL (Suma de las anteriores puntuaciones) Suma total

Fuente: elaboración propia con base en Munné et al. (2003)

En la tabla 3 se presenta la propuesta de semaforización de acuerdo a una escala de cinco niveles en que se califica el estado ecosistémico de las barrancas al aplicarse el IEEB.

Tabla 3. Estado ecosistémico de las barrancas de acuerdo al IEEB y semaforización

CALIDAD	IEEB	COLOR
Excelente	≥ 90	Verde
Buena	70-89	Azul
Regular	50-69	Amarillo
Pobre	30-49	Naranja
Mala	29	Rojo

Fuente: elaboración propia

El trabajo de campo implica tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

En general, las barrancas suelen diferenciarse claramente del resto del territorio, sin embargo, en caso de que la transición entre zonas no sea clara, puede uno apoyarse en rasgos que indiquen la transición entre ellas, como pueden ser cambios en la vegetación y cambios en el grado de inclinación del terreno, entre otros. El diseño del trabajo de campo deberá sujetarse a las necesidades y particularidades del estudio en cuestión, y de la variabilidad que la barranca presente,

aunque se sugiere que cada lado de la barranca se tome como un ente separado uno del otro, por lo que las zonas a revisión se definan por cada lado de la barranca.

El levantamiento en campo de cada fracción de terreno, puede ser cubierto en un tiempo relativamente corto de acuerdo a las dimensiones escogidas para cada zona y de la accesibilidad del lugar. El levantamiento de la información no requiere de expertos en botánica u otras áreas, aunque si se requiere de cierto conocimiento y entrenamiento de la persona que cubra el formato respecto de los requerimientos del índice.

Aplicación y ajuste del IEEB: El trabajo se hizo en las barrancas El Conde y Malinalli (Figura 2).

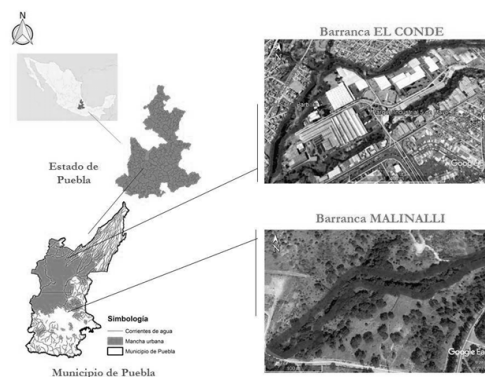


Figura 2. Zona de Estudio

La primera se ubica al norte de la ciudad, entre las coordenadas (19°09'80" N & 98°18'74" W). Presenta casas-habitación en sus orillas y cauce, y recibe descargas de aguas residuales domésticas y de aguas residuales industriales del parque industrial 5 de Mayo.

El área de estudio de dicha barranca tiene una longitud de 1 700 m, y la profundidad de la misma varía, de aproximadamente 40 m en las zonas más profundas hasta los 0 m en donde por obras de relleno, presencia de casas en sus orillas y pavimentación de una calle que se habilitó en la misma, quedó a ras de suelo. En cuanto a su anchura, la misma varía de los 30 m en algunos sitios a los 100 m en otros.

El ecosistema originario de la barranca corresponde al bosque de encino, intercalado con claros sembrados de pasto, así como de plantas exógenas producto de la actividad silvícola humana (Gutiérrez, Silva y Varela, 2021).

La barranca Malinalli se ubica al sur de la ciudad, entre las coordenadas (18°93'93" N & 98°13'68" W). De primera impresión es una barranca en buen estado de conservación, sin contaminación evidente y con un ecosistema de bosque de encino (Gutiérrez, Silva y Varela, 2021).

El área de la barranca en estudio tiene una longitud aproximada de 750 m, y la profundidad de la misma varía a lo largo de su recorrido de los 1.30 m hasta los 12 m. En cuanto a la anchura, las variaciones van de los 8 m en los sitios más estrechos hasta los 50 m en los puntos más amplios.

La barranca El Conde se dividió en 12 fracciones, seis por ribera, de aproximadamente 290 m cada una. En la Tabla 4 se muestran los resultados de la evaluación, exhibiendo un estado ecosistémico pobre, correspondiente a un color naranja de acuerdo a la semaforización propuesta.

Indicador y puntos	Fracciones evaluadas												Med
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
a). (40)													18.8
i).	20	20	20	20	40	40	20	20	20	20	20	20	
α).	+10	+5	-5	-5	+10	+10	+10	-5	+10	-5	-10	-10	
β).	+10	-5	-5	+5	+10	+5	+10	-5	+10	-5	-10	-10	
γ).	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	
δ).	+10	+10	-5	-5	+10	+5	+10	-5	+10	-5	-10	-10	
Suma	40	20	0	5	40	40	40	0	40	0	0	0	
b). (10)	5	10	5	5	5	5	5	5	10	5	0	0	5
c). (10)	8	10	8	8	10	8	10	10	10	10	8	8	08.3
d). (20)	20	10	20	15	20	15	20	10	20	10	10	0	14.1
e). (20)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total													46.2

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Calificaciones de la barranca El Conde a través del IEEB

La barranca Malinalli se dividió en seis fracciones, tres por ribera de 250 m cada una. En la Tabla 5 se muestran los resultados de la evaluación, exhibiendo un estado ecosistémico excelente, correspondiente a un color verde de acuerdo a la semaforización propuesta.

Indicador y puntos	Fracciones evaluadas						Media
	1	2	3	4	5	6	
a). (40)							40
i).	40	40	30	40	30	40	
α).	+10	+10	+10	+5	+5	+10	
β).	+10	+10	+10	+5	+5	+10	
γ).	+10	+10	+10	+10	+10	+10	
δ).	+10	+10	+10	+10	+10	+10	
Suma	40	40	40	40	40	40	
b). (10)	10	5	5	10	5	10	7.5
c). (10)	10	10	10	10	10	10	10
d). (20)	20	20	20	20	20	20	20
e). (20)	5	5	20	20	20	20	15
Total	85	80	95	100	95	100	92.5

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Calificaciones de la barranca Malinalli a través del IEEB

Dadas las dimensiones de las barrancas, no fue necesario instrumentar diseño de muestreo alguno, siendo factible el revisarlas en su totalidad.

El diseño del IEEB significa la oportunidad, en un futuro, de contar con una base sobre la cual consolidar y ampliar la evaluación de las barrancas urbanas hacia otras variables, como podrían ser los aspectos relacionados con su valor intrínseco, con la vivencia y disfrute de los habitantes hacia ese componente ciudadano, y la construcción identitaria de los ciudadanos hacia un entorno donde las barrancas han

estado muy presentes en el devenir histórico de la urbe (Rodríguez y Cubillos, 2012).

Esto podría también, constituirse en la base para que las barrancas comiencen a ser consideradas en los planes municipales de desarrollo como elementos que pueden fortalecer la política ambiental a través de integrarlas al equipamiento de áreas verdes de la ciudad, lo cual fortalecería la conservación y rescate de la biodiversidad originaria del territorio donde se asienta la ciudad, dadas las características de alta riqueza y diversidad específica de las barrancas (Gutiérrez, Silva y Varela,

2021), en contraste con la baja riqueza y diversidad específica de las actuales áreas verdes de la ciudad (Gutiérrez-Pacheco, Silva-Gómez, Toxtle-Tlamani y Hernández-Zepeda, 2015; Domínguez, Acocal, Esteban, Aguilar y Torres, 2016).

CONCLUSIONES

El IEEB, indica un estado ecosistémico pobre (46.2 puntos) para la barranca El Conde y uno excelente (92.5 puntos) para la barranca Malinalli, conforme a la escala planteada. Este resultado se considera acorde con las condiciones de las barrancas y muestra la pertinencia de la construcción y uso del IEEB. Esto en tanto indica que la evaluación de un ecosistema, sobre todo de aquellos urbanos, muy impactados y para los cuales se proponen medidas de remediación; efectivamente debe ir más allá de considerar únicamente aspectos de la comunidad biótica, como es común en la ecología clásica, y pasar a considerar otros aspectos propios de la presencia antrópica en el sistema.

Los resultados también indican que los nueve indicadores que conforman el IEEB se comportan de forma independiente unos con respecto a los otros, que son sensibles a las diferencias entre las barrancas, y que con ello su implementación permite evaluar en su máxima integralidad el sistema de acuerdo a una exhaustiva valoración de las características del mismo. Esto buscando siempre el máximo de objetividad para lograr que los mismos describan con la mayor precisión el sistema en cuestión y por el otro, tratando siempre de cumplir con uno de los criterios que definen a los indicadores y que es el de que sean lo más sintéticos posibles.

Las calificaciones que el IEEB otorga a las barrancas permiten también probar la

hipótesis de trabajo de que es posible diseñar indicadores que evalúen variables clave de las barrancas y que, por lo tanto, registren de forma clara las diferencias entre una y otra dando como resultado un gradiente de estado para el sistema.

Estos resultados ponen de manifiesto que la creación y consolidación de un sistema de indicadores para el diagnóstico de las barrancas, y en general de estudios urbanos, es la ruta pertinente a fin de facilitar el manejo de información estructurada, congruente entre sí y sistematizada de los problemas urbanos que enfrenta la metrópoli. Sistema cuyo sustento teórico-metodológico se finque en un enfoque epistemológico constructivista, que le posibilite considerar crucial, además de lo cuantitativo, la participación social y el uso de los métodos cualitativos, siempre en aras de profundizar en el diagnóstico, las explicaciones y la atención de la problemática socio-ambiental.

REFERENCIAS

- Ayuntamiento del Municipio de Puebla, 2020. *Inventario municipal de áreas verdes (IMAV)*. Puebla, México. Recuperado de <https://datos.pueblacapital.gob.mx/dataset/inventario-municipal-de-%C3%A1reas-verdes/resource/3273c82a-3474-460c-98e6-ad97a21857f7#{}>
- Domínguez, H. F., Acocal, L. J. A., Esteban, M. J., Aguilar, L. J. M. E. y Torres, V. V. (2016). Diagnóstico del arbolado de la reserva ecológica Cerro de Amalucan, ciudad de Puebla, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(2), 141-148.
- García, de J. L. D., González, del T. M., Lara, G. F. y Garilleti, R. (2006). Índice RQI para la valoración de riberas fluviales

en el contexto de la directiva del marco del agua. *Ingeniería Civil*, 143, 97-108.

Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. D. y Hahn, V-H. C. M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, 36, 285-306.

Gutiérrez-Pacheco, V., Silva-Gómez, S. E., Toxtle-Tlamani, J. S. y Hernandez-Zepeda, J. S. (2015). El arbolado de los espacios públicos abiertos de la zona de monumentos del centro histórico de la Ciudad de Puebla. En: Pulido-Flores G, Monks S, y López-Herrera M, (Eds.) *Estudios en Biodiversidad vol. 1* (págs. 161-172). Lincoln, NE: Zea Books. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/15>

Gutiérrez, P. V., Silva, G. S. E. y Varela O. L. L. (2021). Flora del bosque de encino (*Quercus*: Fagaceae) de dos barrancas de la ciudad de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 27(1), 1-15. doi: 10.21829/myb.2021.2712113

Huaico-Malhue, A., Pérez-Morales, A. y Daessle, L. W. (2017). Propuesta metodológica prospectiva para la elaboración de un índice sintético de vulnerabilidad hidrogeológica: el caso de estudio de Manadero en México. *Ambiente y Desarrollo*, XXI(41), 107-121.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) e INECOL (Instituto Nacional de Ecología (INECOL), (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable de México*. CDMX, México. Recuperado de http://www.nies.go.jp/db/sdidoc/indicadores_desarrollo_sustentable.pdf

ICMA (International City/County Management Association), (2020). *Reporte de resultados SINDES (Sistema de Indica-*

dores de Desempeño), 2º semestre 2020. CDMX, México. Recuperado de <https://www.icmaml.org/medicion>

Ladson, A. R., White, L. J., Doolan, J. A., Finlaysons, B. L., Hart, B. T., Lake, P. S. y Tilleard, J. W. (1999). Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 41, 453-468.

López-Delgado, E., Vásquez-Ramos, J., Villa-Navarro, F. y Reinoso-Flores, G. (2015). Evaluación de la calidad del bosque de ribera, utilizando un método simple y rápido en dos ríos del bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga*, 1(10), 6-29.

Lugo H. J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. CDMX, México: Publicaciones UNAM.

Magdaleno, F., Martínez, R. y Roch, V. (2010). Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Ingeniería Civil*, 157, 85-96.

Morales-Cerdas, V., Piedra, C. L., Romero, V. M. y Bermúdez, R. T. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1421-1435.

Munné, A., Prat, N., Sola, C., Bonada, N. y Rieradevall, M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*, 13, 147-163.

Rodríguez, R. R. C. y Cubillos, G. A. (2012). Elementos para la valoración integral de los recursos naturales: un puente entre la economía ambiental y la economía ecológi-

ca. Una revisión de bibliografía. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 77-90.

Rodríguez-Téllez, E., García-de Jalón, D., Pérez-López, M. E., Torres-Herrera, S. I., Ortiz-Carrasco, R., Pompa-García, M., Morales-Montes, M., García-García, D. A., Zamudio-Castillo, E. y Vásquez-Vásquez, L. (2016). Caracterización de la calidad ecológica del bosque de galería del río La Saucedá, Durango, México. *Hidrobiología* 26(1), 35-40.

Romanelli, A. y Massone, H. E. (2016). Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(6), 123-137.

Sayre, R. (2002). *Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas*. Arlington Virginia, USA: The Nature Conservancy.

Valencia-Avalos, S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Revista de la Sociedad Botánica Mexicana*, 75, 33-53.