

“Degradación de la vegetación y azolvamiento en presas periurbanas de zonas templadas de México: contribuciones para su evaluación y prospección”

Luis Ángel Macías Domínguez ¹, Maximino Hernández González ¹, Carolina Navarro Rodríguez ¹, *Azucena Pérez-Vega ¹
¹División de Ingenierías, Departamento de Geomática e Hidráulica, Campus Guanajuato
*azupv@ugto.mx¹

Resumen

Las presas periurbanas presentan problemas de deterioro debido a las actividades humanas, las cuales afectan la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. La presente investigación evaluó los cambios de uso, pérdida y degradación de la cubierta vegetal, generadores de procesos erosión, turbidez en el agua y azolve en las presas, lo cual repercute en la capacidad de almacenamiento y la condición de la calidad del agua de las presas Esperanza, Soledad y Burrones en el estado de Guanajuato.

Se determinó mediante el procesamiento de imágenes el índice de turbidez y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, además de la toma de muestras de agua de las presas de estudio. Las imágenes utilizadas para el NDVI fueron SPOT, 2010 y Sentinel 2 del año 2022, estableciendo los procesos y tasas de cambio. Mientras para el cálculo del índice de turbidez se utilizó una imagen Sentinel2 procesada con el programa SNAP y los paquetes Sen2r y waterquality en un ambiente de programación R. Se calcularon 9 índices de turbidez utilizando las bandas espectrales 2,3,4 y 8. La toma de muestra de agua en los reservorios considero los indicadores de pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, Turbidez, Dureza, Alcalinidad, Sólidos Suspendidos Totales y la toma de transparencia en campo con base en el disco de Secchi.

Los resultados de los cambios de la cubierta del suelo para el periodo de 2010 a 2022 predominaron los procesos de recuperación en las Cuencas de Soledad y Santa Ana donde se incrementaron matorrales y pastizales sobre áreas sin vegetación con una tasa de 5.2 % anual, mientras en la cuenca de la Esperanza predominó la degradación forestal de bosques de encino cerrado con tasas de pérdida de 4.86% para dar paso a bosque con arbolado medio.

La relación de los datos tomados en campo y los índices de turbidez tuvieron una muy alta correlación de R2 entre -0.75 y -0.93. La presa de la Soledad mostró los valores más altos y de mayor contraste de los datos de turbidez, mientras la presa Burrones mantuvo los valores más altos de conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad. Los mapas de turbidez obtenidos mediante imágenes de satélite constituyen un recurso eficiente, con alta precisión, bajo costo y de alta resolución temporal para monitorear los reservorios de agua.

Palabras clave: índices de turbidez, imágenes de satélite, NDVI, Sen2R.

Introducción

El presente artículo está enfocado en la evaluación de la calidad y cantidad de agua en tres embalses periurbanos del municipio de Guanajuato considerando los sólidos suspendidos. Estas presas corresponden a las partes bajas de las cuencas de la Esperanza, la Soledad y Santa Ana. Las presas presentan diferente grado de azolvamiento debido al transporte de sedimentación por procesos de erosión en las laderas de las partes medias y altas de las cuencas.

El objetivo de la presente investigación es evaluar con técnicas de bajo costo y de vanguardia los cambios de uso y cubierta de la vegetación y sus implicaciones en la capacidad de almacenamiento y la condición general del agua donde se tiene evidencia de azolvamiento a través del parámetro de turbidez. Analizado dicho parámetro y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada a través del procesamiento de imágenes de satélite.

Las presas periurbanas enfrentan serios problemas de deterioro que tienen repercusiones directas en la calidad de los servicios ambientales, especialmente en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. La relación intrínseca entre las cubiertas vegetales y el agua es evidente, ya que las cuencas hidrográficas boscosas son responsables de proporcionar aproximadamente el 75% de los recursos de agua dulce accesibles (Sarukhán y Whyte, 2005).

A nivel global, existe una notable escasez en el monitoreo de los procesos de transporte de sedimentos, a pesar de su relevancia para el medio ambiente y, especialmente, para la conservación y seguridad de los reservorios de agua. Esta falta de información se agrava en regiones con características de tierras secas y biomas semiáridos, donde los recursos hídricos son más vulnerables a la dinámica de los sedimentos y, en consecuencia, el monitoreo hidrosedimentológico es insuficiente (Soares et al., 2019).

Los ríos son los principales receptores y transportadores de sedimentos de la erosión del suelo; sin embargo, en la mayoría de los cursos de agua del mundo, la información sobre sedimentos no está disponible de forma fácil debido a la falta de monitoreo, lo que se vuelve más crítico en regiones donde los ríos son intermitentes y la carga anual de sedimentos se transporta en un corto período de tiempo (Syvitski et al., 2000).

En el contexto de México, la situación de deterioro de las presas periurbanas es preocupante, especialmente en áreas como el municipio de Guanajuato. Aquí, la degradación forestal ha provocado una erosión del suelo significativa, impulsada por procesos como el sobrepastoreo, la deforestación y la degradación de los bosques de encino. Esta situación afecta principalmente a dos de las tres presas más importantes que abastecen de agua a la capital del estado: La Soledad, La Esperanza y Mata. Estas presas están experimentando altos niveles de azolvamiento, con porcentajes de 53%, 65% y 35% respectivamente, debido al transporte de sedimentos la calidad y cantidad de agua disponible para abastecer a la ciudad capital se ven considerablemente reducidas. El caso de la presa Burrones es la tercera con altos niveles de sedimentos, sin embargo, está no abastece de agua a la ciudad capital debido a la contaminación que tiene el cuerpo de agua consecuencia de la actividad minera.

El deterioro de la calidad del agua está en parte relacionado con los cambios de cubierta y uso del suelo. En las presas estudiadas, la erosión de los suelos causada por la degradación forestal es el motor de los procesos de azolvamiento en las cuencas de la zona de estudio. La degradación forestal es la reducción en la capacidad de un bosque para producir bienes y servicios ambientales, como son: agua y aire de calidad, y conservación del suelo y de la biodiversidad.

A diferencia de la deforestación, en la degradación forestal no se remueve la totalidad de la masa vegetal, pero ello no le resta importancia y actualmente las superficies de bosques degradados son mayores que las de bosque deforestados (Pérez-Vega, 2015). El sobrepastoreo y la extracción de leña, suelo y hojarasca de forma legal e ilegal ha generado bosques ralos, algunos con suelos desnudos, sin arbustos y hierbas que protejan al suelo.

Los suelos desnudos dan paso a procesos de erosión en importantes superficies, transportando un gran volumen de sedimentos que colmatan las presas y disminuyen su capacidad de almacenamiento de agua.

El azolvamiento conduce en el largo plazo a reducir la vida útil de las presas y a un cambio de estado irreversible en la calidad del agua, con altos impactos económicos, ambientales y sociales a escalas local y regional. En México, el deterioro de las presas periurbanas es una situación alarmante que amerita una mayor atención. Para la UNESCO, la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas es uno de los principales desafíos que enfrentarán las sociedades durante el siglo XXI.

Área de estudio

Dos de los tres embalses Esperanza y Soledad conformados por las cuencas de sus mismos nombres, inmersos dentro de la Sierra de Santa Rosa, el cual es un macizo montañoso de origen volcánico mientras la cuenca de Santa Ana a la cual pertenece la presa Burrones se encuentra adyacente a la dicha sierra (Ver figura 1).

La Sierra de Santa Rosa representa casi el 30% de todos los bosques de encino estatales (87,097 ha) considerado como la zona más diversa en especies de encinos en el estado de Guanajuato (CONABIO, 2015) y puente migratorio de numerosas aves y de la mariposa monarca.

Los bosques de encino están conformados por 4 asociaciones de encino que incluyen 36 especies, 22 géneros y 15 familias (Martínez, Téllez e Ibarra, 2009). Actualmente, para las comunidades locales generalmente con población menor a 200 habitantes, los bosques de encino representan una importante fuente de empleo e ingresos ya que de ellos obtienen materiales de construcción, forraje para el ganado y energía (Manson, 2004). La fuente de ingresos proviene principalmente de la producción de carbón a través de una tala selectiva de cuatro especies de encino existiendo aprovechamientos forestales dedicados a esta actividad, pero también se lleva a cabo de forma clandestina por comunidades locales incluso por personas de otras entidades.

En los bosques de encino se obtiene una producción de carbón vegetal equivalente al 87% de toda la madera de encino aprovechada (Pérez, 2000) y aunque sea la actividad de mayor producción en la región, la remuneración no es proporcional al recurso aprovechado, por lo tanto, el uso intensivo del recurso incrementa la extensión de las zonas de producción y por tanto la degradación de los bosques.

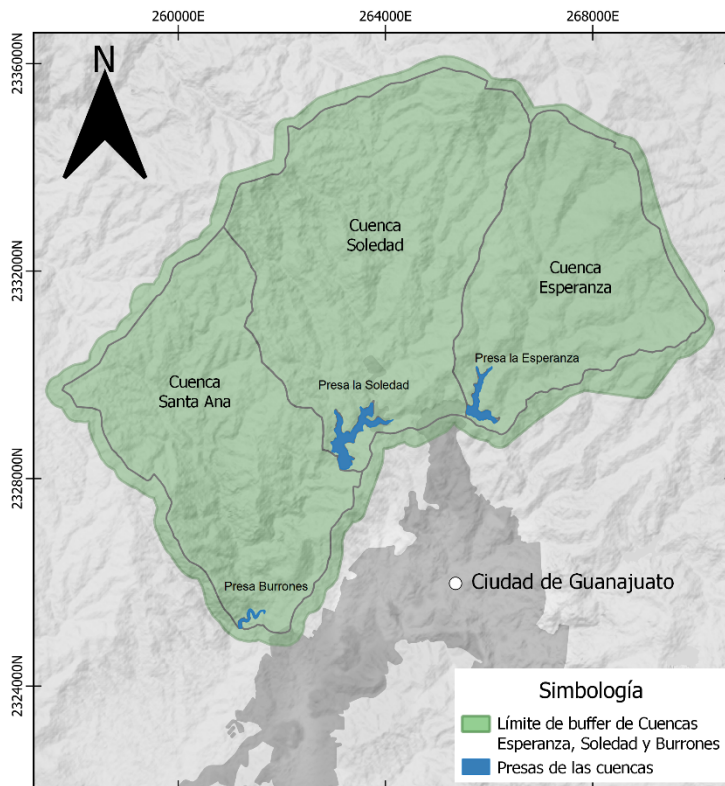
Los bosques de encino son talados para extraer la madera, así como sus suelos son removidos como tierra de hoja, donde ambos son vendidos para abastecer la demanda de establecimientos que utilizan leña o a invernaderos de las ciudades cercanas como Guanajuato, Dolores Hidalgo y León o incluso algunas más alejadas en otros estados. Estas actividades tanto legales como ilegales han dejado bosques con una degradación forestal que alcanza hasta un 85% para la Cuenca de Esperanza (Pérez-Vega, 2015) no obstante, de ser una Área Natural Protegida desde 1997. Actualmente las presas de la Esperanza, Soledad y Mata tienen una captación de agua que abastece aproximadamente al 9% de la población de la ciudad de Guanajuato (CONAGUA, 2020).

Las tres cuencas con sus respectivas presas tienen la característica de tener un comportamiento hidrológico en cascada, lo que quiere decir que el agua que corre de la presa más alta, Esperanza, sigue hacia abajo a la de Soledad, y luego de esta hacia Burrones, por lo que en conjunto forman parte de una cuenca mayor.

La vegetación predominante en las cuencas de Soledad y Burrones son pastizales y matorral crasicuale, mientras existe continuo de bosque de encino con diferentes porcentajes de arbolado sobre todo en la Cuenca de la Esperanza y algunas porciones al norte de las cuencas Soledad y Santa Ana. Cabe mencionar que las cuencas de Soledad y Esperanza son Áreas Naturales Protegidas a nivel estatal, dentro de las categorías de restauración y conservación, respectivamente.

Históricamente estas zonas han tenido ocupación humana desde siglos atrás a causa principalmente de la minería. Por ello, es una zona altamente impactada y la mayor parte de su superficie fue deforestada, teniendo hoy en día grandes porciones de pastizal, perpetuado en buena medida por el ganado, y matorrales recubriendo algunas partes en proceso de revegetación por la sucesión vegetal. Aunado a esto, la ganadería es una de las causas importantes en la perturbación de la vegetación, pues además del ramoneo de los animales, sus pisadas compactan el suelo produciendo erosión, aumentando el escurrimiento del agua con sedimentos y disminuyendo la infiltración por pérdida de permeabilidad.

De las tres presas, la única que no se utiliza el agua para consumo humano es Burrones, y las otras dos abastecen a buena parte de la población local de la ciudad de Guanajuato. Burrones no se utiliza por la contaminación de sus aguas consecuencia de la actividad minera. El agua de mina que escurre del interior de los túneles y los jales (deshechos mineros) que en el pasado se arrojaron río abajo, ahora se han asentado en el lecho de la presa, contaminando sus aguas.



Elaborado por: Luis Angel Macías Domínguez
Junio 2023

Escala 1:75,000
Datum: WGS 84 Zona 14N
Fuentes: STAMEN, INEGI, elaboración en SIG

Mapa de área de estudio



Universidad de Guanajuato
Licenciatura en Geografía

Figura 1. Mapa de ubicación de las presas Esperanza, Soledad y Burrones con sus respectivas cuencas.

Metodología

Análisis de la condición de la cubierta vegetal y los usos del suelo en las cuencas.

La metodología se divide en dos fases trabajo de gabinete y trabajo de campo.

El primer proceso del trabajo de gabinete consistió en calcular un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) usando imágenes multiespectrales SPOT del año 2010 y Sentinel 2 del 2022 para comparar los cambios y tasas de cambio en el tiempo.

El NDVI es un índice de la actividad fotosintética que se relaciona con la vigorosidad y densidad de la cubierta vegetal, con base en la energía absorbida o reflejada por la vegetación mostrada en los valores de las diferentes bandas del espectro electromagnético, la banda del infrarrojo en combinación con la banda roja presenta valores entre -1 a 1. Los valores cercanos a 1 representan una vegetación vigorosa y con alto porcentaje arbóreo, en contraste los valores cercanos a 0 hasta -1 hablan de zonas con vegetación enferma, muerta o sin vegetación. (Figura 2).

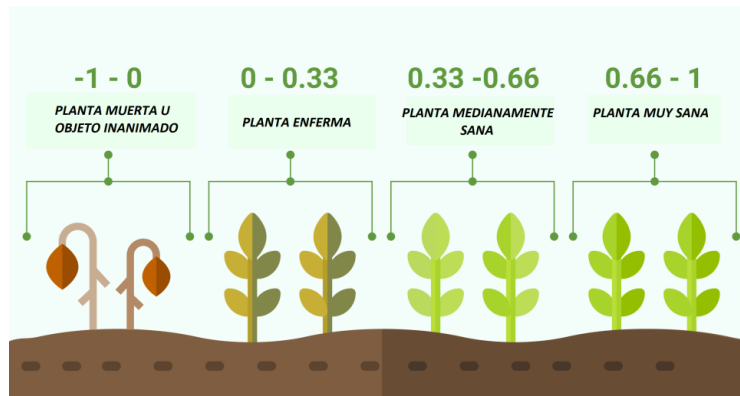


Figura 2. Rangos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado y su relación con la condición de la cubierta vegetal.

El cálculo del NDVI se lleva a cabo mediante la operación algebraica que resta la banda roja menos la banda infrarroja y la suma de las mismas bandas, ambos resultados son divididos para obtener el resultado final.

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

Figura 3. Ecuación para el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado

Se obtuvo el NDVI de los años 2010 y 2020 que al llevar a cabo la sobreposición de ambos productos ya clasificados con los mismos tipos de categorías. Calculando los cambios entre la primera fecha respecto a la segunda estimando las tasas de cambio anual absoluto (ha) y relativo (%).

Análisis de la calidad del agua

Se utilizó una imagen multispectral Sentinel 2 de la Agencia Espacial Europea, con una resolución espacial de 10-20m, con un tiempo de revisita de 5-10 días, a la cual se le realizó una corrección atmosférica para asegurar que los valores de reflectancia correspondan al espejo de agua y no a efectos de la atmósfera. Este paso es fundamental para evitar errores en los análisis. La fecha de la imagen coincidió con la toma de las muestras de agua durante el trabajo de campo

La corrección atmosférica, así como el análisis de turbidez y clorofila se llevaron a cabo con el programa SNAP y los paquetes Sen2r y waterquality en un ambiente de programación R. Se calcularon 9 índices de turbidez utilizando las bandas espectrales 2,3,4 y 8, correspondientes a las bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano respectivamente.

Por otro lado, el trabajo de campo consistió en la medición de la penetración luminosa en el agua a través de un disco de Secchi y se tomaron muestras de agua, que adicionalmente sirvieron para obtener lecturas de pH, Demanda Biológica y Química de Oxígeno, CE, dureza y alcalinidad, que son parámetros que permiten conocer las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua. Solo la relación entre la penetración luminosa y los índices de turbidez obtenidos del análisis de las imágenes de satélite se realizaron para esta etapa preliminar de la investigación.

El parámetro de la **cantidad de oxígeno** presente en el agua es esencial para la vida acuática, ya que las plantas y los peces lo utilizan para respirar, además es importante para la calidad del agua, ya que ayuda a controlar el crecimiento de algas y otros microorganismos. Es fundamental mantener los niveles adecuados de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua para asegurar la salud y supervivencia de los organismos acuáticos y mantener un ecosistema equilibrado.

La **conductividad eléctrica** es la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad. El agua que contiene sales disueltas es un mejor conductor. Permite evaluar la salinidad, la pureza y presencia de contaminantes en el agua para así monitorear su calidad y poder determinar su uso, como el riego para la agricultura o el consumo humano. La temperatura, concentración de iones, contaminantes y pH son factores que afectan esta propiedad.

El **pH** del agua es una medida de su acidez o alcalinidad y se mide en una escala del 0 al 14, siendo el 7 el punto neutro. Un pH menor a 7 indica que el agua es ácida, mientras un pH mayor a 7 indica que el agua es alcalina.

El **contenido de CO₂**, sales disueltas y la presencia de contaminantes son factores que afectan esta medida. Es importante controlar esta propiedad para principalmente cuidar los ecosistemas y la salud humana, así como en la industria los equipos e instalaciones.

La **dureza** es la **cantidad de sales** minerales disueltas en el agua, principalmente calcio y magnesio. Estos minerales se disuelven en el agua debido a la interacción con el medio, principalmente rocas. El clima, tipo de roca y las actividades humanas como los procesos agrícolas e industriales son los principales factores que alteran esta propiedad modificando el sabor del agua y su ingesta con el tiempo ocasionan problemas renales y enfermedades cardíacas. Además de obstruir las tuberías y dañar los electrodomésticos y calentadores de agua.

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos, se puede ver afectada por la composición geológica y procesos naturales, así como la contaminación y actividades humanas. Esta se puede aumentar o disminuir añadiendo diferentes sustancias al agua como carbonatos.

La clorofila es la responsable del pigmento verde de las plantas. La clorofila del agua es una fuente importante de nutrientes para los peces y otros animales acuáticos y se produce cuando las plantas se descomponen en el agua, una excesiva concentración de clorofila en el agua deriva en proliferación de algas generando efectos negativos en los ecosistemas acuáticos. Una floración de algas puede conducir a la disminución del oxígeno disuelto en el agua cuando las algas mueren y se descomponen, lo que puede causar la muerte de peces

Resultados:

Los valores del NDVI del año 2010 y 2022 ambos correspondieron a meses posteriores de las lluvias, las imágenes fueron clasificados en cuatro rangos con base en los límites de un análisis de fotointerpretación visual previo donde fue posible definir cuatro categorías: 1. Bosque de encino cerrado, en color verde oscuro. 2. Bosque de encino medio, matorral crasicaule o matorral de pingüica, en color verde claro 3. Matorral crasicaule secundario o pastizal, en color naranja, y 4. Sin vegetación o pastizal a ras de suelo, en color rojo.

La determinación de las categorías con base en el NDVI y el análisis de fotointerpretación mostró que los bosques de encino conservados fueron fácilmente determinados, mientras los bosques de encino con arbolado medio se confundieron con matorrales de pingüica y crasicaules conservados. Por su parte los matorrales crasicaules secundarios no fue posible diferenciarlos de los pastizales. Y finalmente fue difícil separar las áreas sin vegetación de las superficies de pastizal ralos y a ras del suelo

Tabla 1. Rangos del NDVI para las diferentes categorías de Uso del Suelo y Vegetación para el año 2020.

NDVI 2022			
Mínimo	Máximo	Valor	Categoría

0.3	0.55102	1	Bosque de encino cerrado
0.25	0.3	2	Bosque de encino medio, matorral crasicaule o matorral de pingüica
0.1	0.25	3	Matorral crasicaule secundario o pastizal
-0.198366	0.1	4	Sin vegetación o pastizal a ras de suelo

Los rangos de NDVI para las cuatro categorías determinadas fueron distintos entre el NDVI del 2010 y 2022 teniendo un valor mínimo y máximo más bajo para el NDVI del 2010 con respecto al 2022.

Tabla 2. Rangos del NDVI para las diferentes categorías de Uso del Suelo y Vegetación para el año 2010.

NDVI 2010			
Mínimo	Máximo	Valor	Categoría
0.12	0.2639634	1	Bosque de encino cerrado
0.09	0.12	2	Bosque de encino medio, matorral crasicaule o matorral de pingüica
0	0.09	3	Matorral crasicaule secundario o pastizal
-0.1798523	0	4	Sin vegetación o pastizal a ras de suelo

Los resultados del NDVI de 2022 contrastan respecto al NDVI de la fecha inicial del 2010, importante incremento del matorral secundario o pastizal, lo que se traduce en un proceso de recuperación en importante superficie sobre todo en las cuencas Soledad y Santa Ana, pero también en deforestación y degradación forestal para la porción noreste de la cuenca Esperanza (Figura 4).

El pastizal a ras de suelo o sin vegetación se redujo notablemente para dar paso al proceso de recuperación descrito anteriormente. Su distribución quedó reducida a caminos y grandes áreas deforestadas y erosionadas sin vegetación (Figura 4).

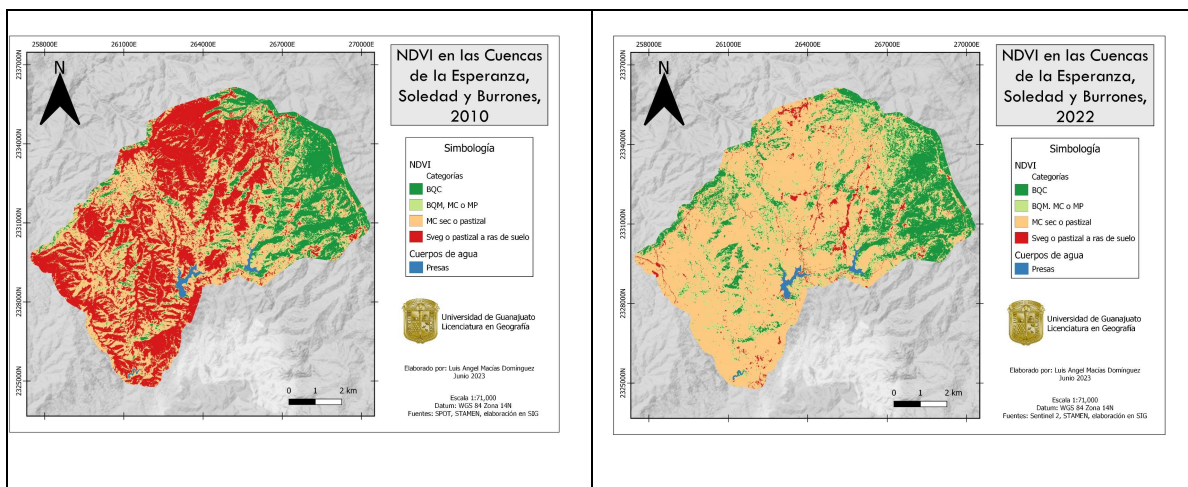


Figura 4. Mapas de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado para los años 2010 y 2022 clasificados de acuerdo con cuatro categorías.

El bosque de encino medio, matorral crasicaule o matorral de pingüica, mantienen superficies reducidas en general, pero con ligero incremento de matorrales secundarios presentándose procesos de degradación de cubiertas de vegetación inicialmente conservadas y de forma muy importante se observa un aumento de pastizales lo que conlleva una deforestación para dar paso a actividades ganaderas en algunos manchones que antes correspondía a bosque de encino de arbolado medio.

La pérdida de bosque de arbolado cerrado se transformó en arbolado medio generando procesos de degradación forestal principalmente en el macizo forestal de la Sierra de Santa Rosa, en la cuenca de la Esperanza (Figura 4).

Las tasas de ganancia o pérdida de cada categoría se expresan en la siguiente tabla donde el mayor incremento fue para el matorral crasicaule secundario o pastizal, seguido del bosque de encino medio, matorral crasicaule o matorral de pingüica esta agrupación de categorías no permite discernir entre una degradación forestal para el caso del bosque de encino medio y a recuperación en el caso de los matorrales.

La mayor pérdida de superficie la representa las áreas sin vegetación o pastizales a ras de suelo donde se estableció matorral secundario o pastizales, de esta última categoría no precisamente es una recuperación sino un uso para la ganadería (Figura 4).

Tabla 3. Tasa de cambio relativa y absoluta durante el periodo 2010 a 2022

Categoría	Nombre Categoría	Tasa relativa anual (%/año)	Tasa absoluta anual (ha/año)
1	Bosque de encino cerrado	1.69	208.36
2	Bosque de encino medio, matorral crasicaule o matorral de pingüica	4.86	596.22
3	Matorral crasicaule secundario o pastizal	5.20	637.94
4	Sin vegetación o pastizal a ras de suelo	-6.96	-854.31

Los resultados muestran valores de correlación alta entre 6 de los 9 indicadores analizados (R^2 entre -0.75 y -0.93) y los valores de penetración luminosa o transparencia calculados con base en la imagen de satélite. Se ajustó una regresión lineal entre la penetración luminosa y el índice que presentó la máxima correlación (Índice de Bowers y Binding (2006)). Con base en el modelo de regresión y los datos satelitales, es posible realizar un mapa de la penetración luminosa para todos los cuerpos de agua monitoreado para esta fecha.

El caso más representativo fue el reservorio de la presa de la Soledad, donde los valores más altos de turbidez se localizan en las porciones más someras de la zona norte de la presa, mientras los valores más bajos se encuentran en agua profunda, cercana a la cortina de la presa (Figura 6).

Estos resultados muestran que los datos de percepción remota permiten monitorear de forma eficiente parámetros de calidad de agua como la turbidez.

Figura 5. Gráfica de correlación entre los valores del disco de Secchi y los valores de las

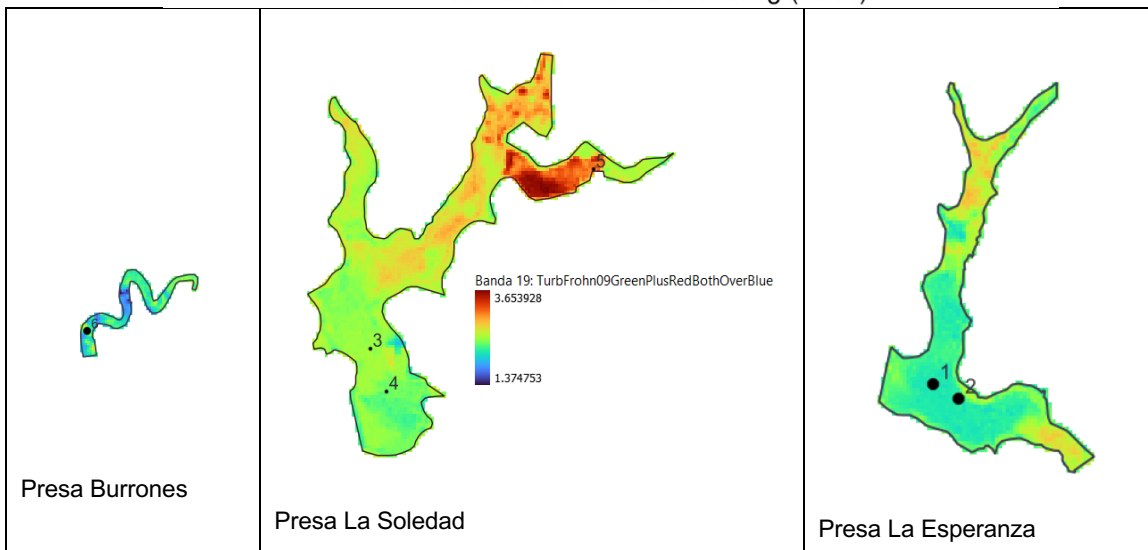
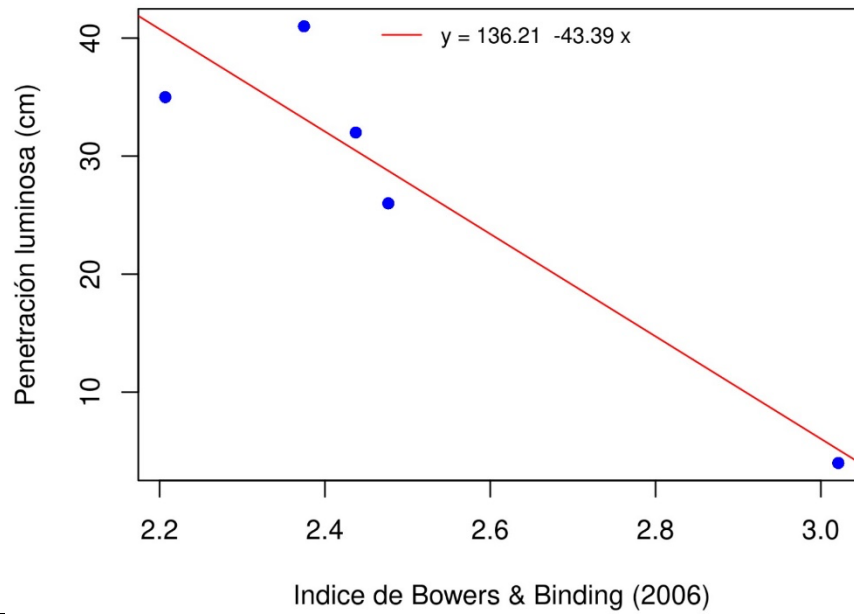


Figura 6. Mapa de Índice de turbidez, los números muestran los sitios de muestro en los embalses.



Figura 6. A) Presa de la Esperanza y B) Presa de la Soledad.

Los resultados de las muestras de agua obtenidos en las tres presas arrojaron resultados muy contrastantes en los indicadores de turbidez, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Conductividad Eléctrica (CE), Alcalinidad, Dureza y Transparencia (Secchi)

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de las presas La Esperanza, La Soledad y Burrones.

No.	Transparencia Secchi cms	OD (mg/L)	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidez (UNT)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	SDT (mg/L)
1	37	5.8	7.6	268	16.9	164	127.3	14.2
2	35	5.9	7.7	290	17.1	170	129.1	14.6
3	26	5.9	8.4	355	29.9	200	187.3	22.4
4	41	5.8	8.4	364	28.7	196	188.6	20.2
5	4	4.1	7.1	203	2014.0	94	48.8	811.5
6	32	6.0	8.2	856	13.2	478	440.8	16.2
7	31	6.2	8.2	870	11.8	474	442.1	11.2

Los valores de transparencia del agua a través de las mediciones del disco de Secchi mostraron valores de transparencia muy bajos desde 4 cms es decir muy alta turbidez alcanzando la mayor transparencia de 41 cms, ambos valores extremos encontrados en la presa de la Soledad. Mientras que las presas de la Soledad y Burrones mostraron valores similares entre un rango de 31 a 37 cms de transparencia.

Los resultados sobre el PH arrojan que la mayoría son alcalinos (mayores de 8) los sitios que correspondieron a las presas de la Soledad y Burrones. Mientras PH con valores neutros (valores cercanos a 7)

correspondieron a la presa de la Esperanza y el punto 5 el cual se encuentra en la parte norte de la presa la Soledad (Tabla 4).

Los Sólidos Disueltos Totales con muy alta concentración en el punto 5 al norte de la Presa la Soledad, mientras que entre los valores más bajos para este indicador lo mostro la presa Burrones. Esta ultima presa mostro los valores más altos de conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad más del doble que las presas de Esperanza y Soledad.

Conclusiones.

El uso de imágenes de satélite permitió determinar los cambios de uso y cubierta vegetal mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado en un periodo de 2010 a 2022, **donde predominaron los procesos de una aparente recuperación en las Cuencas de Soledad y Santa Ana** se incrementaron matorrales y pastizales sobre áreas sin vegetación con una tasa de 5.2 % anual, mientras en la cuenca de la Esperanza predomino la degradación forestal de bosques de encino cerrado con tasas de pérdida de 4.86% para dar paso a bosque con arbolado medio.

La relación entre la transparencia de datos tomados en campo y los resultados de índices de turbidez presento un R2 entre -0.75 y -0.93 mostrando una muy alta correlación.

La presa de la Soledad mostró los valores más altos y también de mayor contraste de los datos de turbidez mientras la presa Burrones mantuvo los mayores valores más altos de conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad.

Los resultados de turbidez obtenidos mediante imágenes de satélite de vanguardia constituyen un recurso eficiente, con alta precisión, bajo costo y de alta resolución temporal que permite monitorear los reservorios de agua para producir información útil en la toma de decisiones de los organismos operadores de agua.

Agradecimientos

Proyecto Azolvamiento y eutroficación en presas periurbanas de zonas templadas de México: contribuciones para su evaluación y prospección, Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), Clave IN112823 <https://lae.ciga.unam.mx/proyectos/agua/>

Rosaura Páez Bistrain, Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua

También agradecer a la estudiante en Biología Luisa Fernanda Chávez Zamora becaria del Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental por su contribución a la presente investigación y participación en la realización de los videos.

Bibliografía/Referencias

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México). (2015). Estrategias para la conservación y el uso sustentable de la Biodiversidad del Estado de Guanajuato, Guanajuato. 137 pp.

Manson, R. (2004) Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. Madera y Bosques, 10 (1), Pág. 3-20. Fecha de consulta 7 de abril de 2021. ISSN: 1405-0471. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=6171010>

Martínez-Cruz, J., Téllez Valdés, O., & Ibarra-Manríquez, G. (2009) Estructura de los encinares de la sierra de Santa Rosa, Guanajuato, México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 80 (1), pp. 145-156, ISSN 2007-8706.

Pérez, Dávalos y Guerrero (2000) Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques* Vol. 6, no. 1, 2000, pp. 3-13. ISSN 1405-0471

Pérez-Vega A., Regil García H. y Mas Causse J.F. (2020) Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato. *Investigaciones Geográficas*.

Pérez-Vega, A. y Rocha Álvarez, F. (2015) Degradación Forestal en Áreas Naturales Protegidas del Estado de Guanajuato. 1er. Congreso Nacional de Ordenamiento Territorial y Ecológico. Gobierno del Estado-Universidad de Guanajuato.

Quintana, O.J. (2012). La madera de encino en la Sierra de Santa Rosa: Posibilidades de Uso en productos de alto valor agregado. En *La biodiversidad en Guanajuato. Estudio de Estado* (vol. I) (pp. 259-261). México: CONABIO.

Soares Pereira, F. J.; Gomes Costa, C. A., Foersterb. S., Brosinskyb,c S., De Araújo. J.C. (2019) Estimation of suspended sediment concentration in an intermittent river using multi-temporal high-resolution satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Volume 79, July 2019, Pages 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.02.009>.

Sarukhán José y Whyte Anne (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. MA Board of Review Editors. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>

Syvitski, J.P., Morehead, M.D., Bahr, D.B., Mulder, T., (2000). Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. *Water Resour. Res.* 36 (9), 2747–2760. <https://doi.org/10.1029/2000WR900133>.