

DIAGNOSTICO DE LA SEQUÍA EN LOS ECOSISTEMAS Y VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE QUERÉTARO

Instituto de Ecología y Cambio Climático
Mayo, de 2024

PRESENTACIÓN

De acuerdo con el Monitor de Sequía en México del 30 de abril del 2024, el municipio de Querétaro se encuentra en Sequía Extrema (D3 que implica lo siguiente: **Sequía Extrema (D3): Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez** (CONAGUA, 2024). En el mapa del Monitor, para Querétaro se muestra una situación de anomalía (déficit), pero hay que tomar en cuenta que las condiciones medias esperadas pueden ser modificadas por eventos hidrometeorológicos de corta duración.

En él presente estudio, se propone una metodología a partir de otras ya existentes (NVDI Y VIC) para estimar la severidad, magnitud y vulnerabilidad de la sequía en los ecosistemas naturales y biodiversidad (dentro y fuera de la ciudad). No se omite señalar que parte de la información (erosión de suelos, índice de biodiversidad y cubierta vegetal) se retoman de los estudios disponibles pero no tan recientes, lo que nos lleva a considerar un margen de (error) imprecisión +- 2.5%.

Se contempla la severidad y magnitud del impacto en ecosistemas naturales y biodiversidad dentro del municipio de Querétaro, considerando aspectos como los tipos de ecosistemas presentes, el índice de biodiversidad, la erosión de suelos, y el impacto potencial de vulnerabilidad ante la sequía.

INTRODUCCIÓN

La sequía induce la reducción de la lluvia y humedad del suelo, lo cual provoca una disminución del crecimiento de las plantas, una alteración de su composición y un aumento del estrés en la vegetación. Las plantas pueden sufrir marchitamiento, la reducción de la fotosíntesis o incluso la muerte. La sequía también aumenta la frecuencia y magnitud de los incendios forestales, ya que es acompañada de altas temperaturas, lo cual ocasionan que los materiales combustibles (i.e., troncos, ramas, hojarasca, entre otros) pierdan humedad rápidamente y estén disponibles para iniciar un incendio. Las especies animales también pueden ser afectadas por la sequía, ya que una menor disponibilidad de agua puede provocar una escasez de agua y de fuentes de alimento, obligando a los animales a migrar en busca de hábitats adecuados.



Por otro lado, las sequías ecológicas también afectan la provisión de *servicios ecosistémicos*, como la purificación del agua, el secuestro de carbono y la fertilidad del suelo, por lo que sus impactos tienen repercusiones directas en el bienestar humano y los medios de subsistencia (Angulo, 2024), <https://plazadearmas.com.mx/la-sequia-ecologica/>).

Para mitigar los impactos de la sequía ecológica, en primera instancia, hay que realizar una evaluación de su severidad o impacto y magnitud, para posteriormente elaborar una combinación de estrategias de gestión del agua, conservación y restauración de ecosistemas y medidas de adaptación.

No obstante cuando existe una menor competencia de las plantas más diversas por el agua, ello permite que se mantenga su crecimiento durante episodios de sequía, mientras que, en el caso de los grupos de la misma especie o menor biodiversidad, la competencia es mayor y, por tanto, el crecimiento se resiente. La complementariedad entre especies retrasa el punto en el cual el agua se muestra limitante para el crecimiento.

Pero también existe el ecosistema urbano, donde se encuentra una vegetación que cumple ciertas funciones ecológicas como la termorregulación del clima, la remoción de contaminantes atmosféricos y captura de CO2. No obstante, el dosel arbóreo de los árboles urbanos se encuentra bajo una presión cada vez más creciente. La impermeabilidad del suelo es cada vez mayor y eso afecta directamente a las raíces de los árboles. En los llamados "suelos estructurales", que retienen poca agua, este problema se acentúa, lo cual influye en la caída de las hojas de forma prematura. En muchas áreas urbanas podemos observar que árboles plantados en ciertos medios no muy apropiados están sufriendo, y tienen que ser apoyados con sistemas de riego complementarios, como bolsas de riego y otros (Arboricultura urbana- Investigación. 2002).

Durante los periodos de sequía, los efectos sobre la biodiversidad son múltiples y preocupantes. La sequía afecta a la biodiversidad al alterar las flores, lo que repercute directamente en los polinizadores y provoca una disminución de las poblaciones, una menor reproducción de las plantas y una amenaza para la biodiversidad y los ecosistemas. Un estudio científico revela que la sequía provoca una disminución de los recursos florales a disposición de los polinizadores, con menos flores que contengan néctar. Estos efectos en cascada subrayan la importancia de tomar medidas para preservar la biodiversidad frente al cambio climático y la sequía (Fraccaro, 2023).

Un sector no considerado por las estadísticas de la CONAGUA es el de los sistemas ecológicos, cuya importancia para el país debe destacarse por los servicios que de ellos recibimos; considerarlos en el problema general de gestión hídrica bajo sequía resulta prioritario.

Las investigaciones han permitido concluir que la reducción de disponibilidad hídrica en el suelo disminuye la actividad enzimática, ralentizando así la mineralización de la materia orgánica y por



tanto el reciclaje de los nutrientes y disminuyendo, por tanto, su posterior disponibilidad para las plantas (Sardans et al, 2010).

Hay que tomar en cuenta que los efectos de la sequía en especies arbóreas se cuantifican en la **reducción del número y tamaño de las hojas**, así como en la mortalidad de los individuos, la reducción del crecimiento y aumento de la defoliación.

Diversos estudios han demostrado que hay especies más resistentes a la sequía pero menos resilientes (recuperación), y viceversa.

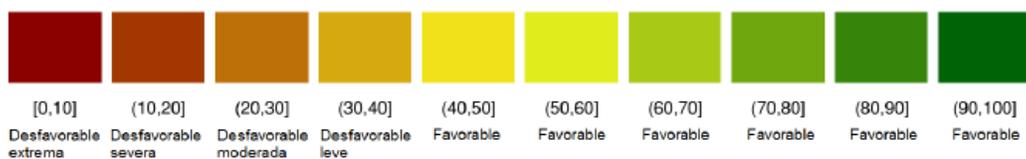
En general, se espera que las zonas áridas y semiáridas se vean muy expuestas y sean las más vulnerables a disminuciones en las precipitaciones debido a la baja diversidad funcional y/o la identidad de las especies presentes que influyen en la sensibilidad del ecosistema.

A pesar de la escala global de los cambios climáticos, los ecosistemas muestran distinta respuesta o sensibilidad a eventos extremos como las sequías, cuyas consecuencias no son las mismas en distintas regiones y tipos de ecosistemas. La sensibilidad describe el grado en el que se ven afectados atributos funcionales y estructurales ante un cambio en el ambiente abiótico, mostrando distintas tasas que describen la magnitud y naturaleza del cambio e indican la capacidad de respuesta de los ecosistemas.

Es por esto, que se tienen que encontrar mecanismos para diagnosticar la afectación de la vegetación a sequía, como puede ser a través de los índices de vegetación que utilizan varias combinaciones de datos de satélite multispectrales para producir una única imagen que representa el vigor vegetativo/estrés/sequía. Uno de estos es el Índice de Condición de la Vegetación (VCI) que propuso Kogan (1990, 1995).

El VHI es un índice compuesto por la unión del Índice de Condición de la Vegetación (VCI) y el Índice de Condición de la Temperatura (TCI), y se deriva a su vez del Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI). Este es calculado anualmente dentro de la plataforma de la NOAA Nesdis Star.

Clasificación según el VCI.



Caso Querétaro

Querétaro se encuentra localizado entre las regiones ciclogénicas del Atlántico Norte y el Pacífico Nororiental, por lo que es altamente vulnerable a la incidencia de este tipo de fenómenos



hidrometeorológicos. Por lo que puede haber lluvia que se asocia al paso de los ciclones tropicales en México (CONAGUA, 2023).

En el municipio de Querétaro, se ha presentado las diferentes modalidades de sequía, como la meteorológica, hidrológica, la agrícola y ahora también la sequía ecológica. Ésta *sequía ecológica* se refiere a un periodo prolongado en el cual la precipitación (Muñoz y Bonilla, 2023) o la disponibilidad de agua se encuentra por debajo del promedio y que afecta el funcionamiento de los ecosistemas, incluidas las plantas, los animales y otros organismos.

En cuanto a los ecosistemas, en el municipio de Querétaro de acuerdo al Inventario Municipal Forestal y de Suelos (Municipio de Querétaro, 2015) existen 3 tipos de ecosistemas: encinar, matorral y selva baja, mismos que se describen a continuación:

Bosques de Quercus (encinares): Ecosistema característico de climas templados húmedos o subhúmedos. El 49% del arbolado del bosque de Quercus en el Municipio no presentan daño, sin embargo, el resto exhibe algún tipo de daño, principalmente por plantas parásitas del género *Phoradendron* y plantas epífitas como *Tillandsia*, que representan el mayor porcentaje de individuos dañados por agente causal.

Selva Baja Caducifolia: También denominada como Bosque Tropical Caducifolio, constituye el ecosistema terrestre más complejo del área y el tipo de vegetación con mayor biodiversidad en el Municipio de Querétaro (Municipio de Querétaro, 2015). Se caracteriza por la dominancia fisonómica de un estrato arbóreo compuesto por especies con afinidad tropical que no sobrepasan los 10 m de altura; en ocasiones pueden existir dos estratos, mismos que en temporada seca pierden su follaje (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978). Los árboles presentan hojas compuestas con folíolos pequeños y su corteza se caracteriza por ser exfoliante o de colores vivos (Zamudio, et al, 1992).

En el estrato arbóreo de la Selva Baja Caducifolia se registraron un total de 36 especies, donde abundan características de este tipo de vegetación como son *Lysiloma microphylla*, *Bursera fagaroides*, *Senna polyantha* y *Eysenhardtia polystachya* a la par con especies pertenecientes a la familia Cactácea como son; *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia hyptiacantha* y *Opuntia streptacantha*. Las especies dominantes, es decir, que poseen los individuos con mayor altura, es *Lysiloma microphylla* y los codominantes sin considerar a las cactáceas son *Cedrela dugesii*, *Ceiba aesculifolia* y *Senna polyantha* (Municipio de Querétaro, 2015).

En lo que respecta a los individuos dañados, el 83.4 % es consecuencia de las plantas epífitas como la *Tillandsia sp.*, lo que la convierte en el agente causal de daño más importante en este tipo de vegetación. El resto de los individuos tiene afectaciones por otros tipos de agentes. Así mismo, la mayoría de los sitios muestreados en el Inventario en comento, presentó degradación hídrica con pérdida de suelo superficial (42.6 %), que podría ser consecuencia del manejo inapropiado de las tierras forestales.



Matorral Crasicaule: Es un tipo de vegetación donde dominan las plantas de crecimiento arbustivo que ramifican desde la base del tallo. Incluye elementos tanto caducifolios como subcaducifolios, inermes, subinermes o espinosos. La cobertura vegetal de los matorrales tiende a ser abierta o semiabierta. Comúnmente existen gramíneas, hierbas, arbustos y plantas suculentas o semisuculentas que crecen a distintas alturas (Rzedowski, 2006). Se asienta preferentemente sobre suelos someros en laderas de cerros de naturaleza volcánica, a una altitud entre 1,400 a 2,500 msnm, aunque en ocasiones se pueden encontrar en suelos aluviales contiguos. Suelen presentarse en zonas de clima árido a semiárido, con precipitación media anual que varía entre 300 y 600 mm y una temperatura promedio anual de 16 a 22 °C, un gran número de especies que pueden ser consideradas para conservación. Conservar las áreas de matorral permite la recarga de acuíferos y garantiza el suministro de agua. Esta comunidad vegetal cuya estructura es similar a Matorral Crasicaule, la cual se deriva, en su mayor parte, de cambios en las dinámicas ecológicas de las comunidades donde originalmente existía Selva Baja Caducifolia.

En el Inventario Municipal Forestal y de Suelos (Municipio de Querétaro, 2015), la superficie total del Municipio reporta un 8.5 % de vegetación primaria (5,896.30 ha), la cual corresponde al tipo de vegetación de Selva Baja Caducifolia. Mientras que el 27.5 % restante (19,002.64 ha) corresponde a vegetaciones secundarias de diferentes categorías sucesionales. De estas, la vegetación secundaria arbustiva es la mejor representada en todos los tipos de vegetación (Inventario Forestal municipal, 2015)

Por su parte, de acuerdo con el Índice de Condición de la Vegetación (VCI), para el estado de Querétaro, la categoría de Sequía Severa (para el 2023), es menos del 30% de la superficie (ver gráfica de abajo), lo cual, significa que se encuentra en una clasificación de **Desfavorable Moderada**, mientras que para el 2022 sólo era del 11% pero en una condición de **Desfavorable Severa**.

Si consideramos extrapolar el porcentaje de superficie estatal al municipal, tomando en cuenta que el total del municipio se encuentra en una categoría de sequía severa (2023), y además que la superficie total con cobertura vegetal (de acuerdo con el índice de Capital Natural del Municipio, 2022) nos da 26,881.66 has, quitando la superficie con cobertura de las áreas verdes urbanas, ya que estas son regadas, nos daría un resultado de 7,795 ha como parte del 29% impactadas por la sequía en la categoría de **Desfavorable Moderada**, lo que a su vez, implica que el resto de las hectáreas, es decir, 19,085 has (71%) habrían mostrado una resistencia a la sequía.

Dicha cuantificación de líneas arriba, se infiere que la mayor resistencia a la sequía se presenta en la vegetación primaria (5,896.30 ha), la cual corresponde al tipo de vegetación de Selva Baja Caducifolia, debido a que en este tipo de ecosistema hay mayor diversidad de especies, y en particular de especies nativas que muestran ser mayormente eficientes en términos hídricos (menor consumo de agua y menor tasa de transpiración) además de su superficie de copa, que le permite retener la transpiración, a diferencia del matorral que tienen mayores espacios abiertos.



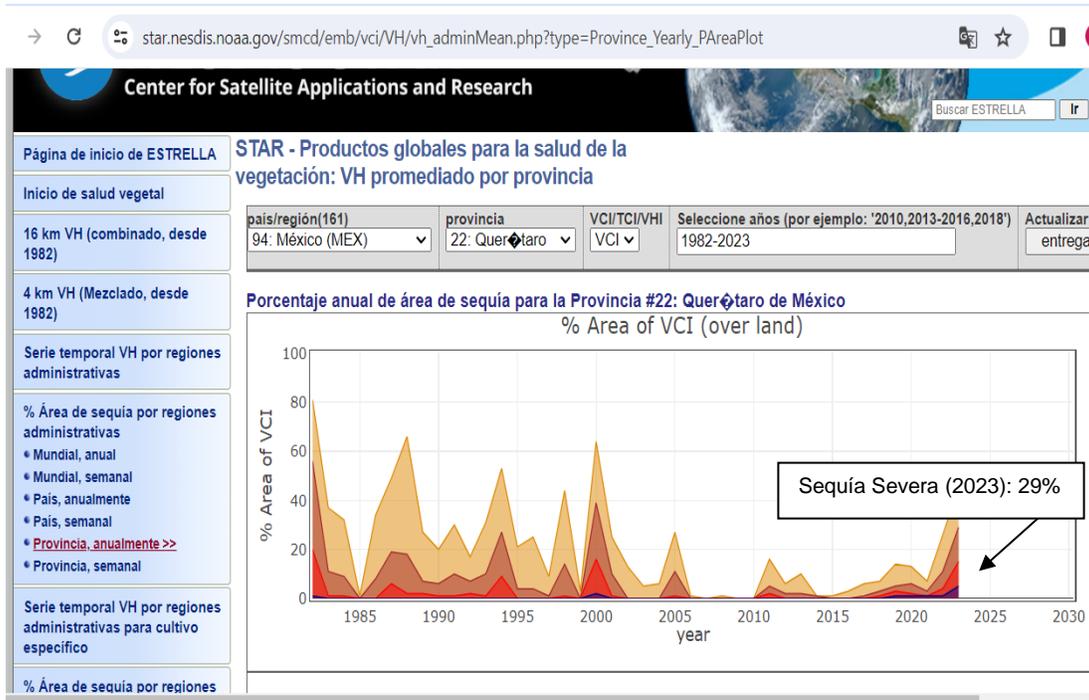
Ahora bien, tomando en cuenta que el suelo es un factor clave en la sequía (El suelo es importante para proporcionar humedad, alimentación y sustrato a la vegetación y también porque ahí se da la evaporización del agua) consideremos que para el municipio de Querétaro se registra una degradación por erosión del suelo en un 54% de la superficie con vegetación (Ordenamiento Ecológico del Municipio, 2015) por lo que resulta que de las 7,795 ha con afectación por sequía, en al menos 4,209 ha (que equivale al 54% de suelo con degradación), entonces tendríamos 1.85 ha afectadas por cada hectárea de las 4,209 ha en condición de **Desfavorable Moderada**.

En esta medida, se puede estimar, dado que la severidad o impacto por sequía no se da en un solo polígono o conjuntos de polígonos compactos, debido a la convergencia de factores que inciden en la sequía, por tanto, el impacto es diferenciado y en este sentido, se podrá observar tomando como base el índice de NVDI estimado para el 2023 en los meses de sequía de 0.214, lo que nos indica una cifra positiva del impacto de la salud de la vegetación relativamente alta. Si establecemos un rango de puntos de -1 hasta llegar al 1 +, dicha escala tendría 6 categorías que iniciarían del 0 al 1 lo cual puede ser equiparable a rangos de porcentajes.

- Del 0 al .1 = del 0 al 10%
- Del .1 al .2 = del 10 al 29% .214= 21.4%
- Del .3 al .4 = del 30 al 49%
- Del .5 al .6 = del 50 al 69%
- Del .7 al .8 = del 70 al 89%
- Del .9 al 1 = del 90 al 100%

Bajo lo considerado anteriormente, entonces tendríamos un 21.4% para el 2023 en los meses de secas para el municipio de Querétaro, lo cual podríamos aplicar a una hectárea, lo que significa que el impacto de la sequía por hectárea es de 2,140 metros cuadrados, dentro de la cantidad de hectáreas estimadas de afectación (4,209 has). Y por otro lado existiría un 78.6% (7,860 metros cuadrados) de una hectárea que no estarían afectados. Ello nos indicaría una distribución diferenciada del impacto de la sequía por ha, razón por la cual no hay una gran afectación en los ecosistemas naturales.





Los ecosistemas se definen con base en la distribución geográfica, el conjunto biótico nativo o comunidad ecológica, las condiciones ambientales que los sustentan y los procesos e interacciones entre los componentes. La sequía ecológica genera degradación ambiental, la cual puede reducir la calidad del hábitat o la idoneidad de la biota nativa y la alteración de los procesos bióticos, puede disminuir la resiliencia del ecosistema y su capacidad para mantener su comunidad ecológica. Es importante medir el cambio en estas características porque proporcionan una medida de qué tan cerca está un ecosistema del colapso.

Varios estudios (estudio europeo publicado en la revista Global Change Biology y liderado por el CREAM) advierten que la sequía asociada al cambio climático podría reducir la biodiversidad de organismos del suelo y frenar la descomposición de las hojas caídas. Esto pondría en peligro el reciclado de los nutrientes para las plantas en los ecosistemas naturales.

Cada especie reacciona de manera diferente a los efectos de la sequía, e incluso entre las más resistentes es posible identificar dos categorías diferentes: las que se ven menos afectadas por los efectos de la sequía, y las que se ven más afectadas pero regresan a una condición normal más rápidamente (Agostini, 2024). Además, algunas plantas y especies de árboles resisten la sequía consumiendo más agua y absorbiendo toda la presente en el suelo, mientras que otras especies consumen mucha menos pero ralentizan la fotosíntesis. Por ello, la presencia de diferentes especies es lo que permite que el ecosistema natural sobreviva, ya que, de esta forma, encuentra un mayor equilibrio incluso en situaciones de crisis.



Es el desarrollo del sistema radicular lo que marca la diferencia para la supervivencia de los ejemplares en largos períodos sin precipitaciones: las especies con raíces más profundas tienen un mayor acceso a los recursos agua del suelo, lo que resulta más difícil.

La presencia de **diferentes especies**, por tanto, influye en la resistencia global del ecosistema, ya que, al reaccionar de forma diferente, plantas y árboles no competirán entre sí. Este es el principio detrás de la biodiversidad: gracias a la presencia de muchas especies diferentes, el ecosistema, en su conjunto, funciona mejor y reacciona de forma más funcional incluso ante situaciones extremas y problemáticas.

Tabla. Índice de Biodiversidad

Ecosistema	Superficie (ha)	Índice de Biodiversidad
Bosques de Quercus	1,076.42	2.70 34 especies distintas
Selva Baja Caducifolia (constituye el ecosistema terrestre más complejo del área y el tipo de vegetación con mayor biodiversidad)	5,896.30 arbustiva	2.99 59 especies para el estrato herbáceo 73 especies para el estrato arbustivo 36 especies para el estrato arbóreo
Matorral crasicaule	5,536.33 herbácea	3.16 10 especies estrato herbáceo 16 especies para estrato arbustivo 18 especies para el estrato arbóreo
	6,396.07 herbácea	

Fuente: Inventario Municipal Forestal y de Suelos, 2015.

Nota: El Índice de Shannon-Wiener, se utiliza para determinar la diversidad de especies de plantas en las zonas forestales, tomando en cuenta la abundancia relativa de cada especie.

Índice de Biodiversidad Urbana de la Ciudad de Querétaro

	Índice de Biodiversidad	Remoción de contaminantes Ton/año	Especies nativas %	Densidad árboles/ha
La Ciudad	3.19	11.60	28.29	45.67
	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio

Fuente: Estudio de biodiversidad Urbana, IECC, 2022.

De esta forma, el índice de biodiversidad contempla la **cantidad de especies** presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la **cantidad relativa de individuos** de cada una de esas especies (abundancia).

El índice de Shannon-Wiener, normalmente, varía de 1 a 5, e interpreta a valores menores de 2 como diversidad baja, de 2 a 3.5 media y superiores a 3.5 como diversidad alta.

Con base a los índices de biodiversidad para los ecosistemas naturales, tendríamos que el ecosistema de Matorral es el que alcanza un mayor índice, pero se debe fundamentalmente a la



superficie que abarca y por ende a la cantidad relativa de individuos, mientras que el ecosistema de Selva Baja Caducifolia tiene un menor índice de biodiversidad, debido a que cubre una menor superficie, sin embargo, es el ecosistema que tiene una mayor cantidad de especies.

En esta medida, se puede concluir que el ecosistema natural con mayor resistencia a la sequía sería el de Selva Baja Caducifolia por su gran diversidad de especies. Pero un dato de suma importancia es que se ha contenido los cambios de uso del suelo en estos ecosistemas naturales, lo que, a su vez, restringe el fenómeno de fragmentación, cuestiones que inciden determinadamente en la salud de los ecosistemas y en su resistencia a la sequía.

En cuanto a la biodiversidad urbana, el índice es más alto que el de los ecosistemas naturales tanto por la presencia de especies (119 especies. 75 especies más que el matorral que sólo tiene 44 especies), lo que hace que tenga resistencia a la sequía. No obstante, se tiene un registro de especies exóticas con una tasa alta de evapotranspiración lo cual las convierte en especies vulnerables a la sequía, salvo por el riego con que cuentan y sus dimensiones físicas, que les permita contar con un sistema radicular más profundo y extenso.

En términos generales, se puede decir que el grado de afectación de la sequía en los ecosistemas naturales y urbano, no es demasiado alto, dada la biodiversidad que se ha protegido (cero cambios de uso del suelo en áreas de protección ecológica y ANPs y, disminución drástica del proceso de fragmentación, con lo cual se redujo la degradación ambiental), a la presencia de especies nativas y sus características físicas (tamaño, edad y sistema radicular).

Pero cabe agregar al Diagnóstico el aspecto de la vulnerabilidad ante la sequía, en el caso de los ecosistemas y biodiversidad. Así tenemos que el grado de exposición (ecosistemas y biodiversidad ante la sequía) se define como la posibilidad de un sistema de quedar expuesto a un cambio ante una posible situación desestabilizadora positiva o negativa (Vargas y Paneque, 2021); la sensibilidad se refiere al grado en que un sistema responde a variaciones del entorno; y la capacidad de adaptación se refiere a la aptitud de un sistema para adecuarse o ajustarse a las nuevas condiciones de su entorno. Los primeros componentes juntos representan el impacto potencial (I) del fenómeno (es decir, la magnitud del daño esperado), y la capacidad de adaptación es la medida en que estos impactos pueden ser evitados; por lo tanto, la vulnerabilidad es igual al impacto potencial menos la capacidad de adaptación.

Vulnerabilidad ambiental: Está relacionada con la susceptibilidad intrínseca del medio o los recursos naturales a sufrir daños por la falta de agua, debido a que todos los seres vivos necesitan de ciertas condiciones ambientales para desarrollarse, y en caso de existir un deterioro de la naturaleza por la vía de la destrucción de las reservas del ambiente, los ecosistemas resultan altamente vulnerables ante amenazas como la sequía.

Dentro de los factores ambientales que propician en mayor medida el hecho de que una región sea vulnerable a los efectos causados por la sequía se encuentra, sin lugar a dudas, la degradación de los recursos naturales (también conocida como degradación ambiental), y la zona en que se ubica.



El municipio de Querétaro al encontrarse en una zona semiárida, prácticamente ya es vulnerable a la sequía, no obstante, mucho importará la degradación ambiental para incrementar, mantener o reducir la vulnerabilidad.

En el 2022 (Municipio de Querétaro, 2022), se calculó el índice de Capital Natural del Municipio, para lo cual se estimó la degradación ambiental (en un periodo de tiempo del 2016-2022), que arrojó la cifra de 0.269, considerando fragmentación, cambios de uso del suelo y degradación de parches ecológicos, y que para fines de estimar la vulnerabilidad, tendríamos que 0.731 no se encuentra en la categoría de degradación ambiental.

A fin de construir el indicador utilizaríamos la ecuación siguiente:

$$\text{Degradación Ambiental } DA = \frac{\text{área degradada (\% de sup)}}{\text{área total con cubierta vegetal (\% de sup)}}$$

Área degradada en superficie= 7,405.14ha =0.269
Total de superficie con vegetación= 27,528.42ha =0.399
Área (sup)con cubierta fuera del área urbana= 0.390
Área (sup) con cubierta dentro del área urbana= 0.009

$$DA = \frac{0.269\%}{0.399\%} \text{ del total} = 0.6741 \text{ (\% de sup.) que equivalen a } 1,855.69 \text{ ha con degradación}$$

Con base en los resultados del coeficiente, (el Coeficiente, es la expresión numérica de una propiedad o característica de un cuerpo, que generalmente se presenta como una relación entre dos magnitudes), se tiene un 0.6741% de superficie (equivalente a 1,855.69 ha), lo que nos indica una superficie con sensibilidad frente a la sequía por la degradación existente, y que puede considerarse en una categoría **Baja**.

Ahora bien, hay que agregar como parte de la degradación la erosión, que se presenta la cual como ya se indicó en párrafos anteriores es del 54% (igual 0.54%)

$$DA = 0.6741 + 0.54 = 1.21\% \text{ (\% de sup.) que equivalen a } 3,330.93\text{ha con degradación.}$$

Ahora sólo nos falta adicionar la resistencia a la sequía, para poder obtener el Índice de Impacto Ambiental Potencial de la sequía, para conocer su vulnerabilidad.

Para ello, tomaremos el índice de biodiversidad, dado que es un factor atenuante de la sequía. En este sentido, el promedio del Índice de Biodiversidad que comprende los 3 ecosistemas y el ecosistema urbano (2.70 en bosque de Quercus; 2.99 en Selva Baja Caducifolia; 3.16 en Matorral crasicaule, y 3.19 en la Ciudad), tiene un valor promedio de **3.01**, lo que se traduce en **0.0301 %**.

Con el anterior valor podemos proceder ahora si, al cálculo del **Índice de Impacto Ambiental Potencial IP** de la sequía en los ecosistemas y biodiversidad en el municipio de Querétaro (su vulnerabilidad ambiental potencial).



IP= 1.21%-0.0301 = 1.1799% equivalente a 3,248.07ha (o 1,179 m2/ha), cifra que aún sigue siendo *Baja*.

RECOMENDACIONES

Para los Ecosistemas naturales

- En los ecosistemas naturales, se recomienda no otorgar cambios de uso del suelo (en áreas de protección ecológica, ni en ANPs)
- No realizar procesos de fragmentación de los ecosistemas (como caminos).
- Reforestar en las partes altas de la cuenca y en espacios abiertos
- No introducir especies exóticas.
- Llevar a cabo acciones de restauración y conservación de suelos (sobre todo para controlar el proceso de erosión)
- Incrementar la biodiversidad en el ecosistema de encinares y matorral
- Llevar a cabo acciones de prevención de incendios
- Realizar obras de micropozos de captación de agua

Por otro lado, es importante mencionar que lo criticable es que no se considera la biodiversidad, en cuanto a su aspecto cualitativo, visión que deberá cambiar de paradigma, sin descuidar, que las áreas verdes urbanas deben incrementarse, sobre todo aquellas con la categoría de jardines, ya que estas son las que guardan una estrecha relación con los ciudadanos, más que los camellones, glorietas u otros espacios de éste tipo, debido a que en dichas áreas verdes se consigue el disfrute y mejora la calidad de vida y con ello, entonces, se establece la métrica de accesibilidad de los 300 metros de distancia a recorrer por un ciudadano a un área verde. Y en consonancia, dichas áreas verdes deben planearse en aquellos espacios:

- a) Con déficit y,
- b) con simetría a las zonas de marginación.

A su vez, la visión basada en lo cuantitativo, no toma en cuenta la crisis del agua, pues a mayor número de individuos, principalmente arbóreos, mayor demanda de agua para su mantenimiento. En adición se recomienda lo siguiente:

- Los bajo-puentes deberán conservar su vocación ambiental y paisajística según sus características y clasificación como áreas verdes urbanas y deberán asegurar en todo momento la accesibilidad de todas las personas en el espacio público.
- Los camellones en vialidades primarias principalmente deberán conservarse como áreas de filtración e incorporar vegetación nativa principalmente.



- Se deberá seleccionar especies nativas adaptables a la sequía y además con raíces verticales, para los espacios en las banquetas a fin de reducir el riesgo de fractura de las mismas. Y considerar la anchura de la banqueta (mayor a 1.80 m) para hacerla compatible con el principio de movilidad peatonal y accesibilidad universal de las personas.
- Se deberá seleccionar especies nativas adaptables a la sequía, que preferentemente tengan raíces verticales, en particular las que coloquen en espacios como banquetas a fin de reducir el riesgo de fractura de las mismas, y considerar que la anchura de la banqueta sea mayor a 1.80 m, para hacerla compatible con el principio de movilidad peatonal y accesibilidad universal de las personas. En este aspecto se hacen los siguientes énfasis:
- El pasto es una especie vegetal muy demandante de agua y poco valor ecológico, por lo que se debe buscar reducir su extensión y eliminar su riego, incluso considerar su sustitución por otro tipo de cubresuelos, en particular las especies rastreras propias de los ecosistemas locales como es *Dichondra argentea*.
- Considerar una política de sustitución gradual de especies exóticas con un 20% del total de ejemplares existentes a mediano plazo para incrementar la biodiversidad local, en particular ir retirando especies como la *Jacaranda mimosifolia* (jacaranda) y *Syagrus romanzoffiana* (palmera), que son las especies más abundantes en la zona urbana, por tener una mayor área foliar y transpiración, y por tanto más susceptibles a la sequía o presencia de plagas, además de su impacto a la biodiversidad al formar monocultivos en algunas partes de la ciudad; e impulsar la producción de especies nativas adaptadas a la sequía en viveros públicos y privados para incrementar en la ciudad la presencia de ejemplares de especies como *Prosopis laeviagata* (mezquite), *Acacia farnesiana* (Huizache), *Ipomoea murucoides* (palo bobo) o *Bursera fagaroides* (palo xixiote) en lo que respecta a especies resistentes a la sequía, y empezar a promover la introducción de especies atractivas por su tamaño, fronda o floración, así como su capacidad de resiliencia (sin dejar de considerar que son especies que pierden casi todas sus hojas en el estiaje) como *Lysiloma divaricatum* y *L. Microphylla* (palo de arco), *Herperalbizia occidentalis* (palo blanco), *Ceiba aesculifolia* (pochote) o *Senna polyantha* (tepeguaje), por lo que habrá que alternarlas con otras especies perennifolias
- Las reforestaciones deben acotarse sólo al inicio de la temporada de lluvia (finales de junio y julio), desalentando realizarlas en los meses de septiembre u octubre, ya que a menos que se aseguren riegos de apoyo durante todo el estiaje hasta alcanzar la siguiente temporada de lluvia, se está condenando a los árboles plantados a una situación de estrés y muerte segura.
- Considerar priorizar el trasplante sólo en el caso de árboles juveniles o arbustos (alturas entre 1.5 a 5 m).



- En el caso de ejemplares arbóreos muy grandes y viejos, como es el caso de especies exóticas como *Eucalyptus camaldulensis* o *E. Globulus* (eucaliptos), *Schinus molle* (pirúl) o *Fraxinus uhdei* (fresnos) con alturas mayores a 10 m, o especies nativas como *Prosopis laeviagata* (mezquite), *Acacia farnesiana* (Huizache) *Ipomoea murucoides* (palo bobo), *Bursera fagaroides* (palo xixiote) con alturas mayores a 6 m, descartar su trasplante promoviendo su permanencia *in situ*.

En el caso de ejemplares arbóreos o arbustivos muy pequeños (menores a 1.5 m), buscar opciones como el involucramiento ciudadano para su riego, ya que debido a su tamaño, las acciones de riego con pipas no son muy eficientes y se desperdicia mucha agua.

Bibliografía

- CONAGUA. 2004. Monitor de Sequía en México (MSM)
- Kogan F.N. 1990. Remote Sensing of Weather Impacts on Vegetation in Homogeneous Areas. Int. J. Remote sensing, 11:1405-1419
- Kogan F.N. 1995. Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection. Adv. Space Research, 11:91-100.
- Miranda y Hernández, 1963. Vegetación de México.
- Rzedowski, 1978. Vegetación de México. Limusa.
- Rzedowski, 2006. Vegetación de México. 1ra edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Zamudio, et al, 1992. La vegetación del estado de Querétaro. Panorama preliminar. Instituto de Ecología, A. C. Sergio Zamudio, Jerzy Rzedowski, Eleazar Carranza y Graciela Calderón.
- Municipio de Querétaro, 2015. Inventario Municipal Forestal y de Suelos. Municipio de Querétaro- Comisión Nacional Forestal.
- Municipio de Querétaro, 2022. Índice de Capital Natural. Instituto de Ecología y Cambio Climático.
- Vargas, J. y Paneque, P. 2021. Metodología para el cálculo del índice de vulnerabilidad a la sequía (IVS). Observatorio Ciudadano de la sequía.

Citas de internet

- Angulo, A. 2024. La Sequía ecológica. <https://plazadearmas.com.mx/la-sequia-ecologica/>
- Agostini, L. 2024. Sequía: la biodiversidad es la solución para la supervivencia de los bosques. <https://www.botanicaldrygarden.com/es/blogs/noticias/siccita-la-biodiversita-e-la-soluzione-per-la-sopravvivenza-delle-foreste>
- Arboricultura urbana- Investigación. 2002. Cómo Combatir Los Efectos de la Sequía en los Árboles. <https://greenblue.com/es/como-combatir-los-efectos-de-la-sequia-en-los-arboles/#:~:text=El%20dosel%20arb%C3%B3reo%20de%20nuestros,las%20ra%C3%AD>



- ces%20de%20los%20%C3%A1rboles. Conagua. 2023. [https://smn.conagua.gob.mx/es/?option=com_content&view=article&id=172:san-luis-](https://smn.conagua.gob.mx/es/?option=com_content&view=article&id=172:san-luis)
- Fraccaro, D. 2023. Efectos de la sequía en la biodiversidad. [https://blog.3bee.com/es/articulos/los-efectos-de-la-sequia-en-la-biodiversidad/#paragraph-15732.](https://blog.3bee.com/es/articulos/los-efectos-de-la-sequia-en-la-biodiversidad/#paragraph-15732)
 - Muñoz, C y Bonilla, M. 2023. [https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/2037-sequia-ecologica-el-impacto-de-la-falta-de-agua-en-los-ecosistemas#:~:text=La%20sequ%C3%ADa%20ecol%C3%B3gica%20se%20refiere,los%20animales%20y%20otros%20organismos.Sardans J., Peñuelas J. Soil . 2010. Estudian los efectos de la sequía en los ecosistemas mediterráneos. <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/estudian-los-efectos-de-la-sequia-en-los-ecosistemas-mediterraneos-1345680342040.html?articleId=1287555154252>](https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/2037-sequia-ecologica-el-impacto-de-la-falta-de-agua-en-los-ecosistemas#:~:text=La%20sequ%C3%ADa%20ecol%C3%B3gica%20se%20refiere,los%20animales%20y%20otros%20organismos.Sardans%20J.,%20Pe%C3%B1uelas%20J.%20Soil%20Science%20Society%20of%20America%20Transactions%20Vol%2064%20Pt%201%201999%20103-110)

