

Diagnóstico de la calidad de suelo utilizando información satelital en Teziutlán, Puebla, México

Edgardo Torres Trejo,¹ Gladys Linares Fleites,^{*2} María Guadalupe Tenorio Arvide,² Rosalía del Carmen Castelán Vega,² María de Lourdes Sandoval Solís,³ Ricardo Darío Peña Moreno,⁴ América Libertad Rodríguez Herrera.⁵

RESUMEN

La calidad de suelo es un problema de extraordinaria importancia por las funciones ambientales que éste ofrece, entre las que se encuentran: sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. En este contexto se están ideando nuevas metodologías de investigación y herramientas de búsqueda de información. Los instrumentos de teledetección son útiles en estudios de ecosistemas a gran escala, ya que permiten obtener datos de las condiciones biofísicas de manera más eficaz que las tradicionales mediciones *in situ*. El objetivo de este trabajo es estimar un índice de vegetación a partir de teledetección en dos periodos (noviembre de 1994 y diciembre del 2005) y relacionarlo con la calidad de suelo en la zona de Teziutlán, Puebla, México. Dicho objetivo fue alcanzado con la obtención de una ecuación de regresión logística que facilite diagnosticar la calidad del suelo (calidad dinámica y calidad inherente) desde el número de píxeles creado por el índice de vegetación NDVI, calculado con base en imágenes satelitales de los años antes referidos. Los resultados corroboran el continuo deterioro observado en la zona de estudio, debido en mayor parte a las actividades antropogénicas y destaca la importancia de conocer la calidad de suelo, dado que ella influye en diversas condiciones ambientales, pudiéndose tomar medidas oportunas que redundarían directamente en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Palabras claves: Teledetección, índice de vegetación, NDVI, Landsat TM.

1 Estudiante del doctorado en Ciencias Ambientales, Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, buap.

2 Profesor-investigador Posgrado en Ciencias Ambientales y Departamento en Ciencias Agrícolas, buap.

3 Facultad de Ciencias de la Computación, buap.

4 Centro de Química, buap.

5 Universidad Autónoma de Guerrero.

* 14 Sur 6301, Jardines de San Manuel, Puebla, Puebla, México, CP 72470, tel. (52) 222 2295500, extensión 7355; Fax: extensión 7351. gladys.linares@correo.buap.mx

INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los retos más importantes que enfrenta la ciencia del suelo es desarrollar criterios de calidad de suelo que se utilicen también en una evaluación objetiva de riesgos ambientales (Sims *et al.*, 1997). Debido a la inquietud con respecto a la degradación del suelo y a la necesidad de un manejo sostenible de los agroecosistemas, resurgió la preocupación hacia las variables del suelo (Carter *et al.*, 1997). Aunado a lo anterior, existe la idea del uso del suelo que ha enfatizado su valor y sus propiedades para una función específica. Este enfoque ecológico del suelo reconoce las interacciones suelo-ser humano; de esta forma, la calidad de suelo es inseparable del concepto de sostenibilidad del sistema y su uso (Doran y Parkin, 1994; NRSC, 2001).

La evaluación de la calidad de suelo es una herramienta que sirve para valorar el impacto de las prácticas de manejo utilizadas, y diagnosticar las causas de los problemas en una determinada región, como el caso que nos ocupa.

En este contexto se están ideando nuevas metodologías de investigación y usando herramientas de búsqueda de información. Los instrumentos de teledetección son útiles en estudios de ecosistemas a gran escala, ya que permiten obtenerla de las condiciones biofísicas de manera más eficaz que las tradicionales mediciones *in situ* (Chuvieco, 2002).

La teledetección no es una ciencia que se le podría denominar pura. Es un compendio de ciencias y tecnologías que se han desarrollado a lo largo de los dos últimos siglos, y que han dado lugar a una materia multidisciplinaria basada en el conocimiento de la física y las matemáticas y que se ha desarrollado, principalmente, gracias a los avances tecnológicos en telecomunicación y computación. Sólo la perfecta conjunción de todas ellas da lugar a la teledetección. Ésta se podría definir como la ciencia y/o el arte de adquirir información sin contacto directo entre el captador y el “objetivo”.

El término teledetección es una traducción del inglés “*remote sensing*”, y se refiere no sólo a la captación de datos desde el aire o desde el espacio, sino

también a su posterior tratamiento. En teledetección, la adquisición de información puede realizarse a nivel orbital (satélites), suborbital (aviones) o terrestre (radiómetros portátiles). Las imágenes satelitales y las fotografías aéreas son los productos más difundidos y, en ocasiones, de fácil acceso y gratis.

La interpretación de imágenes obtiene de forma rápida estimaciones de área de la cobertura vegetal y área cultivada y con ello elabora mapas temáticos actualizados y precisos de las diferentes estructuras espaciales resultante del proceso de ocupación y uso del suelo, recursos, hídricos, etcétera.

En las últimas tres décadas, se han utilizados índices de vegetación calculados a partir de imágenes espectrales proporcionados por los sensores remotos de los satélites. (Carvacho y Sánchez, 2010). Estos índices se han desarrollado con la finalidad de conseguir información del estado de la vegetación y sus características. El empleo de índices, calculados de la reflectividad en diferentes bandas, que nos indiquen la abundancia y estado de la vegetación, se basan en el comportamiento reflectivo peculiar de la vegetación (Schmidt y Karnieli, 2001).

Con el fin de impulsar el reconocimiento de la multifuncionalidad de los ecosistemas forestales y agroforestales, el gobierno mexicano ha establecido el compromiso de promover la conservación de las áreas forestales (Challenger, 1998). Por tanto, es de interés estimar algún índice de vegetación a partir de teledetección ambiental en los periodos de noviembre de 1994 y de diciembre del 2005, y relacionarlo con la calidad de suelo en la zona de Teziutlán, Puebla, México.

La zona de Teziutlán, Puebla se encuentra inmersa en la RTP 105: Cuetzalan, definida por la CONABIO como prioritaria para la conservación, y se ubica en las coordenadas extremas 19°46'23" y 20°11'55" de latitud norte y 97°09'17" a 97°38'36" de longitud oeste. Está conformada por 28 municipios, compartidos entre los estados de Veracruz y Puebla, y en ella predominan el bosque mesófilo de montaña, la selva alta perennifolia y las asocia-

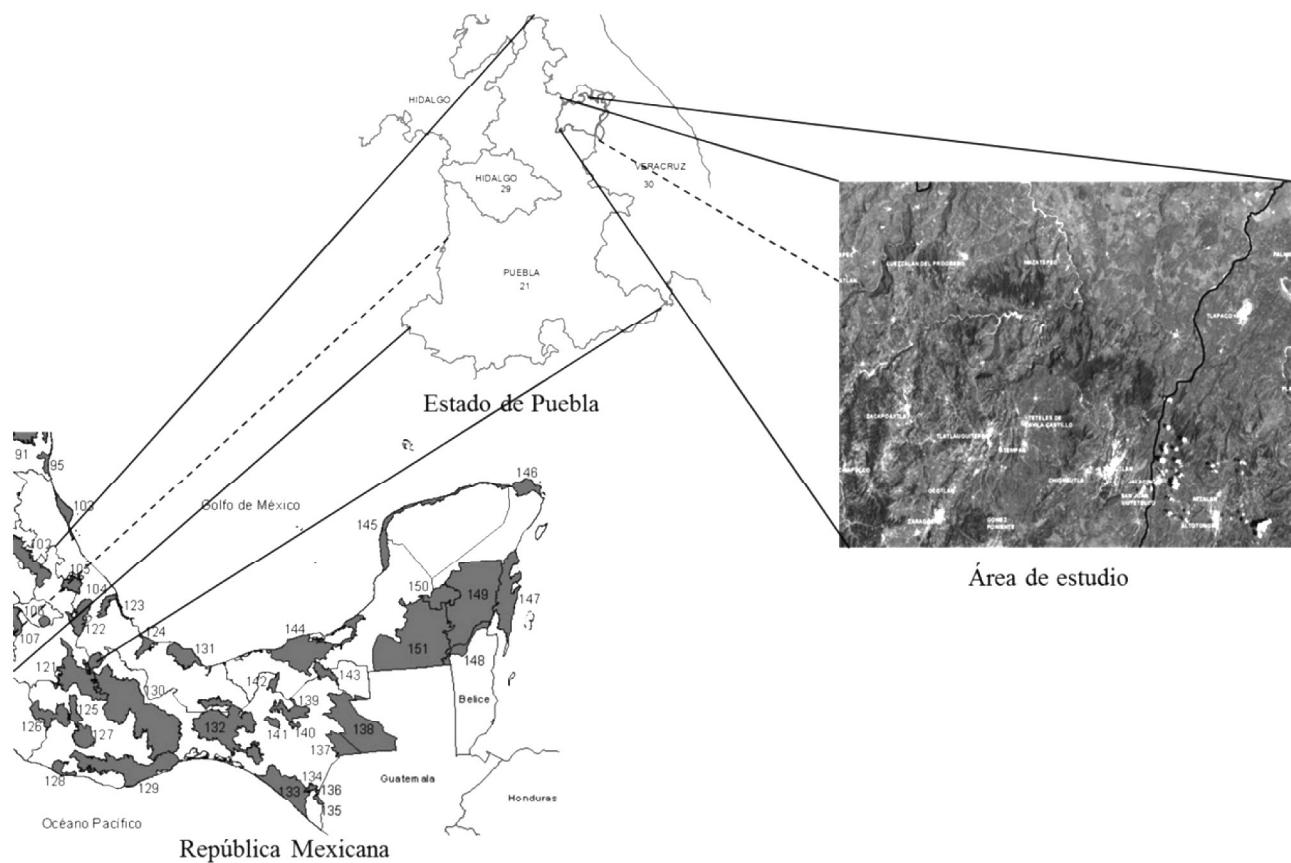


Figura 1. Localización del área de estudio.

ciones de bosques de encino y pino. La figura 1 muestra esta área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

a) Aspectos conceptuales

A continuación se profundiza en los aspectos conceptuales fundamentales que se utilizan para este estudio. Ellos son la calidad del suelo, la teledetección y los índices de vegetación. En cada uno de estos aspectos, se precisa la información ya existente que es utilizada en la obtención de modelos que permiten el diagnóstico de los suelos de la zona.

Calidad de suelo. La calidad de suelo es la “capacidad que tiene un suelo para sostener la productividad biológica dentro de los límites de su ecosistema, permitiendo conservar la calidad ambiental y promoviendo la salud de plantas y animales”. Esta definición fue dada en 1994 por Doran y Parkin, y la misma clasifica la calidad de suelo (cs) en cali-

dad inherente (ci) y calidad dinámica (cd). La ci se conforma con las propiedades innatas del suelo, tales como textura, mineralogía, color, etcétera, mientras que la cd son las propiedades de la ci modificadas por las actividades antropogénicas (Natural Resources Conservation Service (NRSC), 2001).

Teledetección. Una definición formal de teledetección, la describe como la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación proveniente del sol (teledetección pasiva) o del propio sensor (teledetección activa).

Los términos plataformas, sensores y canales deben ser bien comprendidos. Un sensor es el aparato que reúne la tecnología necesaria para captar imágenes a distancia y que es transportado en una plataforma. Puede captar información para dife-

rentes regiones del espectro y cada una de éstas se denomina *canal* o *banda*. Por ejemplo: Landsat es una plataforma que contiene dos sensores Landsat-TM (Thematic Mapper) y Landsat-ETM+, +, que proporcionan imágenes de ocho bits en siete y ocho bandas espectrales, tres de las cuales son visibles (banda 1, banda 2 y banda 3) y cuatro infrarrojo (banda 4, banda 5 banda 6 banda 7). Las bandas 3 y 4 (rojo visible e infrarrojo cercano) son especialmente adecuadas para la estimación de índices de vegetación (Huete, 1988).

Índices de vegetación. Basándose en el comportamiento reflectivo peculiar de la vegetación, se pueden calcular índices de ésta por medio de la reflectividad en diferentes bandas que indiquen su abundancia y estado. La signatura espectral característica de la vegetación sana ofrece un fuerte contraste entre la baja reflectividad en el rojo y la alta reflectividad en el infrarrojo. Esta diferencia es mayor cuando mayor es la densidad de la vegetación.

En esta idea se basan la gran parte de los índices de vegetación. El más conocido es el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) cuya ecuación es:

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$$

donde:

B4 = Banda 4 de la imagen de Landsat TM (reflectividad en el infrarrojo cercano)

B3 = Banda 3 de la imagen de Landsat TM (reflectividad en el rojo)

Este índice varía entre -1 y 1, lo que facilita su interpretación. Puede señalarse como umbral crítico para cubiertas vegetales un valor de NDVI de 0.1 y para la vegetación densa de 0.5. Cualquier valor negativo implica ausencia de vegetación por lo que debieran reclasificarse a cero (Rouse *et al.*, 1974, Alatorre, *et al.*, 2010).

La metodología utilizada aquí se sustenta en el procesamiento digital e interpretación de las imágenes de satélite de los periodos 1994 y 2005.

b) *Procedimientos estadísticos*

Dado que se desea diagnosticar la calidad de suelo, se empleó la variable *y* con los valores 1 (suelo con CI) y 0 (suelo con CD) y el problema se convierte en modelar la variable dependiente *y* a través de la variable explicativa NDVI. Para modelar este tipo de relaciones se aplican los modelos de respuesta cualitativa, del que el modelo logístico es uno de los más utilizados, ya que puede aplicarse a una amplia gama de situaciones donde las variables explicativas no tienen una distribución conjunta normal multivariada (Linares, 2006).

El modelo logístico toma la forma:

$$E(y) = \frac{\exp(X'\beta)}{1 + \exp(X'\beta)}$$

Esta función se puede linealizar a través de la *transformación logit*

$$X\beta = \ln \frac{p}{1-p}$$

Obsérvese que estamos suponiendo que la variable respuesta y_i es una variable aleatoria de Bernoulli con probabilidades: $P(y_i = 1) = \pi_i$ y $P(y_i = 0) = 1 - \pi_i$.

Para contrastar si una variable, o grupo de variables, de la ecuación es significativa, podemos construir un contraste de la razón de verosimilitudes comparando los máximos de la función de verosimilitud para los modelos con y sin estas variables. Sin embargo, es más habitual para comprobar si un parámetro es significativo equiparar el parámetro estimado con su desviación estándar. A estos cocientes se les denomina *estadísticos de Wald* y en muestras grandes se distribuyen, si el verdadero valor del parámetro es cero, como una normal estándar (Montgomery *et al.*, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la imagen satelital captada desde el espacio por el sensor tm se generó un mapa para el año 1994 y otro para 2005 (figura 2) donde se aprecian áreas con alta, media, baja o nula vegetación. Se efectuó la corrección geométrica, obteniendo la estimación del índice de vegetación normalizado (ndvi) y como resultado se obtuvo el ndvi para los dos periodos, 1994 y 2005, encontrándose que la vegetación alta del año 2005 disminuyó con respecto al año 1994 (Torres *et al.*, 2013).

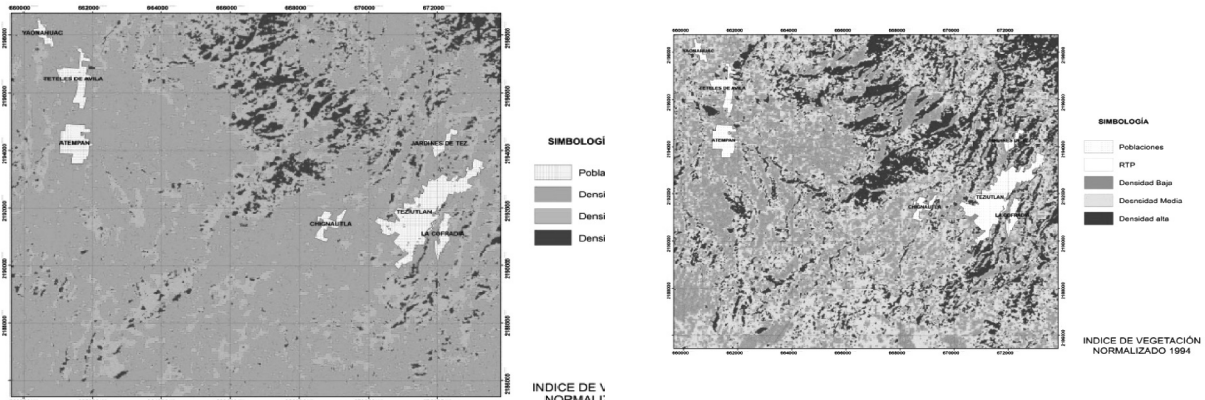


Figura 2. Imágenes de ndvi de los años 1994 y 2005.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, tomando en consideración información de campo, se clasificó la calidad de los suelos de la zona en dos clases: calidad dinámica (CD) y calidad inherente (CI), (Tenorio *et al.*, 2008). Se comprobó a través de propiedades físicas y químicas de suelos seleccionadas como indicadores de CI (suelos con vegetación forestal) y de CD (suelos con agricultura de temporal), que en la zona de estudio se diferenciaban claramente dos clases de suelos. Esta información se validó en campo con puntos georreferenciados con GPS (figura 3).

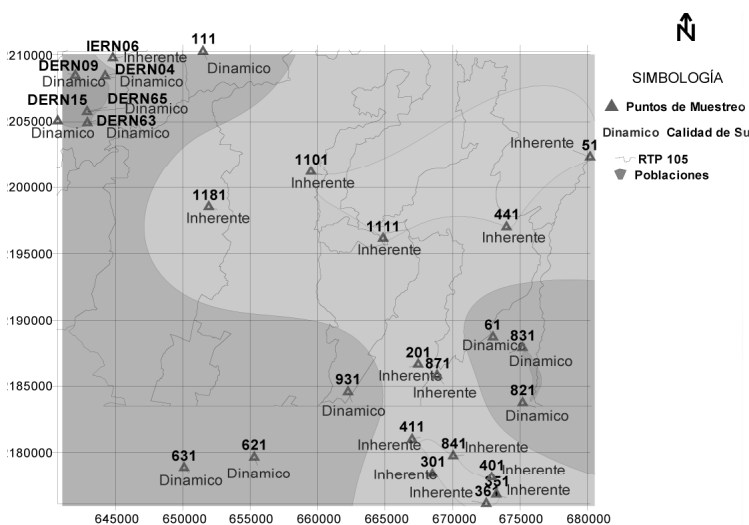


Figura 3. Calidad de suelo: inherente (ci) y dinámica (cd) en puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

De las imágenes mostradas en la figura 2, se llevó a cabo el procesamiento digital del NDVI, que estima el grado de afectación de áreas deforestadas, expresándolo en términos del número de píxeles. El cuadro 1 resume esta información, puede apreciarse que ocho observaciones corresponden a la calidad de suelo (cs) denominada inherente y 10 observaciones a la denominada dinámica.

Cuadro 1. Número de píxeles de NDVI en 1994 y 2005 y calidad del suelo (cs) en 18 perfiles de suelo georreferenciados.

X	Y	CS	NDVI 1994	NDVI 2005
673000	2188700	Dinámico	0.388889	0.230769
651500	2210250	Dinámico	0.46478	0.372549
675200	2183750	Dinámico	0.40000	0.270833
675200	2187900	Dinámico	0.322581	0.089109
662250	2184575	Dinámico	0.235294	0.046154
644248	2208426	Dinámico	0.532468	0.217391
642031	2208464	Dinámico	0.548387	0.327273
640723	2205055	Dinámico	0.569892	0.304348
642927	2204916	Dinámico	0.432432	0.277311
642904	2205758	Dinámico	0.50000	0.294118
667450	2186650	Inherente	0.254237	0.15873
668850	2185825	Inherente	0.322581	0.090909
659500	2201200	Inherente	0.522388	0.373737
664850	2196150	Inherente	0.22807	0.292308
651925	2198525	Inherente	0.21311	0.203883
680200	2202350	Inherente	0.59061	0.46875
674000	2197000	Inherente	0.487179	0.355556
644814	2209768	Inherente	0.446154	0.326087

Fuente: Elaboración propia.

Con las observaciones anteriores, se aplicó un modelo de regresión logística para la estimación de la calidad de suelo en función del número de píxeles, obtenidos de las imágenes de satélites de los años 1994 y 2005.

Los datos corresponden a pruebas de suelo de los horizontes A de 18 perfiles representativos y georreferenciados, en los que se habían identificado dos grupos de suelos, el primero que conserva la vegetación forestal y que mantiene una CI y el segundo grupo que son suelos que después de haber perdido su cobertura forestal son usados para agricultura de temporal, modificando sus propiedades para alcanzar una CD. Es importante mencionar que este estudio ha sido realizado en suelos de origen volcánico, y bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura.

Utilizando el software MINITAB versión 15, se desarrolló el análisis de regresión logística binaria para cada uno de los años considerados (1994 y 2005). El cuadro 2 expone los resultados obtenidos. Obsérvese que en el mismo se brindan los coeficientes de regresión (coeficiente), el error estándar de esos coeficientes (SECOEF), el valor del estadístico que se emplea para la prueba de hipótesis de que los coeficientes son cero (Z) y el valor empírico de significancia (p).

La hipótesis de nulidad de que los verdaderos parámetros son iguales a cero fue rechazada al nivel de significación del 10%, luego el modelo es adecuado. En la interpretación de los parámetros, sólo tendremos en cuenta el signo de sus estimaciones. Si el signo del parámetro estimado es positivo, un aumento en el valor de la variable

explicativa correspondiente produce un aumento en la probabilidad de escoger la opción, digamos, calidad dinámica. Puede apreciarse que en 1994 el signo del coeficiente de regresión NDVI es negativo mientras que en 2005 el signo del coeficiente de regresión es positivo, lo que implica que la probabilidad de calidad dinámica en los suelos en 2005 ha aumentado. Esto se corresponde con el continuo deterioro observado en la zona de estudio, debido en mayor parte a las actividades antropogénicas. Por otro lado, si se considera, en particular en esta zona de estudio, que la calidad dinámica del suelo avanza rápidamente, esto puede traer consigo problemas relacionados con la estabilidad de los suelos, principalmente por ser una zona accidentada y el problema al que se enfrenta la población son los efectos de remoción en masa en función de la composición de los materiales, la morfología de los suelos, aunado a la intensa deforestación de la zona. Diferentes autores enfatizan la interacción deforestación-erosión-inestabilidad y sus consecuencias en la calidad del suelo (Flores y Alcántara, 2002; Mitre-Salazar *et al.*, 2002; Castillo-Román *et al.* 2002; Lugo-Hubp *et al.*, 2005; Alcántara, 2005).

Cuadro 2. Regresión logística binaria: calidad de suelo versus número de píxeles de NDVI en el año 1994 y en el año 2005.

Predictor	Coefficiente	SECoef	z	p
Constante	2.69512	2.68710	1.00	0.316
Píxeles NDVI 1994	-19.9859	11.3318	-1.76	0.078
Píxeles NDVI 2005	20.4201	10.8902	1.88	0.061

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este estudio se han establecido relaciones significativas entre la calidad del suelo y el índice de vegetación ndvi, obtenidas de imágenes satelitales y transformadas a píxeles. El modelo obtenido permite estudiar la calidad de suelo y diagnosticarla en suelo con calidad inherente (ci) o calidad dinámica (cd) a partir del índice de vegetación ndvi de mane-

ra eficaz, sin utilizar las tradicionales mediciones *in situ* y, por tanto, pueden hacerse predicciones en puntos muestrales no observados directamente y conocer en detalle el estado de calidad de suelo de la zona de Teziutlán, Puebla.

Los resultados corroboran el continuo deterioro observado en la zona de estudio, por las actividades antropogénicas, ya que la calidad dinámica del suelo ha avanzado ostensiblemente de 1994 a 2005.

La calidad de suelo influye en diversas condiciones ambientales, incluso de seguridad alimentaria y la divulgación de los resultados de este tipo de investigaciones aplicadas a la sociedad, posibilitará desarrollar la comprensión en los ciudadanos sobre las condiciones ambientales de su entorno natural, de sus procesos, de su fragilidad y el grado de alteración que presenta, para que hagan propias las medidas de protección civil como del medio natural, lo que redundaría directamente en el mejoramiento de su calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- ALATORRE, L. C., BEGUERÍA, S. Y S. M. VICENTE-SERRANO, S. (2010). "ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NDVI SOBRE ÁREAS VEGETADAS Y ZONAS DE RIESGO DE EROSIÓN EN EL PIRINEO CENTRAL." *PIRINEOS. REVISTA DE ECOLOGÍA DE MONTAÑA*, VOL. 165, 7-27.
- ALCÁNTARA, G. D. A. (2005). TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA "DEFORRESTACIÓN-EROSIÓN-INESTABILIDAD DE LADERAS: UN ENFOQUE DE MODELACIÓN GEOMORFOLÓGICA." UNAM.
- CARTER, M.R., GREGORICH, E.G., ANDERSON, D.W., DORAN, J.W., JANZEN, H.H. Y F.J. PIERCE, (1997). "CONCEPTS OF SOIL QUALITY AND THEIR SIGNIFICANCE", IN: GREGORICH, E.G. AND CARTER, M.R. (EDS.) *SOIL QUALITY FOR CROP PRODUCTION AND ECOSYSTEM HEALTH. DEVELOPMENTS IN SOIL SCIENCE*, 25, ELSEVIER SC.
- CARVACHO BART, L. Y SÁNCHEZ MARTÍNEZ, M.

- (2010). "COMPARACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES MODIS EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, CHILE, EN EL PERIODO 2001-2005", EN: OJEDA, J., PITA, M.F. Y VALLEJO, I. (EDS.), *TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL SERVICIO DE LOS CIUDADANOS*. SECRETARIADO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA. SEVILLA, 728-737.
- CASTILLO-ROMÁN, J., R. MAYORGA R., V. J. NOLASCO Y M. A. SARMIENTO (2002). "CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOLÓGICOS, SOCIO-ECONÓMICOS Y FACTORES DETONANTES QUE PUEDEN LLEVAR AL DESARROLLO DE DESASTRES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO APULCO, SIERRA NORTE DE PUEBLA." *GEOS*, UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A. C., ÉPOCA II. 22: 316.
- CHALLENGER, A. (1998). *UTILIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES DE MÉXICO. PASADO, PRESENTE Y FUTURO*. CONABIO, INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM Y AGRUPACIÓN SIERRA MADRE, S. C., MÉXICO.
- CHUVIECO, E., (2007). *EARTH OBSERVATION AND GLOBAL CHANGE*. NUEVA YORK, SPRINGER. GEOSCIENCES.
- DORAN, J.W. Y T. B. PARKIN (1994). "DEFINING AND ASSESSING SOIL QUALITY", IN: DORAN, J.W; COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F., AND B.A. STEWART (EDS). *DEFINING SOIL QUALITY FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT. SOIL SCI. SOC. AM. SP. PUB. NO. 35. AM. SOC. OF AGRON., MADISON, WISC., 3-21*.
- FLORES, P. Y I. ALCÁNTARA A. (2002). "CARTOGRAFÍA MORFOGENÉTICA E IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE LADERA EN TEZIUTLÁN, PUEBLA." *INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS, BOLETÍN DEL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA*, UNAM, 49: 7-26.
- HUETE, A. R. (1988). "A SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI)." *REMOTE SENSING OF ENVIRON.*, 25: 295-309.
- LINARES FLEITES, G. (2006). *ANÁLISIS DE DATOS MULTIVARIADOS*. EDITORIAL BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA. FACULTAD DE COMPUTACIÓN. MÉXICO.
- LUGO-HUBP, J., ZAMORANO-OROZCO, J.J., CAPRA L., INBAR M. Y ALCÁNTARA-AYALA, I. (2005). "LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, OCTUBRE DE 1999: CAUSA Y EFECTOS." *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS*, 22: 212-228.
- MINITAB RELEASE 15. (2005). STATISTICAL SOFTWARE. MINITAB. INC.
- MITRE-SALAZAR, L. M., MALPICA-SÁNCHEZ, F. I. Y MARTÍNEZ-REYES, J. (2002). "LOS DESLIZAMIENTOS DE TEZIUTLÁN, CRÓNICA GEOLÓGICA DEL DESASTRE A LA LUZ DEL PROYECTO PUEBLA-PANAMÁ." *GEOS*, UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A. C., ÉPOCA II. 22: 311-312.
- MONTGOMERY, D.C., PECK, E.A. Y VINING, G.G. (2004). *INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL*. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, MÉXICO.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, (NRSC). (2001). "GUIDELINES FOR SOIL QUALITY ASSESSMENT IN CONSERVATION PLANNING." UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND SOIL QUALITY INSTITUTE, USA.
- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. AND HARLAN, J.C. (1974). *MONITORING THE VERNAL ADVANCEMENT OF RETROGRADATION OF NATURAL VEGETATION. NASA/GSFC, TYPE III, FINAL REPORT, GREENBELT, MD, USA*.
- SIMS, J.T, CUNNINGHAM, S.D. Y M. E. SUMNER. (1997). "ASSESSING SOIL QUALITY FOR ENVIRONMENTAL PURPOSES: ROLES AND CHALLENGES FOR SOIL SCIENTISTS." *J. ENVIRON. QUAL.*, 26: 20-25.
- SCHMIDT, H. AND KARNIELI, A. (2001). "SENSITIVITY OF VEGETATION INDICES TO SUBSTRATE BRIGHTNESS IN HYPER-ARID ENVIRONMENT: THE MAKHTESH RAMON CRATER (ISRAEL) CASE STUDY." *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, 22 (17): 3503-3520.
- TENORIO ARVIDE, M.G. M.A. VALERA PÉREZ, G. LINARES FLEITES, O. A ACEVEDO SANDOVAL Y J.B. DIXON. (2008). "ANÁLISIS DISCRIMINANTE LINEAL EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO". *REVISTA DE CIENCIAS MATEMÁTICAS*, VOL. 24, LA HABANA, 50-59.
- TORRES TREJO, E., LINARES G., TENORIO, M.G., CASTELÁN, R., SANDOVAL, M. DE L, PEÑA, R Y RODRÍ-

GUEZ, A. (2013). "UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL PARA OBTENER ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN LA REGIÓN TERRESTRE PRIORITARIA 105: CUETZALAN, TEZIUTLÁN, PUEBLA." (SOMETIDO A PUBLICACIÓN).