

Análisis del cambio de uso de suelo y vegetación del municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua ante posible sequía de la cuenca de la Laguna Bustillos

Isaac Armando Velázquez Olivas¹

Samantha Valenzuela Holguín²

Giovanni Miguel Pérez Guzmán³

Resumen

El cambio climático es una problemática creciente tras las últimas décadas, las consecuencias de este se han vuelto cada vez más notorias, como los cambios drásticos de temperatura que altera a los ecosistemas, ocasionando distintos desastres naturales como tormentas o incluso afectaciones a largo plazo al territorio como lo son las sequías. Esta misma situación ha sucedido en la cuenca Bustillos, la cual se localiza en el municipio de Cuauhtémoc del estado de Chihuahua. La cual abastece el ciclo hídrico de este territorio particularmente de características agrícolas y de interés local. Actualmente su dinámica como territorio agrícola se ha visto modificada por el crecimiento de la mancha urbana, a las altas demandas económicas, los cambios drásticos de la temperatura y una preocupante sequía de la Laguna Bustillos, estas problemáticas en conjunto han ocasionado la pérdida de ciertos alimentos que se dan por esta zona. Por lo cual en el presente trabajo de investigación se tiene por objetivo principal analizar diferentes factores territoriales como el uso de suelo y vegetación, hidrología y zonas urbanas para estimar el área de afectación comparando diferentes fechas por medio de una matriz de tabulación cruzada, acompañado del uso de sistemas de información geográfica.

Desde 1974 hasta el 2023 en la cuenca de la Laguna Bustillos se registraron diferentes cambios en el uso de suelo y vegetación, donde las ganancias de superficie territorial más notorias fueron las del área urbana que paso de 141 ha a un poco más de 16 mil hectáreas, así como también las de la zonas agrícolas que en este mismo transcurso de tiempo aumentaron cerca 47 mil hectáreas, por otra parte las zonas que tuvieron mayor pérdida fueron los bosques de pinos que pasaron de tener 20 mil a 4 mil 404 ha y también los cuerpos de agua, los cuales han perdido casi 643 hectáreas durante alrededor de 50 años. Es decir, que la tendencia en este territorio es que la ganancia de superficie territorial se ha reflejado en el ámbito social y económico y las pérdidas en el medio físico natural.

Conceptos clave: Hidrología, Uso de suelo y vegetación, Cambio climático

Introducción

En la historia de la humanidad, el agua ha participado de manera importante en el origen de las civilizaciones; por ejemplo, de los babilonios a los egipcios, el almacenamiento y la transportación del agua fue la base del crecimiento y desarrollo de estos pueblos. El agua además de ser fundamental para la vida también ha permitido el desarrollo económico y comercial. Sin embargo,

¹ Estudiante de Ingeniería en Desarrollo Territorial, FACIATEC-UACH, a359466@uach.mx

² Estudiante de Ingeniería en Desarrollo Territorial, FACIATEC-UACH, a357385@uach.mx

³ Estudiante de Ingeniería en Desarrollo Territorial, FACIATEC-UACH, a357824@uach.mx

ante el crecimiento poblacional y la industrialización dieron como resultado un incremento en la demanda del líquido, así como una mayor dispersión de las zonas urbanas en sitios desprovistos de agua, con un incremento en la necesidad de desarrollar más infraestructura para continuar abasteciendo las demandas de la población (Monforte y Cantú, 2009).

El agua es un agente íntimamente vinculado a la vida en todas sus formas, que se mueve sobre la superficie terrestre en respuesta a las fuerzas de gravedad, labrando cauces y confluendo en las partes más bajas del relieve. El espacio geográfico en el cual transcurre el movimiento superficial del agua es la cuenca hidrográfica; una unidad espacial en la que se conjuntan condiciones particulares de clima, relieve, suelo y vegetación que controlan los procesos hidrológicos que a su vez determinan la cantidad y calidad del agua, así como su distribución espacial y temporal (Burgos & Bocco, 2015).

Las cuencas tienen un papel muy importante en el uso de suelo y vegetación de un territorio, debido a que el agua que captan puede ser utilizado para el riego agrícola. El Instituto Nacional Estadística y Geográfica determina a los usos de suelo y vegetación como información geoespacial de Interés Nacional que muestra la distribución del uso del suelo agrícola, de la vegetación natural e inducida del país, además indica el uso pecuario y forestal y otros usos que se presentan en el territorio relacionados con la cubierta vegetal. El uso del suelo agrícola se representa de acuerdo con la disponibilidad del agua para los diferentes tipos de cultivos durante su ciclo agrícola. Identificar los usos de suelo y vegetación es útil en cualquier estudio relacionado con las especies vegetales, constituyendo información básica para estudios florísticos, de vegetación, de planeación, de ordenamiento territorial, cartográficos, etc. (INEGI, 2015).

Por otra parte, las sequías son una de las grandes catástrofes naturales capaces de modificar en gran escala el ambiente de una región, y sus efectos se manifiestan en la alteración de las actividades económicas habituales de la zona o región afectada y en el deterioro del nivel y condiciones de vida de los habitantes. La complejidad del fenómeno propicia la creencia errónea de que después de una sequía no ocurrirá otra igual o de mayores proporciones y, por ende, sobre todo en los países menos desarrollados, con frecuencia no es usual prepararse para su ocurrencia futura, que es una certeza. Es decir, que las sequías son una de las amenazas que principalmente afrontan las cuencas hidrológicas, ya que estas se abastecen mediante los escurrimientos de algún cuerpo de agua o por las lluvias (Wilhite, 1993).

La sequía es un fenómeno meteorológico asociado al cambio climático que puede presentarse en cualquier lugar y momento y se caracteriza por la escasez o ausencia de agua. Tanto las sequías como las inundaciones son resultado de una alteración en la dinámica atmosférica de la humedad. Algunos de los fenómenos que alteran el ciclo hidrológico y por ende la humedad atmosférica son El Niño, las erupciones volcánicas, la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la actividad industrial. La naturaleza de ambos fenómenos, producto de esos factores, es sumamente compleja: mientras una parte del país sufre sequía, otra puede encontrarse inundada, simultáneamente. Considerando que la sequía y las inundaciones son las manifestaciones más dramáticas del agua en la naturaleza, es de esperarse que estos fenómenos aumenten en intensidad, severidad, extensión y duración, incrementándose la frecuencia de su ocurrencia, así como la vulnerabilidad y el impacto en las poblaciones afectadas (Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, 2013).

El agua, elemento esencial para la vida, considerada durante mucho tiempo como un recurso inagotable y renovable es por la creciente demanda, cada vez más escaso en las regiones áridas y

semiáridas mediterráneas, como la mayor parte del Sureste español. Su falta en cantidad y calidad es, quizás, la amenaza más implacable para las poblaciones que habitan estas tierras. Las sequías, junto a desacertadas actuaciones humanas, pueden ser uno de los motores más importantes de la desertificación de las regiones áridas y semiáridas. Ciertos elementos del clima son rasgos permanentes como la aridez, la escasez de precipitaciones, la fuerte insolación, las elevadas temperaturas y la fuerte evapotranspiración (López y Sánchez, 2012).

Las sequías pueden presentarse en cualquier tiempo y lugar; sin embargo, existen áreas específicas en México con mayor susceptibilidad al fenómeno, determinadas básicamente por su localización geográfica. En general el norte y la zona del bajío del país son más susceptibles a este fenómeno, pero cualquier región es propicia para sufrir los estragos de una sequía. Estadísticamente los estados del país que más la padecen son: Durango, Chihuahua y Coahuila; en segundo orden: Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes y Guanajuato (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2018).

De aquí radica la importancia que tiene la sustentabilidad en el territorio y es que con el agotamiento de los recursos naturales que se ha presenciado durante los últimos años en la mayor parte del planeta, surge la necesidad de encontrar la manera de que estos recursos perduren por muchos años más. La sustentabilidad o sostenibilidad del desarrollo es un concepto abstracto si no se asocia a objetivos claros que se deben alcanzar dentro de territorios definidos, y a los procesos de gestión necesarios para hacerlo. La gestión de los recursos naturales dentro del territorio de una cuenca hidrográfica es una opción valiosa para guiar y coordinar procesos de gestión para el desarrollo, considerando las variables ambientales (Dourojeanni, 1994).

Uno de los elementos esenciales del desarrollo sustentable, se refiere al recurso hídrico. Esta sustentabilidad parte del principio de cubrir la demanda del recurso para los diversos usos con la oferta existente, sin llegar a una sobreexplotación de las fuentes o utilizar el gasto ecológico de los cauces. Sin embargo, es necesario considerar no solamente el aspecto de la cantidad sino igualmente y tal vez más importante, la calidad del recurso, así como la relación con salud, y biodiversidad, e indicadores como la llamada “huella hídrica”. La disponibilidad de agua, será igualmente determinante para la actividad económica del país o región si se cuenta o no con el recurso hídrico en ella. También es importante, heredar a las generaciones futuras, una sociedad con oportunidades iguales o mejores a las actuales (Juárez, 2011).

El reto de la agricultura hoy en día, es producir alimentos suficientes y nutritivos de manera sostenible para una población mundial creciente, sofisticada y cada vez más móvil, preservando y mejorando en lo posible la base de recursos. Este es un desafío polifacético que va más allá de la capacidad de producir más alimentos. Los cambios en el panorama actual que incluyen factores externos y cómo nos ocupamos de éstos tendrán implicaciones en el largo plazo. El reto hoy es mayor que nunca, debido al hecho de que los impulsores del cambio en la agricultura y el papel del agua en la misma se han acelerado. Estos impulsores son el crecimiento demográfico y su movilidad, el desarrollo económico, el cambio de patrones de consumo y dieta, así como el cambio social y tecnológico, todo ello agravado por el impacto del cambio climático. Estos impulsores crean presiones en gran medida negativas no sólo sobre la agricultura y los recursos hídricos, sino también en los otros elementos de la base de recursos, y debido a esa interacción entre ellos, se complican las formas y medios para su adecuada gestión (Ünver, 2015).

El municipio de Cuauhtémoc es un territorio donde la agricultura predomina por total, puesto que sus características físicas-naturales le han permitido desarrollar la producción de varios

alimentos como la manzana, maíz, frijol, etc. Además, en este municipio es donde se encuentra el corredor comercial más grande de la región Latinoamericana. En la región de Cuauhtémoc en 2021 la producción del sector primario fue de \$27,987.1 MDP, que represento 36.3% de la producción estatal. En la región el sector pecuario genero \$11,970.55 MDP y el sector agrícola \$16,017.17 MDP, durante este mismo año el 98.5% de la producción se concentró en siete productos: manzana 42.6%, maíz grano 34.9%, avena forrajera 7.7%, frijol 7.6%, papa 2.1%, maíz forrajero y avena grano con 1.8 cada uno y el 100% de la producción de la fresa del Estado se dio en esta región. De igual manera el 99.9% del valor de la producción pecuaria de la región, se concentró en 3 productos: carne 40.5%, ganado en pie 35.6%, leche 23.8%, este último represento el 30.4% de la producción estatal (Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico, 2023).

La cuenca Laguna de Bustillos, es una cuenca cerrada, que se localiza en la parte central del estado de Chihuahua, en el municipio de Cuauhtémoc, Su extensión total es de 2298 kilómetros cuadrados. Es una cuenca cerrada de forma irregular por las sierras de Pedernales, San Juan, Salitrera, Chuchupate, Sierra Azul y Rebote, por lo cual la única aportación de agua es la procedente de la lluvia. La cuenca presenta una elevación media de 2000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), y está rodeada al norte, este, oeste y suroeste, por un conjunto de elevaciones que promedian 2400 m.s.n.m., con algunos picos que alcanzan los 2.887 msnm (Alatorre et al., 2014).

La Laguna está rodeada por zonas agrícolas y poblados, incluyendo los de La Selva, Vista Hermosa, La Cruz, Centro Calles y Favela, que se sostienen de la agricultura, la ganadería y la pesca. La Laguna de Bustillos es un recurso natural vital que tiene un impacto significativo en la biodiversidad, la economía y el entorno ambiental de la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. Por esta razón, su preservación y gestión sostenible son de gran importancia para el bienestar de la comunidad y la salud del ecosistema (ArcGIS StoryMaps, 2022).

La cuenca Bustillos generalmente es utilizada para fines agrícolas, el problema que afrontan los agricultores en la actualidad es que, ante el cambio climático, la falta de lluvias y el inevitable paso de los años, la cuenca de la Laguna Bustillos ha ido perdiendo agua ya que esta se recarga principalmente por el agua de las lluvias, esto ha afectado la plantación de manzana y otros alimentos que se dan por esta zona.

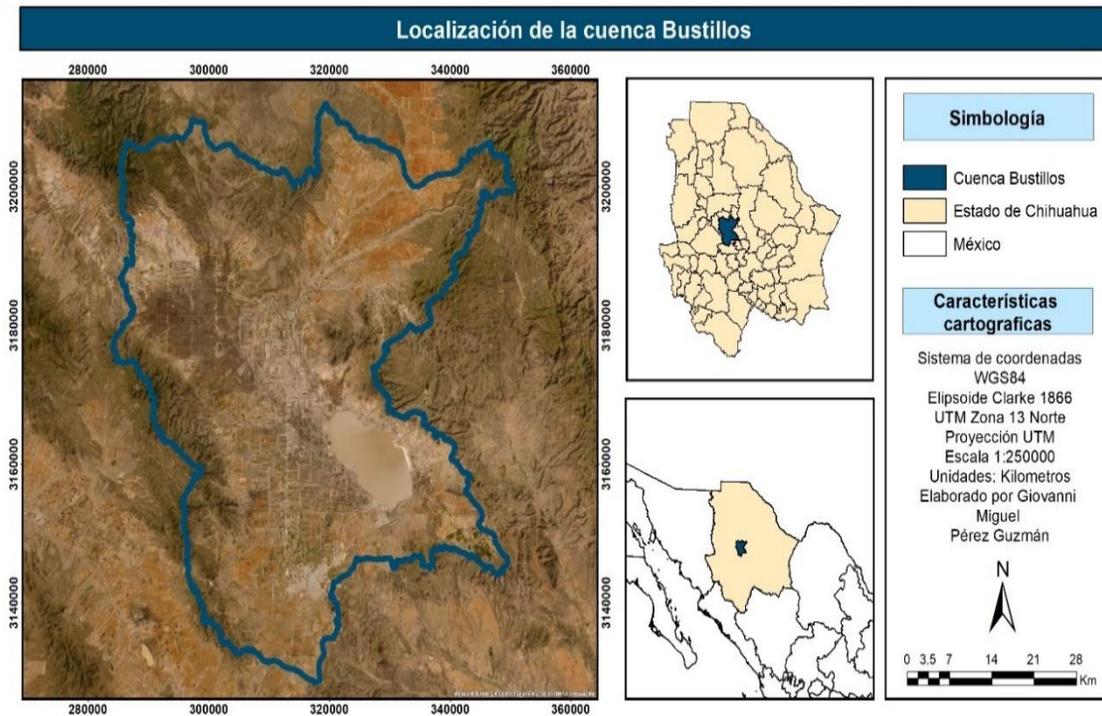
1. Metodología

La metodología de esta investigación se encuentra basado en el análisis de la sequía que afronta la Cuenca Bustillos y como esta con el paso de los años ha tenido un efecto en los cambios de uso de suelo y vegetación en la zona. Para ello se utilizó Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se elaboró diferentes mapas cartográficos como de vegetación, hidrología y otros más. Así mismo se complementó con un análisis de matriz de tabulación cruzada basada en el modelo de Pontius, ya que esta misma se considera un punto de partida fundamental en el análisis del cambio de uso de suelo, además de ser una herramienta útil para el análisis, debido a que esta se emplea comúnmente para comparar los resultados de una variable con los resultados obtenidos de otra variable en estudio.

El mapa 1, representa la localización exacta de la cuenca bustillos, esta se ubica al oeste del municipio de Chihuahua, al sur de Namiquipa, al este de guerrero y al norte de Cusihiuriachi, en pocas palabras, se localiza en el municipio de Cuauhtémoc. La cuenca Bustillos se encuentra ubicada entre los 28° 16' 14.323" N y los 29° 1' 9.182" N de latitud y los 106° 31' 59.987" W y los 107° 9' 9.357" W de longitud (Mapa 1.).

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE CUAUHTÉMOC,
CHIHUAHUA ANTE POSIBLE SEQUÍA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA BUSTILLOS

Mapa 1. Localización del área en estudio (cuenca Bustillos)



Fuente: Elaboración propia

El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI, del inglés Normalized Difference Water Index). Representa un índice de medición de cantidad de agua presente en la vegetación o suelo (Pech-May et al., 2020). Se calcula a partir de imágenes adquiridas por los sensores satelitales y de las bandas espectrales. Es decir que el NDWI se usa para poder cuantificar la proporción de agua que existe en la vegetación, el cual permite el cálculo del agua que hay en dicha cubierta vegetal, conocer el estrés o grado de saturación que posee la cobertura vegetal (Alvarado et al., 2019).

Para el cálculo del NDWI se utilizó la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SDWIR)}$$
$$NDWI_{L8} = \frac{Band_5 - Band_3}{Band_5 + Band_3} \text{ Landsat 8}$$

Se utilizó la fórmula para Landsat 8 porque las bandas utilizadas en los mapas corresponden a este dicho satélite, para ello primero es indispensable agregar tanto la banda 5 como la 3. Esta fórmula se desarrolló en la función Map algebra del programa ArcGIS.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es el más común de varios índices de vegetación derivados de observaciones en imágenes de percepción remota. Se basa en la relación entre la cantidad de luz reflejada (reflectancia) por los rasgos en la superficie terrestre

en dos regiones del espectro electromagnético, así como la emisión de una luz roja e infrarroja (infrarrojo cercano). El NDVI aprovecha que valores bajos de luz reflejada en el color rojo, combinados con alta reflexión en el infrarrojo, indican una mayor actividad fotosintética o cantidad y densidad de plantas verdes. Por tal motivo, este indicador se relaciona, entre otras cosas, con la magnitud en que se manifiesta la actividad fotosintética de las plantas, la cantidad de biomasa, la fenología y el estado en general de las plantas en cultivos o en la vegetación natural. El NDVI es una de las primeras propuestas de análisis de percepción remota multiespectral y actualmente es uno de los más populares. Dada la simpleza en la definición del NDVI y su capacidad para distinguir la presencia de vegetación, así como la salud de esta. El NDVI ha sido utilizado en una gran cantidad de investigaciones científicas. La utilidad del índice ha propiciado que desde la década de 1970 diversos satélites y otros vehículos estén equipados con sensores adecuados para captar la información que requiere su cálculo (INEGI, 2022).

Para el cálculo del NDVI de este mapa se utilizó la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

$$NDVI_{L8} = \frac{Band_5 - Band_4}{Band_5 + Band_4} Landsat 8$$

Se utilizó la fórmula para Landsat 8 porque las bandas utilizadas en este mapa corresponden a este dicho satélite, para ello primero es indispensable agregar tanto la banda 5 como la 4. Esta fórmula se desarrolló en la función Calculadora ráster del programa QGIS, donde se coloca en primera parte la resta de la banda 4 y 5, que el resultado de esta se dividirá entre la suma de las dos bandas anteriormente mencionadas, una vez terminada la ecuación, se obtendrá el valor, mismo que refleja el estado de vegetación del territorio en observación.

La matriz de tabulación cruzada es un punto de partida fundamental en el análisis del cambio del uso de suelo y vegetación, en la actualidad existen diversos modelos para realizar la tabulación cruzada, sin embargo, la mayoría de ellos analizan la matriz según sus diversos componentes y por lo tanto no logran proporcionar la mayor información posible sobre los procesos potenciales que determinan un patrón de tierras. Por su parte el modelo establecido por Pontius examina la matriz de tabulación cruzada para evaluar el cambio total de categorías de suelo y vegetación según dos pares de componentes: cambio neto y canje, así como ganancias y pérdidas brutas. El análisis de estos componentes puede distinguir entre una transición paisajística claramente sistemática y una transición paisajística aparentemente aleatoria. Además, este modelo proporciona información adicional sobre el tiempo en el que se produce el cambio de uso de suelo y vegetación (Pontius et al., 2004).

Explicación de la fórmula: Primero que nada, para poder aplicar la fórmula es necesario realizar dos mapas de uso de suelo y vegetación, uno que sea del tiempo 1 y otro del tiempo 2. Los datos para llenar la tabla se sacan en el programa ArcGIS usando la herramienta de intersección. En la matriz de tabulación cruzada las filas representan al primer tiempo en estudio y las columnas representan al segundo.

Para lograr la comparación de las variables en la matriz de tabulación cruzada, se interponen las filas (eje x) contra las de las columnas (eje y). Donde para el caso de estudio se clasificó el eje

x como tiempo 1 (1974) y el eje y como tiempo 2 (2023). Dadas como variables las siguientes clases dependientes de los ejes:

- Clase 1. Áreas Urbanas.
- Clase 2. Áreas Agrícolas.
- Clase 3. Áreas de Pastizal.
- Clase 4. Bosque Encino.
- Clase 5. Bosque Pino.
- Clase 6. Cuerpos de Agua.

Para realizar el procedimiento de matriz de tabulación cruzada se sumará el valor total de los ejes donde convergen las clasificaciones que se desean comparar. Después de obtener el resultante de las clasificaciones se realiza la suma total tanto del tiempo 1 como la del tiempo 2. Obteniendo un Total en T_1 y en T_2 que representa la sumatoria bruta de todas las variables. Para el cálculo de las pérdidas y las ganancias, la matriz de tabulación cruzada del modelo de Pontius propone una línea diagonal que representa la superficie en cada clase que no ha cambiado desde el primer tiempo (recuadros sombreados en gris de la fórmula 1). Dicho esto, para encontrar el resultado de las perdidas, se realiza una resta entre el total del tiempo 1 de cada clase (T_1) y el recuadro sombreado de cada una de las clases también, por ejemplo, para calcular las pérdidas de la clase 1 se realiza la siguiente resta “ P_{1+} (Suma total de la clase 1) - P_{11} (superficie que no ha cambia desde el tiempo 1). Para calcular las ganancias el proceso es muy similar, solo hay un cambio en la resta, ya que aquí, en cada una de las clases se resta la sumatoria total del tiempo 2 entre la superficie que no ha cambiado desde el primer tiempo (Formula 1.).

Formula 1. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente año

Tiempo 1		Tiempo 2					
		1	2	3	4	5	6
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Total T_1	Pérdidas (L_{ij})
1	Clase 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
2	Clase 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
3	Clase 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
4	Clase 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
5	Total T_2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}		
6	Ganancias (G_{ij})	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

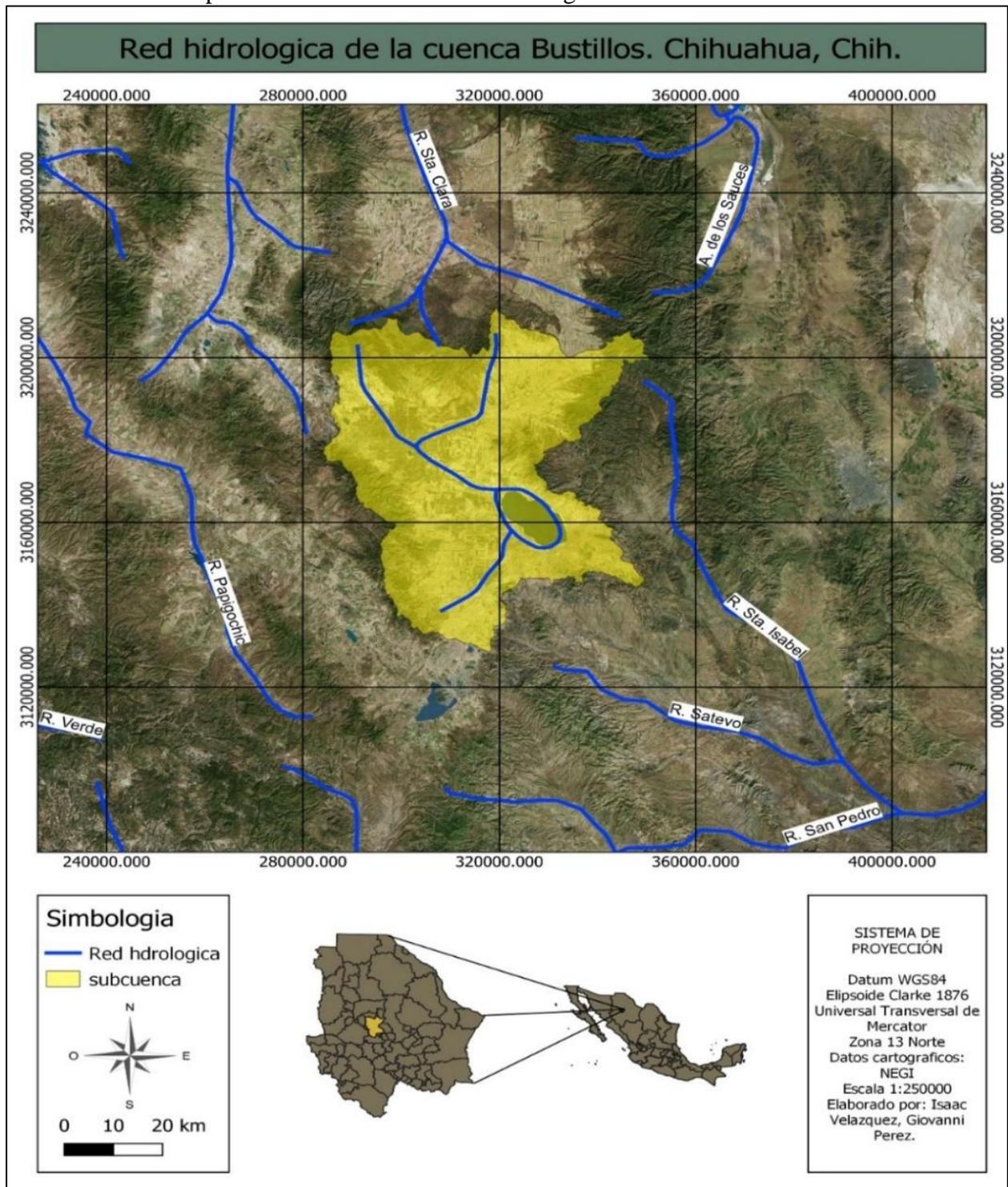
Fuente: Pontius et al., 2004

Resultados y discusión

Recurso hidrológico y climático

El siguiente mapa muestra la distribución de la red hidrológica, donde se puede apreciar que cercas de esta cuenca, se encuentra la presencia de algunos ríos como el Santa Clara o el Santa Isabel, así mismo se puede ver que dentro de la cuenta están los arroyos Ojo Caliente y Napavechi, estos cuerpos de agua junto con las lluvias abastecen de agua a la cuenca Bustillos (Mapa 2.)

Mapa 2. Distribución de la red hidrológica en la cuenca Bustillos



Fuente: Elaboración propia

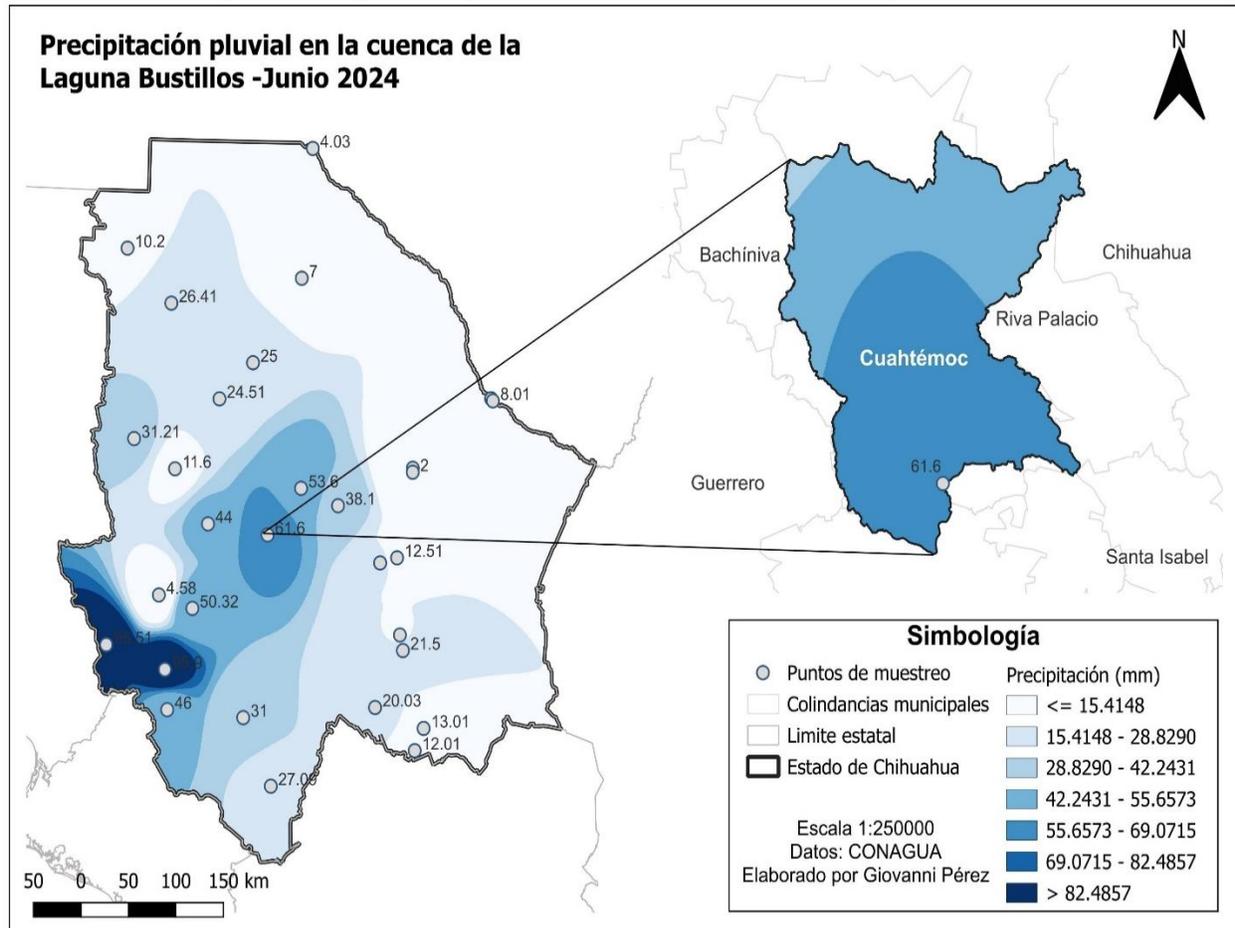
La lluvia o precipitación atmosférica es la encargada de hacer que el agua contenida en la atmósfera regrese al suelo completando el ciclo del agua, así como de proveer de la mayor fuente de agua dulce de la que depende la actividad humana y buena parte de nuestros paisajes vegetales.

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE CUAUHTÉMOC, CHIHUAHUA ANTE POSIBLE SEQUÍA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA BUSTILLOS

No obstante, tanto su cantidad como su frecuencia pueden variar mucho a lo largo de los diferentes lugares y de las diferentes estaciones del año; de ahí que sea tan importante para la climatología estudiar cuáles son los factores que influyen en las precipitaciones, las variedades o tipos de precipitaciones existentes, etc. (Núñez, 2023).

Debido a las características físico – naturales que hay en una parte del estado de chihuahua, la precipitación pluvial que se registró a fecha de junio del 2024 en la cuenca de la Laguna Bustillos fue de 61.6 milímetros, es importante tener en cuenta este factor, ya que la lluvia es una de las principales fuentes de abastecimiento de la cuenca Bustillos (Mapa 3.).

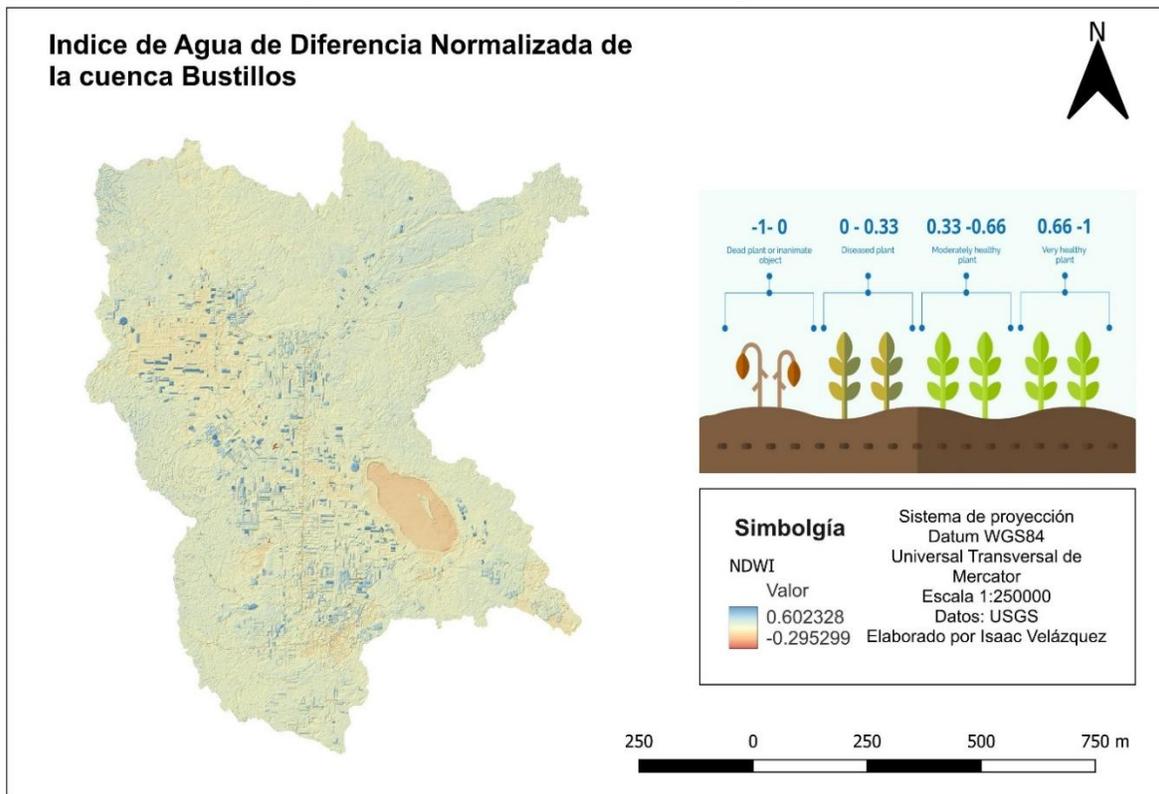
Mapa 3. Precipitación pluvial en la cuenca Bustillos en junio del 2024



Fuente: Elaboración propia en base a Datos de la CONAGUA

Mediante el NDWI, se pudo observar que en gran parte de la superficie territorial de la cuenca bustillos se encuentra entre los valores cercanos 0 lo cual refleja que hay baja cobertura de vegetación o alto estrés hídrico, sin embargo, también se puede apreciar zonas cercanas al valor, principalmente donde se encuentran las producciones agrícolas, esto quiere decir que hay índice de ciertas zonas con cobertura vegetal e hidratación creciente (Mapa 4.).

Mapa 4. NDWI de la cuenca de la Laguna Bustillos



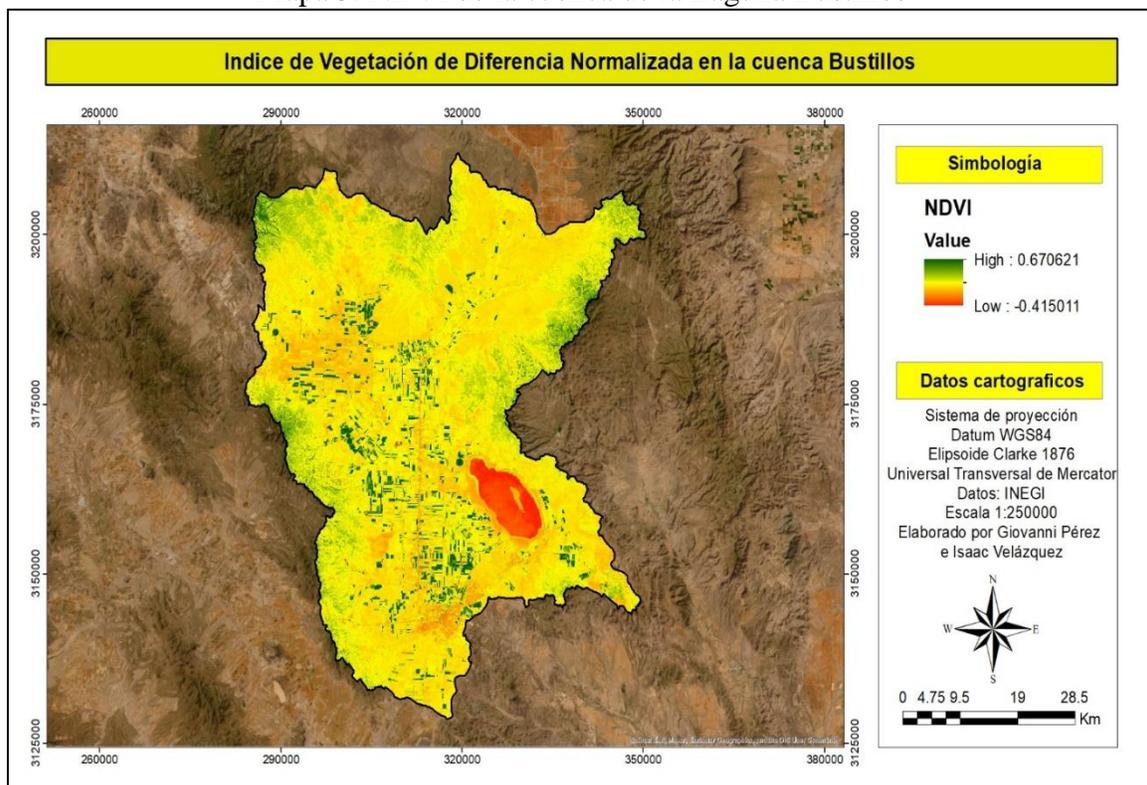
Fuente: Elaboración propia

Uso de suelo y vegetación

Los resultados que muestra el NDVI es que la mayor parte de la vegetación de la cuenca Bustillos se encuentra en un estado medianamente sana, debido a que los valores más comunes oscilan entre los 0 y 0.5, así mismo en donde se encuentra la laguna se puede apreciar que tiene valores negativos, esto es por que el NDVI detecto que es un cuerpo de agua. La vegetación más sana se puede encontrar en una parte donde se encuentran los bosques de pino y también por donde están unas parcelas de producciones agrícolas (Mapa 5.).

Los valores del índice oscilan entre -1 y 1. Los valores negativos (-1 a -0.1) están relacionados con cuerpos de agua y superficies degradadas por acción del fuego, mientras que valores positivos más bajos (0 a 0.5) corresponden a vegetación moderada o de baja cobertura. Los valores positivos altos (de 0 a +1) representan alto contenido de vegetación sana. Se han encontrado fuertes relaciones entre el NDVI y algunas características funcionales y estructurales de la vegetación como biomasa, índice de área foliar, cobertura y productividad primaria neta, razón por la que es uno de los índices más utilizados como indicador de la productividad (Girimonte y García, 2020).

Mapa 5. NDVI de la cuenca de la Laguna Bustillos



Fuente: Elaboración propia

El mapa 6, refleja el uso de suelo y vegetación de la cuenca Bustillos en el año de 1974, donde se puede determinar en primera estancia la aplicación de la agricultura en gran parte del territorio, en segunda la poca superficie territorial que ocupaba la zona urbana en aquellos años, esta última se debe a que no veían la gran cantidad de población que existe actualmente, por otra parte se puede observar un gran predominio de la vegetación (bosque) misma que era de utilidad para la disminución de los gases contaminantes presentes en la atmosfera y sobre todo su importante aportación en la erradicación del cambio climático (Mapa 6.).

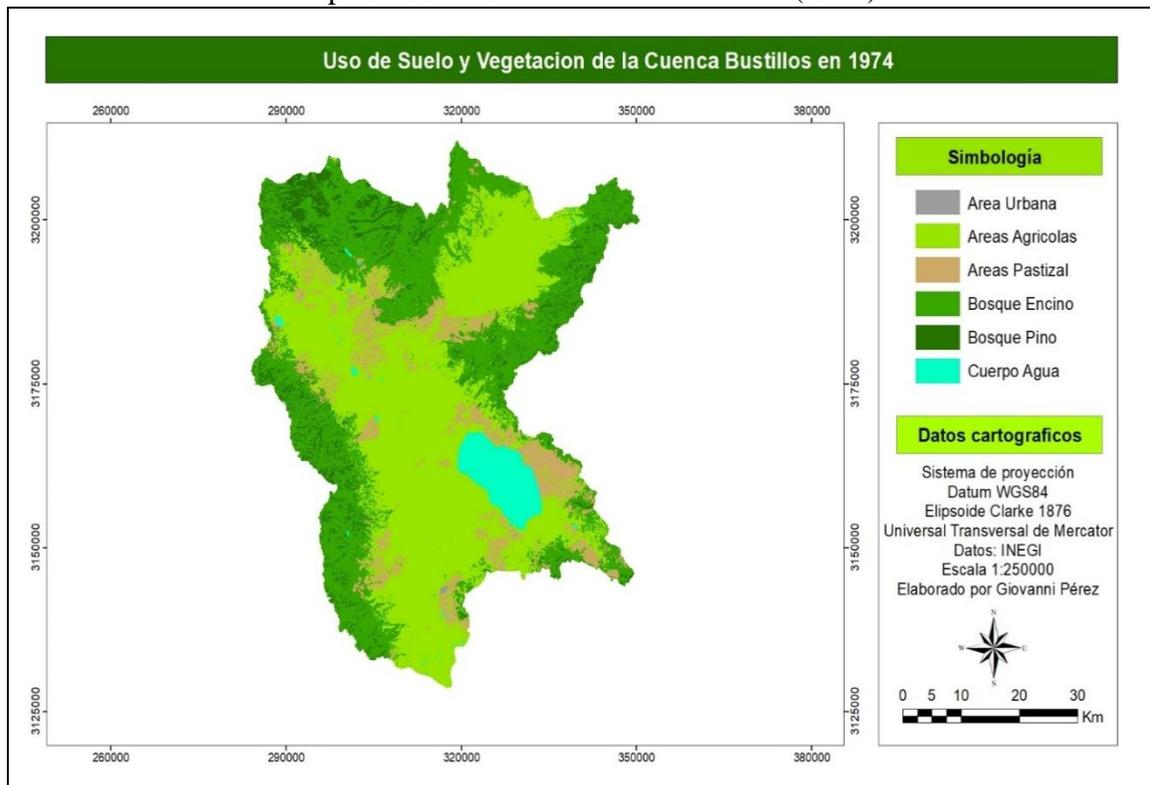
En la cuenca Bustillos en el año de 1974, el 46.24% del uso de suelo y vegetación lo componían las áreas agrícolas (alrededor de 153 mil hectáreas) donde las principales producciones de alimentos eran las manzanas. Así mismo le sigue el bosque de encino con 33.78%, las áreas pastizal con 8.39%, el bosque de pino con 6.17%, los cuerpos de agua con 5.37% y por ultimo las áreas urbanas que ocupan menos porcentaje con un 0.04% (Tabla 1.).

Tabla 1. Superficie territorial ocupada por vegetación y suelo en 1974

Tipo	Superficie (Ha)	%
Áreas Urbanas	141.86	0.04
Áreas Agrícolas	153,585.01	46.24
Áreas Pastizal	27,883.86	8.39
Bosque Encino	112,216.06	33.78
Bosque Pino	20,488.43	6.17
Cuerpos de Agua	17,851.87	5.37

Fuente: Elaboración propia

Mapa 6. USVEG de la cuenca bustillos (1974)



Fuente: Elaboración propia

El mapa 7, muestra el uso de suelo y vegetación de la cuenca Bustillos ubicada en el municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua para el 2016, con este se puede diagnosticar a la vegetación con los siguientes valores: Haciendo énfasis en los cuerpos de agua se nota el incremento de extracción de pozos a la superficie, a su vez, a comparación con el otro mapa, es notorio la extensión de la zona urbana y también la del corredor comercial. Este mapa demuestra el incremento exponencialmente de las zonas agrícolas en sus distintos tipos; temporal y de riego (Mapa 7.).

El uso del suelo está estrechamente ligado a la sustentabilidad de los recursos naturales. Por tanto, la persistencia de los ecosistemas está determinada por la intensidad en que se modifica la cubierta vegetal. Lo que hace fundamental, conocer los procesos de cambio de uso del suelo y sus efectos. El uso del suelo ocurre cuando éste se manipula físicamente, es decir, cuando el hombre se ve involucrado en la manipulación y transformación de este. Éste se da por naturaleza de la relación ente el hombre y su entorno, por la apropiación del territorio en aras de su subsistencia. Los principales cambios de uso de suelo se dan en actividades agropecuarias, acuícolas, de desarrollo inmobiliario, de infraestructura, de vías de comunicación, de establecimiento de instalaciones comerciales, industriales, entre otras. Una de las formas de realizar la evaluación de los cambios en el uso del suelo, es a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal (Guevara y Montalvo, 2014).

Por su parte en el año de 2023, el 54.45% del uso de suelo y vegetación está compuesto por las áreas agrícolas (alrededor de 176 mil hectáreas) donde las principales producciones de alimentos son las manzanas, el maíz y avena. Así mismo le sigue el bosque de encino con 22.54%,

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE CUAUHTÉMOC,
CHIHUAHUA ANTE POSIBLE SEQUÍA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA BUSTILLOS

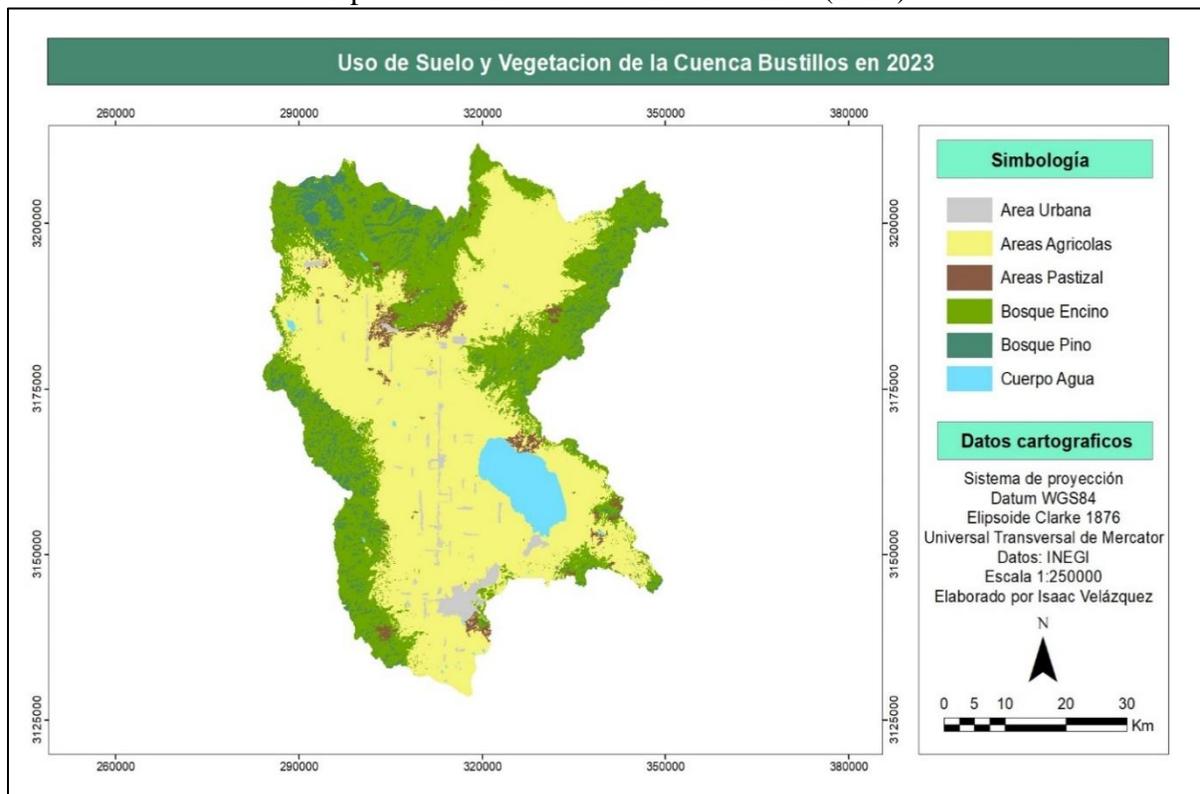
las áreas pastizal con 8.23%, el bosque de pino con 6.46%, las áreas urbanas con 4.95% y por ultimo los cuerpos de agua con solo 3.37% (Tabla 1.).

Tabla 2. Superficie territorial ocupada por vegetación y suelo en 2023

Tipo	Superficie (Ha)	%
Áreas Urbanas	16,023.35	4.95
Áreas Agrícolas	176,124.29	54.45
Áreas Pastizal	26,628.25	8.23
Bosque Encino	72,905.37	22.54
Bosque Pino	20,880.90	6.46
Cuerpos de Agua	10,891.99	3.37

Fuente: Elaboración propia

Mapa 7. USVEG de la cuenca Bustillos (2023)



Fuente: Elaboración propia

Cambios en el uso de suelo y vegetación en la cuenca Bustillos entre 1974 y 2023

El cambio de uso de suelo, provocado por las actividades antropogénicas, tiene influencia en procesos naturales como recarga de acuíferos, escurrimiento superficial, pérdida de suelo, crecimiento urbano, entre otros, de ahí la importancia de conocer la dinámica de dicho cambio y sus posibles orígenes (Trucíos et al., 2011).

El cambio de uso del suelo y vegetación se define como las modificaciones o recambio en los componentes que se encuentran en un área, ya sea de manera natural o artificial. La interacción de estos procesos modifica la capacidad del paisaje para brindar diversas funciones y servicios

ecológicos, sociales o económicos. Sin embargo, los factores demográficos y económicos, en particular la relación entre el incremento poblacional y la expansión de la frontera agropecuaria, se han considerado entre las principales fuerzas modificadoras del paisaje (Von Thaden, 2023).

El modelo propuesto por Pontius, permite tener una mejor percepción del uso de suelo y vegetación del territorio en estudio, debido a que se construye una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios que resulta de cruzar los mapas de las fechas en cuestión (1974 y 2023). En el caso del área en estudio, la matriz de tabulación arrojó los siguientes resultados entre 1974 y 2023:

- Áreas urbanas: en esta clase no se registro perdidas algunas, sin embargo, hubo ganancias de un total de 15 mil 881 hectáreas, las cuales se distribuyeron en áreas agrícolas con 12 mil 960 Ha (esto quiere decir que, para la expansión del área urbana en 2023, desde 1974 se perdieron 12, 960 de áreas de agrícolas, esto mismo aplica para cada una de las clases exceptuando el área urbana).
- Áreas Agrícolas: se registraron 12 mil 960 hectáreas en perdidas y se ganaron 46 mil 834 hectáreas de superficie territorial, mismas que se distribuyeron en 19, 674 en pastizales; 25,407 de bosque de encino; 1,269 en bosque de pino y 482.98 en cuerpos de agua, esto mismo aplica para cada una de las clases, exceptuando a los cuerpos de agua.
- Áreas Pastizal: Las pérdidas fueron de 22,142 Ha y las ganancias de 15,615 Ha.
- Bosque Encino: Este fue el que mayor perdida de superficie territorial tuvo, la cual fue de 44 mil 052 hectáreas, y tan solo registro una ganancia de 13 mil 409 Ha.
- Bosque Pino: se obtuvieron perdidas de 15,943 Ha y respectos a las ganancias no se registró alguna.
- Cuerpos de Agua: En esta ultima clase se perdieron cerca de 643 hectáreas y tampoco se obtuvo ninguna ganancia.

Los datos que mostro la matriz de la clasificación cruzada respecto a la diagonal que el mismo modelo propone (Es decir la superficie que no ha cambiado desde 1974 en cada clase) fueron los siguientes: en áreas urbanas 141 hectáreas, en las agrícolas 129 mil hectáreas, en pastizales 4,707 ha, en bosques de encino 55,501 ha, en bosques de pino 4, 401 y en cuerpos de agua 12,909 hectáreas. Gracias a estos procedimientos de comparación se puede determinar el valor cuantitativo del cambio de uso de suelo entre 1974 y 2023 (Tabla 3.)

Tabla 3. Matriz de tabulación cruzada en la cuenca Bustillos para 1974 y 2023

1974	2023						Total 1974	Perdidas
	Áreas Urbanas	Áreas Agrícolas	Áreas Pastizal	Bosque Encino	Bosque Pino	Cuerpos de Agua		
Áreas Urbanas	141.86	0	0	0	0	0	141.86	0.00
Áreas Agrícolas	12,960.43	129,266.13	0	0	0	0	142,226.55	12,960.43
Áreas Pastizal	2,468.48	19,674.18	4,707.31	0	0	0	26,849.98	22,142.67
Bosque Encino	439.13	25,407.92	14,205.19	55,501.22	0	0	95,553.46	40,052.24
Bosque Pino	0.01	1,269.43	1,300.21	13,373.73	4,401.95	0	20,345.33	15,943.38

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE CUAUHTÉMOC,
CHIHUAHUA ANTE POSIBLE SEQUÍA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA BUSTILLOS

Cuerpos de agua	13.42	482.98	110.40	36.00	0.00	12,209.07	12,851.87	642.80
Total 2023	16,023.34	176,100.64	20,323.12	68,910.95	4,401.95	12,209.07		
GAIN	15,881.47	46,834.51	15,615.80	13,409.73	0	0		

Nota: Los datos de esta tabla fueron calculados en hectáreas

Fuente: Elaboración propia

Conclusión

Para preservar la vocación de la región del municipio de Cuauhtémoc es esencial promover un desarrollo sustentable ya que las características de este son de producción agrícola. Por lo que la pérdida del sistema hidrológico que abastece la cuenca bustillos representa un gran riesgo no solo para el medio ambiente sin no para la dinámica de la población en esta región.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionaron una buena visualización tanto de las variables hidrológicas como las del uso de suelo y vegetación. Los resultados respectivos al NDWI reflejan que actualmente gran parte de la vegetación de la cuenca Bustillos se encuentra en un alto estrés hídrico, es decir, con poca cantidad de hidratación y así mismo el NDVI muestra que esta misma vegetación de hoy en día, se encuentra en un estado moderadamente saludable, esto se debe en parte al cambio climático, lo cual ha ocasionado que algunos productores de alimentos ubiquen sus huertas en otros territorios con condiciones climáticas más agradable para la vegetación, la tendencia de este movimiento se esta dando en el municipio de Guerrero, ubicado a un costado de Cuauhtémoc

Los resultados que muestra la matriz de tabulación cruzadas es que desde 1974 hasta 2023 se ha tenido un cambio notable en el uso de suelo y vegetación. En este caso la matriz refleja una ganancia de territorio en cuanto a términos “socio – económicos”, esto se sustenta con la expansión que han registrado tanto en las áreas urbanas que pasaron de 141 hectáreas en 1974 a más de 16 mil hectáreas en el años de 2023, así como las agrícolas que cambiaron de 142 mil a 176 mil hectáreas, sin embargo, en cuanto temas ambientales la cosa no pinta bien, ya que el análisis de tabulación cruzada refleja una pérdida en la vegetación, donde las áreas más afectadas son los bosques de pino que en un transcurso de tiempo de casi 50 años pasaron de tener alrededor de 20 mil hectárea a poseer solo 4 mil y esto también sucede en los cuerpos de agua que desde 1974 hasta 2023 no registraron ganancia alguna en superficies pero en cambio respectos a las pérdidas se registraron cerca de 642 hectáreas, siendo el tema del agua algo de lo que más preocupa a los habitantes del municipio de Cuauhtémoc. Es por ello que surge la necesidad de que se desarrollen estrategias de desarrollo sustentable que permitan preservar este recurso hidrológico.

Referencias literarias

- Alatorre, L., García, A., Rodríguez, A., Erives, E. y González, E.** (2014), “Estimación de la erosión potencial en la cuenca de la Laguna Bustillos, Chihuahua, México” en *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*. pp. 249-258. Disponible en : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=562892>
- Alvarado, C., Leandro, A. y Sarango, D.** (2019) “Comparación de Índices de Vegetación con imágenes Landsat usando la computación en la nube: zona Pampa de Majes-Siguas, Arequipa Perú (Periodo: Jun 1984 a Nov 2018)” en *Revista de Investigación de Física*. 22(1). Disponible en : <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/fisica/article/view/20280>
- Burgos, A. y Bocco, G.** (2015) “La cuenca hidrográfica como espacio geográfico” en Burgo, A.; Bocco, G. y Sosa, J. *Dimensiones sociales en el manejo de Cuencas*. México. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281557811_La_cuenca_hidrografica_como_espacio_geografico
- Centro Nacional de Prevención de Desastres** (2018) “¿Qué regiones del país son las más afectadas por las sequías?” en Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-regiones-del-pais-son-las-mas-afectadas-por-las-sequias>
- Dourojeanni, A.** (1994), “La gestión del agua y las cuencas en América Latina” en *Revista de la CEPAL*. (53), pp. 111-127. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/4e20958d-22ed-4f54-9679-a85bd1c4ce02/content>
- Girimonte, P. y García, J.** (2020) “El índice NDVI y la clasificación de áreas sembradas aprendizaje automático no supervisado “k-means”1” en *Revista De Investigación en Modelos Matemáticos Aplicados a la Gestión y la Economía*. 1, pp. 39-52. Disponible en: <https://www.economicas.uba.ar/wp-content/uploads/2016/04/Girimonte-Garcia-Fronti.pdf>
- Guevara, M. y Montalvo, R.** (2014) “Transformaciones territoriales y cambio de uso de suelo derivado de la dotación de infraestructura y su contribución al desarrollo regional en la Sierra Norte del Estado de Puebla” en *Revista Electrónica Nova Scientia*. 7(13), pp. 314 – 336. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2033/203332667017.pdf>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua** (2013), “Agua, sequía y cambio climático” en Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/imta/prensa/agua-sequia-y-cambioclimatico?idiom=es#:~:text=La%20sequ%C3%ADa%20es%20un%20fen%C3%B3meno,din%C3%A1mica%20atmosf%C3%A9rica%20de%20la%20humedad.>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2022), “Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada: NDVI Landsat, 1984-2021” en INEGI. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463908272.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2015), “Uso de Suelo y Vegetación” en INEGI. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#publicaciones>

- Juárez, J.** (2011) “La administración del agua y el desarrollo sustentable en México: Una visión prospectiva” en el *XVI Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática*. Disponible en: <https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2011/10.08.pdf>
- López, F. y Sánchez, M.** (2012) “Las sequías y su impacto en el riesgo de desertificación de la cuenca del Segura. Apuntes para la gestión y sustentabilidad del agua” en *Revista Internacional de Ciencias Sociales*. (7), pp. 155-168. Disponible en: <https://revistas.um.es/areas/article/view/145121>
- Monforte, G. y Cantú, P.** (2009) “Escenario del agua en México” en *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*. 6(30), pp. 31-40. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3238728>
- Núñez, S.** (2023) “Curiosidades de la naturaleza: tipos de precipitaciones” en *Ecología Verde*, disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html>
- Pech-May, F., Sánchez, J., Sánchez, H. y Magaña, J.** (2020) “Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2” en *Lámpsakos*, (24), pp. 48-59. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/ern6139/613966750004/613966750004.pdf>
- Pontius, R., Shusas, E. y McEach, M.** (2004) “Detección de cambios categóricos importantes del terreno teniendo en cuenta la persistencia” en *Agricultura, Ecosistemas y Medioambiente*. (101), pp. 251-268.
- Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico** (2023), “Región Cuauhtémoc” en Gobierno del Estado de Chihuahua. Disponible en: <https://www.chihuahua.com.mx/content/PERFIL%20REGIONAL/2023/Regi%C3%B3n%20Cuauht%C3%A9moc.pdf>
- Trucíos, R., Estrada, J., Cerano, J. y Rivera, M.** (2011) “Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo” en *Terra Latinoamericana*, 29 (4), pp. 359-367. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n4/2395-8030-tl-29-04-00359.pdf>
- Ünver, O.** (2015) “Agua y agricultura para un desarrollo sostenible” en Naciones Unidas. *Agua y Desarrollo Sostenible*, pp. 12-19. Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf
- Von Thaden, J., Lithgow, D., Revollo, D., Salazar, M. y Rodríguez, A.** (2023) “Cambios en uso de suelo de México con modelos de Markov” en *Revista Madera y Bosques*, 29 (3). Disponible en: <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/2638/2489>
- Wilhite, D.** (1991), “Planificación contra la sequía: un proceso para el gobierno estatal”, in *AWRA: Journal of the American Water Resources Association*, 27 (1), pp. 29-38. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.1991.tb03110.x>

