



Diagnóstico cartográfico preliminar para compensaciones ambientales y geológicas en el municipio de Guadalupe, Nuevo León

Preliminary cartographic diagnosis for environmental and geological compensations in the municipality of Guadalupe, Nuevo León

Rubio-Cisneros Igor Ishi

Universidad Autónoma de Nuevo León

Secretaría de Extensión y Cultura,

Colegio Civil Centro Cultural Universitario

Correo: igor_rubio@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0001-8075-7617>

Resumen

Este trabajo combina la ingeniería aplicada y los servicios ambientales para el bienestar del municipio de Guadalupe en el estado de Nuevo León. El norponiente del río y cerro de la Silla es zona con riesgos geológicos e hidrometeorológicos, ahí la población está vulnerable en cada evento meteorológico y recursivamente los daños ascienden a millones de pesos (mdp). Existen dos herramientas para prevenir y compensar los daños en 24 colonias distribuidas en 6 cuencas hidrológicas superficiales con encharcamientos y susceptibles de riesgo geológico reportados en el Atlas de Riesgos Estatal. Se identificaron algunas zonas para mejorar, regenerar y ampliar el espacio público en parques, cañadas, glorietas, y camellones. El método de línea clave o *key line* es un diseño hidrológico del terreno para controlar el escurrimiento del agua, la distribución de la infraestructura y los patrones de las áreas verdes en las colonias. A cada espacio público se le calculó el valor económico de los servicios ambientales en la superficie con riesgos geológicos e hidrometeorológicos. El valor estimado de los servicios ambientales es para 21 aspectos de lo urbano y natural. Los servicios incluyen la protección a las inundaciones, la cobertura y erosión del suelo, la estabilidad y contención del macizo rocoso, entre otros. Mantener un ordenamiento con ingeniería de los espacios públicos garantiza la prevención ante algún agente perturbador producido por la naturaleza o inducido. De esta investigación, la mitigación del riesgo en los espacios públicos puede producir servicios ambientales por \$28.7 mdp para zonas susceptibles con riesgo geológico y \$23.8 mdp para la protección a inundaciones. Valorar los beneficios de los espacios urbanos junto con los servicios de geología e hidrometeorología pueden ser útiles para evaluar los desastres naturales y en la toma de las decisiones para proteger a la población.

Descriptores: Desastres naturales, ingeniería geológica, hidrometeorología, método línea clave, *key line*, servicios ambientales.

Abstract

This work combines applied engineering and environmental services for the well-being of the municipality of Guadalupe in the state of Nuevo León. The northeast of the river and Cerro de la Silla is an area with geological and hydrometeorological risks, in there, the population is vulnerable to each meteorological event, and recursively, the damages arise to millions of pesos (mop.). Two tools prevent and compensate for damage in 24 neighborhoods distributed in 6 surface watershed basins with flooding and susceptible to geological risk reported on the State Risk Atlas. Some areas were identified to improve, regenerate and expand the public space of parks, gullies, traffic circles, and medians. The key line method is a hydrological design of the land to control runoff, the distribution of infrastructure, and the patterns of green areas of the neighborhoods. For each public space, the economic value of environmental services was calculated in areas with geological and hydrometeorological risks. The estimated value of environmental services is for 21 urban and natural aspects. The services include flood protection, soil cover and erosion, rock mass stability and containment, among others. Keeping the order of public spaces with engineering guarantees prevention against any disturbing agent produced by nature or induced. From this investigation, risk mitigation in public spaces can produce environmental services for \$28.7 million pesos for susceptible areas with geological risk and \$23.8 million pesos for flood protection. Assessing the benefits of urban spaces together with geology and hydrometeorology services can help evaluate natural disasters and for decision-making to protect the population.

Keywords: Natural disasters, geological engineering, hydrometeorology, key line method, environmental services.

INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de Monterrey (AMM) vive tiempos sumamente complicados causados por factores naturales y decisiones inadecuadas, las cuales han impactado la vida y su modernidad. Es urgente la recuperación de los bienes materiales y económicos en sus sierras y cuencas, suelos, su biodiversidad, el aire y el patrimonio natural y humano. Sin la regeneración de los elementos naturales, la salud de los habitantes, igualmente afectada, no podrá recuperarse del desequilibrio y la desigualdad. El urbanismo inadecuado es copartícipe de una expresión geográfica desarticulada de la naturaleza y sus leyes. Una adecuada planeación requiere ejercer un menor impacto a la Tierra, con la sostenibilidad de los recursos naturales, integrando los principios científicos y técnicos.

El reto del desarrollo urbano es el uso resiliente del suelo, digno y pleno para la vida o la opacidad del hiperurbanismo con sus “trampas urbanas”, o los espacios territoriales de zonas de riesgo en los que existe la probabilidad de que se produzca un daño originado por un fenómeno perturbador. Este sistema limita la capacidad de maniobra para reducir los riesgos en las zonas urbanas de Nuevo León ante cada fenómeno natural que se presenta. El Estado busca con acciones transversales, la concordia y transparencia entre los ciudadanos y la naturaleza en cada escenario (p.ej., Gobierno de Guadalupe, Planes de Desarrollo 2005-2025 y 2018-2021).

Este trabajo es un procedimiento auxiliar para restaurar la naturaleza e indemnizar a los ciudadanos, bajo una responsabilidad directa y objetiva, de los efectos, daños y perjuicios del cambio climático natural o antrópico y alcanzar la resiliencia. En esta propuesta se recomienda el uso de un método cartográfico para el diseño y control de escurrimientos superficiales; además, se incorpora el cálculo para cuantificar los servicios ambientales y el costo compensatorio de los beneficios ecológicos de mitigar las zonas de riesgo inminentes por fenómenos geológicos o hidrometeorológicos. Las compensaciones por pagos a los servicios ambientales y ecosistémicos, o a percances por cualquier fenómeno natural o antrópico apoyan a la solución de conflictos ambientales por una paz metropolitana. Los esquemas de compensación pueden diseñarse para beneficiar a la comunidad en la previsión, protección y provisión de servicios ambientales que ayudan a contrarrestar la intensidad de un fenómeno natural que pueden producir derrumbes, bajadas de agua y baches.

La prueba de cuáles son los elementos terrestres que proveen servicios ambientales requieren de una ade-

cuada cartografía urbana y el cálculo del capital natural por tipo de uso de suelo. El capital natural se conceptualiza como cualquier conjunto de recursos naturales que proveen bienes y servicios que son críticos para un uso sustentable del ambiente. Parte del capital natural facilita funciones ecológicas importantes y difícilmente es sustituido por otro capital natural o hecho por el hombre que pueda adoptar la misma función; entonces debe mantenerse para asegurar que ciertos procesos terrestres prevalezcan, como la protección a las inundaciones, la cobertura y erosión del suelo, o la estabilidad y contención del macizo rocoso.

El municipio de Guadalupe, que cuenta con una superficie de 118.687 km², ha recibido a lo largo de su historia eventos meteorológicos extraordinarios como los son lluvias torrenciales, inundaciones y crecidas del Río la Silla, entre otras manifestaciones hidrometeorológicas. También ha estado sujeto a eventos geológicos como caídos, deslizamientos o deslaves de la Sierra de la Silla. Por ejemplo, del 3 al 6 de septiembre de 2018 la tormenta tropical “Fernand” aportó una precipitación extraordinaria de ~207 mm en 24 horas, incluyendo a los municipios colindantes, Monterrey al Oeste, San Nicolás de los Garza al Norte, Apodaca al Nor-Noreste y Juárez al Sur-Sureste (CONAGUA, 2019). Este fenómeno fue tan devastador como el huracán “Alex” (809 mm en 24 horas; Pasch, 2010). Para atender los daños ocasionados por “Fernand” se solicitaron \$7,500 millones de pesos al extinto Fideicomiso Fondo de Desastres Naturales (Fonden).

Para conocer de manera preliminar el contexto geológico, se tiene que la Sierra de la Silla es un pliegue anticlinal de 43 km de longitud, que se ubica en los municipios de Guadalupe, Monterrey, Santiago y Allende. Esta estructura geológica es icónica, ya que representa un pliegue frontal de la Sierra Madre Oriental (SMO). El objeto de estudio propuesto cubre una superficie de aproximadamente 17.144. km² en su parte Norponiente, con un área urbanizada de aproximadamente 8.717 km² (Figura 1). La Sierra de la Silla consiste de una secuencia sedimentaria del Jurásico Superior al Cretácico Superior, representada en su mayoría por calizas, margas y lutitas agrupadas en 10 formaciones geológicas. En las partes bajas al Oeste de la sierra, el río La Silla bordea desde el Sur para virar al Noreste hasta unirse al río Santa Catarina en una cuenca hidrológica superficial de 31,856 km² que limita con Guadalupe al Este. El área de análisis se ubica en la cuenca alta del río La Silla en Guadalupe, representando casi 2 % del centro-sur del acuífero superficial y subterráneo del AMM (CONAGUA, 2018). El análisis abarca un trayecto de 9 km de los 18.72 km totales del recorrido del cauce del río.

MÉTODOS Y MATERIALES

Se hizo un reconocimiento del terreno, de los escurrimientos del agua superficial, así como la estabilidad del suelo y rocas en una zona con 23 cuencas hidrológicas superficiales y 57 colonias (INEGI, 2016). Para el análisis hidrológico se calculó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con las cartas de escala 1:10,000 LiDAR (*Light Detection and Ranging*); se modeló un escurrimiento procedente de una región de 85.341 km² aguas arriba del Río la Silla, en el frente de la SMO entre los municipios de Monterrey y San Pedro Garza García (cartas topográficas INEGI: G14C26A2, G14C26A4, G14C26B1, G14C26B2, G14C26B3, G14C26B4, G14C26D2, G14C26E1). A partir del MDE se interpretaron los rasgos cartográficos de la pendiente, curvas de nivel, las direcciones del flujo superficial, vertientes, laderas, parteaguas y el gasto hidráulico (m³/s), se delimitaron las extensiones del cauce y el orden *Strahler* de los escurrimientos. La resolución del dato digital procesado es menor o igual que ≤ 10 m. Los valores de la precipitación (~528 mm, media anual), su intensidad, duración en periodos de retorno (PR) y curvas son de datos de libre acceso para las estaciones pluviométricas cercanas a Guadalupe, usando el método *Thiessen* (CONAGUA; NASA-Giovanni, NOAA/NCEI; *World Meteorological Organization*).

El Atlas de Riesgos de Nuevo León (1ª Etapa, marzo 22, 2013; 2ª Etapa, julio 23, 2012; POE: julio 2012) sirvió para identificar los sitios para los escenarios geológicos con susceptibilidad al riesgo (298 sitios en 2.16 km²), puntos de inundación, encharcamientos (250 puntos en 1.706 km²), corrientes urbanas y zonas de guarda (PR = 25 años). Se utilizaron los polígonos del Área Natural Protegida (ANP) en la Sierra de la Silla (CONANP, 2017), de uso de suelo y tipo de vegetación (INEGI, 2016).

Las visitas a campo permitieron validar la información obtenida de manera digital. El trayecto fue de ~ 6.7 km por las avenidas Paseo de las Américas, Eloy Cavazos, Pablo Livas, Puesta del Sol y calles cuesta arriba; una travesía bordeando la sierra aguas arriba del río La Silla en su parte más austral al Oeste del municipio, hasta aguas abajo del mismo en el estadio de fútbol BBVA. Se identificaron "n" número de glorietas (n = 10: 19,850 m²), camellones (n = 44: 67,855 m²), parques (n = 37: 493,815.6 m²), cañadas (n = 7: 99,789.2 km²) y otros puntos para el análisis.

Se utilizó el método línea clave, o *key line* en inglés, para un diseño hidrológico preliminar (Doherty, 2015, 2020). El principio es controlar el escurrimiento del agua, su dirección, la distribución de la infraestructura y los patrones de las áreas verdes. La técnica se apoya en líneas imaginarias a desnivel y equidistantes llama-

das líneas clave, partiendo de un punto en común llamado punto clave, o *key point*. Las líneas regulan un escurrimiento uniforme en el terreno, a menor velocidad, aumentan la absorción del agua superficial, retienen el suelo mejorando su actividad biológica entre la materia orgánica y recargan los acuíferos subterráneos. El trazo conduce la corriente de las vertientes a las laderas, o de las superficies con mayor escurrimiento a las secas, a una menor pendiente y disminuye el coeficiente de escorrentía. Para el diseño se ubicaron los elementos de las cuencas superficiales, como las laderas, vertientes y parteaguas. Seis de las 23 cuencas hidrológicas fueron candidatas para el método, y cinco son de alta relevancia por su cercanía en el sector centro-sur del polígono analizado (Figura 1). A las cuencas seleccionadas se les ubicó su *key point* en la vertiente, donde existe un cambio significativo de elevación; y se les diseñaron las curvas a desnivel por donde el agua debe bajar y distribuirse de la vertiente a las laderas en pendientes no mayores a 5°.

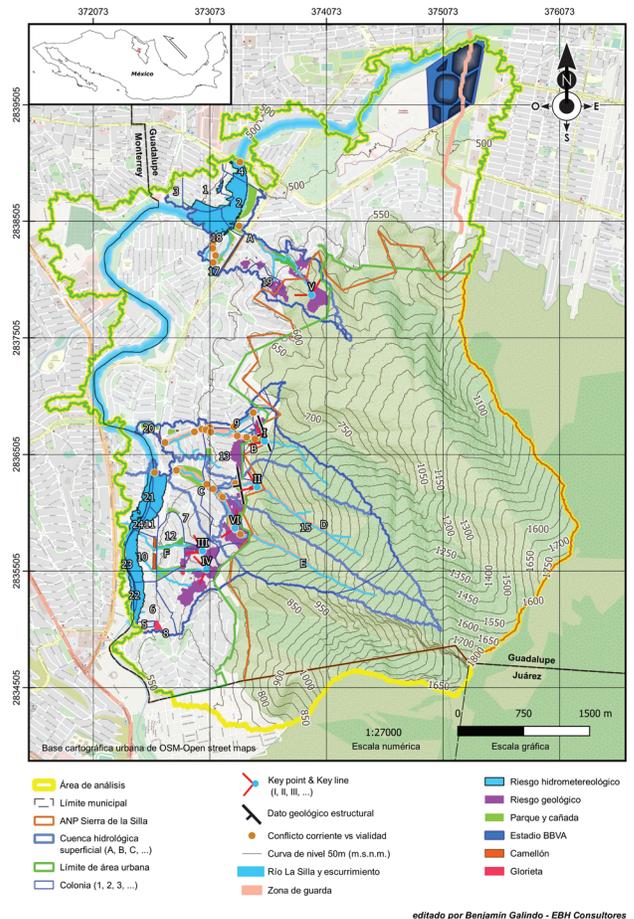


Figura 1. Mapa para la ubicación del área de análisis y sus elementos cartográficos en el municipio de Guadalupe, Nuevo León

Para representar los datos se consideran únicamente las colonias y cualquier otro elemento cartográfico dentro de las seis cuencas analizadas con *key line* (Tabla 1 y 2). El análisis de las cuencas está segmentado aguas arriba y aguas abajo de los *key points* (~ 600 m.s.n.m),

para estimar el gasto superficial y la conducción de la lámina antes y después del diseño; además de identificar las colonias arriba y abajo. El diseño no tiene influencia en el ANP de la Sierra de la Silla. Dos márgenes del Río la Silla abarcan el análisis particionado.

Tabla 1. Análisis por cuenca de las superficies y volúmenes por coberturas

Cuenca	Pendiente en grados (°)	Longitud (metros)	Elevación (m.s.n.m.)	Escorrentía coeficiente	Gasto de agua (metros cúbicos, m ³)	Suelo erosionado m ³ /año	Uso de Suelo						
#	área (m ²)	aguas arriba↑	aguas abajo↓	media	máx.	min.	media	m ³ /año	Ton./año				
A	787,894.26	120,852.87	667,090.67	3.54	35.37	2,430.00	509.02	549.72	0.55	64,101,729.31	39,729.30	1.47	ANP, matorral
B	625,581.33	258,501.31	367,080.02	32.24	79.26	3,491.00	597.26	1,820.79	0.54	49,669,605.79	31,354.57	40.27	Urbano, ANP, matorral, bosque
C	196,112.95	196,112.95	196,112.95	11.08	58.76	3,171.00	491.59	786.06	0.67	19,272,907.60	9,805.65	34.07	Urbano
D	734,424.80	684,256.73	50,168.06	5.64	37.76	663.00	517.24	537.33	0.32	34,762,527.81	37,030.98	7.08	Urbano, ANP, bosque, matorral
E	639,660.40	593,442.10	46,218.30	3.81	25.90	1,290.00	505.34	527.53	0.20	18,923,318.33	32,253.08	3.93	Urbano, ANP, bosque, matorral
F	935,924.15	169,149.92	766,774.23	11.66	58.21	2,277.00	519.54	772.83	0.72	100.14	47,192.37	11.15	Urbano

Tabla 2. Relación de sitios analizados cuencas, colonias e infraestructura urbana

#	Colonia	Cuenca hidrológica superficial área por colonia (ver Tabla 1)				Key points (K.P)			Riesgo Geológico (R.G.)	Riesgo Hidro- Conflicto	Glorieta	Parque	Camellón	Cañada
		#	m ²	↑ ↓	K.P.	C.H.	Z.G.	R.G.						
1	La Herradura	A	121,132.6	⊙					16,329.1					
2	Rincón del Country	A	113,107.7	⊙					55,313.6		Parque Rincón del Contry, 18,815.3			
3	Valles de Chapultepec	A	28,882.5	⊙					17.7					
4	Puesta del Sol	A	42,731.8	⊙					17,523.3					
5	Contry los Nogales	F	8,315.0	⊙					1,209.9					
6	Country la Escondida	F	105,942.8	⊙					20,448.7	Norte Cristo de la Montaña, 3,986.4				
7	Country la Silla	B, C	596,666.7	⊙	⊙	⊙	⊙	Alta, 35	36,401.5	Samuel Morse, 2,431.8	William Shakespeare, 2,892.64; Muralistas, 2,6074.16; Parque Hundido, 2,309.18	157.55; 1106	sin nombre (K.P.) 2,787.7	
8	Country la Silla 1er Sect.	F	1,332.9	⊙										
9	Country la Silla 7mo Sect	B	26,484.1	⊙					⊙	Rafael Alberti, 531.9	El Greco, 1,284.8	7.4		
10	Pedregal del Country	F	101,736.7	⊙					40,910.0			3,273.6		
11	Rincón Colonial la Silla	F	29,877.7	⊙					11,081.6			2,590.1		
12	Contry la Silla 4to Sect.	F	114,585.9	⊙				Muy Alta, 12,005			Isaac Newton, 10,735.8	682.0	sin nombre (K.P.) 3340.97; sin nombre, 9376.71	
13	Contry la Silla 5to Sect.	D	167,519.6	⊙				Alta, 17	⊙		Vicente Van Gogh, 4,309.3		sin nombre (K.P.) 24,345.4	
14	Contry la Silla 6to Sect.	C, D	153,555.1	⊙	⊙	⊙	⊙	Alta, 25	⊙				Parque Las Cascadas, 3640.06; 71.71	25,451.8 (Cañada del Sol)
15	Country Sol	D	1,605,787.8	⊙	⊙	⊙	⊙	Alta, 25						
16	Punta Country	D	129,920.6	⊙	⊙	⊙	⊙	Alta, 108	⊙					
17	Valle del Contry 2do Sect	A	1,284.9	⊙							Parque Valle del Contry, 193.3			
18	Valle del Country	A	117,839.2	⊙					49,488.0		Valle de los Reyes, 56,025.1			
19	Contry las Águilas	A	36,935.3	⊙	⊙	⊙	⊙	Alta, 25						
20	Country la Costa	B	17,763.3	⊙					523.4		Paseo de las Américas Costa del Sol, 3,976.11; Paseo de las Américas Costa Azul, 1,153.64			
21	Villa del Río	F	8,806.0	⊙					8,806.0					
22	Jardines del Contry	F	5,231.4	⊙					5,227.1					
23	Contry	F	1,552.7	⊙					1,552.7					
24	El Pirul	F	2,670.0	⊙					2,670.0					

Conflicto ⊙. C.H.- Conflicto Hidrometeorológico: Inundación por la corriente y el encharcamiento de la vialidad. R.G.- Riesgos Geológicos: Erosión e inestabilidad del suelo, deslizamientos, desprendimientos, deslaves, vuelcos y caídos del macizo rocoso. Z.G.- Zona de Guarda: Cañadas y escurrimientos en bajadas.

Se evaluaron los sitios susceptibles para mejorarse, regenerar y ampliar el espacio público basado en las compensaciones ambientales que son obras o actividades para reducir, amortiguar, contener o estabilizar el agua, suelo o macizo rocoso. Cada sitio es prioritario para evitar la pérdida del suelo (~77 Mm³/año área de análisis), la inestabilidad estructural del macizo rocoso o la anegación del terreno. Del área total por sitio se calcula la compensación por riesgo geológico, hidrometeorológico o algún otro servicio ambiental que pueda prestar el espacio por su categoría en uso de suelo o cobertura. Para estimar el valor del servicio ecosistémico de cada sitio se construyó un tabulador de costos considerando a CONABIO: Mora (2019), Elmqvist *et al.* (2015), Batker *et al.* (2016) y 22 propuestas adscritas.

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS

El polígono de análisis contiene 24 colonias distribuidas en 6 cuencas hidrológicas superficiales alcanzando un área de 3.53 km². Se tienen 248,819 m² (0.248 km²) de zonas de riesgos geológicos propensas al desprendimiento, deslizamiento y vuelco del macizo rocoso; esta superficie está ocupada por asentamientos en pendientes irregulares y mayores a 16.8°. Son 7 colonias en la parte alta urbanizada de la Sierra de la Silla con una susceptibilidad de riesgo media-alta a muy alta en 220,258 m² de manzanas. Las formaciones geológicas presentes son siete: Cupido, La Peña, Tamaulipas Superior, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez. El rumbo y buzamiento es en promedio de 340°/67° para los planos de estratificación (*ss*), y de 34°/50°, 120°/60°, y 160°/65° en fracturas de tensión (*sf*) tipo *ab* y *bc*, así como fracturas de cizalla tipo *hk0*; dependiendo dónde se haya tomado el dato en el flanco Oeste de la Sierra. En cambio, cuesta abajo, las 6 cuencas se anegan puntualmente en 60 sitios. Las zonas anegadas tienen una superficie de 457,470 m². Las inundaciones se extienden a dos secciones de la margen del Río la Silla y otras partes vadosas en 19 colonias (Tabla 2).

El cálculo del área de la superficie repartida en cinco cañadas es de 65,302.58 m², y de obra pública en once parques 126,615.70 m², tres glorietas 6,950 m², ocho camellones 11,528.50 m² y el Estadio BBVA con 248,003 m² (Tabla 2). El uso de suelo en las cuencas del análisis está destinado al ANP y áreas urbanizadas, cubiertas mayormente por matorral submontano y bosque de encino. Anualmente en promedio, las cuencas pierden 197,365.94 m³/año de suelo fértil por erosión de los primeros < 5cm, o aproximadamente 97.96 Ton/año. La erosión del suelo se correlaciona con la pendiente que tiene un valor promedio mayor o igual que ≥ 15°, supe-

rando los grados de estabilidad por la cohesión de las arcillas en las formaciones geológicas.

Seis son los puntos clave donde inicia el trazo de la primera línea clave por cuenca; con origen en una vertiente, cañada, arroyo o zona de guarda. Su trazo se extiende a la ladera más próxima, sin sobrepasar un desnivel de 5°. De la línea clave de origen se distribuyen otras en equidistancia a menor altura en el terreno. Las líneas a desnivel se extienden a la cresta de la ladera, lugar donde convergen las líneas clave de la cuenca vecina con puntos clave. En general, las vertientes o cañadas son escarpadas y con pendientes ≥ 32°, el diseño hidrológico con *key line* aminora el desnivel del escurrimiento de agua en esas bajadas, y conduce la lámina del agua en dirección oblicua a la caída natural. En algunos sitios, las imágenes satelitales confirman la existencia de caminos de tierra o senderos que pueden servir con doble propósito, el trazo de líneas clave y vías de comunicación. Los puntos clave se reparten en cuatro colonias. Tres *key points* yacen en una zona de guarda, uno de ellos cercano a un sitio en conflicto vial por la corriente superficial. Tres de los seis puntos clave están cada uno en la parte alta de cañadas surtidoras de escurrimientos a parques, glorietas y camellones; los otros puntos se ubican a una menor altura debajo del límite entre los urbanizado y el ANP. 24 colonias se ven influenciadas por el escurrimiento en 5 de ellas debajo del punto clave. Aguas abajo de las cañadas con *key line*, el escurrimiento a dos camellones podría tener una mejor disipación para evitar los encharcamientos. La orientación del macizo rocoso hace posible una infiltración del agua superficial al acuífero subterráneo por medio de los planos de debilidad entre los estratos en posición vertical de las formaciones geológicas. El proceso para un escurrimiento controlado con línea clave ayuda en la recarga del acuífero subterráneo entre las cotas 530 y 540 m.s.n.m., justo debajo de la línea clave se tiene registro del nivel estático de agua subterráneo en la porción Sur del acuífero del AMM.

SERVICIOS AMBIENTALES, GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICO

En Nuevo León, como también en Guadalupe, el valor económico de los servicios del ecosistema se tasan entre \$66,966.89 y \$51,471,645.92 pesos mexicanos. El apilado de los elementos cartográficos del análisis da certeza técnica para calcular el capital natural o el valor de la Naturaleza en espacios urbanos en relación con el río, la calidad del agua, tipo de vegetación, su estética, el uso de la tierra y los ecosistemas. Mundialmente, los servicios de la naturaleza dan beneficios al hábitat en general, también estabilidad climática, recarga del acuífero,

protección de las inundaciones, reducen la erosión, estabilizan el suelo, fomentan la recreación y el turismo. El cálculo se hizo basado en el menor rendimiento en dólares por metro cuadrado al año (\geq 0.207; Tabla 3), en cañadas, parques, glorietas, camellones y áreas urbanas transgredidas por riesgos geológicos e hidrometeo-

rológicos. Las áreas públicas suman mil millones de pesos a aproximadamente \$58 millones de dólares en servicios ambientales; mientras las zonas en riesgo geológico e hidrológico dejan una pérdida por protección a erosión e inundación por 29.6 millones de pesos y \$25.5 millones de pesos, respectivamente.

Tabla 3. Tabulador de servicios ambientales en estabilidad del agua, suelo o roca

#	Uso de cobertura	Servicio ambiental (s.a.)	Actual Estimada		Pronóstico máx. cotizado	Superficies y áreas del análisis					Sectores en cuencas analizadas	
			mín. cotizado: \$dls/M ² /Año	\$dls/M ² /Año		Parques/Cañadas	Glorietas	Camellones	Estadio	Geológico	Inundación	
1	Urbano	Recreación/turismo	2.898	1,431,075.87	58.374	493,815 m ²	19,856 m ²	67,855 m ²	248,003 m ²	248,819 m ²	Deuda por compensar s.a. \$dls/M ² /Año	1,325,748.73
2		Estético	1.863	919,977.35	119.646	1,431,075.87	57,542.69	196,643.79	718,712.69	463,549.80	852,267.04	
3		Protección a inundación	0.414	204,439.41	2672.577	919,977.35	36,991.73	126,413.87	462,029.59	463,549.80	189,392.68	
4		Calidad de aire	0.207	102,219.71	1.242	204,439.41	8,220.38	28,091.97	102,673.24	94,696.34	94,696.34	
5		Estabilidad territorial	6.417	3,168,810.86	25630.533	102,219.71	4,110.19	14,045.99	51,336.62	1,596,671.52	2,935,586.47	
6	Río	Recreación/turismo	2.691	1,328,856.17	91.701	3,168,810.86	127,415.95	435,425.54	1,591,435.25	1,231,052.39	1,231,052.39	
7	Calidad del agua		1.5525	766,647.79	14.4555	1,328,856.17	30,826.44	105,344.89	385,024.66	710,222.53	710,222.53	
8	Vegetación Riparia	Habitat/refugio	0.828	408,878.82	22.563	766,647.79	30,826.44	105,344.89	205,346.48	378,785.35	378,785.35	
9		Recreación/turismo	1.035	511,098.53	11.385	408,878.82	20,550.96	70,229.93	256,683.11	473,481.69	473,481.69	
10		Protección a inundación	0.207	102,219.71	1325.007	511,098.53	20,550.96	70,229.93	51,336.62	94,696.34	94,696.34	
11	Humedal	Recreación/turismo	0.207	102,219.71	32.292	102,219.71	4,110.19	14,045.99	51,336.62	13,257,487.27	13,257,487.27	
12		Habitat/refugio	28.98	14,310,758.70	47.817	102,219.71	575,426.88	1,966,437.90	7,187,126.94	13,257,487.27	13,257,487.27	
13		Estético	32.292	15,946,273.98	76.383	14,310,758.70	641,189.95	2,191,173.66	8,008,512.88	14,772,628.67	14,772,628.67	
14		Protección a inundación	2.277	1,124,416.76	159203.286	15,946,273.98	45,212.11	154,505.84	564,702.83	1,041,659.71	1,041,659.71	
15	Tierra cultivada	Recreación/turismo	0.207	102,219.71	658.053	1,124,416.76	4,110.19	14,045.99	51,336.62	94,696.34	94,696.34	
16	Arbusto	Habitat/refugio	1.656	817,757.64	6939.054	102,219.71	32,881.54	112,367.88	410,692.97	757,570.70	757,570.70	
17		Recreación/turismo	1.035	511,098.53	4031.325	817,757.64	20,550.96	70,229.93	256,683.11	473,481.69	473,481.69	
18		Polimización	3.4155	1,686,625.13	6.831	511,098.53	67,818.17	231,758.75	847,054.25	1,562,489.57	1,562,489.57	
19	Cobertura vegetal	Erosión del suelo	0.207	102,219.71	112.194	1,686,625.13	4,110.19	14,045.99	51,336.62	51,505.53	94,696.34	
20	gral. Habitat y refugio		5.175	2,555,492.63	30.429	102,219.71	102,754.80	351,149.63	1,283,415.53	2,367,408.44	2,367,408.44	
21	gral. Estético		0.207	102,219.71	32.292	2,555,492.63	4,110.19	14,045.99	51,336.62	51,505.53	94,696.34	
SUMA:											\$1,648,177.06	\$1,420,445.06

DISCUSIÓN

Con el desarrollo del AMM se han obtenido suficientes datos geológicos e hidrometeorológicos para integrarlos al análisis de la biósfera de los municipios; su interpretación requiere de una responsabilidad de quien planea y ejecuta las obras públicas. Cada técnica representa un reto para ser comprobada por su eficacia, más cuando se aplican en zonas de riesgo o cuando el método se adopta de geografías con ambientes o usos distintos al del sitio por ordenar. Los resultados pueden soportar las pruebas de los Manifiestos de Impacto Ambiental (MIA) y peritajes en ingeniería. Los elementos cartográficos en su conjunto, la geología e hidrometeorología con los servicios ambientales sirven de instrumento para la defensa legal a los ciudadanos y naturaleza susceptibles a cualquier factor que exacerbe su condición de vida, sea por fenómenos naturales o antrópicos.

CONCLUSIONES

El caso de carácter geográfico es preliminar y requiere de más pruebas y procedimientos técnicos para implementarse. Sin embargo, la cartografía señala las áreas urbanas para mitigar el riesgo y remediar las condiciones sustentables del terreno. El mejoramiento de las áreas públicas puede compensar la pérdida del capital natural y reducir el riesgo por cada área con uso de suelo urbano y ocupado por habitantes en zonas susceptibles de riesgo.

En la vida metropolitana, el caso puede servir de evidencia para justificar la protección al medio ambiente, y un apoyo para normar los criterios cuando se cuantifica un seguro de desastres por fenómenos naturales para el proceso de la recuperación de la comunidad afectada. La propuesta es un instrumento administrativo que incide en lo social y localiza áreas en donde se implementen las medidas de mitigación. Los resultados pueden incluirse en los sistemas de cuentas y permiten explorar su papel en la vulnerabilidad y resiliencia con que responde una sociedad susceptible a un agente afectable.

La conjunción del método y los cálculos sirven en proyectos integrales de la geología, hidrología y ecología urbana. La solución integral ayuda a superar el déficit ambiental de los servicios ecosistémicos en zonas de riesgo, y para diseñar sistemas de absorción o sumideros de agua y carbono, en los que se aprovecha la infraestructura urbana para estabilizar el suelo o roca y drenar el agua con técnicas de reducción del escurrimiento. Su ejecución necesita de una cooperación metropolitana como lo dispuesto en lo federal y local, para cumplir el tratado internacional con la Organización de las Naciones Unidas, en al menos 11 de los 17 Objetivos del Desarrollo Sustentable de la agenda 2030.

La importancia de la propuesta es vital. Por lo que se pide del interés profesional de los expertos en uso de suelo, manejo de desastres y política pública. Lo descrito sirve de apoyo al Consejo Consultivo de Desarrollo Urbano del Municipio de Guadalupe (CCDU), en cuyo Capítulo III de la integración de sus XIX representantes no se incluye ningún Geólogo o profesional de Ciencias de la Tierra.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Consejo Técnico Geológico e Hidrometeorológico del Estado de Nuevo León de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León por su influencia técnica. Igualmente, se reconoce el apoyo del Ingeniero Forestal Benjamín Galindo-Ortega de EBH Consultores, en el uso de los sistemas de información geográfica. Y un sincero agradecimiento a Buffet Núñez Arreola y Asociados, S.C., la Sociedad de Urbanismo Región Monterrey (SURMAC), Huamila-groforestal y a los árbitros en anonimato por sus sugerencias para enriquecer el texto.

REFERENCIAS

- Batker D., Christin, Z., Cooley, C., Graf, W., Bruce-Jones, K., Loomis, J., & Pittman, J. (2016). *Nature's value in the Colorado River Basin. Earth Economics*. The Walton Family Foundation, 117 p.
- CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Área Metropolitana Monterrey (1906), Estado de Nuevo León. DOF:04/012018. 37 p.
- CONAGUA (2019). Tormenta Tropical "Fernand" del Océano Atlántico del 3 al 4 de septiembre de 2019. 12 p.
- CONANP (2017). Normas de la CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Doherty, D. (2015 y 2020). Geography and Water. *Regrarians Handbook*, p. 76-321.
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., Ploeg, S van der., Aronson, J., Blijnaut, J. N., Gómez-Baggethun, E., Nowak, D. J., Kronenberg, J., & Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>
- INEGI (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Continuo nacional, escala 1:250000, serie VI.
- Mora, F. (2019). The use of ecological integrity indicators within the natural capital index framework: The ecological and economic value of the remnant natural capital of Mexico. *Journal for Nature Conservation*, 47, 77-92. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.11.007>
- Pasch, R. (2010). Tropical Cyclone Report Hurricane Alex (AL012010), 25 June-2 July 2010. National Hurricane Center, 15 December 2010, 19 p.
- Cómo citar:**
Rubio-Cisneros, I. I. (2023). Diagnóstico cartográfico preliminar para compensaciones ambientales y geológicas en el municipio de Guadalupe, Nuevo León. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24 (02), 1-8. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.2.014>