

## Análisis ecológico de un área de pago por servicios ambientales hidrológicos en el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México

### Ecological analysis of a payment for hydrological environmental services area in the common land La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, Mexico

José Manuel Zúñiga Vásquez\*✉, Erick Alberto Martínez López\*, Carlos Navarrete Gallardo\*, José de Jesús Graciano Luna\*, David Maldonado Ayala\*, Bonifacio Cano Mejía\*\*

Zúñiga Vásquez, J. M., Martínez López, E. A., Navarrete Gallardo, C., Graciano Luna, J. J., Maldonado Ayala, D., & Cano Mejía, B. (2018). Análisis ecológico de un área de pago por servicios ambientales hidrológicos en el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(73), 27-36.

#### RESUMEN

En México la Comisión Nacional Forestal implementa el pago por servicios ambientales hidrológicos, cuyo objetivo es reducir la tasa de deforestación en zonas críticas para recarga de agua. Aunque se da seguimiento a los proyectos aprobados, no se tiene un análisis de los beneficios que genera este mecanismo. Generar información para evaluar estos beneficios juega un papel clave. El objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis ecológico de un área beneficiaria de pago por servicios ambientales hidrológicos del ejido La Ciudad, a siete años de la asignación del apoyo. Se analizó la cobertura forestal del área, el estado de la vegetación, la diversidad de especies y la calidad del agua. Los resultados mostraron que el área cuenta con un porcentaje considerable de cobertura forestal y niveles aceptables de biodiversidad. En análisis de calidad del agua mostró una posible contaminación por lo que se recomienda un monitoreo más recurrente.

**Palabras clave:** PPSAH; ejercicio fiscal 2009; calidad del agua; índices de biodiversidad; NDVI; clasificación supervisada.

**Keywords:** PPSAH; fiscal year 2009; water quality; biodiversity; NDVI; supervised classification.

**Recibido:** 11 de mayo de 2017, **aceptado:** 8 de enero de 2018

\* Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico s/n, C. P. 34942, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. Correo electrónico: josema.zuva@gmail.com; eyr\_1992@hotmail.com; carlosnav@hotmail.com; gracluna@hotmail.com; davma12@yahoo.com.mx

\*\* Unidad de Prestación de Servicios Ejidales # 6. Carretera Durango-Mazatlán km 102, C. P. 34950, Col. El Salto, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. Correo electrónico: canomejia@gmail.com

✉ Autor para correspondencia

#### ABSTRACT

In Mexico, the National Forestry Commission implements the payment for hydrological environmental services, whose objective is to reduce the rate of deforestation in critical areas for water recharging. Although the approved projects are followed up, there is no analysis of the benefits generated by this mechanism. Generating information for these evaluations plays a key role. The main objective of this research was to perform an ecological analysis of payment for hydrological environmental services beneficiary area in the common land La Ciudad, seven years after the allocation of support. The forest cover of the area, the state of the vegetation, the diversity of species and the quality of the water were analyzed. The results showed that the area has a considerable percentage of forest cover and acceptable biodiversity. In the analysis of water quality, contamination can occur, which is why more frequent monitoring is recommended.

#### INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales son todos los beneficios que proporcionan los ecosistemas (servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte) y generan beneficios para la sociedad y el equilibrio ecológico (INECOL, 2005; Niemelä, 2012; SEMARNAT, 2003). A pesar del impacto positivo que generan estos servicios en las economías mundiales, muchos de estos están desestimados o no tienen un valor financiero y el deterioro que sufre la base de los recursos naturales ha ocasionado que la permanencia de estos beneficios esté amenazada (MEA, 2005). Por ello la preocupación por mejorar la calidad de vida se fun-

da en la idea de mantener los productos y servicios que el ambiente presta (Del Ángel-Pérez, Villagómez-Cortés, & Díaz-Padilla, 2011). Ante esta situación desde hace algunos años se han creado estrategias de conservación a nivel mundial a partir de la Conferencia de Río de Janeiro (Perevochtchikova, Rojo Negrete, Martínez, & Fuentes Mariles, 2015).

En México se inició con la estrategia del pago por servicios ambientales (modalidad de Hidrológicos, PSAH), y fue incluido en las políticas públicas de conservación. De 2003 a la fecha la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) opera el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PPSAH), con el objetivo de reducir la tasa de deforestación en zonas críticas para la recarga de agua (Perevochtchikova & Ochoa-Tamayo, 2012). Dicho programa cuenta con criterios y reglas de operación, los cuales se han ido modificando de acuerdo con las necesidades para administrar los recursos económicos y aspectos técnicos posibles de evaluar en campo (Cisneros, García, Muñoz-Piña & Rivera, 2011; COLPOS, 2008). Aunque la CONAFOR mantiene un programa de seguimiento de los proyectos aprobados en todo el país, no se tiene un análisis de los beneficios ambientales que generan estos mecanismos, por lo que se hace evidente la falta de cuantificación y monitoreo de los servicios ambientales (no sólo refiriéndose a la cobertura forestal analizada por la CONAFOR) (Perevochtchikova et al., 2015). Un punto de partida lo constituye la generación de información a nivel local para evaluar los beneficios que produce el programa en las áreas apoyadas.

En el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México, se encuentra un área de pago por servicios ambientales hidrológicos, fue beneficiado con dicho programa durante el periodo 2009-2013 y a la fecha sigue como beneficiario del mismo. Esta área no cuenta con información ecológica para realizar una evaluación del PPSAH a nivel local. Bajo la hipótesis de que el área se encuentra en buenas condiciones ecológicas, el principal objetivo de esta investigación fue realizar una caracterización ecológica del área de PSAH a siete años de la asignación del apoyo (ejercicio fiscal 2009) para la generación de información y establecer una línea base para evaluaciones futuras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En cuanto al área de estudio, el ejido La Ciudad se ubica en el macizo montañoso denominado Sierra

Madre Occidental dentro del municipio de Pueblo Nuevo (figura 1). Los principales tipos de clima son C (E) (M): semifrío húmedo, C (E) (W2): semifrío subhúmedo, C (W2): templado subhúmedo, todos con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 1200 m.m., y una temperatura media anual de 18 °C, con máximas de 22 °C y mínimas de 3 °C (UPSE 6, 2009). El área destinada a pago por servicios ambientales hidrológicos cuenta con una superficie de 780 hectáreas.

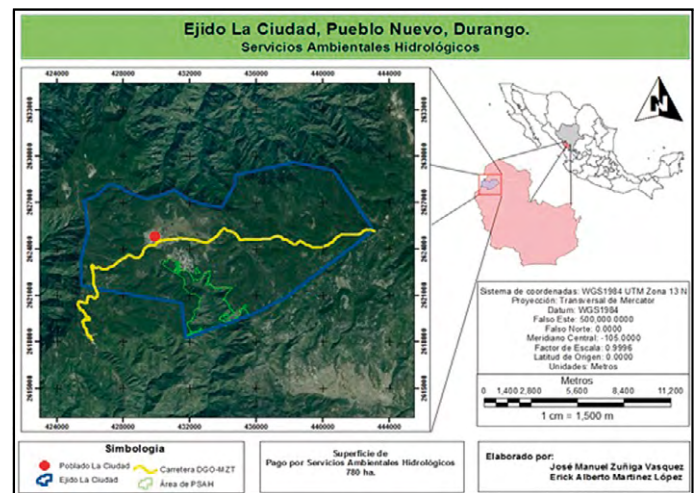


Figura 1. Ubicación del área de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México.

Elaboración propia.

En cuanto a la metodología, se realizó una caracterización de la biodiversidad a través de índices de diversidad y se estimó la cobertura forestal por medio de técnicas de teledetección.

### Caracterización de la biodiversidad

Se recopiló información general y dasométrica de 20 sitios de dimensiones fijas, distribuidos al azar dentro del área de PSAH, los sitios fueron de forma circular y de una superficie de 1000 m<sup>2</sup>. Se contemplaron todos los árboles dentro del sitio con diámetro normal  $\geq 10$  cm, se identificó su especie y se midió diámetro normal (cm), altura total (m), y diámetro de copa (m) en x, y (norte-sur y este-oeste).

Con la información recopilada se estimaron índices de biodiversidad dentro de los cuales se estimó la riqueza de especies a través de los índices de Margalef y Menhinick (tabla 1): los cuales cuantifican el número de especies presentes.

Tabla 1  
Índices de riqueza de especies

Margalef	$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$	
Menhinick	$D_{Mn} = \frac{s}{\sqrt{N}}$	Donde S = número de especies N = número total de individuos

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2  
Índices de dominancia

Simpson	$\lambda = \sum pi^2$	Donde: $pi$ = abundancia proporcional de la especie $i$ .
McIntosh	$D = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}}$	Donde: N = número total de individuos $U = \sqrt{\sum ni^2}$ ( $i=1, 2, 3, \dots, S$ ).
Berger-Parker	$d = \frac{N_{max}}{N}$	Donde: $N_{max}$ : es el número de individuos en la especie más abundante.

Nota: Elaboración propia.

También se estimó la dominancia de las especies con los índices Simpson, McIntosh y Berger-Parker (tabla 2); estos son métodos sustentados en la estructura ya que calculan la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie, como la abundancia relativa; es decir, identifican las especies más comunes.

Además se estimó el valor de importancia ecológica para cada especie a través del índice de valor de importancia (IVI), el cual jerarquiza la dominancia de cada especie. Para esta investigación se agregó el parámetro de cobertura de copa relativa al índice de valor de importancia, por lo cual la expresión del índice de valor de importancia se estructuró de la siguiente manera:

$$IVI = Ar + Dr + Fr + Cr$$

donde:

IVI= Índice de valor de importancia

Ar = Abundancia relativa, es igual al número de ár-

boles de una especie sobre el número total de individuos de todas las especies.

Dr = Dominancia relativa, es la cobertura en área basal de una especie en relación a la cobertura en área basal total de las especies.

Fr = Frecuencia relativa, es el número de veces que se presenta una especie referida a la frecuencia total de todas las especies.

Cr = Cobertura relativa, es la cobertura de copa de una especie en relación con la cobertura de copa total de las especies.

**Análisis de cobertura forestal.** Se utilizó una imagen del satélite Landsat 8 con resolución de 30 m en sus bandas y una resolución de 15 m en la banda pancromática. La imagen se obtuvo a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) (USGS, s. f.). La imagen utilizada (LC80310442015085LGN00) fue capturada por el sensor OLI\_TIRS a las 23:54:32 horas del día 26 de marzo del año 2015.

La imagen se procesó con ayuda del software ArcGIS 10.2 (ESRI, s. f.), a través de la herramienta GEOBIA-LANDSAT 8, diseñada por el Centro de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Gdansk, Polonia (Urbanski, 2014).

Debido a que las imágenes satelitales pueden presentar alteraciones radiométricas y geométricas de forma que no coincida con el tono, posición y tamaño de los objetos, se realizó una corrección atmosférica para eliminar los posibles errores (Flood, 2014; Vermote & Kotchenova, 2008). A través de un Pan-sharpen en todos los canales espectrales se mejoró la resolución espacial de la imagen, este es un proceso de fusión de alta resolución pancromática y menor resolución multiespectral de imágenes para crear una imagen en color de alta resolución (Mucher, Steinnocher, Kressler, & Heunks, 2000). Posteriormente se realizó una clasificación supervisada, la cual es un proceso en que se utilizan píxeles de identidad conocida, para clasificar píxeles de identidad desconocida (Arango Gutierrez, 2005; Chuvieco, 2006). Para la clasificación de la imagen se trabajó con seis categorías o clases:

- Clase 1: Sin cobertura vegetal (asentamientos, zonas rocosas, suelo).
- Clase 2: Pastizal
- Clase 3: Bosque abierto de pino (bosque poco denso, áreas de regeneración).
- Clase 4: Bosque de pino-encino
- Clase 5: Bosque de pino
- Clase 6: Cuerpos de agua y sombras.

Un factor importante en el proceso de clasificación supervisada es la validación de la misma, que debe ser evaluada y reportada con métricas informativas adecuadas para la comunidad de usuarios. Se llevó a cabo un análisis de matrices de confusión, con la que se evaluó la precisión de la clasificación. Se utilizó el valor del coeficiente kappa ( $\kappa$ ), el cual computa el acuerdo entre la imagen clasificada y la verdad de terreno.

Como complemento se calculó el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), este índice se relaciona con el comportamiento radiométrico de la vegetación, la actividad fotosintética y la

estructura foliar de las plantas y es utilizado generalmente para la discriminación de cubiertas vegetales, medir el vigor de las plantas y la producción de biomasa (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015).

La fórmula del NDVI es:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

donde:

IRC = valores de píxel de la banda infrarroja

R = valores de píxel de la banda roja

### Análisis de las características físicas y químicas del agua.

Se recolectaron muestras de agua en el arroyo Mexiquillo, perteneciente al área de PSAH y del cual se abastecen los habitantes del ejido. Se realizó un análisis de las características físicas y químicas, utilizando el analizador de iones C3010 y el equipo portátil HACH DR 2800, el cual es un espectrofotómetro con rango de longitud de onda que oscila de 340 a 900 nm. El equipo proporciona lecturas digitales en unidades directas de los resultados y brinda pruebas seguras (Hach Company, 2000).

Se analizaron algunas propiedades como conductividad eléctrica o conductividad, turbidez, pH, nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), fosfatos y oxígeno disuelto. Los resultados se compararon con los valores y límites permisibles de calidad de agua de acuerdo con las normas oficiales mexicanas NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 1995), NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1997), y NOM-CCA-032-ECOL-2010 (SSA, 2010).

## RESULTADOS

### Caracterización de la diversidad

Se contabilizaron 960 individuos ( $N$ ) y un valor para la riqueza de especies ( $S$ ) de 13 resultantes del muestreo. La Tabla 3 muestra la información silvícola-dasométrica de las especies.

En los valores obtenidos de los índices de riqueza de especies (Margalef y Menhinick) se observó que el área se encuentra entre rangos aceptables y moderadamente regulares (tabla 4).

Tabla 3  
Información silvícola-dasométrica de las especies encontradas en el área de PSAH

Especie	No. de individuos/ha	Área basal m <sup>2</sup> /ha	Cobertura de copa m <sup>2</sup> /ha
<i>Pinus cooperi</i>	33	1.9632	547.2522
<i>Pinus durangensis</i>	268	16.1708	4618.4827
<i>Pinus leiophylla</i>	32	1.2119	439.5009
<i>Pinus teocote</i>	3	0.151	39.4997
<i>Pinus lumholtzii</i>	2	0.0785	40.7308
<i>Pinus ayacahuite</i>	15	0.2847	145.3216
<i>Juniperus spp</i>	41	1.317	534.7808
<i>Cupressus spp.</i>	14	0.5885	107.6764
<i>Pseudotsuga mensiezii</i>	1	0.0245	4.949
<i>Alnus spp</i>	8	0.196	84.1222
<i>Arbutus chiapensis</i>	8	0.1582	79.9135
<i>Quercus sideroxila</i>	47	3.039	937.4544
<i>Quercus rugosa</i>	11	0.8991	260.6163

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4  
Valores de riqueza de especies para el área de PSAH

Riqueza de especies	
Índice de Margalef	1.7475
Índice de Menhinick	0.4195

Nota: Elaboración propia.

Los índices de dominancia (Simpson, McIntosh y Berger-Parker) toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies, en este caso los resultados muestran en rangos de cero a uno la dominancia de una especie un valor muy cercano a uno representa muy baja biodiversidad (tabla 5).

Tabla 5  
Valores de dominancia de las especies del área de PSAH

Dominancia	
Índice de Simpson	0.3403
Índice de McIntosh	0.4305
Índice de Berger-Parker	0.5583

Nota: Elaboración propia.

El valor de importancia es un indicador de la importancia fitosociológica de una especie, dentro de una comunidad, describe que la variación en la composición florística es una de las características más importantes que deben ser determinadas en estudios de vegetación (Curtis & McIntosh, 1951). En la Tabla 6 se muestran los valores de importancia de las especies más y menos abundantes del área.

Con la corrección mejora la resolución de la imagen satelital (figura 2) y de la clasificación supervisada se obtuvieron seis clases o categorías de cobertura (figura 3).

Con base en dichas categorías resultantes se realizó el cálculo de cobertura en el área de PSAH. Para no tener una sobreestimación de la cobertura, la categoría de sombra se contabilizó como área sin cobertura, por lo cual el área con cubierta forestal abarca una superficie de 598.88 ha, con las cuales se estimó un porcentaje cubierto de 76%. La tabla 7 se presentan las superficies de las clases de cobertura identificadas.

El proceso de validación a través del coeficiente Kappa reveló la precisión de la clasificación, al arrojar valores para la precisión general de la clasificación de 79%. De acuerdo con la escala propuesta

Tabla 6  
Parámetros del valor de importancia ecológica de las especies del área de PSAH

Especie	Densidad relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	Cobertura relativa	Valor de importancia
<i>Pinus durangensis</i>	56.7600	63.0876	32.2290	58.5518	210.6284
<i>Quercus sideroxyla</i>	9.5274	11.4898	21.3342	11.5477	53.8992
<i>Pinus leiophylla</i>	6.7741	4.6239	12.4917	5.9149	29.8046
<i>Pinus cooperi</i>	6.3126	7.0772	8.1610	6.7645	28.3152
<i>Juniperus spp</i>	7.4711	4.7457	4.8431	7.0701	24.1299
<i>Pinus ayacahuite</i>	3.2288	1.3033	7.8478	1.9059	14.2857
<i>Quercus rugosa</i>	2.5492	2.6673	2.6674	3.1106	10.9945
<i>Arbutus chiapensis</i>	1.5447	0.7653	5.0184	1.0495	8.3779
<i>Alnus spp</i>	1.5834	0.7575	4.1649	1.0462	7.5520
<i>Cupressus spp.</i>	3.0487	2.3581	0.2686	1.8457	7.5210
<i>Pinus teocote</i>	0.6484	0.6833	0.5546	0.5445	2.4307
<i>Pinus lumholtzii</i>	0.4167	0.3765	0.3316	0.5840	1.7088
<i>Pseudotsuga mensiezii</i>	0.1351	0.0645	0.0877	0.0647	0.3520

Nota: Análisis de cobertura forestal.  
Elaboración propia.

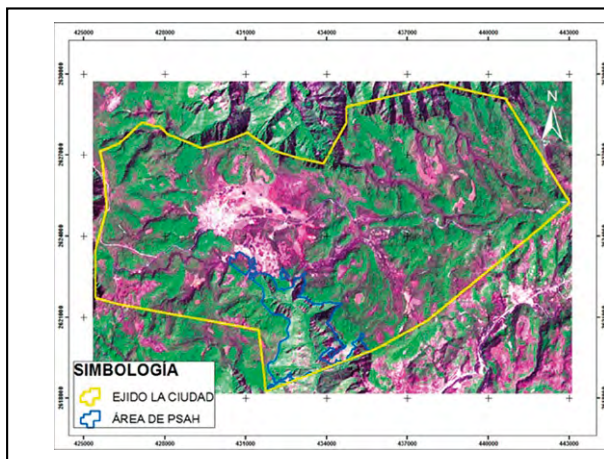


Figura 2. Combinación de bandas de imagen Landsat 8 con resolución a 15m para clasificación de coberturas.  
Elaboración propia.

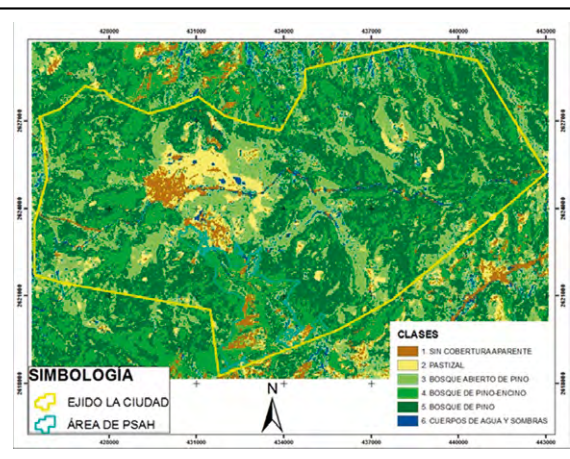


Figura 3. Clasificación supervisada por clases o coberturas.  
Elaboración propia.

por Monserud & Leemans (1992), para la interpretación del valor de dicho coeficiente donde valores menores a 0.40 se clasifican como pobres, 0.40-0.55 suficientes, 0.55-0.70 buenos, 0.70-0.85 muy buenos y mayores a 0.85 excelentes, se obtuvieron valores considerados muy buenos.

De acuerdo con el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (figura 4), se encontraron coin-

cidencias entre los valores de dicho índice y los resultados de la clasificación supervisada, ya que se encuentran muy pocos valores negativos dentro del área. Este índice genera valores entre -1 y 1, que básicamente representan el verdor de las plantas, cualquier valor negativo corresponde principalmente a las nubes, al agua o nieve; mientras que valores cercanos a cero corresponden principalmente a las rocas y al terreno desnudo.

Tabla 7  
Superficie por clase o tipo de cobertura

Clases	Tipo de cobertura	Superficie (ha)
1	Sin cobertura vegetal (asentamientos, zonas rocosas, suelo)	135.26
2	Pastizal	20.04
3	Bosque abierto de pino (Bosque poco denso, áreas de regeneración)	153.17
4	Bosque de pino-encino	190.18
5	Bosque de pino	235.48
6	Cuerpos de agua y sombras	46.06
Total		780

Nota: Elaboración propia.

### Análisis de las características físicas y químicas del agua

Los resultados de las características físicas y químicas del agua indican que son inferiores o se encuentran entre los límites permisibles enlistados por las normas oficiales mexicanas, excepto los niveles de fosfatos, lo cual indica una posible contaminación del agua (tabla 8).

### DISCUSIÓN

Estos resultados constituyen una primer aproximación al establecimiento de una base para la evaluación del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México. Asimismo, constituyen una herramienta para la toma de decisiones para el buen manejo de esta área. Las técnicas utilizadas para la caracterización ecológica del área fueron de gran ayuda para el monitoreo de los servicios ambientales hidrológicos, ya que se contempla la evaluación de la calidad del agua, la cobertura forestal y la diversidad de especies presentes en el área, de acuerdo con Perevochtchikova et al. (2015) la cuantificación y monitoreo de los servicios ambientales no sólo debe basarse en la cobertura forestal.

**Caracterización de la diversidad.** El estudio de la biodiversidad es una herramienta que ayuda a monitorear el estado de los bosques. De acuerdo con Nívar-Cháidez y González-Elizondo (2009), los bosques diversos son más productivos que los bosques simples. Los niveles de biodiversidad encontrados en el área son comparables con los reportados por un estudio de la diversidad de los bosques templados del estado de Durango (Nívar-Cháidez & González-

Tabla 8

Límites permisibles y valores de las propiedades físicas y químicas del agua del área de PSAH

Propiedades	Límites permisibles	Valores obtenidos
Turbidez	5 unidades de turbidez nefelométricas (UTN).	0.68 UTN
Nitratos	10	1.0 mg/l
Nitritos	0.05	0.018 mg/l
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5	07
Conductividad eléctrica	No mayor a 2000 $\mu$ S/cm.	37.1 $\mu$ S/cm
Oxígeno disuelto	No menor a 6 mg/l	11 mg/l
Fosfatos	No mayor a 0.01mg/l	0.54 mg/l

Nota: Elaboración propia.

Elizondo, 2009). También son muy similares a los resultados reportados por Graciano-Luna (2001), para la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México.

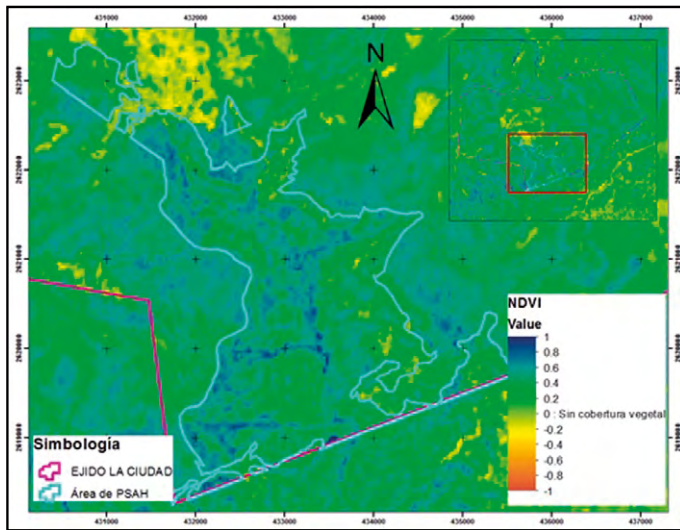


Figura 4. Valores del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado para el área de PSAH. Elaboración propia.

Los valores de importancia de las especies más altos fueron del género *Pinus*, seguidos del género *Quercus*, lo cual describe que el área de PSAH en su mayoría es un bosque mezclado de pino-encino. La especie dominante del área fue *Pinus durangensis* y la menos representativa fue *Pseudotsuga mensiezii*, es muy importante poner atención en las especies de baja representatividad, ya que una especie rara o escasa en una comunidad es sustituida por otra que es abundante, por tanto, la diversidad disminuye y las especies dominantes colonizan las áreas que quedaron de las especies que fueron eliminadas. Magurran (1988) menciona que el identificar un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las

especies o en la dominancia, alerta acerca de procesos empobrecedores.

### Análisis de cobertura forestal

El análisis de la cobertura forestal a través de técnicas de teledetección proporciona una herramienta útil para la toma de decisiones y para el monitoreo de la vegetación (Mucher et al., 2000). La identificación de los tipos de cobertura establece una línea base para las actividades de monitoreo (Gómez, White, & Wulder, 2016). En el análisis aquí realizado se detectaron distintas clases de cobertura, lo que en campo hubiera sido muy costoso, por tanto, el análisis de coberturas a través de manera remota constituyó una opción confiable, ya que este proceso es evaluado de manera estadística (Gómez et al., 2016; Monserud & Leemans, 1992). Además, el uso del Índice Estandarizado Diferencial de Vegetación (NDVI) ayudo a corroborar que no se encontraban muchos valores negativos en el área, lo que indica que la mayoría de la cobertura pertenece a vegetación. Este índice es derivado de las mediciones de la reflectancia óptica de la luz solar en las longitudes de onda rojas e infrarrojas cercanas, lo cual puede ayudar a monitorear el estado fenológico de la vegetación (Eastman, Sangermano, Machado, Rogan, & Anyamba, 2013).

### Análisis de las características físicas y químicas del agua

Es importante realizar estudios de esta cuenca hidrográfica, ya que abastece de agua a la zona agrícola del estado de Sinaloa (Arriaga-Cabrera et al., 2000). Los resultados de las características físicas y químicas del agua mostraron que los niveles de fosfatos fueron muy elevados, esto indica la posible contaminación



Figura 5. Cascada principal de Mexiquillo. Fotografía de Kunstphoto (2010) tomada del portal electrónico AllTravels.



del agua en esta zona, de la cual se abastecen los habitantes del ejido La Ciudad y otros habitantes de comunidades aguas abajo y sus principales usos son para riego y uso doméstico. Cuando hay cantidades excesivas de fosfato existe la fuerte sospecha de contaminación del agua debido al uso de fertilizantes y detergentes, así como materia fecal en el agua (Larrea-Murrell, Rojas-Badía, Romeu-Álvarez, Rojas-Hernández, & Heydrich-Pérez, 2013). Asimismo, esos altos niveles pueden causar eutrofización, proceso provocado por un exceso de nutrientes en el agua, principalmente de nitrógeno y fósforo. Las consecuencias son ríos con mucha vegetación y otros organismos que agotan el oxígeno del agua y llevan a la ausencia de vida en ella (Quirós, 2000).

En los humanos la ingesta masiva de productos con fosfatos puede ocasionar trastornos de salud como la hiperfosfatemia o aumento de los niveles de fosfato inorgánico en la sangre, que está relacionado con una insuficiencia renal, ya que es el riñón el encargado de eliminarlos del cuerpo humano (Ca-

rretero, 2009). Las muestras fueron recolectadas en temporada de lluvias, lo que pudo generar que las corrientes arrastraran sedimentos, pero de igual manera es importante que se ponga especial interés en este tema, ya que puede ocasionar enfermedades en las personas que se abastecen de las aguas de esta área.

## CONCLUSIONES

El ejido La ciudad cuenta con una cobertura forestal considerable y con una biodiversidad moderada. En cuanto a la calidad del agua, se encontraron evidencias de contaminación y un análisis microbiológico escapa de los alcances de este estudio, por lo que se recomienda un monitoreo exhaustivo y la toma de medidas de prevención en la contaminación de cuerpos de agua y elaboración de obras para el cuidado de la misma. Esos resultados ayudarán para evaluaciones futuras de los beneficios del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en la región estudiada.

## REFERENCIAS

- Arango Gutiérrez, M. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: "landsat-etm+". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2611-2634.
- Arriaga-Cabrera, L. et al. (Coords.). (2000). *RTP-56 Pueblo Nuevo. Regiones terrestres prioritarias de México* (pp. 270-272). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>
- Carretero, C. M. (2009). *Hiperfosfatemia. Actualidad Científica; Avances Farmacológicos*, 28(2): 61-62.
- Chuvieco, E. (2006). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel.
- Cisneros, A., García, H., Muñoz-Piña, C., & Rivera, M. (2011). Retos de la focalización del Programa de Pago por los Servicios Ambientales en México. *Revista Española de Estudios Agro-sociales y Pesqueros*, 228, 87-113.
- Colegio de Postgraduados-Comisión Nacional Forestal. (2008). *Evaluación externa de los apoyos de los Servicios Ambientales Ejercicio Fiscal 2007 [Resumen ejecutivo]*. México: Autor. Recuperado de [https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&src=s&source=web&cd=4&ved=0CDAQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.cnf.gob.mx%3A8090%2Fsnif%2Fportal%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F55psa%3Fdownload%3D266%3Aresumenejecutivo&ei=osFcVZK4AY2yyATbjjDwBw&usq=AFQjCNEaQj7aeMbJ5e0BQ9\\_3uN69VJdNbQ](https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&src=s&source=web&cd=4&ved=0CDAQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.cnf.gob.mx%3A8090%2Fsnif%2Fportal%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F55psa%3Fdownload%3D266%3Aresumenejecutivo&ei=osFcVZK4AY2yyATbjjDwBw&usq=AFQjCNEaQj7aeMbJ5e0BQ9_3uN69VJdNbQ)
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496.
- Del Ángel Pérez, A. L., Villagómez Cortés, J. A., & Díaz Padilla, G. (2011). Valoración socioeconómica del pago por servicios ambientales hidrológicos en Veracruz (Coatepec y San Andrés Tuxtla). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 95-112.
- Eastman, J. R., Sangermano, F., Machado, E. A., Rogan, J., & Anyamba, A. (2013). Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982-2011. *Remote Sensing*, 5(10), 4799-4818.
- Environmental Systems Research Institute, Inc. (s. f.). ArcGIS Resource Center [Portal electrónico]. Recuperado de <http://resources.arcgis.com/es/home/>
- Flood, N. (2014). Continuity of reflectance data between Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI, for both top-of-atmosphere and surface reflectance: A study in the Australian landscape. *Remote Sensing*, 6, 7952-7970. doi: 10.3390/rs6097952
- Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55-72.
- Graciano-Luna, J. J. (2001). *Técnicas de evaluación dasométrica y ecológica de los bosques de coníferas bajo manejo de*

la Sierra Madre Occidental del centro sur de Durango, México. Tesis de Maestría. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperada de <http://eprints.uanl.mx/897/1/1020145409.PDF>

- Hach Company. (2000). *Manual de análisis de agua. Procedimientos seleccionados del manual de Hach sobre análisis de agua* (2ª. ed. en español, versión de la 3a en inglés). CO, EE. UU.: Autor. Recuperado de <https://documents.mx/download/link/water-analysis-manual-spanish-manual-de-analisis-de-agua>
- Instituto Nacional de Ecología. (2005). *Manual para el desarrollo de programas de pago por servicios ambientales hidrológicos locales*. México: Autor. Recuperado de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/serv\\_amb\\_manual\\_psa.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/serv_amb_manual_psa.pdf)
- Kunstphoto (2010). *Cascada principal de Mexiquillo [Fotografía]*. Recuperada de <https://es.alltravels.com/mexico/durango/la-ciudad/fotos/corriente-foto-964189>
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., & Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement* (179 pp.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Our human planet: Summary for decision makers* (109 pp.). Washington, DC: Island Press.
- Monserud, R. A., & Leemans, R. (1992). Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological modelling*, 62(4), 275-293.
- Mucher, C. A., Steinnocher, K. T., Kressler, F. P., & Heunks, C. (2000). Land cover characterization and change detection for environmental monitoring of pan-Europe. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7), 1159-1181.
- Návar-Cháidez, J. J., & González-Elizondo, S. (2009). Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica*, 27, 71-87.
- Niemelä, J. (Ed.). (2012). *Urban Ecology: Patterns, processes, and applications*. U. S.: Oxford University Press.
- Perevotchkikova, M., & Ochoa Tamayo, A. M. (2012). Avances y limitantes del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en México, 2003-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(10), 89-112.
- Perevotchkikova, M., Rojo Negrete, I. A., Martínez, S., & Fuentes Mariles, G. E. (2015). Información hidroclimatológica para la evaluación de los efectos del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos. Caso de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 11(1), 37-55.
- Quirós, R. (2000). La eutrofización de las aguas continentales de Argentina. En *I Reunión de la Red Temática de la eutrofización de lagos y embalses. Subprogramas XVII, Cooperación Iberoamericana. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. (CYTED)*. 16 y 17 de marzo, Mar del Plata, Argentina (12 pp.). Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/94c4/00769471d0bd15c6580390665aa667c9f92d.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de enero de 1997. Recuperado de [www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/1997/001-ecol.pdf](http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/1997/001-ecol.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *Introducción a los servicios ambientales*. México: Autor. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/185547214/Introduccion-a-Los-Servicios-Ambientales#scribd>
- Secretaría de Salud y Asistencia. (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de noviembre de 1995. Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- \_\_\_\_\_ (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2010, para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector. *Diario Oficial de la Federación*, 1 de junio de 2011. Recuperado de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5192591&fecha=01/06/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192591&fecha=01/06/2011)
- Unidad de Prestación de Servicios Ejidales No. 6 El Salto, A. C. (2009). *Programa de mejores prácticas de manejo (PMPM), ejido La Ciudad* (22 pp.). Informe Final. El Salto P. N., Durango, México: Autor.
- United States Geological Survey. (s. f.). Science for a changing world [Portal electrónico]. Reston, Virginia, U. S. Recuperado de <https://ers.cr.usgs.gov/login/>
- Urbanski, J. (2014). *GEOBIA for ArcGIs. Integration of GEOBIA with gis for semi-automatic land cover mapping from Landsat 8 imagery* [Presentación de Power Point]. Presentada en 5th GEOBIA Conference en GIS Centre, University of Gdansk, Thessaloniki, Poland. Recuperada de <http://ocean.ug.edu.pl/~oceju/CentrumGIS/GEOBIA%20in%20ArcGIS.pdf>
- Vermote, E. F., & Kotchenova, S. (2008). Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 113(D23).