



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO



**EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE
RENDIMIENTO HÍDRICO Y TURISMO DE
NATURALEZA ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y
2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO,
ESTADO DE MÉXICO**

**LÍNEA DE APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO
ECOLOGÍA DEL PAISAJE**



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA APLICADA**

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

**EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO
HÍDRICO Y TURISMO DE NATURALEZA ENTRE LOS AÑOS DE
1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO
DE MÉXICO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO(A) EN ECOLOGÍA
APLICADA PRESENTA**

Biól. Lovera Pons Vianney

Matrícula:

2152800721

COMITÉ TUTORAL

M. en SIG. Iván Ernesto Roldán Aragón

Director

M. en C. Jesús Sánchez Robles

Asesor

Dr. Pablo Alberto Torres Lima

Asesor

Ciudad de México

Fecha 18 de Julio 2018

El Jurado asignado por la Comisión Académica de la Maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, aprobó la Idónea Comunicación de Resultados titulada:

TÍTULO DE ICR

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO Y TURISMO DE NATURALEZA ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

Que presentó:

Lovera Pons Vianney

El día 18 de Julio de 2018 en la Ciudad de México para obtener el Grado de Maestro(a) en Ecología Aplicada

JURADO DE EXAMEN

FIRMA

M. en SIG. Gilberto Sven Binnquist Cervantes (UAM-Unidad Xochimilco)

Presidente



M. en B. Alma Delia Toledo Guzmán (UAM-Unidad Iztapalapa)

Secretario



M. en C. Jesús Sánchez Robles (UAM-Unidad Xochimilco)

Vocal



ÍNDICE

Justificación del Proyecto y Reporte de Transferencia Tecnológica.....6-7

(Artículo)

**EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE
LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE
MÉXICO9-29**

(Artículo)

**APTITUD DEL PAISAJE PARA TURISMO DE NATURALEZA Y CAMBIOS DE USO DE
SUELO Y VEGETACIÓN. ESTUDIO COMPARATIVO DE 1994 Y 2016 EN VALLE DE
BRAVO, ESTADO DE MÉXICO.....31-62**

Constancias de las Actividades Realizadas Durante el Proyecto.....64-73

Justificación del Proyecto y Reporte de Transferencia Tecnológica



Justificación del Proyecto y Reporte de Transferencia Tecnológica

El objetivo del trabajo fue realizar la evaluación del Servicio Ecosistémico (SE) de Rendimiento Hídrico (RH) y la aptitud del Turismo de Naturaleza (TN), en el Municipio de Valle de Bravo, entre los años de 1994-2016. Para su logro, el trabajo de investigación se realizó en tres etapas:

1- En la primera parte se elaboraron los mapas de Uso de Suelo y Vegetación (USyV) del área de estudio y se obtuvo la dinámica y tasa de cambio entre los años de 1994 y 2016. A través del análisis del paisaje se evidenciaron los procesos de transformación que ha sufrido la cobertura del suelo en los últimos 22 años el Municipio.

2- En la segunda parte del trabajo se evaluó el SE de RH con el modelo InVEST®. Se estimaron las diferencias en el RH entre los años de 1994 y 2016, y sus efectos relacionados con los cambios de USyV.

3- Finalmente, la tercera parte evaluó el SE de TN entre los años 1994 y 2016, a través de un análisis multicriterio. Para tal efecto, fue necesario consultar la opinión de los turistas; de esta forma se obtuvieron los criterios de evaluación. La ponderación de estos criterios se obtuvo a través de la comparación pareada, para ello se consultó la opinión de tres expertos en el tema de turismo en el Municipio, quienes fueron: 1) el Director de turismo; 2) el Director del Área Natural Protegida Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec; y 3) una empresa turística de parapente y alas delta.

Cabe señalar que para la transferencia tecnológica, se había planteado entregar el trabajo de investigación y los mapas a la Comisión Nacional de Áreas Protegidas; sin embargo, como se decidió publicar el trabajo en diferentes revistas y por las reglas editoriales fue necesario cambiar el tipo de transferencia.

La evaluación del servicio de rendimiento hídrico se presentó en 3 congresos y una conferencia al grupo de Biodiversidad y Recursos Naturales de la Licenciatura en Biología. De esta parte del trabajo, se elaboró un artículo, el cual será publicado en el número 64 de la revista Papeles de Geografía.

Para la tercera parte del trabajo, también se elaboró un artículo, el cual se encuentra en revisión por la Revista de Turismo y Patrimonio Cultural PASOS.

De esta parte del trabajo se hizo la transferencia tecnológica, esta fue una presentación con el Comité de Pueblos Mágicos del Municipio de Valle de Bravo; realizada el 18 de diciembre del año 2017 y contó con la presencia del Director de Turismo Lic. Ramiro Hernández Guadarrama; el Subdirector Turismo Lic. Alejandro Bárcenas Olvera; el Subdirector de Ecología Biól. Héctor Johav Caballero Pérez; el Coordinador de Pueblos Mágicos Lic. Fernando Laurent Osorio y del M. en SIG. Iván Ernesto Roldán Aragón, director del trabajo de investigación. Esta presentación fue muy enriquecedora debido a que se pudo analizar lo que sucede en el municipio con las actividades económicas y cómo éstas influyen de forma drástica en el uso y la conservación de los recursos naturales.

En ella se abordaron los cambios de uso de suelo, así como los sitios más importantes para las actividades turísticas y cuáles de estos sitios presentan una mayor aptitud para los turistas por su belleza escénica y los recursos naturales que poseen. No obstante, se concluyó que para el municipio es más importante este crecimiento económico a costa de algunos recursos naturales, ya que más de la mitad del municipio es de propiedad privada y en la actualidad el turismo residencial es una actividad creciente.

Se considera que este tipo de trabajo es muy útil para la planeación territorial; sin embargo, para que estos tengan un mayor impacto o visibilidad respecto a la toma de decisiones, es indispensable trabajar con las autoridades correspondientes desde el principio o antes de empezar a elaborar dichos proyectos. El turismo de naturaleza puede ser una alternativa para conservar y aprovechar los servicios ecosistémicos. Por lo tanto, es importante realizar con rigurosidad mayor número de investigaciones que conjunten el trabajo de los especialistas, las instituciones gubernamentales y la sociedad civil, en su conjunto.

**EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO
HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE
VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO**



EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

Vianney Lovera Pons¹, Iván Ernesto Roldán Aragón², Jesús Sánchez Robles³ y Pablo Torres Lima⁴.

RESUMEN

El servicio ecosistémico (SE) de rendimiento hídrico (RH) es vital para la generación de agua dulce y es definido como la redistribución de la precipitación en función de la vegetación. Los cambios en el uso del suelo y vegetación (USyV) tienen efectos directos sobre este tipo de SE. Se estudia el caso del Municipio de Valle de Bravo como una región relevante en materia hídrica y forestal para el Estado de México. Forma parte del sistema Cutzamala, el cual abastece de agua potable a la Ciudad de México. Por su importancia como fuente de agua y por las presiones antrópicas que tienen los bosques en esta región, se evaluó el SE de RH, a partir de un análisis comparativo de USyV de los años de 1994 y 2016, a fin de identificar los efectos de la dinámica de cambio. Se empleó el modelo de rendimiento hídrico anual InVEST® que utiliza diferentes mapas con los atributos biofísicos para cada cobertura, definidos para cada píxel del territorio. Se aplicó un modelo de ANOVA para determinar el efecto que tienen los cambios de USyV en las subcuencas y su interacción con el SE de RH. Los resultados indican que los bosques templados aún persisten en la mayor superficie del municipio, sin embargo, las zonas urbanas se han duplicado, provocado un incremento en el SE de RH. Estos resultados pueden ser útiles en planificación ambiental y programas de ordenamiento territorial.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos_1ª; Rendimiento hídrico_2ª; Cambios en el uso de suelo_3ª; Cuencas hidrográficas_4ª; InVEST_5ª.

Evaluation of the service ecosystem of water yield from an analysis of the landscape in the municipality of Valle de Bravo, Mexico

ABSTRACT

The ecosystem service (ES) of water yield (WY) is vital for the generation of fresh water and is defined as the redistribution of precipitation as a function of vegetation. Changes in land use and vegetation (LU&V) have direct effects on this type of ES. The case of the Municipality of Valle de Bravo is studied as a relevant region in terms of water and forestry for the State of Mexico. It is part of the Cutzamala system, which supplies drinking water to Mexico City. Because of its importance as a source of water and because of the anthropogenic pressures that forests have in this region, the ES WY was evaluated, based on a comparative analysis of LU&V for the years of 1994 and 2016, in order to identify the effects of the dynamics of change. The annual water yield model InVEST® was used, which uses different maps with the biophysical attributes for each coverage, defined for each pixel of the landscape. An ANOVA model was applied to determine the effect of the LU&V changes in the sub-basins and their interaction with the ES WY. The results indicate that temperate forests still persist in the largest area of the municipality, however urban areas have doubled, causing an increase in the ES WY. These results can be useful in environmental planning and land use planning programs.

Keywords: Ecosystem services _1ª; Water performance _2ª; Land use change _3ª; Watersheds _4ª, InVEST _5ª.

¹Maestría en Ecología Aplicada, Universidad Autónoma Metropolitana. E-mail: hechoenindonesia@hotmail.com

² Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. E-mail: ieroldan@correo.xoc.uam.mx

³ Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. E-mail: jsanchez@correo.xoc.uam.mx

⁴ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. E-mail: ptorres@correo.xoc.uam.mx

1. INTRODUCCIÓN

Un ecosistema es una asociación de plantas, animales, microorganismos y su entorno natural; componentes que son interdependientes y que como unidad cumplen procesos y funciones que regulan y mantienen la vida (QUÉTIER *et al.*, 2007), los cuales se convierten en servicios ecosistémicos (SE) al momento de ser utilizados o valorados por el ser humano (DE GROOT *et al.*, 2002). Los bosques generan muchos de estos SE, uno de ellos es el rendimiento hídrico (RH) que es fundamental para la producción de agua dulce (JING *et al.*, 2015) y se define como la fracción superficial de la precipitación que es redistribuida en función de la vegetación (CHEN *et al.*, 2011; JOBBÁGY *et al.*, 2013), misma que contribuye a retener la humedad y regular el escurrimiento. Además de la precipitación y la vegetación existen otros atributos involucrados para que este tipo de servicio pueda ocurrir, entre estos se encuentra la evapotranspiración potencial, la configuración topográfica y geológica de las cuencas (ZHANG *et al.*, 2012), así como los procesos de cambio de las coberturas del suelo debido a las condiciones socioculturales de cada región (GASPARI *et al.*, 2015). El SE de RH es particularmente sensible a los cambios de uso del suelo y vegetación (USyV); en particular, en ausencia de vegetación e inmediatamente después de la lluvia, los caudales superficiales aumentan y generan grandes flujos de agua ocasionando erosión al suelo, turbidez del agua e inundaciones (LATERRA *et al.*, 2011); y por ende, un aporte bajo al sistema hidrológico subterráneo (FARLEY *et al.*, 2005). Derivado de ello el flujo base disminuye aumentando la gravedad de la sequía, acentuándose en lugares donde las lluvias son estacionales y escasas (JING *et al.*, 2015; NAMBIAR y BROWN, 1997).

Evaluar el SE de RH proporciona información relevante para la gestión de los recursos hídricos (GOLDMAN *et al.*, 2010). Para tal fin, existen diversos modelos que simulan los procesos hidrológicos en diferentes escenarios (VIGERSTOL y AUKEMA, 2011), entre ellos, se encuentra el programa de Evaluación Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensación (InVEST, por sus siglas en inglés) desarrollado por las Universidades de Stanford y Minnesota (HAMEL y GUSWA, 2015), que contiene diversos modelos para evaluar SE. Uno de ellos evalúa el rendimiento hídrico anual basado en la curva de BUDYKO (1974), la evapotranspiración potencial y la precipitación media anual (VIGERSTOL y AUKEMA, 2011; HAMEL y GUSWA, 2015).

El modelo InVEST ha sido utilizado en China con el propósito de evaluar el SE de RH en la cuenca del río Lancang (CHEN *et al.*, 2011). En Carolina del Norte se empleó para estimar si los cambios en el uso suelo y cobertura vegetal alteraron el RH en la cuenca del Bosque Nacional de Nantahal (ELLIOTT *et al.*, 2017); y en Argentina fue aplicado para evaluar la distribución espacial del servicio de provisión hídrica en relación con los cambios de uso del suelo (GASPARI *et al.*, 2015). Los resultados de los trabajos antes mencionados han expuesto un impacto negativo marcado y acelerado en el balance hídrico de cuencas y acuíferos, generando daños económicos y ambientales importantes como consecuencia de una clara tendencia del crecimiento de las zonas urbanas que disminuyen los territorios naturales y rurales (ESCOLERO *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2017).

Particularmente, el Municipio de Valle de Bravo, Estado de México, alberga abundantes recursos hídricos al concentrar el agua de la región en tres presas que son Tiloxtoc, Colorines y Valle de Bravo (BUNGE *et al.*, 2012); a partir de 1982, éstas se utilizan para abastecer de agua potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México a través del Sistema Cutzamala, que envía un promedio de 15 m³/s de agua potabilizada (ESCOLERO *et al.*, 2009). Asimismo, Valle de Bravo es una de las regiones forestales más importantes del Estado (CÁRCAMO *et al.*, 2013) y es reconocida a nivel nacional e internacional como uno de los destinos turísticos con mayor afluencia (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011).

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

Actualmente, la región es considerada como un Área de Protección de Recursos Naturales y cuenta con un plan para el manejo hidrológico (LÓPEZ *et al.*, 2011: 36). No obstante, la presión que ejercen diversos sectores socioeconómicos (turístico, agropecuario y forestal legal e ilegal) sobre el uso de suelo (ESCOLERO *et al.*, 2009) incide paulatinamente en el deterioro del bosque (LÓPEZ *et al.*, 2011) y, en consecuencia, repercute en el SE de RH. Se ha observado que las precipitaciones han originado cárcavas y surcos que aceleran el azolvamiento de los embalses y disminuyen la infiltración natural en la cuenca hidrográfica (RENTERÍA *et al.*, 2006).

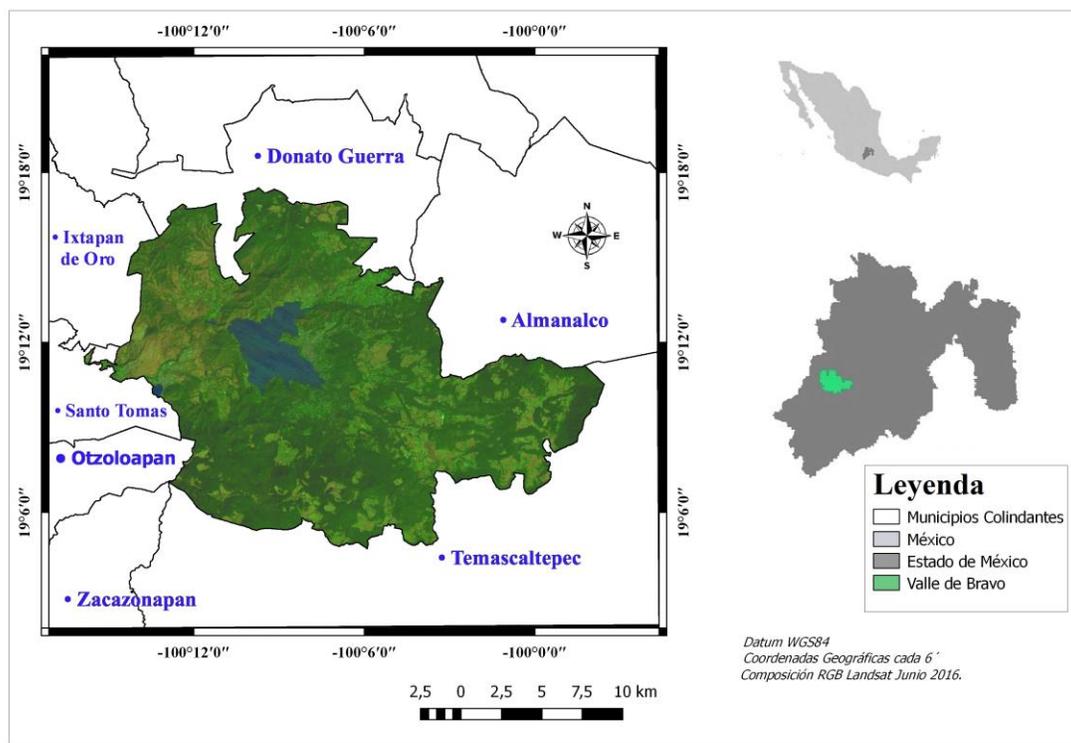
Dada la importancia del Municipio de Valle de Bravo dentro del Sistema Cutzamala y a las tendencias de urbanización que enfrenta, el objetivo del presente trabajo fue explicar cómo las dinámicas de cambio de uso de suelo y vegetación entre los años 1994 y 2016 alteran o modifican el servicio ecosistémico de rendimiento hídrico en este Municipio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.2 ÁREA DE ESTUDIO

FIGURA 1

Ubicación geográfica del municipio de Valle de Bravo, Estado de México.



Fuente: Elaboración propia

Valle de Bravo se localiza entre los paralelos 19° 03' y 19°18' de latitud norte y los meridianos 99° 57' y 100° 16' de longitud oeste y a una altitud entre 1,200 y 3,100 msnm (INEGI, 2010) en la zona centro de México, con una extensión territorial de 400,32 km² (Figura 1). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y un rango de precipitación de 1,100 a 1,300 mm/año. La temperatura promedio anual es de 17,5°C, máxima de 32,0°C y mínima de 1,3°C (INEGI, 2010). Sus

rasgos orográficos evidencian una morfología montañosa, con rocas metamórficas e ígneas (CÁRCAMO *et al.*, 2013). Predominan los suelos de tipo Andosol, asociados generalmente con Luvisol, Leptosol, Vertisol y Regosol (INEGI, 2010). Debido a la variedad de suelos, relieve y clima, la vegetación de la región es conformada por Bosque de Oyamel, Pino, Encino y Bosque mixto de Pino-Encino, así como pequeños relictos de Bosque Mesófilo de Montaña y de Selva Baja Caducifolia (CONABIO, 2008). La zona de estudio forma parte dos grandes cuencas; la primera es la cuenca Valle de Bravo-Almanalco en la que el área municipal se extiende en el 61% de esta, el resto de la superficie ocupa 20% de la cuenca Chilesdo-Colorines (INE, 2009; BUNGE *et al.*, 2012).

2.2 CARTOGRAFÍA Y DINÁMICA DE CAMBIO DE USOS DEL SUELO Y VEGETACIÓN (USyV)

Se utilizaron sub-escenas de dos imágenes satelitales Landsat de la zona de Valle de Bravo (Pat-Row 27-47) de julio de 1994 y junio de 2016, obtenidas de la página del U.S. Geological Service (EARTH EXPLORER, 2016), capturadas por los satélites Landsat 5 y Landsat 8, respectivamente con una resolución espacial de 30m. La leyenda de trabajo estuvo constituida por 12 clases tomando como base la clasificación de USyV utilizada por INEGI (2014). El método de clasificación fue supervisado (CHUVIECO, 2002). Para los mapas de USyV se estableció un área mínima cartografiable de 2,25 ha (150 x 150 m). La fiabilidad de la clasificación de 1994 fue obtenida mediante comparación de puntos procedentes de fotografía aérea (escala 1:75,000) de 1994 (INEGI, 1994), en cambio para 2016 se obtuvieron puntos de referencia en la zona de trabajo y de imágenes de Google Earth de 2015 y 2016.

La dinámica de cambio fue generada mediante el cruce de los mapas de USyV de los años mencionados, proceso que fue implementado en el módulo de modelado de cambios del suelo (Land Change Modeler) del software IDRISI (EASTMAN, 2012). A partir de la matriz de cambio, se obtuvo la persistencia total por clase, pérdidas, ganancias, cambio neto y dirección de cambio (LÓPEZ y PLATA, 2009). Para obtener la tasa de cambio de cada clase se utilizó la ecuación de la FAO (2007), que expresa el cambio en porcentaje por año:

$$\delta n = [S_2/S_1]^{1/n} - 1 \text{ (Ec. 1)}$$

Dónde: δn = tasa de cambio, S_1 = superficie en la fecha 1, S_2 = superficie en la fecha 2, n = número de años entre las dos fechas.

2.3 MODELO InVEST DE RENDIMIENTO HÍDRICO

El modelo InVEST® (SHARP *et al.*, 2016) estima el rendimiento anual de agua $Y(x)$. Esencialmente, consiste en el balance hídrico entre la precipitación anual $P(x)$ y la evapotranspiración anual $AET(x)$ por pixel (x) para cada tipo de cobertura del suelo, determinado a partir de la siguiente fórmula (Ec. 2):

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) \cdot P(x) \text{ (Ec. 2)}$$

El cálculo de la evapotranspiración (Ec. 3) se establece a partir de una aproximación de la curva de BUDYKO (1974), desarrollada por ZHANG *et al.* (2001):

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)}\right)^w\right]^{1/w} \text{ (Ec. 3)}$$

En donde la evapotranspiración potencial por pixel para cada cobertura $PET(x)$ (Ec. 4) se define como:

$$PET(x) = K_C(l_x) \cdot ET_0(x) \text{ (Ec. 4)}$$

$K_C(l_x)$ es el coeficiente de evapotranspiración para cada cobertura del suelo y ET_0 la evapotranspiración de referencia en el pixel x .

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

$w(x)$ (Ec. 5) es un parámetro biofísico que caracteriza las propiedades del suelo y el clima. Como resultado se obtiene un valor adimensional relacionado con el agua disponible para la planta (AWC) y la precipitación en un año $P(x)$. Z es la constante estacional de precipitación, en la que su valor es de 1 cuando las lluvias son en verano y de 25 cuando son anuales (ZHANG *et al.*, 2001).

$$w(x) = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} + 1,25 \quad (\text{Ec. 5})$$

AWC(x) (Ec. 6) es definido con base en los valores mínimos de la profundidad del suelo a la que se restringe la penetración de las raíces y por la profundidad de enraizamiento. PAWC es el agua disponible para las plantas, es decir, la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitamiento.

$$AWC(x) = \text{Min}(\text{Rest layer depth}, \text{root depth}) \cdot PAWC \quad (\text{Ec. 6})$$

2.3.1 Datos utilizados para la elaboración del modelo de rendimiento hídrico

El mapa de precipitación anual y los mapas de temperatura media mensual se tomaron de la actualización de superficies climáticas mensuales para México realizada por CUERVO *et al.* (2014), los cuales fueron obtenidos de la base de datos del Centro de Recursos IDRISI de la Universidad del Estado de México. Los coeficientes de evapotranspiración (K_c) para cada cobertura del suelo fueron tomados de FAO (1998), mientras que los valores del contenido de agua disponible para plantas AWC(x) se obtuvieron de la Base de Datos Mundial Armonizada sobre el Suelo de la FAO (2012). La evapotranspiración de cada pixel $ET_0(x)$ fue estimada utilizando la siguiente ecuación (Ec. 7) (TALLIS *et al.*, 1993):

$$ET_0 = 13,97dD^2W_t \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde d es el número de días en un mes, D el número promedio de horas luz por mes (en unidades de 12 horas) y W_t (Ec 8) es la densidad saturada de vapor de agua (T = temperatura media mensual en grados centígrados):

$$W_t = \frac{4,95e^{0,062T}}{100} \quad (\text{Ec. 8})$$

El RH para 1994 y 2016 se estimó empleando los mapas de USyV correspondientes. El plano de cuencas hidrográficas fue generado a partir del modelo digital del terreno (INEGI, 2012) (Figura 2). Para calibrar el modelo de rendimiento hídrico se utilizó como referencia el gasto anual de agua reportado por RENTERÍA *et al.* (2006) para la cuenca El Carrizal (cuenca número 8, ubicada en Cerro Gordo), procedimiento que definió el valor de la constante Z .

El balance total del RH para cada cuenca y el municipio se obtuvo a través de la resta de los totales obtenidos de 1994 respecto a 2016.

2.4 ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN Y RENDIMIENTO HÍDRICO

Dadas las numerosas direcciones de cambio obtenidas entre 1994 y 2016 y con la finalidad de facilitar el análisis estadístico, éstas fueron agrupadas en 10 clases de cambio : tres de ellas incluyeron las áreas persistentes; otra abarcó los cambios donde se presentó una recuperación de la cobertura vegetal; dos más para aquellas que tuvieron una dirección de cambio hacia coberturas transformadas como Agricultura y Pastizal y, finalmente, cuatro clases con cambios hacia Zonas Urbanas y/o Asentamientos Humanos (Anexo 3).

Una vez definidas estas diez clases de cambio, se extrajo una muestra aleatoria de 50 pixeles para cada clase de cambio en cada cuenca, lo cual produjo un total de 3767 pixeles y, para cada uno de estos, se calculó la diferencia en el RH entre 1994 y 2016 a partir de los planos correspondientes. Con

la finalidad de determinar si existían diferencias estadísticas en los promedios de la diferencia del SE de RH, se aplicó el siguiente modelo de Análisis de la Varianza (Ec 9).

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde: Y_{ijk} = diferencia en el RH entre un tiempo y otro en cada pixel; μ = media general de la diferencia en rendimiento hídrico; α_i = efecto de la cuenca; β_j = efecto de la clase de cambio; $\alpha\beta_{ij}$ = interacción entre las cuencas y las clases de cambio; e_{ijk} = error aleatorio.

Se realizó la comparación post hoc de pares de medias con ajuste de probabilidad de Bonferroni para mostrar entre cuáles pares de clases de cambio de uso de suelo y vegetación y entre cuáles pares de cuencas ocurrieron diferencias significativas. La significancia fue de 0,05 (MONTGOMERY, 2004). El análisis estadístico se realizó con el programa SYSTAT versión 9.

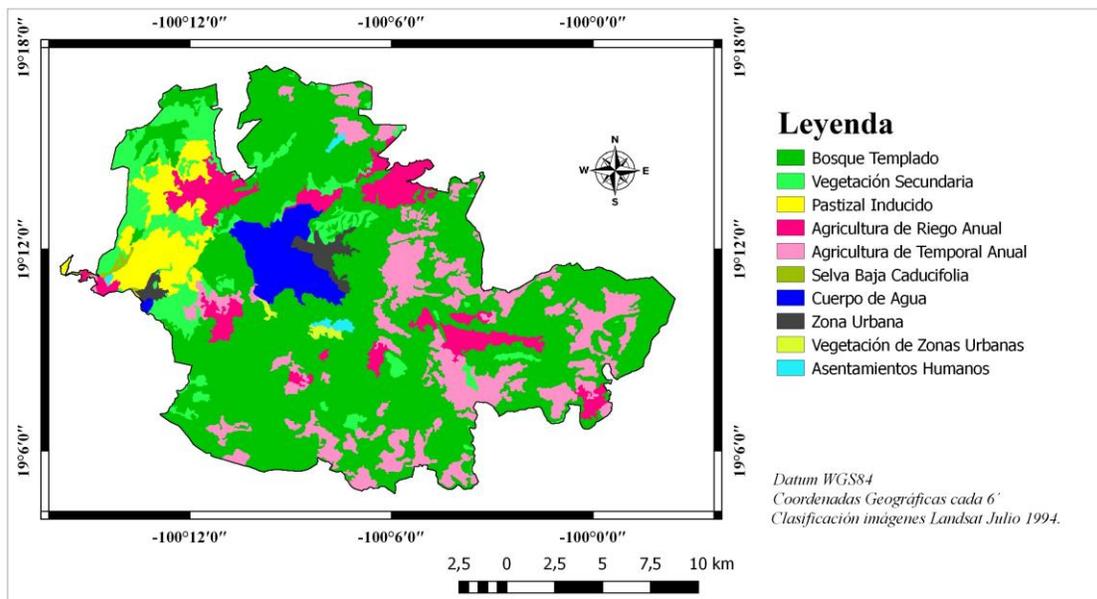
Es importante enfatizar que el resultado de las diferencias en el SE de RH fue obtenido a partir de restar los mapas correspondientes del tiempo uno respecto al tiempo dos, por lo tanto, los valores positivos implican una disminución del SE, caso contrario, cuando los valores son negativos expresan un incremento de este. El valor de cero hace referencia a la no existencia de cambios en el SE entre estos años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CAMBIOS DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN (1994-2016)

La fiabilidad de los mapas de USyV para 1994 y 2016 fue de 72% y 87%, respectivamente. Los resultados indican que en 1994 los Bosques Templados ocupaban la mayor superficie municipal, seguidos por la Agricultura (Temporal Anual y Riego Anual) y la Vegetación Secundaria; caso contrario era la Selva Baja Caducifolia que se distribuía en menor superficie (Figura 2).

FIGURA 2
Uso de suelo y vegetación de Valle de Bravo para 1994.



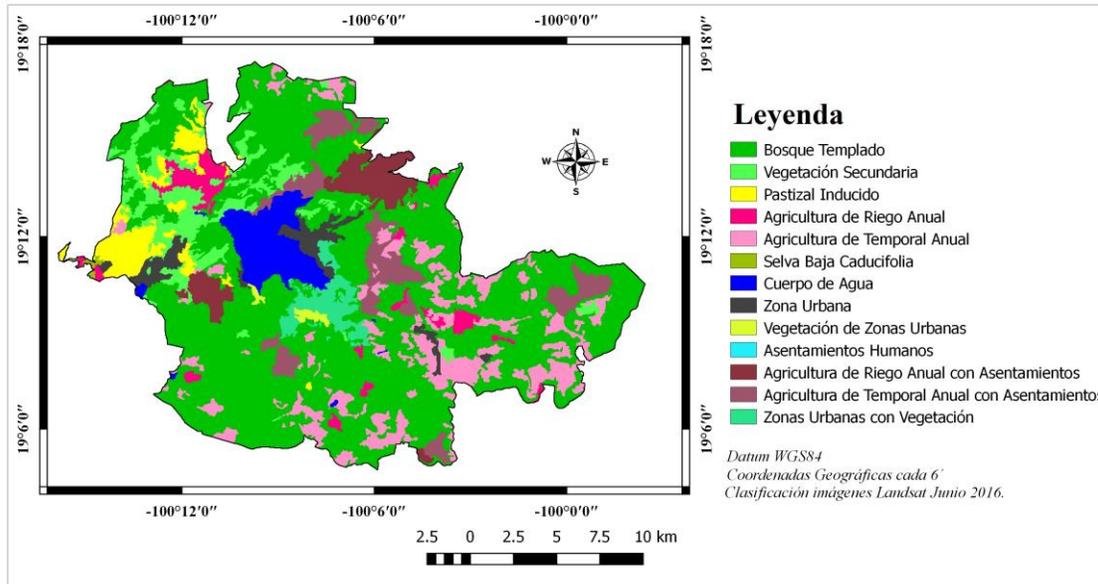
Fuente: Elaboración propia

Para el año 2016, el orden respecto a la superficie ocupada por cada clase fue similar, sin embargo, se observó una disminución en el área total de las clases con cobertura vegetal, dando paso a nuevos

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

usos de suelo, tales como Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual con Asentamientos y Zonas Urbanas con Vegetación (Figura 3).

FIGURA 3
Uso de suelo y vegetación de Valle de Bravo para 2016.



Fuente: Elaboración propia

En el año de 1994 el Bosques Templado ocupaba 57,6% (23.055,2 ha) del territorio municipal, para el año 2016 había perdido 571,5 ha y se encontraba en el 56,2% (22.483,7 ha) del territorio, lo que implicó una tasa anual de pérdida de 0,1% (Tabla 1). HERNÁNDEZ *et al.* (2000) mencionan que, desde la década de los 70s del siglo pasado, en la cuenca de Valle de Bravo-Almanalco el Bosque ha pasado por una dinámica de pérdida y recuperación. Las ganancias de la clase Bosque Templado posiblemente se encuentra relacionada con las campañas de reforestación realizadas por el gobierno del Estado de México (PROBOSQUE, 2010) y, por consiguiente, 732,6 ha de Vegetación Secundaria se han transformado en Bosque Templado, de las 2.561,4 ha que perdió esta cobertura durante el periodo de estudio. Otra cobertura forestal relevante en el municipio por la poca extensión que ha ocupado es la Selva Baja Caducifolia, que durante el periodo de estudio ha disminuido considerablemente, al perder 68,94 ha conforme una tasa anual de 2 %, la cual ha sido severamente impactada por los cambios de uso de suelo (BONFILIO *et al.*, 2009). Respecto a la Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual y Pastizal Inducido también se observaron pérdidas de 1.077,75 ha, 2.254,14 ha y 2.898,63 ha y tasas negativas anuales de 1,2%, 4,4% y 1,4%, respectivamente. En este sentido, los valores de pérdida corresponden con los patrones también reportados por BONFILIO *et al.* (2009). Del mismo modo HERNÁNDEZ *et al.* (2011), mencionan que algunas de las causas corresponden al remplazo de las actividades económicas, como la turística, ya que algunos hoteles y empresas se han establecido en lugares donde existían parcelas agrícolas y potreros.

Los Asentamientos Humanos aledaños a la Zona Urbana que se encontraban presentes en el año 1994 han dado paso a nuevos usos de suelo, tales como son las Zonas Urbanas con Vegetación y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual con Asentamientos. Trabajos como el de LÓPEZ *et al.* (2011) afirman que existe un cambio importante en el uso del suelo, ya que los terrenos se han transformado parcialmente en Asentamientos y Zonas Residenciales. Este proceso de expansión está relacionado con el auge que ha tomado el municipio como destino residencial y turístico (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011; CÁRCAMO *et al.*, 2013). Por último, la Zona Urbana presentó una tasa

anual de crecimiento del 3,1% a costa de clases como Bosque Templado, Vegetación Secundaria, Selva Baja Caducifolia, Pastizal Inducido y de la Agricultura de Riego Anual y de Temporal Anual (Tabla 1).

TABLA 1
Superficie y parámetros de cambio de USyV de 1994 a 2016.

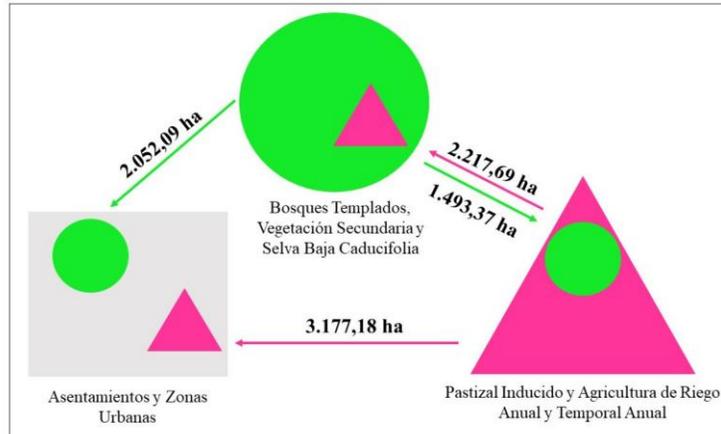
USyV	Superficie 1994 ha (%)	Superficie 2016 ha (%)	Persistencia (%)	Tasa anual (%)	Cambio Total Neto (ha)
Bosque Templado	23.055,2 (57,6)	22.483,7 (56,2)	85,0	-0,1	-571,7
Vegetación Secundaria	3.437,01 (8,6)	2.592,9 (6,5)	25,5	-1,3	-844,1
Pastizal Inducido	2.040,9 (5,1)	1.539,8 (3,8)	47,2	-1,2	-501,2
Agricultura de Riego Anual	2.938,3 (7,3)	1.104,4 (2,8)	23,3	-4,4	-1.833,9
Agricultura Temporal Anual	5.925,6 (14,8)	4.350,3 (10,9)	51,1	-1,4	-1.575,4
Selva Baja Caducifolia	84,3 (0,2)	47,7 (0,1)	18,3	-2,0	-36,6
Cuerpos de Agua	1.743,5 (4,4)	1.879,1 (4,7)	99,5	0,3	135,6
Zonas Urbanas	530,5 (1,3)	1.043,3 (2,6)	96,5	3,1	512,8
Vegetación de Zonas Urbanas	127,7 (0,3)	127,7 (0,4)	100,0	0	23,3
Asentamientos Humanos	148,9 (0,4)	0	0	-100	-844,1
Zonas Urbanas con Vegetación	0	954,2 (2,4)	-	-	954,2
Agricultura de Riego Anual con Asentamientos	0	1.515,5 (3,8)	-	-	1.515,5
Agricultura de Temporal Anual con Asentamientos	0	2.370,3 (5,9)	-	-	2.370,3

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la dinámica de cambio en el municipio sigue un comportamiento característico. Al agrupar los cambios de las clases con cobertura vegetal (Bosque Templado, Vegetación Secundaria y Selva Baja Caducifolia) se tiene que estas clases cedieron 1.493,37 ha a áreas transformadas como Pastizal Inducido y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual y estas la vez intercambiaron con las primeras 2.217,69 ha. Por otra parte, 5.229,27 ha de los dos grupos antes mencionados se convirtieron en clases asociadas con Asentamientos Humanos y Zona Urbana (Figura 4). Los patrones de cambio en el municipio concuerdan con los mencionados por VEGA Y MARQUEZ (2007), quienes reportan que en la cuenca de Valle de Bravo las principales transiciones entre clases ocurren en sitios transformados o en áreas de aprovechamiento debido al abandono de tierras.

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

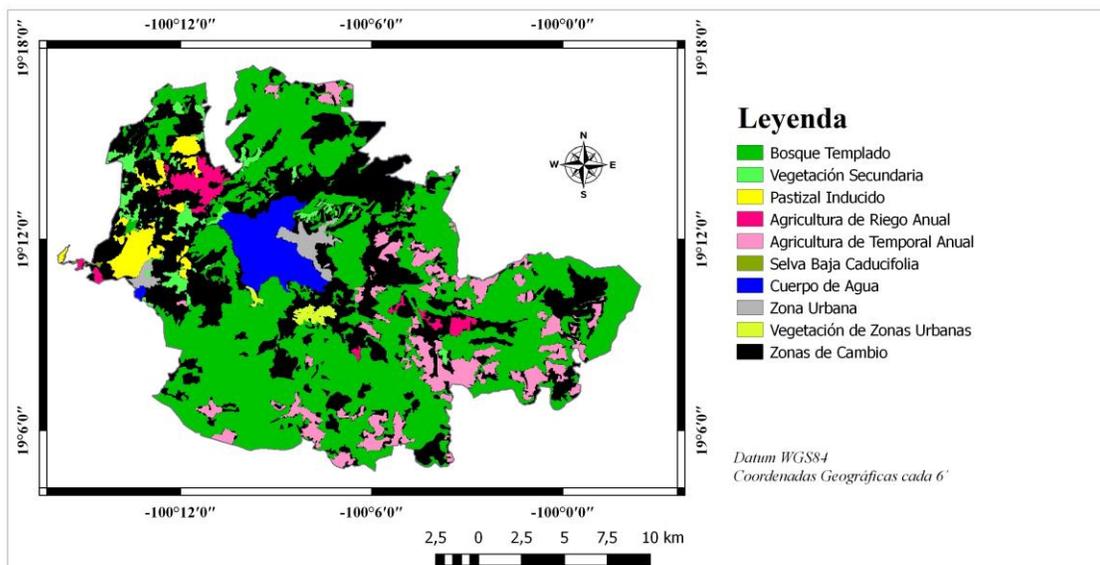
FIGURA 4
Dinámica de Cambios de Uso de Suelo y Vegetación en el municipio de Valle de Bravo



Fuente: Elaboración propia

En el periodo de estudio (1994-2016), el cambio total se observó en 30,99 % del territorio municipal, que en términos de superficie equivale a 12,407 ha, y que expresado en sentido de la persistencia el Municipio presenta un valor de 69,01% (Figura 5). Si bien los cambios son significativos, sucedieron en áreas ya transformadas en la parte este, noroeste y centro. BONFILIO *et al.* (2009) refieren que, entre los años de 1992 y 2002, el cambio total para el estado de México fue de 6,7% con una persistencia del 93,3%, valores que contrastan de forma importante y para un periodo más breve al reportado en este trabajo.

FIGURA 5
Persistencia de usos de suelo y vegetación y zonas de cambio en el municipio de Valle de Bravo, 1994-2016.



Fuente: Elaboración propia

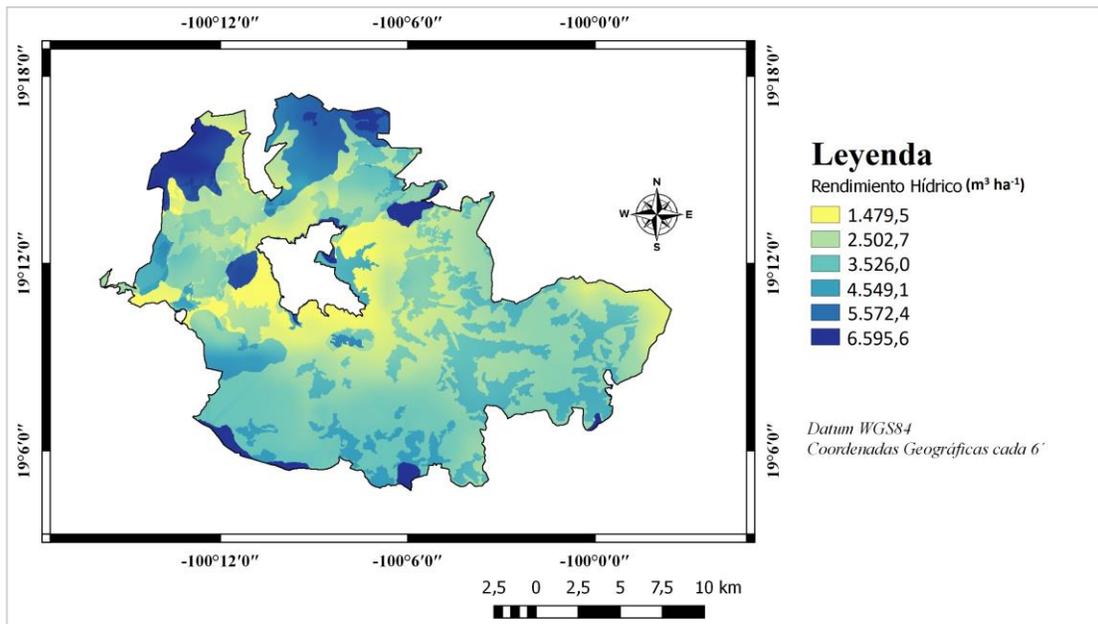
En resumen, se puede decir que en el municipio predominó la superficie forestal, la que como clase independiente presentó una persistencia del 85%, lo cual tiene múltiples beneficios ambientales y económicos. No obstante, las zonas boscosas que rodean a las ciudades han sido las más afectadas y, las que aún persisten, se encuentran amenazadas debido a la permanente posibilidad de convertirse en Zona Urbana, patrón de cambio de USyV que ha sido mencionado por RENTERÍA *et al.* (2005) para la zona de estudio.

3.2 RENDIMIENTO HÍDRICO

La contante Z tiene implícita la estacionalidad de las precipitaciones y por ende el SE de RH depende de su valor (GASPARI *et al.*, 2015). ZHANG *et al.* (2001) y CHEN *et al.* (2012) mencionan que la constante puede tomar valores entre 1 y 10, específicamente ZHANG *et al.* (2012) hacen referencia a que en climas templados, éste se ubica entre 3 y 8 puntos. En el caso del municipio de Valle de Bravo la constante Z establecida fue de (3,8), valor que presenta correspondencia con lo mencionado por los autores anteriores, puesto que el clima en la región es templado subhúmedo con lluvias verano.

El modelo de rendimiento hídrico en el municipio para los años considerados estimó valores extremos entre $818,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $9.820,46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con valores promedio de $3.372,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $3.456,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para 1994 y 2016, respectivamente. Así en el año de 1994 se obtuvo un rendimiento hídrico total de $128.782.039,73 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (Figura 6).

FIGURA 6
Rendimiento Hídrico para los años de 1994.

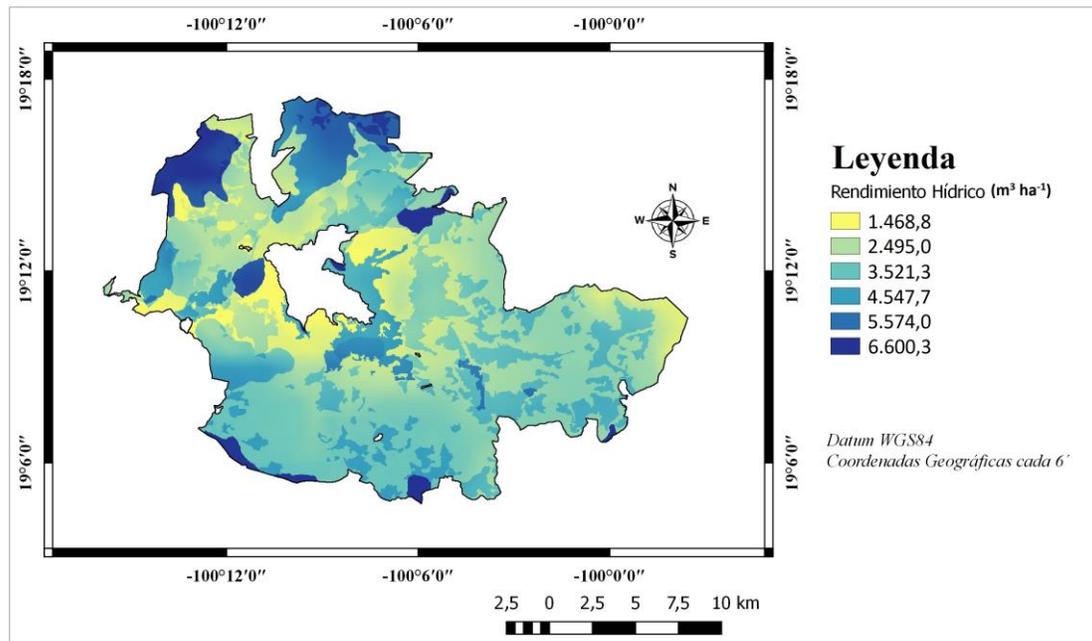


Fuente: Elaboración propia

En cambio para 2016 este volumen incrementó en $3.211.284,24 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, resultando un total de $131.993.323,97 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (Figura 7). Tomando en cuenta el 100 % de la precipitación total ($490,37\text{E}+6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$), cifra utilizada en el modelo, el RH para 1994 y 2016 representó 26,2% y 26,9%, respectivamente. Estos valores significan cifras altas, si se considera que bajo condiciones naturales diversos autores (CHANG, 2003; ELLIOTT *et al.*, 2017) han estimado un escurrimiento total entre 9% y 12% del total de la precipitación anual.

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

FIGURA 7
Rendimiento Hídrico para los años de 2016.



Fuente: Elaboración propia

El incremento o disminución de este servicio puede ser ocasionado por múltiples factores como cambios en la precipitación y en la evapotranspiración potencial; sin embargo, el cambio en el uso de suelo y vegetación es el agente más importante que lo regula (PAN *et al.*, 2013; JING *et al.*, 2015). Cuando nos enfocamos en el rendimiento hídrico para cada una de las clases de uso del suelo y vegetación se tiene que el Bosque Templado al ocupar poco más de la mitad de la superficie del territorio municipal, presentó el mayor aporte entre los años de 1994 y 2016, con un 56,2% y 55,4% respectivamente del rendimiento total. Los valores promedio de esta clase para cada año fueron de $3.372,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $3.456,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Tabla 2). Después del Bosque Templado, la Agricultura de Temporal Anual, es la clase que muestra el mayor aporte total de agua para el municipio, con un volumen de $23.508.670,0 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (18,2%) y un valor promedio de $3.964,44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para 1994; y de $18.222.734,6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (13,8%) con un promedio de $4.188,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en 2016. En el tercer sitio se encuentran aquellas clases relacionadas con la Zona Urbana y Asentamientos; si bien en 1994 aportaron $3.468.891,4 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, en el año 2016 éste se incrementó a $24.151.174,2 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (18,3%), con un ligero incremento en su rendimiento promedio al pasar de $4.274,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a $4.318,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por otra parte, las clases Vegetación Secundaria, Pastizal Inducido y Agricultura de Riego Anual en conjunto aportaron 22,4% ($28.916.861,0 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) del total de agua en 1994 y 12,2% ($16.175.695,0 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) en el año 2016. Finalmente, la clase que menos agua aportó para ambos años fue la Selva Baja Caducifolia (Tabla 2). Desde la perspectiva del ser humano, el incremento de un SE resultaría benéfico; sin embargo, en el caso del rendimiento hídrico un aumento implica la pérdida de capacidad de regulación del sistema ecológico, dada la alteración de uno de los componentes clave como es la vegetación o cobertura vegetal, ya sea esta última de origen natural o antrópico. Autores como COSTANZA *et al.* (2014) y ELLIOTT *et al.* (2017), refieren que la estructura de la cobertura vegetal y su composición de especies vegetales son factores determinantes e influyen en el balance del ciclo hidrológico; es decir, cuando se remueve la cobertura vegetal el agua que comúnmente tendría que seguir la vía de la evapotranspiración y la de infiltración disminuye, de esta forma aumenta el volumen de agua superficial, lo que afecta el flujo base a largo plazo. En caso contrario,

la presencia de una mayor cobertura vegetal mantiene los flujos característicos del ciclo del agua (NAMBIAR y BROWN, 1997; ELLIOTT *et al.*, 2017).

TABLA 2
Rendimiento hídrico total año y promedio por hectárea año de las clases de uso del suelo y vegetación para 1994 y 2016.

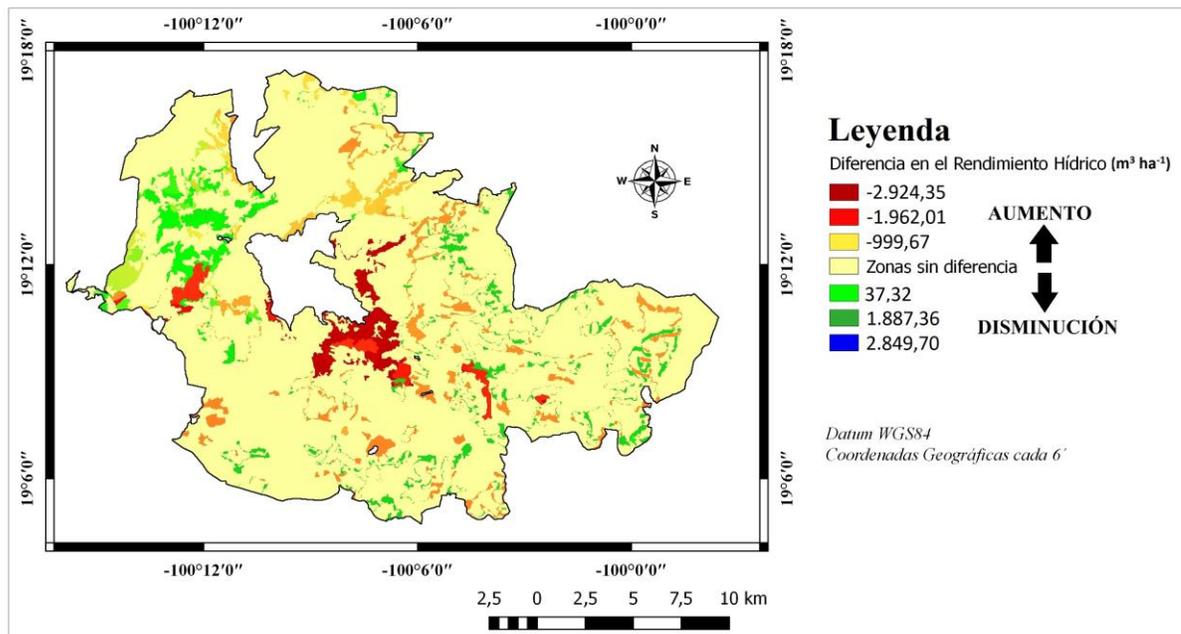
USyV	1994		2016	
	m ³ año ⁻¹	m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹	m ³ año ⁻¹	m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹
Bosque Templado	72.413.930,0	3.140,9	73.143.040,0	3.253,1
Vegetación Secundaria	11.780.140,0	3.421,0	7.685.482,0	2.963,9
Pastizal Inducido	6.315.661,0	3.159,3	4.969.060,0	3.223,8
Agricultura de Riego Anual	10.821.060,0	3.635,6	3.521.153,0	3.188,3
Agricultura de Temporal Anual	23.508.670,0	3.964,4	18.222.730,0	4.188,9
Selva Baja Caducifolia	297.442,6	3.527,1	124.436,8	2.277,8
Zona Urbana	2.313.542,0	4.346,6	4.700.221,0	4.505,2
Vegetación de Zonas Urbanas	645.890,4	5.057,4	759.070,2	5.026,2
Asentamientos Humanos	509.459,0	3.420,3	0,0	0,0
Agricultura de Riego Anual con Asentamientos	0,0	0,0	5.822.621,0	3.842,0
Agricultura de Temporal Anual con Asentamientos	0,0	0,0	8.411.038,0	3.548,4
Zonas Urbanas con Vegetación	0,0	0,0	4.458.224,0	4.672,3
TOTAL	128.605.795,0	2.806,0	131.817.076,0	3.180,8

Fuente: Elaboración propia

Las diferencias en el rendimiento hídrico entre 1994 y 2016 se pueden observar espacialmente en la Figura 8. Con valor de cero (en tono amarillo) se muestran las áreas que no presentaron diferencia en este servicio y que corresponden al 83% del territorio municipal; en tonalidades de verde y azul las áreas en las que el rendimiento disminuyó entre 285,6 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y 2.851,7 m³ ha⁻¹ año⁻¹, superficie que corresponde al 6% del área; y en tonalidades de rojo y naranja aquellas zonas donde el servicio aumento entre 355,9 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y 2.921,9 m³ ha⁻¹ año⁻¹, que corresponden al 11% del municipio. Es importante hacer énfasis en esta imagen, ya que como fue mencionado en la sección metodológica, las áreas con un aumento del SE de RH se muestran con valores negativos y, las que corresponde a una disminución con valores positivos.

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

FIGURA 8
Diferencia en el rendimiento hídrico entre 1994 y 2016.

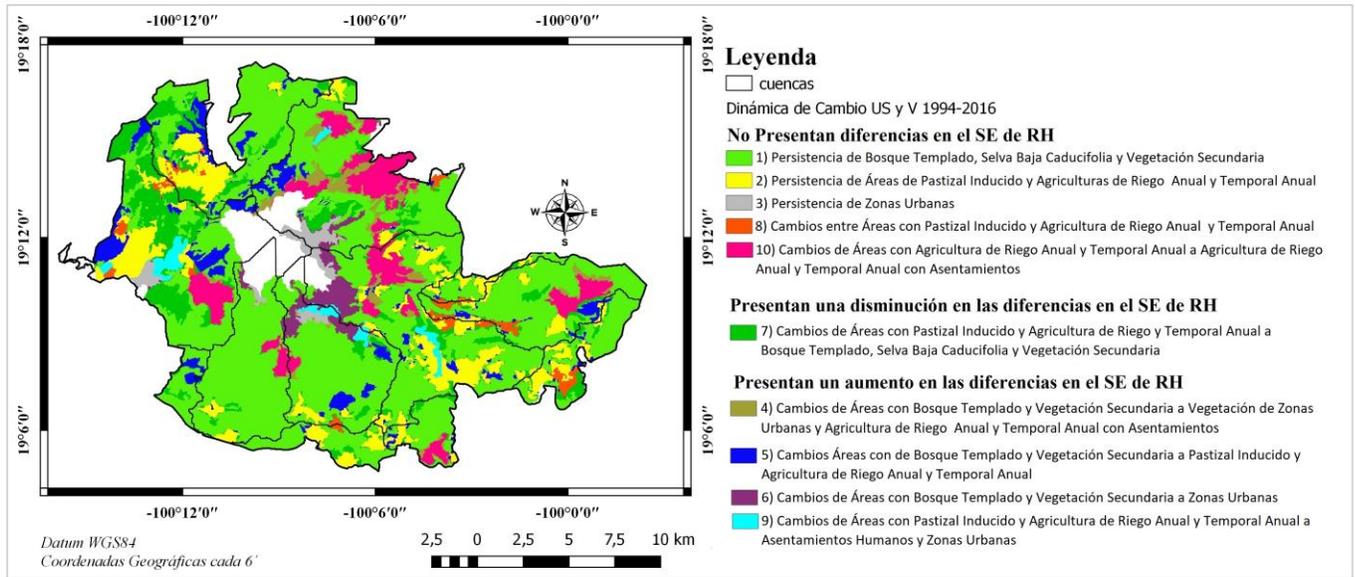


Fuente: Elaboración propia

Al considerar las diez direcciones de cambio de uso del suelo y vegetación (Anexo 3) en función del aumento, disminución o no diferencia del rendimiento hídrico entre 1994 y 2016, se observó que en áreas donde las clases persistieron (clases de cambio uno, dos y tres) y zonas con intercambios entre coberturas ya transformadas (clases ocho y diez) no presentaron diferencias entre uno y otro año. Por otra parte, la agrupación que consideró la dinámica de cambio en áreas con clases de menor a mayor cobertura vegetal (clase de cambio siete, que representa los cambios de Pastizal Inducido y Vegetación Secundaria a Bosque Templado, o bien, de Agricultura de Temporal Anual y Riego Anual a Bosque Templado), mostraron una disminución en el rendimiento hídrico. Caso contrario, el aumento del RH se presentó en aquellas zonas con dirección de cambio de clases hacia menor cobertura vegetal (clases de cambio cuatro, cinco, seis y nueve) como son, por una parte, de Bosque Templado y Vegetación Secundaria a los dos tipos de Agriculturas anuales y, por la otra, de Bosque Templado, Vegetación Secundaria, Agricultura de Riego Anual y de Temporal Anual a Áreas Urbanas o con algún tipo de Asentamiento (Figura 9). Lo anterior se puede corroborar con los valores promedio de las diferencias del SE de RH entre 1994 y 2016 (Anexo 1). En este sentido, se detectó solamente un grupo constituido por las clases de cambio uno, dos, tres, cinco, ocho y diez, que no presentaron diferencias estadísticamente significativas en el RH entre sí, mientras que el resto de las direcciones de cambio tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre ellas y con el grupo detectado. Estas direcciones de cambio que presentaron diferencias significativas son la clase de cambio siete constituida por áreas con una recuperación de cobertura vegetal y las clases de cambio cuatro, seis y nueve, asociadas a áreas de Asentamientos y Zonas Urbanas.

FIGURA 9

Clases de cambio de USyV según las diferencias en el rendimiento hídrico entre 1994 y 2016 en el Municipio de Valle de Bravo.



Fuente: Elaboración propia

Las dinámicas de cambio del USyV y la intensidad de transformación en la cobertura vegetal, determinan la magnitud en el incremento o disminución del SE de RH, lo cual ha sido documentado por CHEN *et al.* (2011) y ELLIOTT *et al.* (2017). En síntesis y considerando la sucesión de los patrones de cambio para el municipio de Valle de Bravo, las direcciones de cambio asociadas al incremento del RH se registraron en aquellas clases donde disminuyó la cobertura vegetal, como son los cambios de Bosque Templado a Pastizal Inducido y Agricultura de Temporal Anual y Riego Anual y, cambios de Pastizal Inducido y Agricultura de Temporal Anual y Riego Anual a Zonas Urbanas y Asentamientos.

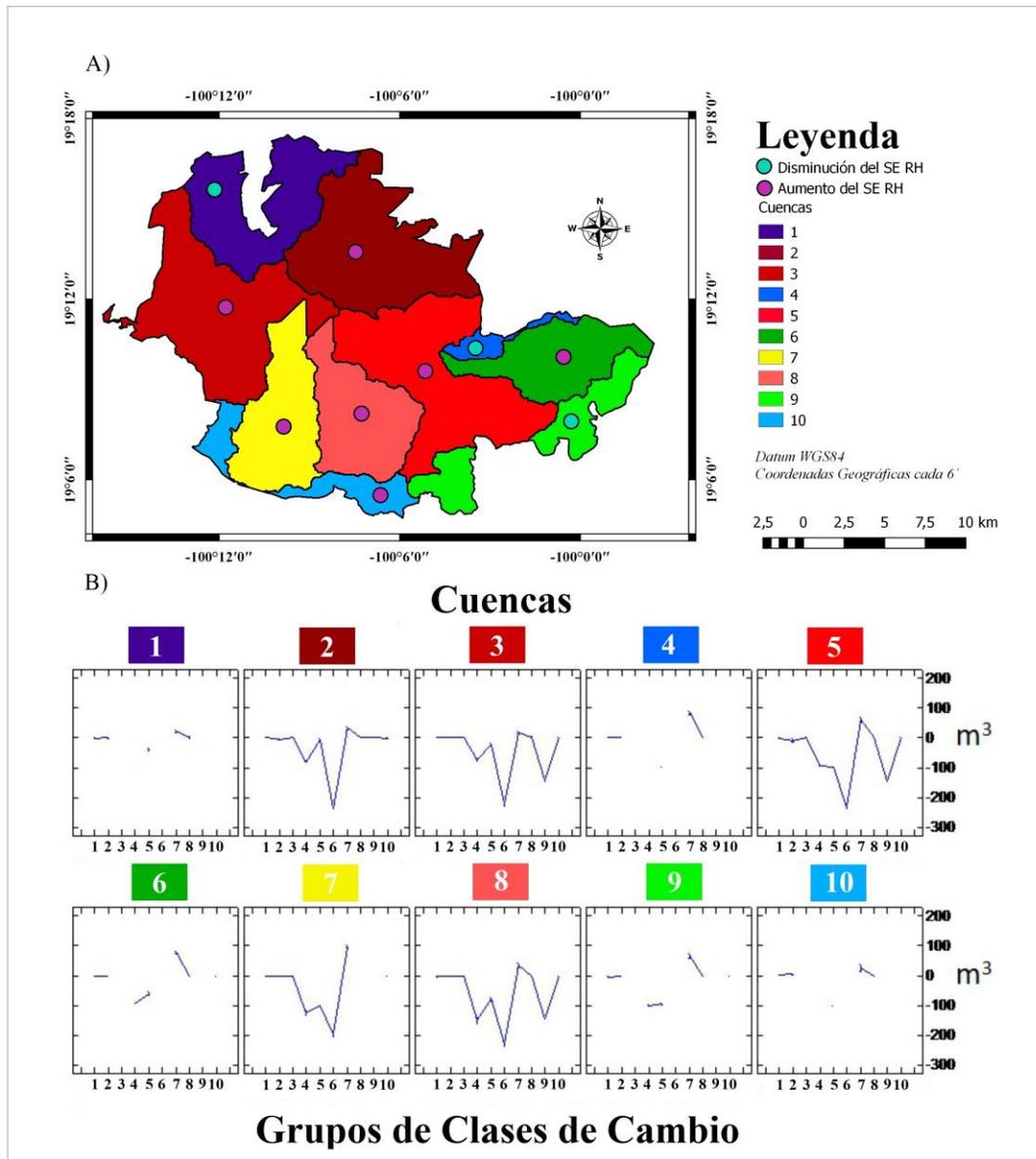
Ahora bien, cuando se consideran las dinámicas de clase de cambio en las distintas cuencas hidrográficas se identifican cuatro patrones característicos. Las cuencas dos, tres, cinco y ocho en colores rojos (Figura 10), se caracterizaron por presentar las diez clases de cambio, entre ellas destacan por su magnitud las clases de cambio cuatro, seis y nueve, que pertenecen a direcciones de cambio de coberturas de Bosque Templado, Vegetación Secundaria y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual hacia clases asociadas a Zonas Urbanas y Asentamientos. Caso singular es la cuenca siete, en color amarillo, que mostró ocho direcciones de cambio, entre las que sobresalen las clases cuatro y seis. Las cinco cuencas antes mencionadas comparten el espejo de agua de la Presa de Valle de Bravo y en ellas se encuentran las principales zonas de crecimiento urbano. Por otro lado, las cuencas seis y nueve (en colores verdes) presentaron siete clases de cambio y, por último, las cuencas uno, cuatro y diez en colores azules presentaron únicamente cinco clases de cambio (Figura 10 A y 10 B). Espacialmente estas últimas entidades hidrográficas se encuentran hacia los límites del municipio, donde la persistencia de clases y los cambios hacia usos del suelo agrícola fueron predominantes.

El balance total del RH para cada cuenca hidrográfica se muestra en la Figura 10A. En las cuencas uno, cuatro y nueve el balance entre las clases de cambio presentes y su magnitud resultó en la disminución del RH total, lo que implica predominancia de aquellas clases que presentaron una recuperación de la cobertura vegetal, caso contrario resultó en el resto de las cuencas hidrográficas en las que se estimó un aumento del RH.

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

FIGURA 10

A) Balance total en el RH de cada cuenca hidrográfica (el punto en color azul representa las cuencas donde el RH disminuyó y el punto morado donde el RH aumentó). B) Clases y magnitud de cambio presentes en las cuencas hidrográficas en el municipio de Valle de Bravo.



Fuente: Elaboración propia

Hace algunas décadas no se tenía la suficiente información sobre lo importante que es mantener la vegetación para la generación de agua dulce; se creía que la reducción de los Bosques no provocaba un incremento en el RH y que ningún aumento deliberado de la cobertura forestal causaba una disminución en éste (BOSCH, 1983). Ahora se sabe que la cobertura forestal sirve de compartimento

distribuidor de la precipitación desde la atmósfera hacia el suelo (LATERRA *et al.*, 2011) y que cualquier cambio en la precipitación, así como en el USyV por actividades humanas debido a la aplicación de políticas y ajustes estructurales en el territorio, contribuyen al cambio de este SE (JING *et al.*, 2015). Lo anterior se observa en las diferencias estadísticas del RH en cada una de las cuencas hidrográficas (Anexo 2). En dicha tabla se muestra un primer grupo de cuencas identificadas con la letra a las cuales no presentan diferencias estadísticas significativas, muestran promedios de las diferencias cercanos a cero y están constituidas por clases de cambio persistentes y orientadas a la agricultura. Un segundo grupo heterogéneo de cuencas señaladas con las letras b, c y d presentan promedios de las diferencias superiores al grupo anterior con la característica de mostrar direcciones de cambio dirigidas a zonas urbanas y asentamientos. Finalmente, la cuenca ocho que presentó el promedio de diferencias negativo más alto y que es estadísticamente diferente del resto de las cuencas.

4. CONCLUSIONES

En este estudio comparativo de 22 años las dinámicas de cambio de USyV han mostrado por una parte que los Bosques Templados y la Selva Baja Caducifolia se han transformado en Vegetación Secundaria, Pastizal inducido y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual. Sin embargo, el mayor número de cambios se han presentado de las clases anteriores hacia clases asociadas con Asentamientos Humanos y Zonas Urbanas. A pesar de estas transiciones, el municipio aún conserva parte importante de sus áreas forestales (56,2%) que contribuyen de forma sostenida al aporte de agua.

Las diferencias en el RH entre 1994 y 2016, muestran que se ha producido un aumento de este SE, asociado con direcciones de cambio de coberturas naturales hacia coberturas de origen antrópico, es decir, cuanto mayor es el nivel de transformación de la cobertura mayor es el incremento en el SE; en sentido opuesto, se observa una disminución de este SE en áreas con transiciones hacia coberturas con vegetación forestal.

Se puede concluir que para el año 2016 el SE de RH aumentó en 7 cuencas, a causa del predominio de direcciones de cambio que favorecieron esta dinámica. Las Zonas Urbanas incrementaron casi el doble de su superficie como una consecuencia de la forma en la que la sociedad se ha apropiado del territorio municipal, particularmente por el aumento de la actividad turística. Cabe destacar que las actividades económicas en la región son una vertiente que puede contribuir con nuevas propuestas de ordenamiento y manejo para conservación de los recursos hídricos y forestales, pero al mismo tiempo pueden convertirse en la gran causa de su degradación.

De forma general los modelos de RH permiten predecir patrones de distribución del SE ante cambios en el USyV y son una herramienta que ayuda a sustentar planes de ordenamiento territorial, sin embargo, es imprescindible considerar el contexto social para la toma de decisiones. De igual forma y para aumentar la validez de los modelos, es necesario contar con estudios de campo que corroboren la información disponible y bases de datos de mayor resolución espacial.

5. AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados en este trabajo forman parte de la tesis **Evaluación de los Servicios Ecosistémicos de Rendimiento Hídrico y Turismo de Naturaleza en el Municipio de Valle de Bravo, Estado de México** de la Maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco, así como del proyecto **Evaluación de servicios ecosistémicos a nivel de paisaje en las subcuencas hidrográficas del sistema Cutzamala, Estados de México y Michoacán**, financiado por la misma Universidad.

Gracias a la Maestría en Ecología Aplicada por darme esta oportunidad y a cada uno de mis profesores y compañeros por compartir su conocimiento y experiencia, que ahora son parte de mi aprendizaje. Sobre todo, quiero agradecer a mi comité tutorial, por su dedicación, tiempo y paciencia.

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

6. BIBLIOGRAFÍA

- BONFILIO, N., PINEDA, J., BOSQUE, J., GÓMEZ, M. y PLATA, W. (2009): “Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación”. *Investigaciones Geográficas*, vol. 69, p. 33-52.
- BOSCH, J.M. y HEWLETT, J.D. (1982): “A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration”. *J. Hydrol*, vol. 55, p. 3-23.
- BUDYKO M I. (1974): *Climate and Life*. New York: Academic Press, 1–510. Canadell J, R B Jackson, J B Ehleringer, et al. (1996): “Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale”. *Oecologia*, 108 (4): 583–595. EGOH B, B REYERS, M ROUGET, et al. (2008). “Mapping ecosystem services for planning and management. Agriculture”, *Ecosystems and Environment*, vol. 127, n°1, 2, p. 135–140.
- BUNGE, V., MARTÍNEZ, J. y RUIZ, K. (2012): “Escenarios de la dinámica hídrica de la región de aporte del sistema Cutzamala”. Documento de Trabajo de la Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgioece/Dinamica_Hidrica_Cutzamala.pdf. [Consulta: 17 de Junio del 2016].
- CÁRCAMO, M., RUÍZ, A. y LEÓN, M. (2013): “La acción colectiva para frenar el deterioro forestal de Monte Alto, Valle de Bravo, México”. *Cadernos PROLAM/USP*, vol. 1, p. 104-128.
- CHANG M. (2003): “Forest hydrology. An introduction to water and forests”. Boca Raton (FL): CRC Press.
- CHEN, L., XIE, G., ZHANG, C., PEI, S., FAN, N., GE, L. y ZHANG, C. (2011): “Modelling Ecosystem Water Supply Services across the Lancang River Basin”. *Journal of Resources and Ecology*, vol.2, n°4, p. 322-327. doi: 10.3969/j.
- CHUVIECO, E. (2002): “Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio”. Madrid: Ariel.
- CONABIO. (2008): “Caso Valle de Bravo. Marzo 2016, de CONABIO”. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/localizacion_valle.html. [Consulta: 1 de mayo 2016].
- COSTANZA, R., DE GROOT, R., SUTTON, P., PLOEG, S., ANDERSON, S., KUBISZEWSKI, I.,...TURNER, K. (2014): “Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change”, vol. 26, p. 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>. [Consulta: 3 de Febrero del 2016].
- CUERVO, A., TÉLLEZ, O., GÓMEZ, M., VENEGAS, C., MANJARREZ, J y MARTÍNEZ, E. (2014): “An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico”. *International Journal of Climatology*, vol. 34, n° 7, p.2427-2437.
- DE GROOT, R., WILSON, M y BOUMANS, R. (2002): “A tipology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics”, vol. 41, p.393-408.
- EARTHEXPLORER. (2016): USGS science for a changing world. <https://earthexplorer.usgs.gov>. [Consulta: 25 de Enero 2016].
- EASTMAN, J. (2012): “IDRISI Selva Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes”. Universidad de Boston: Clark Labs.
- ELLIOTT, K., CALDWELL, P., BRANTLEY, S., MINIAT, C., VOSE, J. y SWAN, W. (2017): “Water yield following forest–grass–forest transitions”. *Hydrol.EarthSyst.Sci.*21: 981–997. doi:10.5194/hess-21-981-2017.
- ESCOLERO, O., MARTINEZ, S., KRALISCH, S. y PEREVOCHTCHIKOVA, M. (2009): “Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el

- contexto de cambio climático”. Centro virtual del Cambio Climático. www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/sis_admin/.../agua_escolero_inffinal_org.pdf . [Consulta: 7de julio del 2016].
- FAO. (1998): “Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56”. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>. [Consulta: 2 febrero del 2016].
- FAO. (2007): “Food and Agriculture Organization of the United Nations”. <http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.htm>. [Consulta: 14 de Junio del 2016].
- FAO. (2012): “Harmonized World Soil Database (version 1.2)”. http://library.wur.nl/WebQuery/file/isric/fulltext/isricu_t4bb310b7_001.pdf. [Consulta: 16 de Marzo del 2016].
- FARLEY, K., JOBBÁGY, E. y JACKSON, R. (2005): “Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy”. *Global Change Biology*, vol. 11, p. 1565-1576. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x.
- GASPARI, F., DÍAZ, R., DELGADO, M y SENISTERRA, E. (2015): “Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense”. *Rev. Fac. Agron*, vol. 114, p. 214-221.
- GOLDMAN, R., BENITEZ, S., CALVACHE, A., DAVIDSON, S., ENNAANAY, D., MCKENZIE, E. y TALLIS, H. (2010): “Linking People and Nature through Watershed Conservation in the East Cauca Valley, Colombia”. Junio 2016, de TEEB. https://www.naturalcapitalproject.org/pubs/NatCap_Colombia_Water_Fund_Demonstration_TEEB_2010.pdf. [Consulta: 10 marzo del 2017]
- HAMEL, P. y GUSWA, A. (2015): “Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina”. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol.19, p. 839–853. doi:10.5194/hess-19-839-2015.
- HERNÁNDEZ, G., MARTÍNEZ, C., MARTÍNEZ, J. y MILLÁN, G. (2000): “Comunicación y Apoyo al Saneamiento de la Cuenca de Valle de Bravo”, *Anuario*, p. 8.
- HERNÁNDEZ, N., ZIZUMBO, L. y VARGAS, E. (2011): “Prácticas ambientales de las empresas turísticas de Valle de Bravo”. *Medellín*, vol. 14, n°3, p. 65-78.
- INE. (2009): “Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del sistema Cutzamala”. http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/subcuencas_cutzamala.pdf. [Consulta: 17 de Julio del 2016].
- INEGI. (1994): Fotografías aéreas, escala 1:75,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://www.inegi.org.mx/>. [Consulta: 9 de mayo 2015].
- INEGI. (2010): “Compendio de información geográfica municipal 2010 Valle de Bravo, México”. Clave Geoestadística 15110.
- INEGI. (2012): Modelos Digitales de Elevación. Valle de Bravo. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/default.html?t=MAP0701000000&ag=15>. [Consulta: 8 de Junio 2015].
- INEGI. (2014): Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). “Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000”, http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usuarios/doc/guia_interusuarios.pdf. [Consulta: 15 de Mayo de 2015].
- JING, Y., YONGWEI, Y., YAN, N., ENJUN, M., HONGJI, L. y XIAOLI, G. (2015): “The Temporal and Spatial Evolution of Water Yield in Dali County”. *Sustainability*. Vol. 7. 6069-608. doi:10.3390/su7056069.
- JOBBÁGY, G., ACOSTA, A y NOSETTO M. (2013): “Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina)”. *Ecología Austral* vol. 23.n° 2, p. 87-96.
- LATERRA, P., JOBBÁGY, G. y PARUELO, J.M. (2011): “Servicios hídricos de los ecosistemas y su relación con el uso de la tierra en la llanura Chaco-Pampeana”. En Valoración de servicios

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

- ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Buenos Aires, INTA. pp. 163-183.
- LÓPEZ, V. H. y PLATA, R. W. (2009): “Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990 – 2000”. *Investigaciones Geográficas*, vol. 68. p. 85 - 101.
- LÓPEZ, Y., TREJERO, D., TORRES, A. y LUNA, I. (2011): “Flora del Bosque Mesófilo de Montaña y Vegetación Adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México, México”. *Bol.Soc.Bot.Méx*, vol. 88, p. 35-53.
- MONTGOMERY, D. (2004): Diseño y análisis de experimentos. México: LIMUSA.
- NAMBIAR, E. y BROWN, A. (1997): “Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests”. Mayo 2016, de ACIAR. <http://aciar.gov.au/files/node/2204/MN43-part%201.pdf>. [Consulta: 6 de febrero 2016].
- PAN, T., WU, S., DAI, E y LIU, Y. (2013): “Spatio temporal variation of water source supply service in Three Rivers Source Area of China based on InVEST model”. *Appl.Ecol*, vol. 24, n°1, p.183-189.
- PROBOSQUE. (2010): “PRINCIPALES PROGRAMAS FORESTALES DE LA ADMINISTRACIÓN ESTATAL: Capítulo 5”. <http://probosque.edomex.gob.mx/images/Inventario-forestal/InventarioFtal2010Parte2.pdf>. [Consulta: 2 de Marzo 2016].
- QUÉTIER, F., TAPPELLA, E., COTI, G., CACERES, D. y DIAZ, S. (2007): “Servicios Ecosistémicos y Actores Sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario”. *Gaceta Ecológica*, vol. 84-85. p. 17-26.
- RENTERÍA, D., COTA, R. y ORTEGA, E. (2005): “Plan para La Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de La Cuenca Valle De Bravo, Estado de México”. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)-Instituto Mexicano De Tecnología Del Agua (IMTA), p. 4-50.
- RENTERÍA, D., COTA, R. y ORTEGA, E. (2006): “Plan para La Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de La Cuenca Valle De Bravo, Estado de México”. Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje Subcoordinación de Conservación de Cuencas Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)-Instituto Mexicano De Tecnología Del Agua (IMTA), p.1-103.
- SHARP, R., TALLIS, H. T., RICKETTS, T., GUERRY, A. D., WOOD, S. A., CHAPLIN-KRAMER, R. y HAMEL, P. (2016): “InVEST User Guide”. Marzo 2016, de “The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund”. <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/InVEST+VERSION+Documentation.pdf>. [Consulta: 18 de mayo 2015].
- TALLIS, H., RICKETTS, T., GUERRY, A., WOOD, S., SHARP, R., NELSON, E.,... SCHULTZE, E. D. (1993): “Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands”. *Oecologia*, vol. 95, p. 153-163.
- VEGA, E. y MÁRQUEZ, R. (2007): “Evaluación indirecta del disturbio mediante la combinación de estrategias de modelaje: un ejemplo con la cuenca de Valle de bravo, Estado de México”. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/395/vega_marquez.html. [Consulta: 3 de marzo del 2016].
- VIGERSTOL, K. y AUKEMA, J. (2011): “Comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services”. *Journal of Environmental Management*, vol. 92, p. 2403-2409. doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.040.
- WU, R., LIU, G y WEN, Y. (2017): “Spatiotemporal variations of water yield and water quality purification service functions in Guanting Reservoir Basin based on InVEST model”. *Research of Environmental Sciences*, vol. 30, n°3, p. 406-414. doi: 10.13198/j.

ZHANG, L., DAWES, W y WALKER, G R. (2001): “Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale”. *Water Resources Research*, vol. 37, n°3, p. 701-708. doi: 10.1029/2000WR900325.

ZHANG, C., LI, W., ZHANG, B. y LIU, M. (2012): “Water Yield of Xitiaoxi River Basin Based on InVEST Modeling”. *J. Resour. Ecol*, vol. 3, p. 050-054. doi:10.5814/j.

ANEXO 1

Valores promedio de las diferencias estadísticas del RH en las clases de cambio de USyV (La letra “a” indica que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre direcciones de cambio).

Dirección de cambio	Promedio	
7	51,98	
8	0,59	a
10	0,039	a
3	0	a
2	-0,93	a
1	-1.01	a
5	-68,87	a
4	-102,92	
9	-107,99	
6	-224,59	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

Valores promedio de las diferencias del RH para cada cuenca hidrográfica (Letras iguales indican que no se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las cuencas hidrográficas).

Cuenca hidrográfica	Promedio	
4	0,06	a
1	-2,74	a
6	-11,42	a
10	-13,76	a
9	-18,73	a b
2	-29,34	b
3	-39,56	c
7	-40	c d
5	-52,15	d
8	-58,06	

Fuente: Elaboración propia

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RENDIMIENTO HÍDRICO ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2016 EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

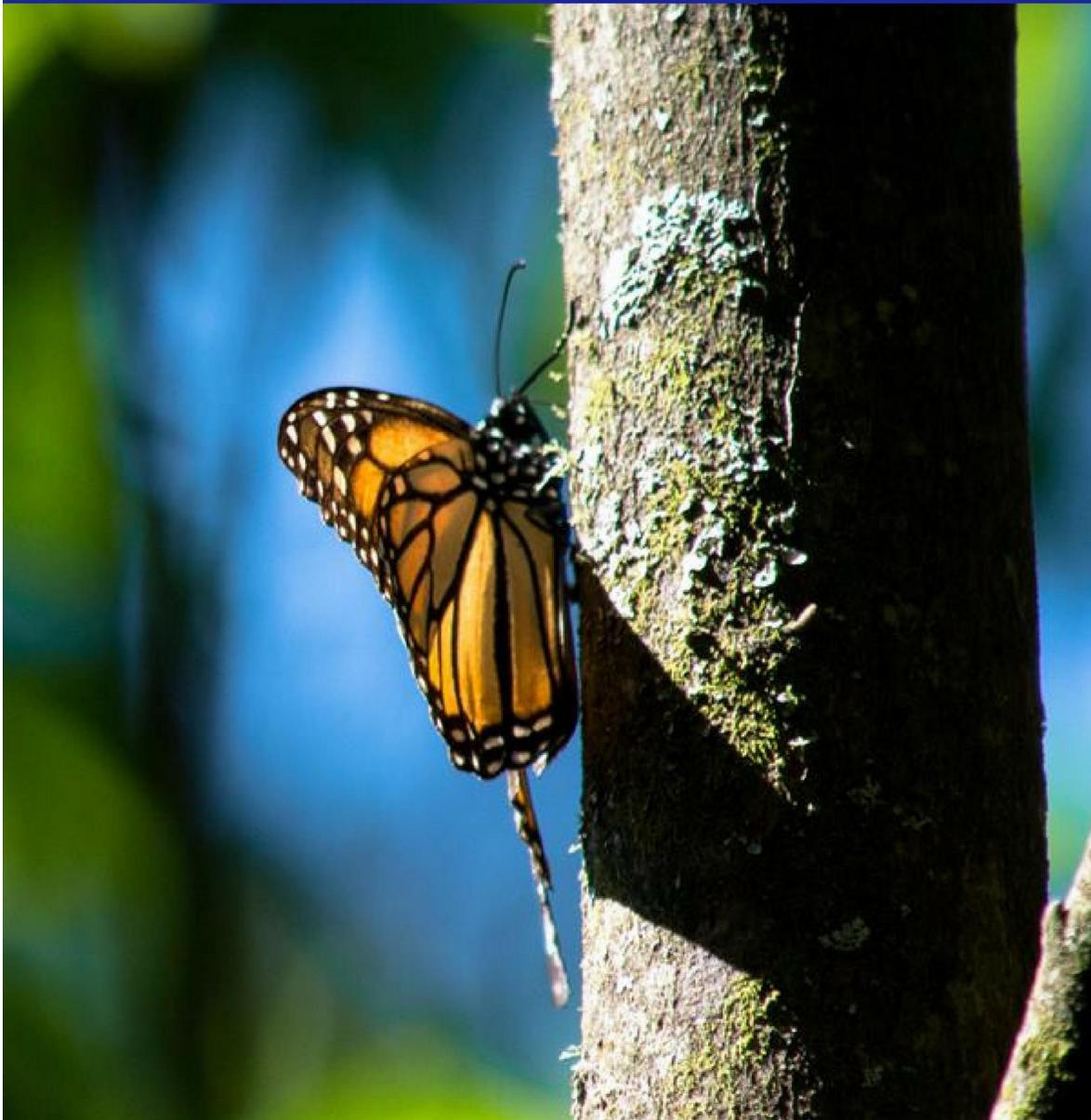
ANEXO 3

Grupos de clases de cambio de USyV entre 1994 y 2016.

Cambios hacia Bosque Templado, Selva Baja Caducifolia y Vegetación Secundaria		Cambios hacia Pastizales Inducido y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual		Cambios hacia Zonas Urbanas y/o Asentamientos	
1994	2016	1994	2016	1994	2016
1) Persistencia de Bosque Templado, Selva Baja Caducifolia y Vegetación Secundaria		2) Persistencia de Áreas de Pastizal Inducido y Agriculturas de Riego Anual y Temporal Anual		3) Persistencia de Zonas Urbanas	
Bosque Templado	Bosque Templado	Pastizal Inducido	Pastizal Inducido	Zona Urbana	Zona Urbana
Vegetación Secundaria	Vegetación Secundaria	Agricultura de Riego Anual	Agricultura de Riego Anual	Vegetación de Zonas Urbanas	Vegetación de Zonas Urbanas
Selva Baja Caducifolia	Selva Baja Caducifolia	Agricultura de Temporal Anual	Agricultura de Temporal Anual	4) Cambios de Áreas con Bosque Templado y Vegetación Secundaria a Vegetación de Zonas Urbanas y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual con Asentamientos	
7) Cambios de Áreas con Pastizal Inducido y Agricultura de Riego y Temporal Anual a Bosque Templado, Selva Baja Caducifolia y Vegetación Secundaria		5) Cambios Áreas con de Bosque Templado y Vegetación Secundaria a Pastizal Inducido y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual			
Vegetación Secundaria	Bosque Templado	Bosque Templado	Vegetación Secundaria	Bosque Templado	Vegetación de zonas Urbanas
Pastizal Inducido	Bosque Templado	Bosque Templado	Pastizal Inducido	Bosque Templado	Agricultura de Riego Anual con Asentamientos
Pastizal Inducido	Vegetación Secundaria	Bosque Templado	Agricultura de Riego Anual	Bosque Templado	Agricultura de Temporal Anual con Asentamientos
Agricultura de Riego Anual	Bosque Templado	Bosque Templado	Agricultura de Temporal Anual	Vegetación Secundaria	Agricultura de Riego Anual con Asentamientos
Agricultura de Riego Anual	Vegetación Secundaria	Vegetación Secundaria	Pastizal Inducido	Vegetación Secundaria	Agricultura de Temporal Anual con Asentamientos
Agricultura de Riego Anual	Selva Baja Caducifolia	Vegetación Secundaria	Agricultura de Riego Anual	6) Cambios de Áreas con Bosque Templado y Vegetación Secundaria a Zonas Urbanas	
Agricultura de Temporal Anual	Bosque Templado	Vegetación Secundaria	Agricultura de Riego Anual	Bosque Templado	Zona Urbana
Agricultura de Temporal Anual	Vegetación Secundaria	Vegetación Secundaria	Agricultura de Temporal Anual	Bosque Templado	Zonas Urbanas con Vegetación
		Selva Baja Caducifolia	Pastizal Inducido	Vegetación Secundaria	Zonas Urbana
		8) Cambios entre Áreas con Pastizal Inducido y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual		9) Cambios de Áreas con Pastizal Inducido y Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual a Asentamientos Humanos y Zonas Urbanas	
		Pastizal Inducido	Agricultura de Riego Anual	Pastizal Inducido	Zonas Urbana
		Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal Anual	Agricultura de Riego Anual	Zonas Urbana
		Agricultura de Riego Anual	Pastizal Inducido	Agricultura de Riego Anual	Zonas Urbanas con Vegetación
		Agricultura de Temporal Anual	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal Anual	Zona Urbana
		Agricultura de Riego	Agricultura de Temporal	Asentamientos Humanos	Zona Urbana
		Agricultura de Temporal Anual	Pastizal Inducido	Asentamientos Humanos	Zonas Urbanas con Vegetación
				10) Cambios de Áreas con Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual a Agricultura de Riego Anual y Temporal Anual con Asentamientos	
		Agricultura de Riego Anual		Agricultura de Riego Anual con Asentamientos	
		Agricultura de Riego Anual		Agricultura de Temporal Anual con Asentamientos	
		Agricultura de Temporal Anual		Agricultura de Riego con Asentamientos	
		Asentamientos Humanos		Agricultura de Temporal con Asentamientos	

Fuente: Elaboración propia.

**APTITUD DEL PAISAJE PARA TURISMO DE NATURALEZA Y CAMBIOS DE
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN. ESTUDIO COMPARATIVO DE 1994 Y 2016
EN VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO.**



Aptitud del paisaje para turismo de naturaleza y cambios de uso de suelo y vegetación. Estudio comparativo de 1994 y 2016 en valle de bravo, estado de México.

Landscape Aptitude for Nature Tourism and Land use and Vegetation Changes. Comparative Study of 1994 and 2016 in Valle de Bravo, State of Mexico.

RESUMEN:

Las variables de cambio en el uso del suelo y vegetación (USyV) han sido poco estudiadas bajo el marco de los procesos de urbanización y el acelerado ritmo de crecimiento del turismo en los paisajes geográficos. El municipio de Valle de Bravo ha modificado su organización socioterritorial al convertirse en un destacado centro turístico, con la expansión de viviendas y hoteles la cual ha generado una sobreexplotación y deterioro de sus recursos naturales y culturales, así como la pérdida de actividades productivas primarias. El turismo de naturaleza (TN) se propone como actividad económica para conservar la calidad ambiental de estos recursos a largo plazo. Este trabajo evalúa comparativamente, entre 1994 y 2016, la aptitud del paisaje que presenta el municipio para las actividades de TN mediante los USyV. Ante este proceso de cambio, se plantean consideraciones que pueden orientar la toma de decisiones hacia escenarios de sustentabilidad a partir de la planeación integral del territorio.

Palabras clave: Cambio de Uso de Suelo y Vegetación, Aptitud del Paisaje, Turismo de Naturaleza, Urbanización, Valle de Bravo.

ABSTRACT

However, the variables of land use and vegetation change (USyV) have been rarely studied under the framework of urbanization processes and the accelerated rate of growth of tourism in these spaces and geographic landscapes. The municipality of Valle de Bravo has modified its socio-territorial organization by becoming a prominent tourist center, with the expansion of housing and hotels which has

generated overexploitation and deterioration of its natural and cultural resources, as well as the loss of primary productive activities. Nature tourism (TN) is proposed as an economic activity to preserve the environmental quality of these resources in the long term; however any tourism initiative requires knowledge of the ability of the territory to support such activity. This work comparatively evaluates, between 1994 and 2016, the landscape aptitude presented by the municipality for TN activities through the USyV. Facing this processes of change, considerations are raised that can guide the decision making towards sustainability scenarios through a integral territorial planning.

Keywords: Land use and vegetation change, landscape aptitude, nature tourism, urbanization, Valle de Bravo.

INTRODUCCION

El turismo es considerado un fenómeno multisectorial de carácter social y cultural (Pérez *et al.*, 2011), que permite conocer los modos de vida de la sociedad en diferentes realidades y paisajes geográficos (Petroman *et al.*, 2013); además posee una carácter económico y político capaz de contribuir al desarrollo regional y ser un componente de los lineamientos, planes de desarrollo y políticas públicas (Karez, 2012). Lamentablemente, en el intento de producir más bienes y servicios las actividades turísticas han modificado los paisajes geográficos, utilizando los recursos naturales regionales sin dar tiempo a los ciclos y procesos naturales para su renovación (Dandapath y Mondal, 2013).

Los cambios de USyV ocasionados por malas prácticas turísticas son uno de los problemas de atención más urgentes en la planeación del territorio (Atik *et al.*, 2010; Wang y Liu, 2013), ya que estos cambios modifican la biodiversidad y disminuyen el flujos de servicios ecosistémicos (Nahuelhual *et al.*, 2014). Las dinámicas de cambio de USyV se encuentran interrelacionadas con procesos y tendencias regionales de transformación social y económica de los paisajes geográficos y modos de vida de los pobladores locales (Wang y Liu, 2013), que en muchos casos conllevan a la extinción de las comunidades estrictamente rurales y campesinas

(Zizumbo *et al.*, 2013) o bien a cambios en los sistemas socioecológicos para transitar a paisajes residenciales (Cook *et al.*, 2012).

El TN es una de las opciones para mantener los paisajes y ecosistemas rurales, garantizar su conservación natural y cultural (Yanju y Jinyang, 2008), es un servicio ecosistémico cultural, brindado por la naturaleza con base en el desarrollo de actividades de bajo impacto (Ortiz y Arévalo, 2014) o bien, como los viajes responsables a áreas naturales que buscan conservar el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de la población local (De Esteban y Curiel, 2010).

En México no se registra información alguna sobre el turismo de naturaleza hasta antes de los años 80, debido a que en la política turística nacional no figuraba como un servicio. Fue hasta el año 2001 que la Secretaría de Turismo (SECTUR) profundiza en el conocimiento del mismo a fin de servir de base para el desarrollo de propuestas objetivas en el “Estudio Estratégico de Viabilidad del Segmento de Ecoturismo en México” (Dirección de Desarrollo de Turismo Alternativo, 2006). Actualmente SECTUR, lo define como, las actividades recreativas en contacto directo con la naturaleza que participan en la conservación de los recursos naturales y culturales. Lo ha dividido en tres grandes segmentos, cada uno compuesto por diversas actividades:

1) Ecoturismo: actividades recreativas a partir del contacto con la naturaleza. Las actividades son de carácter general como el senderismo interpretativo, safari fotográfico, observación de flora o fauna o las más especializadas como la observación de aves, avistamiento de ballena, participación en programas de rescate, como es el caso de los campamentos tortugeros, entre otras.

2) Turismo Rural: como viajes que tienen el fin de realizar actividades de convivencia e interacción con una comunidad rural. El turista forma parte activa de la comunidad durante su estancia en ella, en donde aprende a preparar alimentos habituales, crea artesanía para su uso personal, aprende lenguas ancestrales, el

uso de plantas medicinales, cultiva y cosecha lo que cotidianamente se consume, es actor en los eventos tradicionales de la comunidad, percibe y aprecia creencias religiosas y paganas. Entre las actividades se encuentra el agroturismo, fotografía rural, talleres artesanales o gastronómicos, preparación y uso de medicina tradicional.

3) Turismo de aventura: Son los viajes que tienen como fin el realizar actividades recreativas, asociadas a desafíos impuestos por la naturaleza”, en donde la experiencia es sólo entre la naturaleza y el turista, por lo tanto quedan excluidas las competencias deportivas o denominadas actividades “extremas”. Entre las actividades se pueden mencionar la caminata, el alpinismo y rappel de montaña, ciclismo de alta montaña, descenso de ríos, vuelo en globo aerostático o en ala delta.

Los distintos tipos de TN quedan determinados por el tipo de actividades (Palomo *et al.*, 2013), las cuales se basan en el aprendizaje así como en la conservación del entorno natural (Yanju y Jinyang, 2008).

No obstante, bajo el marco de la clasificación de “Pueblos Mágicos”, se registra que la expansión del turismo en estos lugares ha generado un deterioro en el entorno natural y la modificación de los modos de vida rurales (Deverdun *et al.*, 2016: 42). Valle de Bravo a lo largo de los últimos cincuenta años ha pasado de ser un municipio rural con una población campesina dedicada principalmente a la agricultura a un centro turístico con una actividad económica sustentada en los servicios para el turismo (Hernandez *et al.*, 2011).

El proceso de cambio principal fue la construcción de la presa en 1942, que gradualmente dio paso a la reubicación de los campesinos (Sierra *et al.*, 2011; Zizumbo *et al.*, 2013). De esta forma, se origina una profunda transformación territorial y nueva conformación del paisaje regional que impulsó las actividades turísticas como el principal eje de desarrollo económico (Hernández *et al.*, 2011; Sierra *et al.*, 2012).

La amplia diversidad de paisajes geográficos que conforman a Valle de Bravo han ayudado a consolidar el turismo residencial como la principal actividad económica (Hernández *et al.*, 2011); sin embargo, este tipo de turismo ha ocurrido de manera desequilibrada y las áreas territoriales de mayor prosperidad se encuentran ocupadas por grupos ajenos al municipio (Zizumbo *et al.*, 2013).

Algunos autores destacan el valor del ecoturismo y la conservación de los recursos naturales del municipio, sin embargo, en las dos últimas décadas, particularmente se ha observado una acelerada construcción y venta de viviendas que conforman el sector extra hotelero (Sierra *et al.*, 2011; Deverdun *et al.*, 2016), ocasionando con ello una sobreexplotación del bosque (López *et al.*, 2014) y acentuado, el turismo residencial, que responde a una nueva forma de movilidad urbana que tiene repercusiones ecológicas, económicas, urbanísticas, culturales, políticas y demográficas relevantes sin que exista un ordenamiento territorial integral (Mikery y Pérez, 2014).

En este sentido, es relevante destacar que cualquier modalidad de turismo y los procesos de reorganización socioterritorial que conllevan, requieren de la generación de conocimiento e información acerca de la aptitud que poseen los espacios geográficos, así como de los recursos naturales para sostener el desarrollo de tales actividades (Pérez *et al.*, 2011).

En la literatura reciente, se identifica que pocos estudios han intentado relacionar la motivación de los visitantes para usar los recursos naturales con la aptitud del entorno natural. Se refiere que este tipo de investigaciones pueden ayudar a detectar los criterios que emplean los turistas para seleccionar un destino turístico (Yanju y Jinyang, 2008), así como contribuir al diseño de estrategias, que aseguren el manejo y conservación integral de los recursos naturales (Pérez *et al.*, 2011).

El presente Trabajo tiene como objetivo la valoración comparativa de la aptitud del paisaje para desarrollar actividades relacionadas con el TN en el municipio de Valle de Bravo entre los años de 1994 y 2016 a partir de un análisis multicriterio. Identificando si los cambios de uso de suelo y vegetación (USyV) entre esos años han influido en la aptitud para sostener dichas actividades.

METODOLOGÍA

Área de estudio

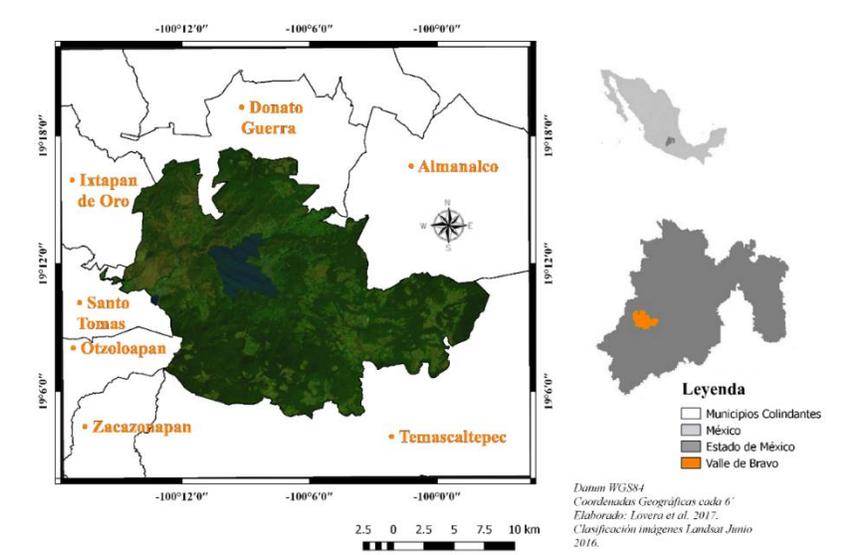


FIGURA 1 .Ubicación geográfica del Municipio de Valle de Bravo, Estado de México.

Valle de Bravo en el Estado de México, se encuentra a 96 km de la ciudad de Toluca y a 145 km de la Ciudad de México (Deverdun et al., 2016: 34), entre los paralelos 19° 03' y 19° 18' de latitud norte y los meridianos 99° 57' y 100° 16' de longitud oeste, a una altitud entre 1,200 y 3,100 msnm (INEGI, 2010). Tiene una extensión territorial de 421.95 km², que representa el 1.87% del territorio estatal (Deverdun et al., 2016: 34) (Figura 1). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y un rango de precipitación de 1,100 a 1,300 mm/año. La temperatura promedio anual es de 17.5°C, máxima de 32.0°C, la mínima de 1.3°C (INEGI, 2010). Los rasgos orográficos evidencian una morfología montañosa, con rocas metamórficas e

ígneas (Lopez *et al.*, 2011: 36). Predominan los suelos de tipo Andosol, asociados generalmente con Luvisol, Leptosol, Vertisol, Regosol (INEGI, 2010). Debido a la variedad de suelos y relieve, la vegetación de la región es conformada por bosques de Oyamel, Pino, Encino y bosque mixtos de Pino-Encino, así como pequeños relictos de Bosque Mesófilo de Montaña y de Selva Baja Caducifolia (Conabio, 2008). Se encuentra en la Región Hidrológica del Río Balsas, dentro de la cuenca del Río Cutzamala. El Río Amanalco es el de mayor importancia por su caudal. Cuenta con 101 manantiales, 21 arroyos, 3 bordos y 7 acueductos (Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo^B: 31).

En 2015, la distribución de la población del municipio es desigual: poco más del 50% de su población se concentra en la cabecera municipal y en la Villa de Colorines. La población es aproximadamente de 65,703 habitantes, con una densidad poblacional de 154 hab/km² (Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2016: 37).

La tasa de crecimiento poblacional fue del 2.42%, al pasar de 36,134 habitantes en 1990 a 65,703 en 2015 (Gaceta municipal 2016-2018). Asimismo, se observa que para esos años el grado de marginación social en el municipio era bajo (Ayuntamiento de Valle de Bravo, 2006: 34; INEGI, 2017). En 1990, el sector terciario comprendió el 53% de la población económicamente activa (PEA), el secundario 33% y el primario 13.9% (Ayuntamiento de Valle de Bravo, 2006: 29). Para 2015, el 61.5% de la PEA se ocupaba en el sector terciario principalmente en actividades turísticas; el 26.2% a actividades secundarias, dirigidas principalmente a la elaboración de productos artesanales así como a la agricultura de subsistencia y solo el 10.3 % se dedica a actividades primarias (Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo. 2013: 1).

El Municipio es reconocido, como uno de los destinos turísticos con mayor afluencia en el Estado de México (Zizumbo *et al.*, 2013). Su infraestructura es suficiente para recibir a turistas sin importar su nivel socioeconómico. En 2013, se estimó una afluencia turística de 2,104,707 visitantes, con la siguiente distribución: turistas

nacionales 10.8%, turistas extranjeros 3.2%, residentes de fin de semana 81% y excursionistas 5%. Se tiene un registro de visitantes por pernocta anual de 227,590.48 con una estadía promedio de 2 noches. Por hospedaje y alimentos, la derrama anual asciende a \$229 millones de pesos (Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo. 2013: 2).

Cartografía y Dinámica de Cambio de Usos del Suelo y Vegetación.

Se utilizaron sub-escenas de dos imágenes satelitales Landsat de la zona de Valle de Bravo de julio de 1994 (Pat-Row 27-47) y junio de 2016 (EarthExplorer, 2016), capturadas por los satélites Landsat 5 y Landsat 8, respectivamente con una resolución espacial de 30m. La leyenda de trabajo se constituyó por 12 clases, conforme a la clasificación de USyV utilizada por INEGI (2014). El método de clasificación para la elaboración de los mapas correspondientes fue supervisado (Chuvieco, 2002). La fiabilidad de la clasificación de 1994 fue obtenida mediante comparación de puntos procedentes de fotografía aérea, escala 1:75,000 de 1994 (INEGI, 1994), mientras que para 2016 se obtuvieron puntos de control en la zona de trabajo y comparados con imágenes del programa Google Earth para Valle de Bravo 2010 y 2005.

La dinámica de cambio fue generada mediante el cruce de los mapas de USyV de los años mencionados, proceso que fue implementado en el módulo de modelado de cambios del suelo (Land Change Modeler) del software IDRISI (Eastman, 2012). A partir de la matriz de cambio, se obtuvo la persistencia total por clase, pérdidas, ganancias, cambio neto y dirección de cambio.

Para obtener la tasa de cambio de cada clase se utilizó la ecuación de la FAO (2007), que expresa el cambio en porcentaje por año:

$$\delta n = [S_2/S_1]^{1/n} - 1$$

Dónde: δn = tasa de cambio, S_1 = Superficie en la fecha 1, S_2 = Superficie en la fecha 2, n = Número de años entre las dos fechas.

Diseño y aplicación de cuestionarios

Se elaboró una encuesta a turistas que visitaban el municipio con el objetivo de conocer cuáles eran los lugares de su preferencia. De esta forma, se obtendrían los criterios para elaborar los mapas de aptitud para el TN.

La selección de la muestra poblacional fue de tipo no probabilístico (Hernández y Reyes, 2007). Se realizaron 118 encuestas, a personas con un rango de edad de 15 a 75 años que paseaban por el municipio durante junio a agosto de 2016. El diseño de las encuestas incluyó cuatro secciones: 1) Breve explicación sobre el turismo de naturaleza y su importancia; 2) Preguntas sociodemográficas; 3) Preguntas abiertas destinadas a las personas que ya habían visitado el Municipio, con el propósito de determinar cambios en el municipio e identificar el nivel de importancia que otorgan a los recursos naturales; y 4) Preguntas acerca de las preferencias turísticas dentro del municipio a fin de obtener los criterios para el análisis de aptitud del paisaje para TN.

Análisis Multicriterio para el Turismo de Naturaleza.

El primer paso consistió en identificar la aptitud del paisaje que presentaba el municipio para el TN entre 1994 y 2016. A partir de las encuestas se identificaron los criterios (Tabla 3), tanto factores como restricciones (Eastman, 2012). En la Tabla 1 se presentan el tipo y forma de la función de membresía, los umbrales de las reglas de decisión y el peso asignado a cada factor. Las reglas de decisión aplicadas se presentan a continuación: A) Carreteras y brechas; entre 500 y 1000 metros es una distancia adecuada a las vías de comunicación (mayor aptitud) para apreciar la naturaleza alejado de los ruidos; B) Pendientes; deben ser suaves para que personas con distinta capacidad física puedan caminar fácilmente (mayor aptitud en inclinaciones menores o iguales a 15%); C) Lugares turísticos; sitios que las personas pueden visitar con el fin de contemplar la naturaleza y aprender de su cultura (i.e. museos, parques, templos y mirador); D) Elevación; una altitud adecuada entre 1,500 y 1,900 msnm, (mayor aptitud) donde se puede contemplar

el paisaje sin que el organismo humano presente estragos; E) Distancia a ríos; que se puedan escuchar y contemplar a una distancia de 15 m; F) Distancia a cuerpos de agua; se aprecian a una distancia de 15 m; G) Las áreas naturales protegidas (ANP); se consideraron las más concurridas por los turistas, particularmente la Reserva estatal de Monte Alto y el Parque Ecológico Velo de novia, a cada espacios se les asignó un valor de 250; G) Temperatura; la más agradable para los turistas es la temperatura media anual, entre 16 y 18 °C; H) Usos del Suelo y Vegetación; a cada una de las clases se le asignó un nivel de aptitud; I) Veredas; caminos para recorrer y contemplar el paisaje, una distancia de 0 a 50 m (mayor aptitud); J) Rendimiento hídrico, valores entre 15 m³ y 390 m³ (mayor aptitud), sitios rodeados de cobertura forestal.

La ponderación de los criterios (factores) se obtuvo a través de la comparación pareada de los mismos (Saaty, 1980), para ello se consultó la opinión de tres expertos en el tema de turismo en el Municipio, estos fueron: 1) el Director de turismo; 2) el Director del Área Natural Protegida Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec; y 3) así como una empresa turística de parapente y alas delta. Por último, se integró el nivel de aptitud de cada pixel y el peso correspondiente de cada criterio a partir de una suma lineal ponderada (Eastman, 2012).

Tabla 1. Criterios-Factores para el turismo de naturaleza.

RESTRICCIONES			
Criterio	Regla de decisión		
Clases de usos del suelo y vegetación	Usos del suelo y vegetación donde no es conveniente practicar el TN, como pastizales, cultivos de temporal y de riego y asentamientos humanos con cultivos.		
Área No Municipal	Áreas fuera de los límites municipales		
FACTORES			
Criterio	Tipo y forma de la función de membresía	Regla de decisión	Peso asignado
Carreteras y brechas (INEGI, 2015;1998)	Lineal Simétrica	a = 0.0m, b =500m, c =1000m, d = 7568m.	0.0437
Pendiente (%) (INEGI, 2015; 1998)	Monótonamente Decreciente Sigmoidal	c= 15 % y d = 72%	0.0376
Lugares turísticos (INEGI,2015; 1998)	Planos Categóricos	Distancia más cercana	0.1263
Elevación (msnm) (INEGI,2015; 1998)	Lineal Simétrica	a=935, b=1500, c=1900, d=3500	0.0976
Cuerpos de agua (INEGI, 2015; 1998)	Monótonamente Decreciente	c= 15 y d=1000	0.0560
Sitios donde pasan los ríos (INEGI, 2015; 1998)	Monótonamente Decreciente Sigmoidal	c= 15 y d=150	0.1498
ANP (INEGI, 2015; 1998)	Plano Categórico	Polígonos de los Parques	0.1534
Temperatura (°C) (INEGI, 2015; 1998)	Simétrica Sigmoidas	a=10, b=16, c=18, d=27	0.1030
Usos de suelo 2016; 1994 (Lovera <i>et al.</i> , 2017)	Plano Categórico	Valores de Aptitud mínimos de 10 y valores máximos de 250. Zonas Urbanas =10, Zonas Urbanas con Vegetación y Asentamientos con Agricultura =20, Selva baja Caducifolia =60, Pastizales y Cultivos =100 y Bosque templado =250	0.0738
Veredas(INEGI, 2015; 1998)	Monótonamente Decreciente Sigmoidal	C = 50 y d = 2000	0.0554
Rendimiento hídrico 2016-1994 (Lovera <i>et al.</i> , 2017)	Lineal Simétrica	a = 0 m ³ , b = 15m ³ , c = 390m ³ , d = 1200m ³	0.1034

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios de uso de suelo 1994-2016

La fiabilidad de los mapas en el tiempo T1 y T2 fue del 72% y 87%, respectivamente.

A partir de la cartografía generada de USyV, se pueden observar que para el año de 1994 los Bosques Templados predominaban, seguidos por la agricultura (temporal y riego) que ocupaba parte del municipio; la vegetación secundaria era la tercera clase más extensa y la Selva Baja Caducifolia la de menor superficie (Figura 2).

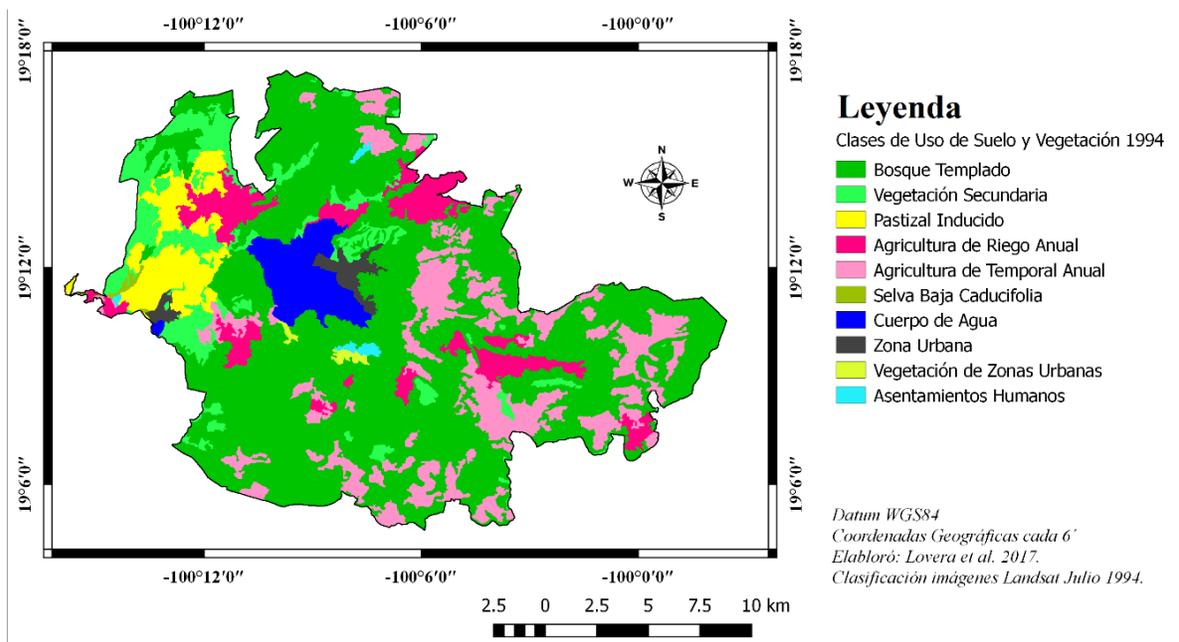


FIGURA 2. Uso de suelo y vegetación del municipio de Valle de Bravo para el año 1994

Para 2016, los USyV aún presentaban el mismo patrón en cuanto a su importancia, sin embargo ha disminuido su extensión total, dando paso a nuevos usos de suelo, como son las zonas urbanas con vegetación y de agricultura con asentamientos humanos (Figura 3).

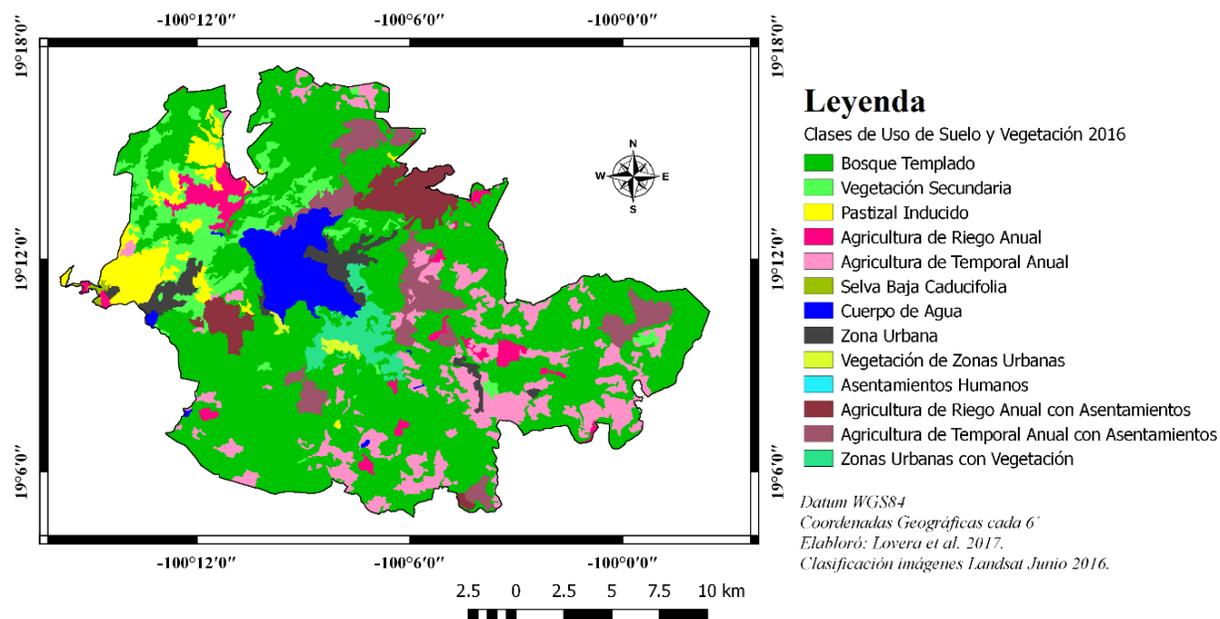


FIGURA 3. Uso de suelo y vegetación del municipio de Valle de Bravo para el año 2016.

Los Bosques Templados presentan una persistencia del 85%, perdieron 3,461.31 ha, transformadas en asentamientos con agricultura y zonas urbanas a una tasa anual de 0.1% y recuperaron 2,889.54 ha, principalmente aportadas por la vegetación secundaria y la agricultura. La Vegetación Secundaria tiene una permanencia del 25%, perdió en total 2,561.4 ha, a una tasa anual de 1.3%. De éstas, 732.6 ha se transformaron en bosques templados y 1,828.8 ha en pastizales inducidos y en zonas urbanas; sus ganancias fueron 1,717.38 ha, principalmente aportadas por los pastizales y agricultura de riego. La Selva Baja Caducifolia disminuyó considerablemente, su persistencia fue de 18.3% y solo se encuentran pequeños manchones al oeste del municipio, ésta perdió 68.94 ha a una tasa anual de 2.0% y recobro 32.3 ha procedentes de la agricultura. Respecto a la dinámica de cambios en las coberturas forestales Hernández *et al.* (2000) y Bonfil y Madrid (2006) hacen referencia que las ganancias y pérdidas en la región son consecuencia de la dinámica de cambios de USyV, así como a las campañas de reforestación impulsadas por el Gobierno del Estado (PROBOSQUE, 2010:103).

En periodo de estudio, la Agricultura de Temporal y de Riego Anual presentan una permanencia del 51.1% y 23.3%, perdieron en total 2, 898.63 ha y 2,254.14 ha, a una tasa anual del 1.4% y 4.4%, respectivamente. De igual modo, los Pastizales Inducidos situados al este y sureste del municipio tienen una persistencia del 47.2%. Perdieron 1,077.75 ha y la tasa anual fue de 1.2%, transformándose en Vegetación Secundaria y en Zonas Urbanas, se recuperaron 420.21 ha procedentes principalmente por la Agricultura. Bonfilio *et al.* (2008) mencionan que la Agricultura de Temporal y Riego así como los Pastizales han disminuido considerablemente en toda la región, debido al desinterés que existe por la agricultura (Galacho *et al.*, 2012). Hernández *et al.* (2011:67) refieren que una causa relevante pudiese ser el reemplazo de las actividades económicas, como la turística; ya que algunos hoteles y empresas se han establecido en lugares donde existían parcelas agrícolas y potreros.

En este trabajo se encontró que durante el periodo de estudio la ciudad aumento el doble de su superficie a una tasa anual de del 3.1%, el aporte principal fue hecho por los Bosques templados, la Agricultura y los Pastizales Inducidos. Para 2016, las Zonas Urbanas con Vegetación aumentaron 954.18 ha y los Asentamientos con Agricultura de Riego y Temporal incrementaron 1,515.51 ha y 2,370.33 ha, respectivamente. Galacho *et al.* (2012) refieren que entre 1995-2000 se perdieron los asentamientos rurales, debido a las escasas oportunidades de trabajo. Asimismo, López *et al.* (2011:143) afirman que existe un cambio importante en el uso del suelo, ya que los terrenos se han transformado parcialmente en Asentamientos con cultivos y Zonas Residenciales. Este proceso de expansión se encuentra relacionado con el auge que ha tomado el municipio como destino residencial y turístico (Hernández *et al.*, 2011:67; Cárcamo *et al.*, 2013:111). Deverdun *et al.* (2016:44) encuentra que la expansión urbana presenta una dinámica superior a la demográfica por el enfoque turístico y recreativo del municipio y mencionan que entre los años de 1990 y 2010 la población creció a una tasa promedio de 1.7% y las viviendas lo hicieron al 2.8% (Tabla 2).

Tabla 2. Superficie total de USyV y parámetros de cambio entre 1994 y 2016.

Uso de suelo y Vegetación	Superficie total 1994 ha (%)	Superficie total 2016 ha (%)	Persistencia (%)	Tasa anual (%)	Cambio Total Neto (ha)
Bosque Templados	23055.2 (57.6)	22483.7 (56.2)	85.0	-0.1	-571.7
Vegetación Secundaria	3437.01 (8.6)	2592.9 (6.5)	25.5	-1.3	-844.1
Pastizales Inducidos	2040.9 (5.1)	1539.8 (3.8)	47.2	-1.2	-501.2
Agricultura de riego	2938.3 (7.3)	1104.4 (2.8)	23.3	-4.4	-1833,9
Agricultura temporal	5925.6 (14.8)	4350.3 (10.9)	51.1	-1.4	-1575.4
Selva Baja Caducifolia	84.3 (0.2)	47.7 (0.1)	18.3	-2.0	-36.6
Cuerpos de Agua	1743.5 (4.4)	1879.1 (4.7)	99.5	0.3	135.6
Zonas Urbanas	530.5 (1.3)	1043.3 (2.6)	96.5	3.1	512.8
Vegetación de zonas urbanas	127.7 (0.3)	127.7 (0.4)	100.0	0	23.3
Asentamientos Humanos	148.9 (0.4)	0	0	-100	844.1
Zonas Urbanas con Vegetación	0	954.2 (2.4)	-	-	954.2
Asentamientos con agricultura de riego	0	1515.5 (3.8)	-	-	1515.5
Asentamientos con agricultura temporal	0	2370.3 (5.9)	-	-	2370.3

Entre los años de 1994 a 2016 el cambio total de uso del suelo representó el 30.99% del territorio municipal, que expresado en superficie equivale a 12,407 ha; lo que

significa que en términos de persistencia equivalen al 69.01% (ver Figura 4). Si bien los cambios son significativos, sucedieron en áreas ya transformadas en la parte este, noroeste y centro. Se reporta que en la cuenca de Valle de Bravo las interacciones entre las coberturas del suelo ocurren en sitios transformados o en áreas de aprovechamiento debido al abandono de tierras (Vega y Márquez, 2007). Particularmente, Bonfilio *et al.* (2009:40) refieren que entre los años de 1992-2002 el cambio total para el Estado de México fue de 6.7% con una persistencia del 93.3%; valores que contrastan de forma importante y en un periodo más breve a los reportados en este trabajo para el caso del Municipio de Valle de Bravo.

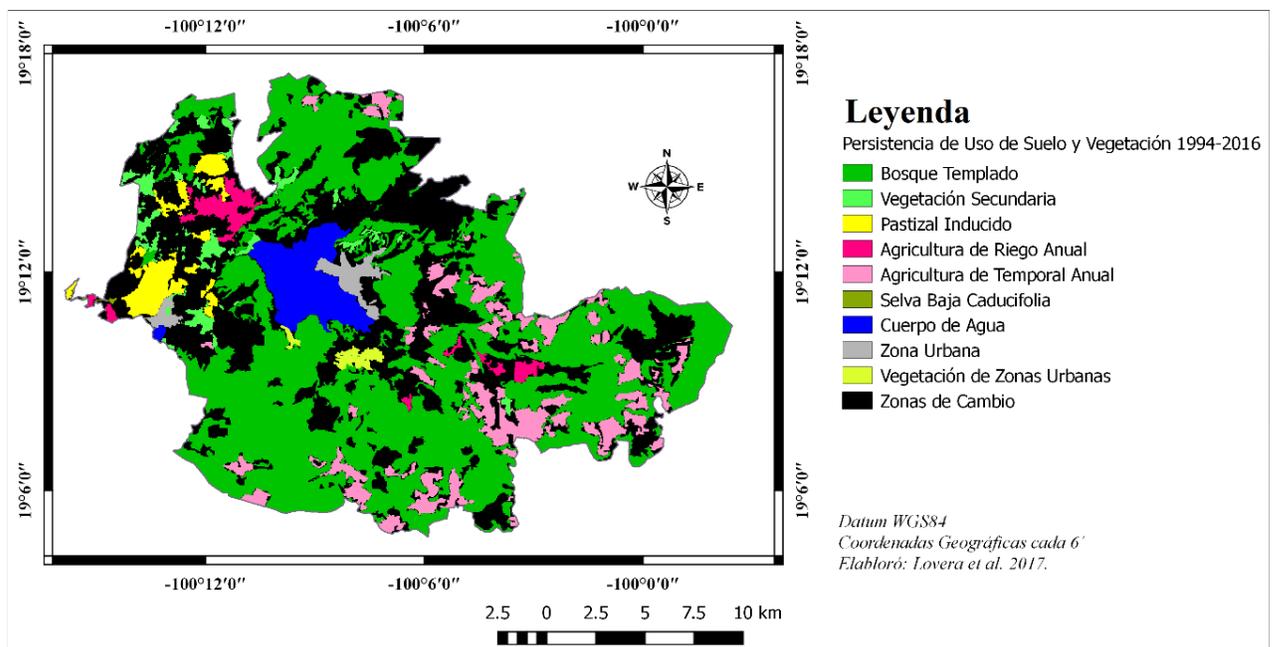


FIGURA 4. Persistencia de los uso de suelo y vegetación para el Municipio de Valle de Bravo entre 1994-2016.

En resumen, en el municipio predomina la superficie forestal, lo cual tiene múltiples beneficios ambientales y económicos relevantes. No obstante las zonas boscosas que rodean a las ciudades se encuentran amenazadas, debido a la permanente posibilidad de convertirse en zonas urbanas (Rentería *et al.*, 2006:111).

Turismo de naturaleza

La muestra fue estrictamente nacional y las personas encuestadas provenían de 11 estados de México. Tan solo 28% de las 118 personas entrevistadas habían visitado previamente el área. Se encontró que el medio de transporte mayormente empleado para llegar fue auto propio (78%). El 33% de los encuestados contaban con licenciatura y 13% con posgrado, lo cual hace de ellos una población que les permite percibir y comprender la complejidad del sistema ambiental regional. Al preguntarles al total de encuestados qué clase de cambios han notado en el municipio, el 17% respondió que se encuentra más urbanizado y 9% que existe menos vegetación. Asimismo, 11% creen que estos cambios favorecen el transporte al estar más urbanizado el municipio, además de haber una mayor seguridad, este tipo de respuestas no mostraron diferencias con variables de edad o el nivel educativo; la explicación puede residir en la percepción del municipio por los visitantes con mayor riqueza y empleo (Mantecón, 2012:257). No obstante, en los últimos años la naturaleza se ha convertido en componentes importantes en la nueva demanda turística (Ballesteros, 2014:48). Se reporta que el 60% de los turistas se sienten atraídos para contemplar las áreas naturales de Valle de Bravo. Lo cual coincide con las respuestas obtenidas en este trabajo, ya que los sitios preferentes fueron la cascada Velo de novia, la presa, el centro municipal y el mirador La peña (Figura 5).

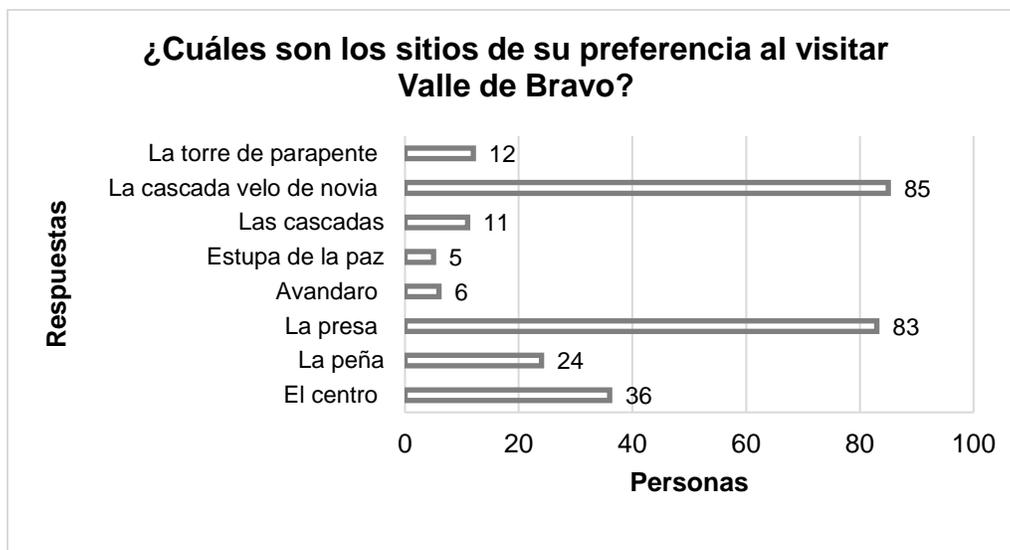


FIGURA 5. Sitios que los turistas prefieren visitar.

Así, las características naturales que más atraen a los visitantes son el bosque, las cascadas, el clima, el propio territorio, así como su arquitectura patrimonial (Figura 6). Estos datos se corroboran con las encuestas realizadas por Hernández *et al.* (2011:71) donde indica que el 100% de las turistas entrevistados son atraídas por el paisaje del lugar. Se refiere que un visitante que frecuenta un parque natural o un destino turístico rodeado de naturaleza podría desarrollar una profunda apreciación por la naturaleza e inclusive un alto nivel de compromiso con el medio ambiente adquiriendo un comportamiento ecológico (Yanju y Jinyang, 2008:400).

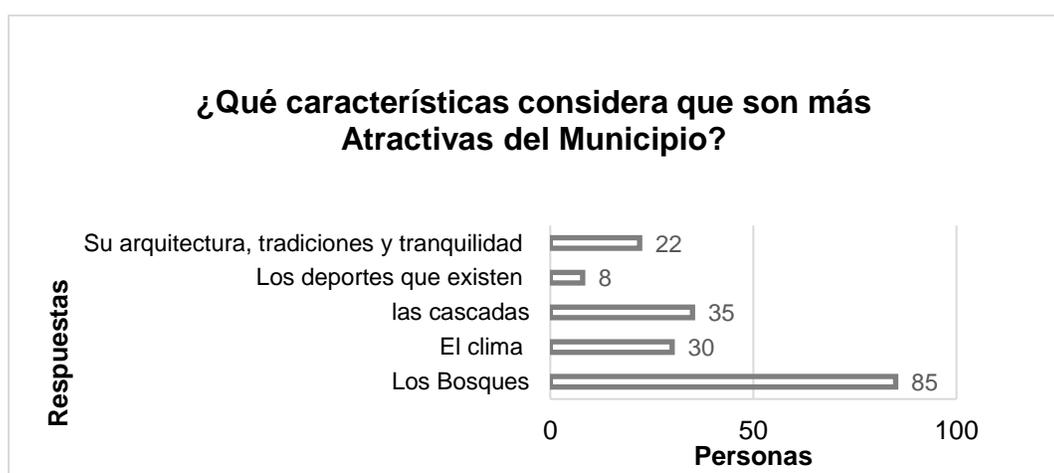


FIGURA 6. Sitios de mayor atracción para los turistas.

Bajo la percepción de que las actividades deportivas son un atractivo de los destinos turísticos de naturaleza (Ballesteros, 2014:38), al preguntar a los turistas que actividades causan un menor impacto para los paisajes y territorio, en contraste a la urbanización, refieren que las caminatas, vuelo en parapente, paseo a caballo, la tirolesa y los paseos en yate o lancha (Figura 7).

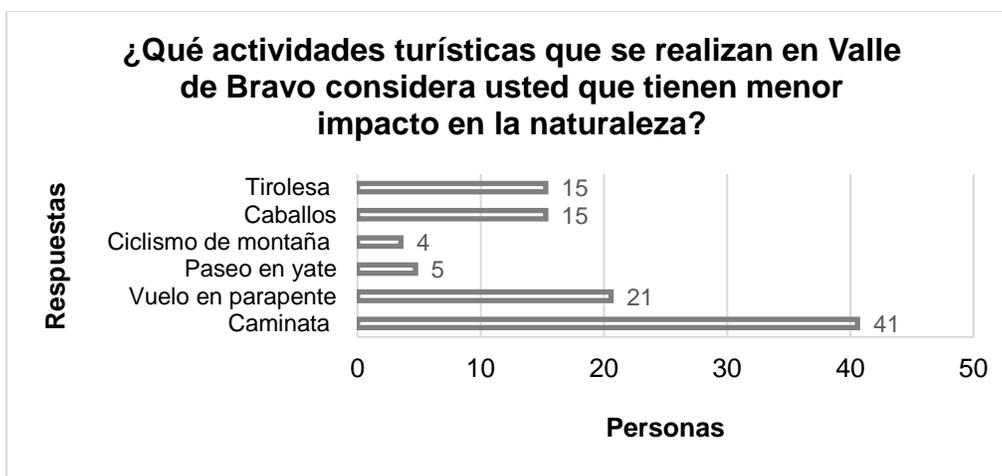


FIGURA 7. Actividades que causan un menor impacto a la naturaleza.

Aptitud para Turismo de Naturaleza

Conforme a los criterios de ponderación, los turistas definieron que en 1994 y 2016 casi la mitad el territorio presentaba una aptitud media para el turismo de naturaleza; para 2016 las áreas con una aptitud alta y media disminuyó y aumentaron las que tenían una baja aptitud. Si los cambios en el USyV pueden influir en la provisión de los SE de recreación y turismo de naturaleza, en consecuencia las transformaciones territoriales urbanas en Valle de Bravo conducen a una nula y baja aptitud (Figura 8).

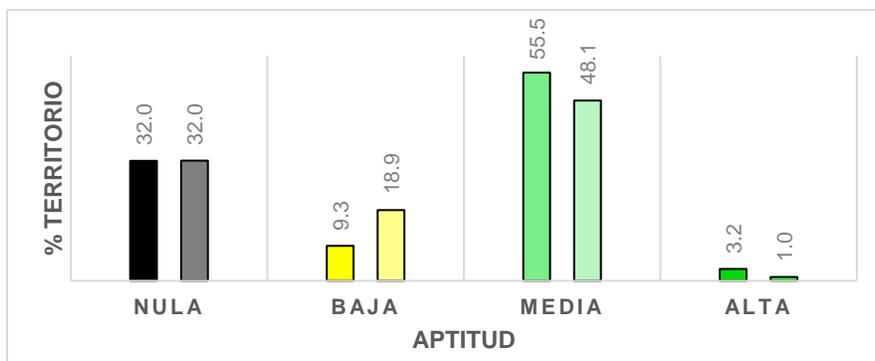


FIGURA 8. Aptitud para el turismo de naturaleza de los años 1994 y 2016

En 1994, los pastizales y cultivos presentaron una nula aptitud, algunas de estas se convirtieron en asentamientos o zonas residenciales con cultivos en 2016. Asimismo, en 1994 la baja aptitud pertenecía a zonas urbanas, vegetación secundaria y zonas donde el bosque se encontraba rodeado de cultivos o era difícil acceder caminando. Ya en 2016, debido a procesos de urbanización local la baja aptitud aumento, por consiguiente las áreas que presentaban una aptitud media y alta disminuyeron. Las áreas con media y alta aptitud para TN son bosques templados y algunos sitios de la ciudad donde se puede disfrutar de la naturaleza y el paisaje local; sin embargo, estas áreas con alta aptitud, son las que han sufrido las mayores transformaciones, que en 1994 eran bosques templados que rodeaban la presa (Figura 8); mientras que en 2016 se registra sólo al Parque Ecológico Velo de Novia y el Parque Estatal Monte Alto con alta aptitud (Figura 9).

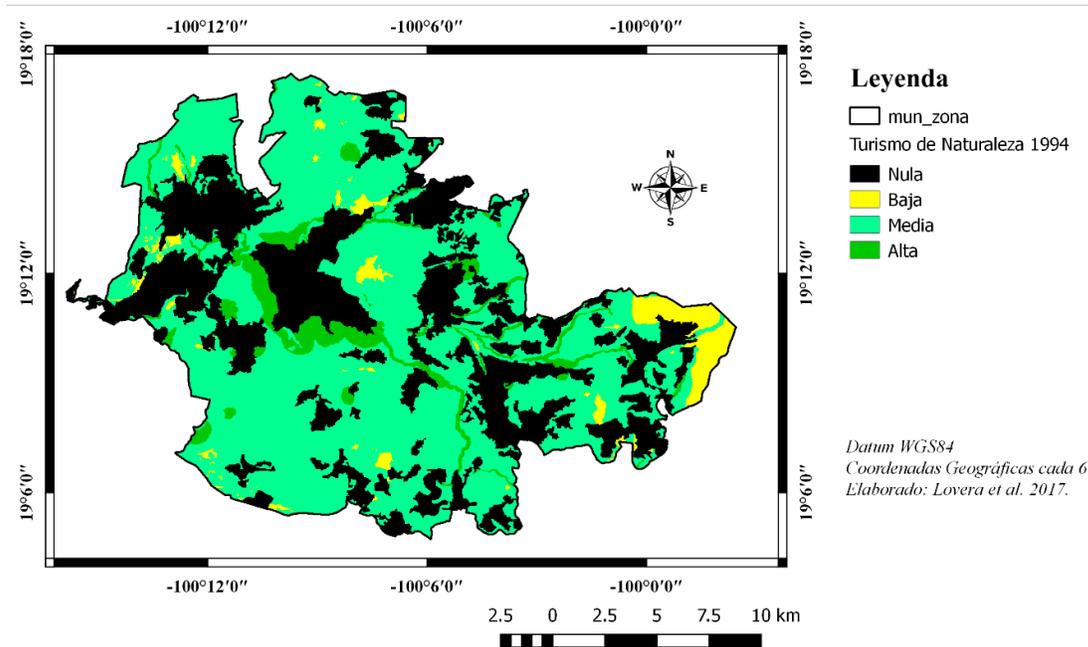


FIGURA 8. Aptitud para el turismo de naturaleza en el año de 1994 en el municipio de Valle de Bravo

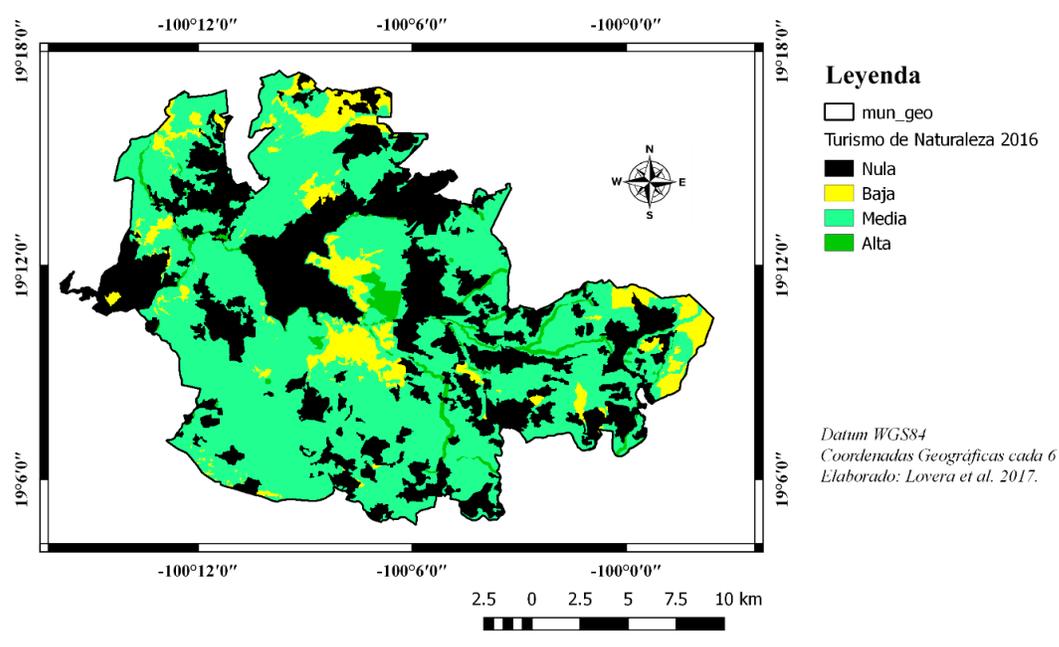


FIGURA 9. Aptitud para el turismo de naturaleza en el año de 1994 en el municipio de Valle de Bravo

Una estrategia aplicada frecuentemente para lograr un turismo de naturaleza sustentable es la creación de ANP (Segrado, *et al.*, 2013:7), la cual se ha implementado en la última década en el municipio, particularmente con el decreto del Parque Estatal de Monte Alto en 2013 y la incorporación del municipio al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) en 2016. Otras estrategias previas fueron el reconocimiento del municipio como Pueblo Mágico en 2005 y la construcción de la Gran Stupa Bön cerca de los Álamos y la Stupa de la Paz Mundial en Avandaro, en años 2004 y 2005.

Las ANP parecieran ser una estrategia efectiva para conservar la biodiversidad; sin embargo, en el contexto internacional éstas han excedido la inclusión y participación de los organismos gubernamentales encargados de su manejo (Broadbent *et al.*, 2012:733). Del mismo modo, las ANP se observan aisladas en el contexto regional respecto a las dinámicas de cambio de USyV a su alrededor (Palomo *et al.*, 2013); factores que amenazan su propia conservación a largo plazo.

El decreto de ANP en el municipio ha disminuido la aptitud para el TN, ya que este tipo de programas solo se han centrado en la conservación y cuidado de ciertas áreas dejando al conjunto del bosque de los alrededores desprotegido. Sierra *et al.* (2011:239) refieren que Valle de Bravo ha sido objeto de una serie de decretos que los hacen poseedores de categoría de ANP; sin embargo, al mismo tiempo, a la población se le resta poder y control sobre sus recursos naturales, quedando bajo el resguardo de instituciones estatales, federales o privadas. Es importante entender que la permanencia de ANP, depende en gran medida del consenso y la colaboración de la población (Toledo, 2005:75).

Respecto a las políticas, programas y acciones realizadas por el Estado en el municipio, éstas se han orientado hacia la transformación del territorio, con un enfoque dirigido a el desarrollo del turismo residencial (Deberun 2016:48), lo cual ha acelerado los procesos regionales de metropolización y acentuado la centralización económica (Sierra *et al.*, 2012:266). Lo anterior, ha propiciado una

desigualdad socioeconómica, cultural regional y local entre la población (López *et al.*, 2015:115).

En la actualidad, parte importante de los ingresos económicos locales dependen del turismo (Hernández *et al.*, 2011; Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo, 2013 :107); sin embargo, la mayoría de los servicios turísticos se ofrecen por la iniciativa privada con un enfoque exclusivamente comercial, sin ser orientados hacia la conservación de los recursos naturales y el patrimonio cultural regional; dejando de lado los diversos niveles de organización y cohesión social de las comunidades (Hernández *et al.*, 2011).

Un ejemplo de lo anterior, sucede en la Cascada El Molino, en donde con anterioridad los mazahuas podían vender sus productos y los turistas disfrutaban de la naturaleza. En la actualidad, esta área se encuentra cercada y casi oculta; sólo es posible acceder caminando o mediante el ingreso al Hotel Castillo de propiedad privada. Asimismo, se observan tendencias de nuevas construcciones habitacionales que no corresponden con la tipología arquitectónica vernácula local. Las consecuencias de este cambio urbano son múltiples y no están exentas de conflictos sociales, ya que las inversiones públicas y privadas para el mejoramiento de la infraestructura preferentemente se orientan hacia las zonas turísticas, descuidando la habitabilidad regional y excluyendo las posibilidades de mejora de los niveles de calidad de vida de la población local (Zamudio, 2013). La apertura y consolidación de oportunidades de desarrollo social y económico del municipio forzosamente deben incluir nuevas trayectorias y modalidades de turismo: rural, de aventura y residencial, las cuales debe estar basado en la cuantificación del potencial de sus atributos bióticos y abióticos para sustentar algún tipo de actividad turística (Pérez *et al.*, 2014).

Conforme a lo anterior, implica diversas prácticas de valoración ambiental in situ, así como el reconocimiento del patrimonio cultural de las comunidades y su interacción con las mismas. Por lo tanto, este tipo de turismo, relativamente más

consciente e integrado, ofrece posibilidades de generar beneficios económicos y sociales, principalmente en el nivel local, como una condición indispensable para encaminarse al uso racional y sustentable de sus recursos naturales (Palomino *et al.*, 2016).

CONCLUSIÓN

Se observa que el turismo residencial de 1994 a 2016, como actividad económica regional primordial ha segregado socio demográficamente a la población local y acelerado el crecimiento de las zonas urbanas.

Los cambios de uso de suelo paulatinamente disminuyen la aptitud del municipio para el TN, ya que entre 1994 y 2016 la mayor parte del territorio presentó una aptitud media. No obstante, para el año 2016 la alta y media aptitud para el TN se redujeron en un 2.1% y 7.4%, respectivamente; por ende la baja aptitud aumento un 9.5%. Si bien, 56.2% de la superficie municipal aún se encuentra cubierta por bosques templados, las zonas urbanas han aumentado el doble, esta expansión potencialmente disminuye la aptitud del territorio para el propio TN.

A partir de los resultados se considera que Valle de Bravo aún tiene una gran cantidad de recursos naturales e importantes bienes y servicios ecosistémicos que pueden ayudar a impulsar el TN. Sin embargo es necesario delinear trayectorias de sustentabilidad regional conforme a criterios de planeación territorial que se respalden en una gestión participativa. Para ello es indispensable llevar a cabo futuros estudios que analicen a detalle la aptitud de cada una de las actividades y prácticas turísticas, bajo el marco de una gobernanza adaptativa de los recursos y bienes comunes.

BIBLIOGRAFÍA

Atik, M., Altan, T y Artar, M.

2010. "Land Use Changes in Relation to Coastal Tourism Developments in Turkish Mediterranean", Polish J. of Environ. Stud, 19(1), 21-33.
<http://www.pjoes.com/pdf/19.1/21-33.pdf>: 15/Enero/2016.

Ayuntamiento Constitucional de Valle de Bravo ^B.

2013. Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015
Valle de Bravo. Gobierno de Valle de Bravo.
<https://es.scribd.com/document/254757959/Plan-de-Desarrollo-Municipal-2013-2015-Valle-de-Bravo>: 10 /Agosto /2016.

Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo ^A.

2013. Diagnostico en materia de turismo Valle de Bravo. Gobierno de Valle de Bravo.
<http://www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/367949.web;jsessionid=1C5435B41FEEBE14FFC6A1FAD23B86F8:25/Marzo/2016>.

Ayuntamiento Constitucional Valle de Bravo.

2016. Plan de Desarrollo Municipal de Valle de Bravo 2016-2018. Gobierno de Valle de Bravo.
<http://www.valledebravo.gob.mx/wp-content/uploads/2016/04/PDMVB-2016-2018-PUBLICADO-FINALa.pdf>:
18/Mayo/2016.

Ayuntamiento de Valle de Bravo.

2006. Plan Municipal de rrollo Urbano de Valle de Bravo Julio de 2006. Gobierno del Estado.
http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/valle_de_bravo/PMDUVa lleBravo.pdf : 10/Abril/2017.

Ballesteros, A.

2014. "El turismo de naturaleza en espacios naturales. El caso del Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar", Cuadernos de Turismo, 34, 33-51.

- Bonfil, H. y Madrid, L.
2006. "El pago de servicios ambientales en la cuenca de Amanalco-Valle de Bravo". *Gaceta Ecológica*, 80, 63-79.
- Bonfilio, N., Pineda, J., Bosque, J., Gómez, M y Plata, W.
2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 69, 33-52.
- Broadbent, E., Almeyda, A., Dirzo, R., Durham, W., Driscoll, L., Gallagher, P.,... Randolph, S.
2012. "The effect of land use change and ecotourism on biodiversity: a case study of Manuel Antonio, Costa Rica, from 1985 to 2008", *Landscape Ecol*, 27, 731–744, doi: 10.1007/s10980-012-9722-7.
- Cárcamo, M.L., Ruíz, A y León, M. M.
2013. "La acción colectiva para frenar el deterioro forestal de Monte Alto, Valle de Bravo, México". *Cadernos PROLAM/USP*, 1, 104-128, doi: 10.11606.
- Chuvienco, E.
2002. *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio*. Madrid: Ariel.
- Chuvienco, E., Riaño, D., Aguado, I., Cocero, D.
2002. "Estimation of fuel moisture content International", *Journal of Remote Sensing*, 23, 2145- 2162
- CONABIO.
2008. Caso Valle de Bravo: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/localizacion_valle.html: 6/Febrero/2017.
- Cook, E.M., Hall, S.J., Larson, K.L.
2012. Residential landscapes as socio-ecological systems: a synthesis of multi-scalar interactios between people and their home environment. *Urban Ecosystems*, 15, 19-52. doi: [10.1007/s11252-011-0197-0](https://doi.org/10.1007/s11252-011-0197-0).

Dandapath, P & Mondal, M.

2013. "Urbanization and its Impact on Coastal Eco Tourism in West Bengal".
International Journal of Science and Research. 2, 114-119.
<https://www.ijsr.net/archive/v2i1/IJSROFF130201012.pdf>: 2/Febrero/ 2017.

De Esteban, J y Curiel, A.

2010. "El ecoturismo como modelo internacional de desarrollo sostenible del turismo cultural",
Teoría y Praxis, 8, 43-53.
<http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx/doctos/Numero8/Esteban-Antonovica.pdf>:
15/Enero/2017.

Deverdun, M., García, M y Cenecorta, I.

2016. "El Turismo Residencial en Valle de Bravo, México. Una Interpretación de su Ciclo de Vida", *Investigaciones Turísticas*, 11, 30-51.

EarthExplorer

2016. USGS science for a changing world. de EarthExplorer.
<https://earthexplorer.usgs.gov/> : 9/Enero/2016.

Eastman, J. R.

2012. IDRISI Selva Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes.

Escolero, O., Martínez, S., Kralisch, S y Perevochtchikova, M.

2009. "Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático". Centro virtual de cambio climático: 1-169. En línea: http://www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/sis_admin/archivos/agua_escolero_inffinal_org.pdf: 8/ Febrero/2017.

FAO.

2007. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO.
<http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.htm>: 12/Noviembre/2015.

Galacho, F., Arrebola, J., Sepúlveda, R., Gómez, M., Luque, A., Rubio, L.,...Campos, A.

2012. "Una experiencia de cooperación para la definición de estrategias de cara a la puesta en marcha de proyectos de ecoturismo en la cuenca de Valle de

Bravo - Amanalco (Estado de México). Cooperación y turismo: intenciones y olvidos”, Experiencias de investigación a debate, 1, 397-2012.

Hernández, G., Martínez, C., Martínez, J y Millán, G.

2000. Comunicación y apoyo al saneamiento de la cuenca de Valle de Bravo, *Anuario*, pp. 8.

Hernández, N., Zizumbo, L y Vargas, E.

2011. Prácticas ambientales de las empresas turísticas de Valle de Bravo. *Medellín*, 14(3), 65-78.

INEGI.

1994. Fotografías aéreas, escala 1:75,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://www.inegi.org.mx/>

INEGI.

1998. **Conjunto de datos vectoriales de la carta Topográfica. Escala 1:50 000. Valle de Bravo.** <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825635749:18/Octubre/2016>.

INEGI.

2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15110.pdf : 3/ Marzo/2016.

INEGI.

2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Valle de Bravo, México. Clave Geoestadística 15110.

INEGI.

2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000. INEGI. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usuarios/doc/guia_interusuarios.pdf: 19/Mayo/2015.

INEGI.

2015. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. E14A46 (Valle de Bravo). <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825268770:18> /Octubre/2016.

Karez, C.

2012. "Turismo sustentable en Bañados del Este (Uruguay)", *Caderno Virtual de Turismo – Rio de Janeiro*, 12(2), 185-197.

López, L.

2015. "Valle de Bravo, Estado de México. Del paisaje simbólico al emblema comercial". López, L., Valverde, C., Fernández, A y Figueroa, M. (2015) *Pueblos mágicos Una visión interdisciplinaria*, 463. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Facultad de Arquitectura.

López, Y., Tejero, D., Torres, A y Luna, I.

2011. "Flora del Bosque Mesófilo de Montaña y Vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México", *Bol.Soc.Bot.Méx*, 88, 35-53.

Mantecón, A.

2012. "El nexa entre urbanización y turismo. Análisis de la opinión pública". *Papers*, 97(1), 249-272.

Mikery, M y Pérez, A.

2014. "Métodos para el análisis del potencial turístico del territorio rural", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 1729-1740.

Nahuelhual, L., Carmona, A., Aguayo, M & Echeverria. C.

2014. "Land use change and ecosystem services provision: a case study of recreation and ecotourism opportunities in southern Chile". *Landscape Ecol*, 29, 329-344, doi: 10.1007/s10980-013-9958-x.

Nogué, J. y Vela, J.

2011. "La dimensión comunicativa del paisaje. Una propuesta teórica y aplicada". *Revista de Geografía Norte Grande*, 49, 25-43.

Ortiz, C y Arévalo, G.

2014. "Beneficio económico y turismo ecosistémico. El caso de las termales en Michoacán, México. Economía, Población y Desarrollo", *Cuadernos de Trabajo de la UACJ*, 20, 3-18.

Palomino, B., Gasca, J. y López, G.

2016. "El turismo comunitario en la Sierra Norte de Oaxaca: perspectiva desde las instituciones y la gobernanza en territorios indígenas". *El Periplo Sustentable*, (30)6-37.

Palomo, I., Martín, B., Zorrilla, P., García, D & Montes, C.

2013. Deliberative mapping of ecosystem services within and around Don ñana National Park (SW Spain) in relation to land use chang. *Reg Environ Change*, doi: 10.1007/s10113-013-0488-5.

Pérez, M. Pérez., M., Valdez, R.

2011. "Métodos para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales". *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 271-289, doi:10.5154/r.rchscfa.2011.03.022.

Pérez, M., González, M., Valdez, R., De los Santos, H y Ángeles, G.

2014. "Aptitud ecoturística en la sierra nevada de Texcoco, Estado de México". *Madera y Bosques*, 20(2), 127-140.

Petroman, I., Petroman, C., Marin, D., Ciolac, R., Văduva, L & Pandur, Ioana.

2013. Types of Cultural Tourism. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, 46(1), 385-388.
<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/viewFile/72/112>: 16/Enero/2017.

PROBOSQUE.

2010. Principales programas forestales de la Administración Estatal. Inventario Forestal. <http://probosque.edomex.gob.mx/images/Inventario-forestal/InventarioFtal2010Parte2.pdf>: 9/febrero/ 2017.

Rentería, D., Cota, R y Ortega, E.

2005. Descripción del Medio Natural de la Cuenca Valle de Bravo, Estado de México. Plan para La Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de La

Cuenca Valle De Bravo, Estado de México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Comision Nacional del Agua (CONAGUA)- Instituto Mexicano De Tecnología Del Agua (IMTA)*: 4-50.

Saaty, T.

1980. *The Analytic Hierarchy Pocess*. Ed. McGrawHill.

SECTUR.

2006. *El Turismo de Naturaleza: Retos y Oportunidades*. Secretaría de Turismo Sitio web: <https://manuelmiroglio.files.wordpress.com/2011/05/el-turismo-de-naturaleza-en-mexico.pdf> : 9/Febrero/2017.

Segrado, R., Serrano, Barquín, R., Mínguez, C, Jiménez, G y Juan, J.

2013. “Estrategias de control de impactos turísticos en las Áreas Naturales Protegidas y Zonas Arqueológicas de Quintana Roo”, Méxic. *Cultura*, 03, 5-30. https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-49915/2013_Romano%20y%20Carmen_Quintanta%20Roo.pdf : 25/Enero/2017.

Sierra, N., Zizumbo, L., Romero, T y Monterroso, N.

2011. Ordenamiento Territorial, turismo y ambiente en Valle de Bravo, México. *Cuadernos Geográficos*, (48), 233-25.

Sierra,N., Romero, T y Zizumbo, L.

2012. “Desarrollo regional, electrificación y reorganización socioespacial en Valle de Bravo, México”. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 7(13), 243-269.

Toledo, V.

2005. “Repensar la conservación: ¿Áreas Naturales Protegidas o Estrategia bioregional? ”. *Gaceta Ecológica*, 77, 67-83.

Vega, E y Márquez, R.

2007. “Evaluación indirecta del disturbio mediante la combinación de estrategias de modelaje: un ejemplo con la cuenca de Valle de bravo, Estado de México”. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/395/vega_marquez.html : 9/Febrero/2017.

Wang, J & Liu, Y.

2013. "Tourism-Led Land-Use Changes and their environmental Effects in the Southern Coastal Region of Hainan Island, China", *Journal of Coastal Research*, 29(5), 1118-1125, doi: 10.2112/JCOASTRES-D-12-00039.

Yanju, L & Jinyang, D.

2008. "The New Environmental Paradigm and Nature-Based Tourism Motivation". *Journal of Travel Research*, 46, 392-402, doi: 10.1177/0047287507308331.

Zamudio, Laura.

2013. "Arquitectura y Turismo. La arquitectura como reclamo turístico". *Urbano*, 16(28), 58-67.

Zizumbo, L., Bernal, E y Romero, T.

2013. Proceso de modernización y desarrollo turístico en Valle de Bravo, *Ateliê Geográfico - Goiânia-GO*, 7(2), 27-43.

Constancias de las Actividades Realizadas Durante el Proyecto



Ciudad de México a 26 de Julio de 2016

Biól. Hugo Eladio Anguiano González
Subdirector del Área de Protección de
Recursos Naturales Cuenca de los Ríos Valle de Bravo,
Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, Estado de México.

PRESENTE:

Por este medio me permito informarle que estoy cursando la Maestría en Ecología Aplicada en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco y para mi titulación realizo el proyecto "Evaluación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y turismo de naturaleza a partir de un análisis del paisaje en el Municipio de Valle de Bravo, Estado de México". Para el cual tengo que realizar algunas encuestas y entrevistas a las personas que viven y visitan este Municipio a fin de conocer cuál es el valor que dan a los servicios de regulación hídrica y turismo de naturaleza.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


Biól. Vianney Lovera Pons
hechoenindonesia@hotmail.com





Sistemas
Integrales de
Conservación A.C.
Educar para conservar



Convenio UAM Xochimilco-SIC ac 2013-2017

SIC A.C. otorga la presente **CONSTANCIA**

a: **Vianney Lovera Pons**

Por asistir curso “Instrumentos para Investigación del Desarrollo
Sustentable”, del 13 al 15 de junio de 2016, con una duración de **15 horas**.

Dra. **Reyna Osuna**
Presidenta de SIC, C.

Dra. **Leonor Medoza Vargas**
Profesora del curso

Dra. **Santa Rodríguez Lorenzo**
Profesora del curso



México D. F. a 24 de enero de 2017.

Biól. Vianney Lovera Pons.

P R E S E N T E

Por este medio agradecemos a la Bióloga Vianney Lovera Pons por haber impartido la conferencia intitulada "Evaluación del servicio de rendimiento hídrico a partir de un análisis del paisaje en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México", al grupo de Biodiversidad y Recursos Naturales de la Licenciatura en Biología (I-2017) el día 23 de enero del presente año.

Dicha conferencia formó parte del tema de Recursos Naturales de la unidad de enseñanza aprendizaje antes mencionada, la cual fue llevada a cabo con gran entusiasmo y profesionalismo.

La posibilidad de mostrar a los alumnos casos de aplicación concretos de la Ecología como el expuesto en dicha plática, seguramente ampliará el abanico de posibilidades para su formación profesional.

Reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E



Dra. Ma. Judith Castellanos Moguel
Coordinadora de la Licenciatura
en Biología.
Depto. El Hombre y su Ambiente



M. en C. Iván E. Roldán Aragón.
Prof. de la unidad de enseñanza-
aprendizaje
Biodiversidad y Recursos Naturales.
Depto. El Hombre y su Ambiente.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Departamento El Hombre y su Ambiente

OTORGAN LA PRESENTE CONSTANCIA

A: Lovera Pons Vianney; Roldán Aragón Iván Ernesto; Sánchez Robles Jesús
y Torres Lima Pablo Alberto.

Por su participación en la presentación del cartel científico "Evaluación del
Servicio de Rendimiento a partir de un análisis del paisaje en el Municipio de

Valle de Bravo, Estado de México" en el

Encuentro Académico Día del Biólogo 2017 .

Celebrado en la Ciudad de México, 25 de enero de 2017



Mtro. Rafael Díaz García

Director de la División de CBS



M. en SIG. Gilberto Sven Binnquist Cervantes
Jefe del Departamento El Hombre y su Ambiente



Dra. Judith Castellanos Moguel

Coordinadora de la Licenciatura en Biología



Dra. Leonor Mendoza Vargas

Coordinadora del Evento





Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

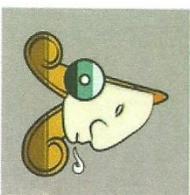
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD **UNIDAD XOCHIMILCO**
 DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE

Se otorga la presente

CONSTANCIA

A: Vianney Lovera Pons

Como organizadora del evento



DRA. PATRICIA EMILIA ALFARO MOTEZUMA

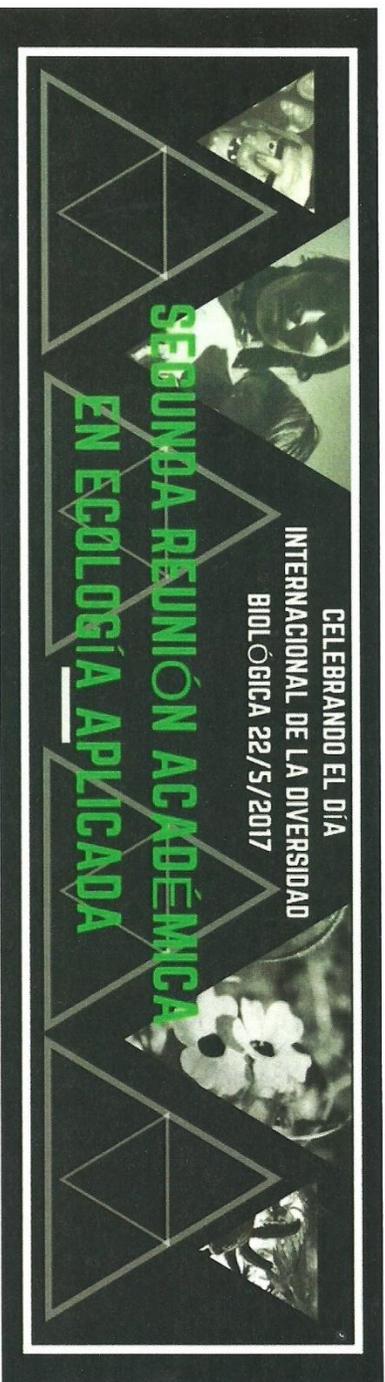
Rectora de la Unidad



"HAY UN LIBRO ABIERTO SIEMPRE PARA TODOS LOS OJOS:
 LA NATURALEZA" (JEAN JACQUES ROUSSEAU).

DR. LUIS AMADO AVALA PÉREZ

Coordinador de la Maestría
 en Ecología Aplicada



U
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
 DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD **UNIDAD XOCHIMILCO**
 DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE

Se otorga la presente

CONSTANCIA

A: Vianney Lovera Pons, Iván Ernesto Roldán Aragón, Jesús Sánchez

Robles, Pablo Alberto Torres Lima

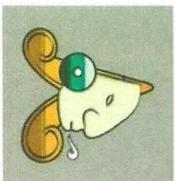
Como autores del Cartel: EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE RENDIMIENTO HÍDRICO A PARTIR DE UN ANÁLISIS DEL PAISAJE EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

M. EN SIG. GILBERTO SVEN SINNOULIST CERVANTES

Jefe del Departamento: El
 Hombre y su Ambiente



"HAY UN LIBRO ABIERTO SIEMPRE PARA TODOS LOS OJOS: LA NATURALEZA" (JEAN JACQUES ROUSSEAU).

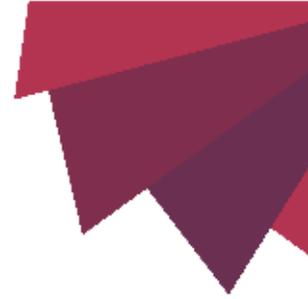


CONABIO



DR. LUIS AMADA AYALA PÉREZ

Coordinador de la Maestría
 en Ecología Aplicada



Se otorga la presente

Constancia

a: **VIANNEY LOVERA PONS**

Por su asistencia al V Congreso Internacional de
Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos,
llevado a cabo del 13 al 16 de noviembre de 2017
en la Ciudad de Oaxaca, México

Dra. María Perevochtchikova

Dra. Patricia Balvanera Levy

En nombre del Comité Organizador del CISEN-V





V CONGRESO INTERNACIONAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LOS NEOTRÓPICOS

Se otorga la presente

Constancia

a: **VIANNEY LOVERA PONS, IVÁN ERNESTO ROLDÁN ARAGÓN, JESÚS
SÁNCHEZ ROBLES & PABLO ALBERTO TORRES LIMA**

Por su contribución con la ponencia titulada
"EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE RENDIMIENTO HÍDRICO A PARTIR DE UN ANÁLISIS DEL
PAISAJE EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO"
presentada como parte de la sesión
"Biodiversidad y servicios ecosistémicos"

Dra. María Perevochtchikova

En nombre del Comité Organizador del CISEN-V

Dra. Patricia Balvanera Levy

Ciudad de Oaxaca, México, del 13 al 16 de noviembre de 2017.





VALLE DE BRAVO
H. AYUNTAMIENTO 2016-2018

Valle de Bravo. Estado de México, 18 de Diciembre de 2017

**Comisión Académica de la Maestría en Ecología Aplicada
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco**

Por medio del presente comunico a ustedes, que la Biól. Vianney Lovera Pons, estudiante de la Maestría en Ecología Aplicada con matrícula 2152800721, como parte del proyecto de tesis titulado "Evaluación de los Servicios Ecosistémicos de Regulación Hídrica y Turismo de Naturaleza a partir de un Análisis del Paisaje en el Municipio de Valle de Bravo, Estado de México" ha presentado satisfactoriamente la presentación "Aptitud del paisaje para turismo de naturaleza y cambios de uso de suelo y vegetación. Estudio comparativo de 1994 y 2016 en Valle de Bravo, estado de México" la cual se llevó a cabo el día 14 de Diciembre del 2017 en la Oficina de turismo del Municipio. En esta estuvieron presentes el Director de Turismo, el Subdirector Turismo, el Subdirector de Ecología y el Coordinador de Pueblos Mágicos.

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarles un cordial saludo.

Atentamente

Lic. Ramiro Hernández Guadarrama
Director de Turismo

DIRECCIÓN
DE TURISMO

DIRECCIÓN DE TURISMO

5 de Febrero #100
Colonia Centro
Valle de Bravo, Estado de México.
C.P. 51200

Tel. 01 726 262 8060

www.valledebravo.gob.mx



/valledebravo



@valledebravo



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

ALFREDO PÉREZ MORALES, Director de la Revista Papeles de Geografía de la Universidad de Murcia, hace constar que el trabajo con los siguientes detalles:

- Título: "Evaluación del servicio ecosistémico de rendimiento hídrico entre los años de 1994 y 2016 en el municipio de Valle de Bravo, estado de México"
- Autoría: Vianney Lovera Pons, Iván Ernesto Roldán Aragón, Jesús Sánchez Robles, Pablo Torres Lima
- URL: <http://revistas.um.es/geografia/article/view/322931>

ha sido publicado provisionalmente en el número 64 (2018) de dicha publicación científica.

La revista Papeles de Geografía fue fundada en 1968 y tiene una periodicidad anual. Está evaluada en las siguientes bases de datos: CARHUS Plus+ 2014 grupo C; Directory of Open Access Journals (DOAJ); ERIHPlus; LATINDEX (Catálogo) e indizada en IBZ Online, CAB Abstracts, Veterinary Science Database, DOAJ, DIALNET.

Papeles de Geografía está también disponible en online a través de la siguiente dirección: <http://revistas.um.es/geografia>

En Murcia a 20 de Junio de 2018

Fdo.:
Director de Papeles de Geografía

Papeles de Geografía
Universidad de Murcia

Campus Universitario La Merced. 30001 Murcia
T. 868 88 91 41– www.revistas.um.es/geografia

Firmante: ALFREDO PEREZ MORALES. Fecha/hora: 20/06/2018 18:55:18. Emisor del certificado: CN=AC FNMT Usuarios, OU=Ceres, O=FNMT-RCM, C=ES



Código seguro de verificación: RUxFMnY7-aUBrx5pA-cI1/8QHg-5S8XGbuE

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2015, de 2 de octubre. Su autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: <https://sede.um.es/validador/>