



**Sexto**  
**Congreso Nacional de**  
Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMER- 2021 / Hermosillo, Sonora



**Artículo: COMER-21038**

*Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021*

## **VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN LA SUBCUENCA HIDROLOGICA DEL RIO APULCO MEDIANTE SIG**

**Pablo Zaldívar Martínez<sup>1\*</sup>; Guillermo Jesuita Pérez Marroquin<sup>1</sup> y Norma Angélica Márquez Terán<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. Universidad S/N. San Juan Acateno Teziutlán Puebla. México.  
C.P. 73800

pablo.zaldivar@correo.buap.mx - 2311554918 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup> Unidad Académica de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Guerrero.  
[Green.utopia11@gmail.com](mailto:Green.utopia11@gmail.com)

### **Resumen**

La degradación de los suelos se acentúa en presencia de riesgos ambientales, producto de la conjunción de un fenómeno natural y de acciones antrópicas. El objetivo del estudio fue zonificar la vulnerabilidad de la Subcuenca del Río Apulco mediante sistemas de información Geográfica utilizando una metodología sencilla y factores condicionantes obteniendo de esta una visualización de áreas vulnerables ambientalmente.

**Palabras claves:** Subcuenca Apulco, vulnerabilidad, desastres naturales, degradación, sistemas de información geográfica.



## Introducción

La subcuenca del Río Apulco se encuentra en la región hidrológica de Tuxpan-Nautla (RH27) y presenta un potencial hidrológico puesto que por su ubicación dentro de la cuenca Río Tecolutla que abarca la mayor parte de la sierra Norte de Puebla y ocupa una superficie en el estado de 17. 46% y su alta percepción de agua pluvial que va de precipitaciones de lluvia entre 1 500 a 3000 mm al año desgraciadamente no es aprovechado en su totalidad.

Cabe señalar que aunque el potencial del uso del suelo sea de aptitud preferentemente forestal, la actividad principal de la Subcuenca del Río Apulco es la agricultura y ganadería, sin embargo las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de alto grado de siniestralidad presenta un mayor grado de exposición a desastres naturales como el que ocurrió con la depresión tropical No. 11 del 5 de octubre de 1999 (Biltran, 2000); donde se produjo el mayor desastre natural debido a las altas precipitaciones y por la presencia de asentamientos humanos precaristas en zonas vulnerables, el sobreuso de los recursos naturales y los altos niveles de pobreza han provocado la destrucción de importantes centros poblados, carreteras, deslizamientos de tierra, inundaciones, pérdida total de cultivos, animales y vidas humanas, agudizando de esta manera las condiciones económicas, sociales y ambientales de los habitantes del lugar esto ha puesto en evidencia la vulnerabilidad natural del ambiente, la ausencia de un ordenamiento territorial y un manejo adecuado de la subcuenca del Rio Apulco.

La importancia de este estudio radica en la integración ponderada de variables biofísicas y ambientales mediante los Sistemas de Información Geográfica, de tal manera que reflejen las áreas de mayor vulnerabilidad y permitan de esta investigación proponer un ordenamiento integral de la subcuenca así evitando sucesos como los de octubre de 1999 donde hubo más de 500 muertos y pérdidas materiales por miles de millones de pesos por los derrumbes y las inundaciones. (Biltran, 2000)

## Materiales y Métodos

El desarrollo y ejecución de esta investigación utilizó dos (2) tipos de información: una de carácter secundaria y otra primaria. Para la primera se analizaron una serie de documentos y artículos de revistas científicas de carácter nacional e internacional relacionados con los temas de desastres, vulnerabilidad y riesgo en cuencas hidrográficas.

La primaria consistió en un recorrido por el parteaguas de la subcuenta donde se obtuvieron fotografías para evidenciar los deslizamientos de suelos a lo largo de esta y ver su condición real, esta fue una actividad complementaria a la investigación.

### **Área de estudio**

La metodología utilizada para zonificar la vulnerabilidad ambiental se tomó como área de estudio la Subcuenca del rio Apulco. Esta subcuenca pertenece a la cuenca Río Tecolutla que a su vez se encuentra en la región hidrológica de Tuxpan-Nautla (RH27) con una superficie de 2109.37 km<sup>3</sup>, abarcando dentro de esta a 35 Municipios del estado de Puebla (Figura 1).

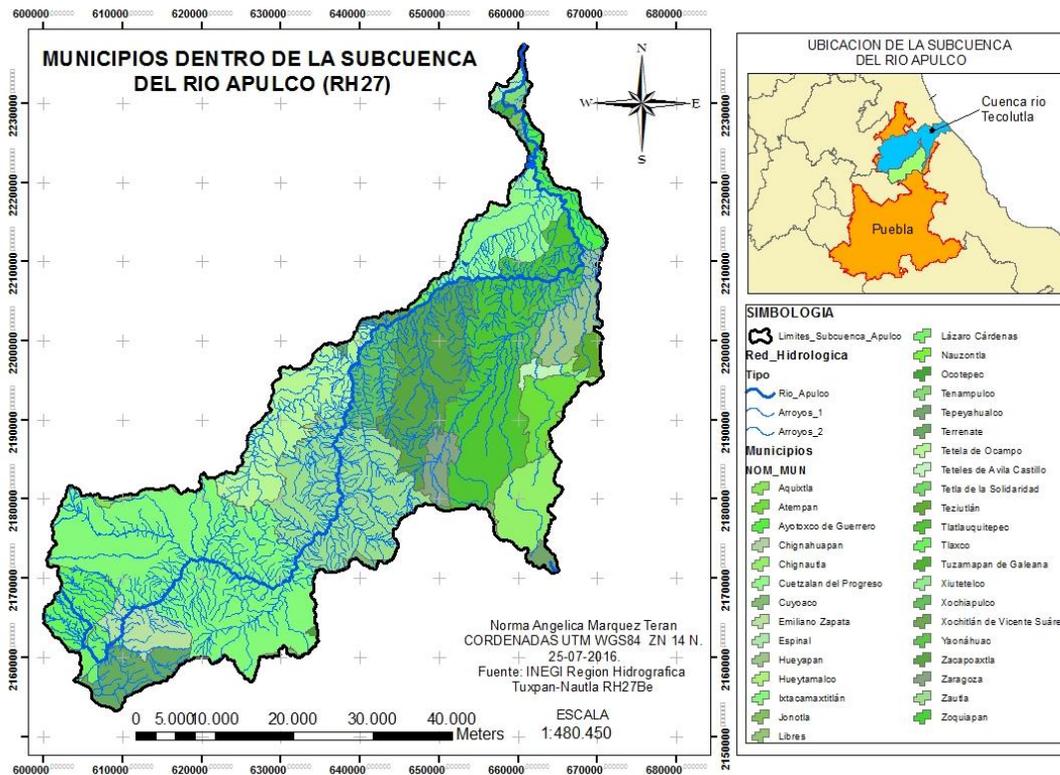


Figura 1. Ubicación de la Subcuenca del río Apulco

Geográficamente se encuentra entre los paralelos  $19^{\circ} 57' 00''$  y  $20^{\circ} 05' 18''$  de latitud norte y los meridianos  $97^{\circ} 24' 36''$  y  $97^{\circ} 34' 54''$  de longitud occidental. (Zaldivar, 2000)

### Metodología para evaluar la vulnerabilidad ambiental

La metodología para la definición y zonificación de la vulnerabilidad ambiental se estableció a partir de la generación y procesamiento geoespacial de variables e indicadores basada en la metodología propuesta por Reyes Sandoval, 2007.

En el presente trabajo se utilizaron valores cuantitativos donde se utilizó una escala de ponderación lineal de 0, 1, 2, 3 y 4, en donde el valor de 0 fue asignado a la situación del indicador que presente la menor vulnerabilidad y el valor de cuatro (4) se asignó a la situación más crítica del indicador, lo cual refleja la situación de mayor vulnerabilidad. Un valor de dos (2) corresponde a una situación de vulnerabilidad media.

Para la determinación de áreas críticas por su mayor riesgo a deslizamientos se consideraron la integración espacial de 4 factores críticos que afectan de manera directa la vulnerabilidad a deslizamientos como lo son uso de suelo, la pendiente, erosión de suelos y la precipitación (Sandoval, 2003). De acuerdo con el cuadro 1 se presentan los indicadores utilizados para cada uno de estos factores.



**Cuadro 1.** Factores (e indicadores) que incrementan la vulnerabilidad y el riesgo

Variable	Indicador
Uso de suelo y vegetación	Tipo de uso
Erosión de suelo	Intensidad
Pendiente	Tipo de pendiente
Precipitación	Mm/año

Similar a la evaluación de la vulnerabilidad ambiental, para la evaluación de estos factores críticos en el riesgo a deslizamientos, fue necesario realizar una estandarización de los mismos y una ponderación de sus respectivos indicadores.

### Formulas

Para la especialización de los factores críticos en la vulnerabilidad y riesgo a deslizamientos. El modelo conceptual utilizado fue el utilizado bajo la metodología de Sandoval. Cuadro 2

**Cuadro 2.** Pesos relativos utilizados en la integración de factores críticos.

Factores Biofísicos que modifican el nivel de vulnerabilidad y/o criticidad de una amenaza.	Peso Relativo
Precipitación	10
Uso de suelos y vegetación	20
Erosión de suelos	40
Pendiente	30
Total	100

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de este trabajo, las áreas críticas están determinadas por aquellas zonas donde tanto las condiciones de vulnerabilidad como la concurrencia de factores críticos que favorecen el riesgo se encuentren en sus valores más altos (alto (3)-muy alto (4)). (Sandoval W. R., 2003)

### Generación de Cartografía básica

Para la zonificación de las variables se requirió de capas cartográficas obtenidas de fuentes oficiales como es el INEGI y CONABIO; la cartográfica temática digital que se utilizaron para el desarrollo de este trabajo de acuerdo al cuadro 3.



**Cuadro 3.** Fuente de información para la generación de Mapas.

Institución	Tipo de información		Especificaciones
INEGI	Cartográfica Digital	Temática	Edafología
CONABIO			Curvas de nivel Hidrología Uso de suelo y vegetación Estaciones meteorológicas División política

Fuente: Elaboración propia

La herramienta utilizada para el desarrollo de este estudio fue el SIG ArcGIS versión 10 desarrollado por ERIS.

El modelo cartográfico se conformó por mapas cuyo procesamiento mediante SIG, representó cada uno de las variables e indicadores. Este modelo se representa con una proyección UTM Zona 14, datum WG84 y a una escala de impresión de 1:550.000 para cada mapa.

## Resultados y Discusión

La subcuenca del Rio Apulco tiene un área total de 2109.37 km<sup>2</sup>, el área con respecto a la altura tiene una distribución muy variable. Las alturas más frecuentes son entre 2353 y 2736 msnm abarcando un área de 29.68 % del área total de la subcuenca. Por el contrario, las altitudes que comprenden los 3118 a 3500 msnm son más escasas con un 2.37% del total del área. Cuadro 4; Figura 2.

**Cuadro 4.** Distribución de área de la subcuenca entre altitudes

Altitud msnm	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas	% de área
60 – 423	86825440	8682.544	4.16
423 – 824	82027192	8202.7192	3.93
824 – 1207	87282416	8728.2416	4.18
1207 – 1588,889	109445750	10944.575	5.24
1588,889 – 1971	252821970	25282.197	12.11
1971 – 2353	472398940	47239.894	22.63
2353 – 2736	619430980	61943.098	29.68
2736 – 3118	327537540	32753.754	15.69
3118- 3500	49467652	4946.7652	2.37

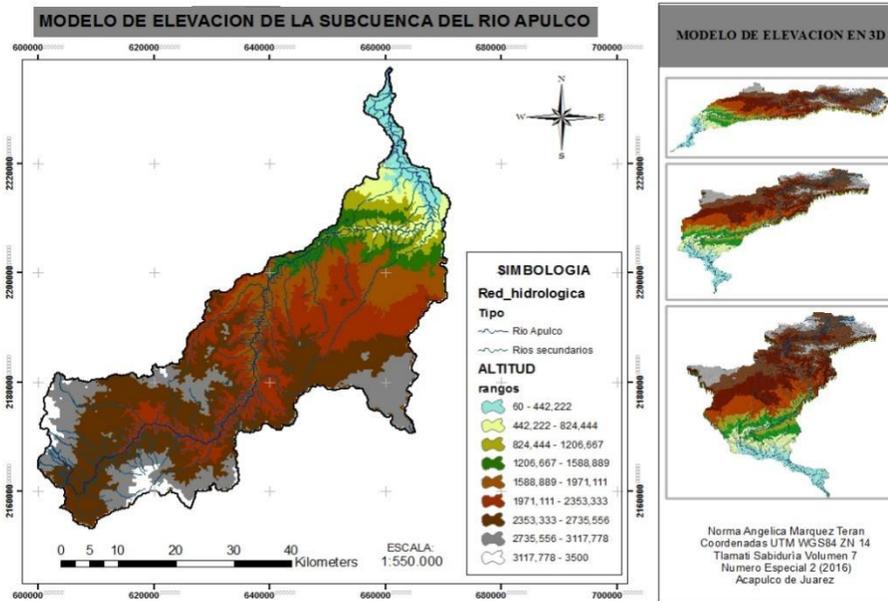


Figura 2. Modelo de elevación de la subcuenca.

## Mapas de Pendientes

Se elaboró a partir del modelo de elevación digital utilizando el programa “Arcgis 10”, se agruparon las pendientes en 5 niveles y posteriormente se reclasificaron según el método del Dr. Lugo Hubp. De los cuales se obtuvieron sus áreas entre rango en grados de pendientes. Cuadro 5; Figura 3

Cuadro 5. Distribución del área de la subcuenca entre rangos de pendientes.

Pendiente (Grados)	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas	% de área
0-3	281839940,00	2818399,40	13,4251198
3 -1 2	1144153600,00	11441536,00	54,5004345
12-30	629141700,00	6291417,00	29,9684378
30 – 45	19535724,00	195357,24	0,93056164
>45	24676704,00	246767,04	1,17544628

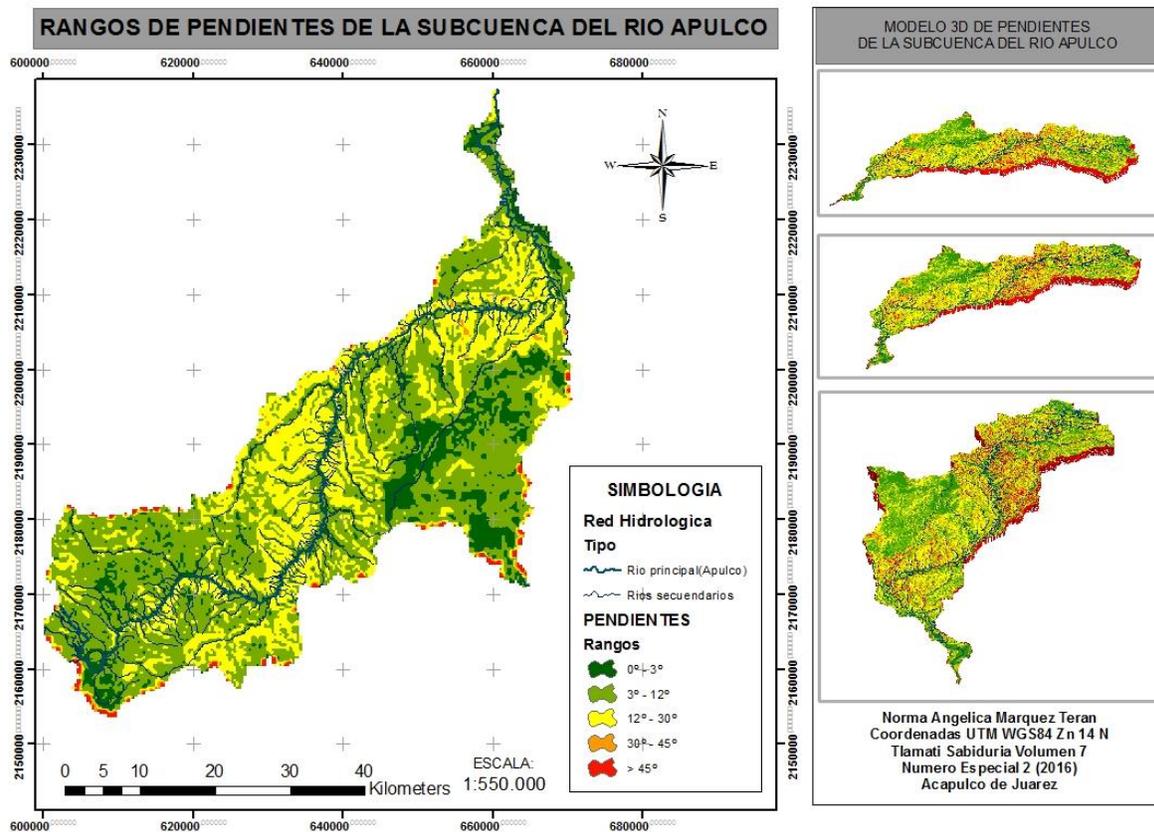


Figura 3. Modelo de Pendientes de la subcuenca.

## Uso de Suelos y Vegetación

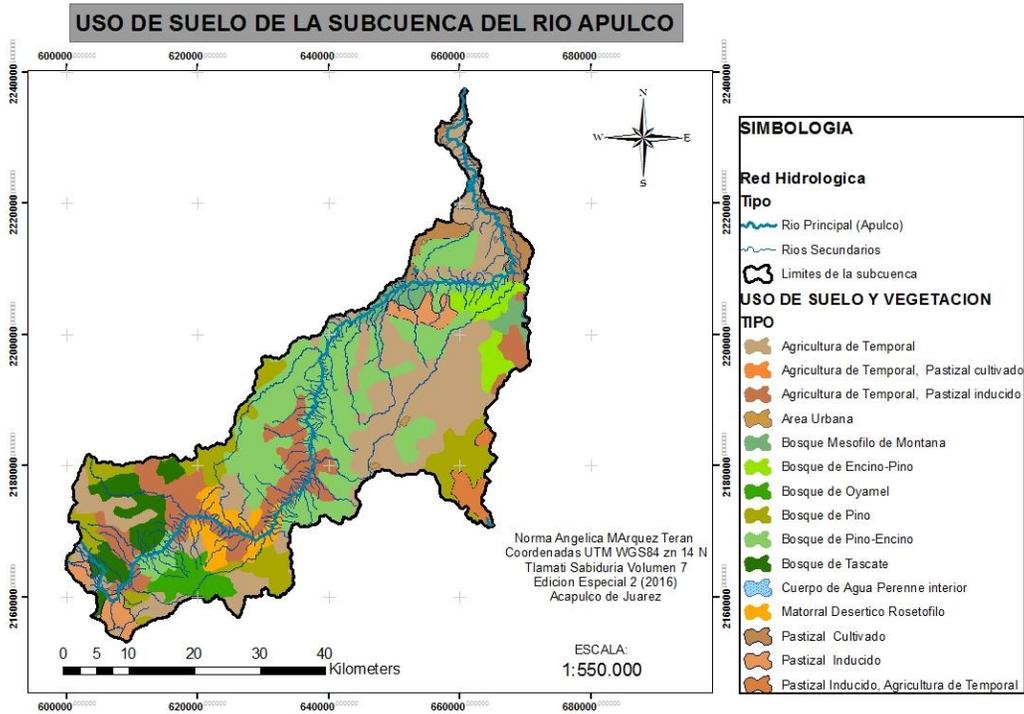


Figura 4. Mapa de uso de suelo y vegetación de la subcuenca.

## Erosión de suelos

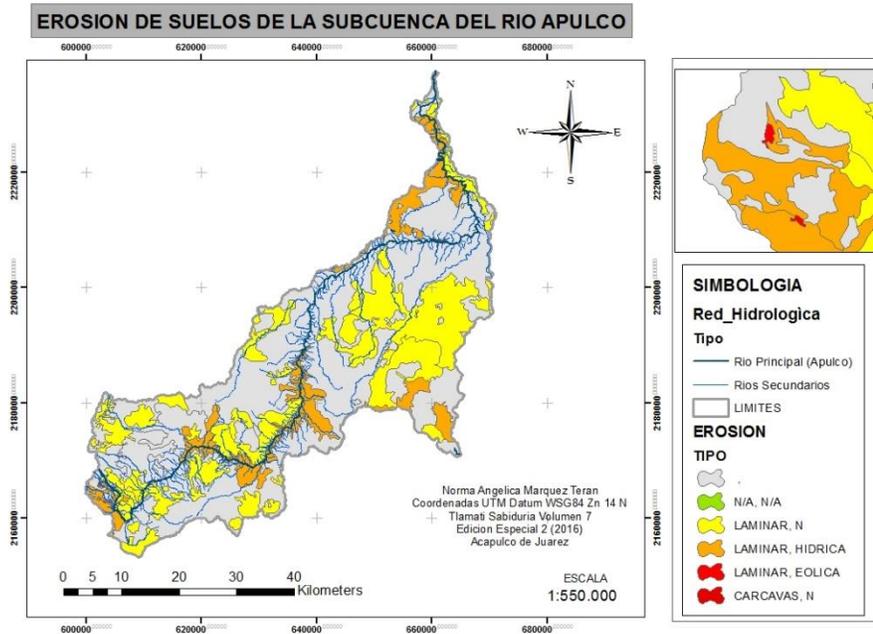


Figura 5. Mapa de Erosión de la subcuenca.

## Precipitación y tipos de suelos

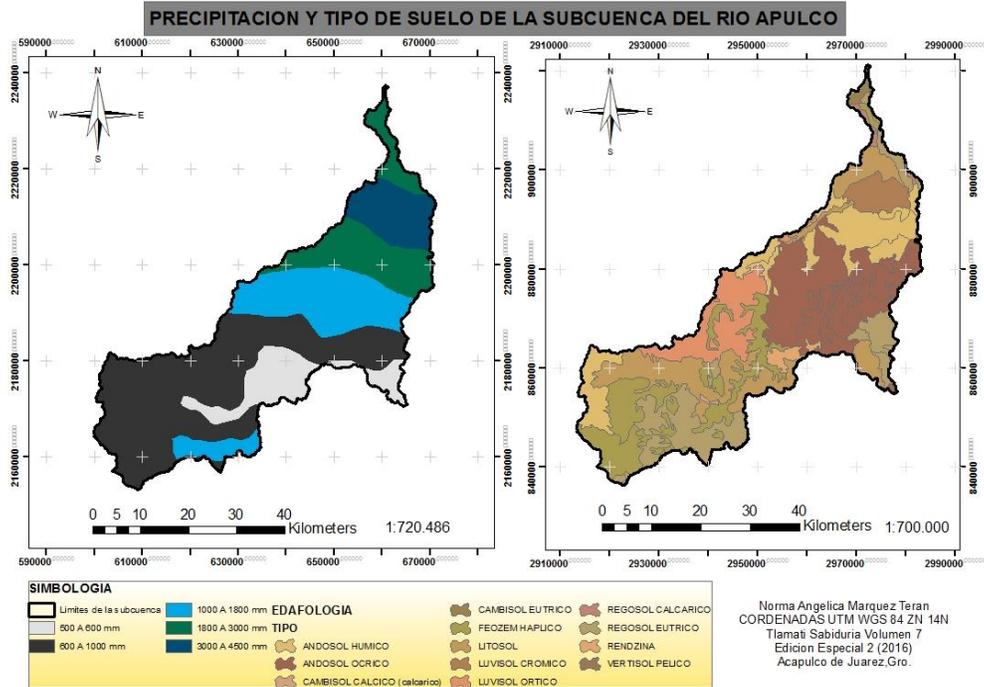


Figura 6. Mapa de Tipos de suelos y Precipitación media anual de la subcuenca

## Vulnerabilidad Ambiental

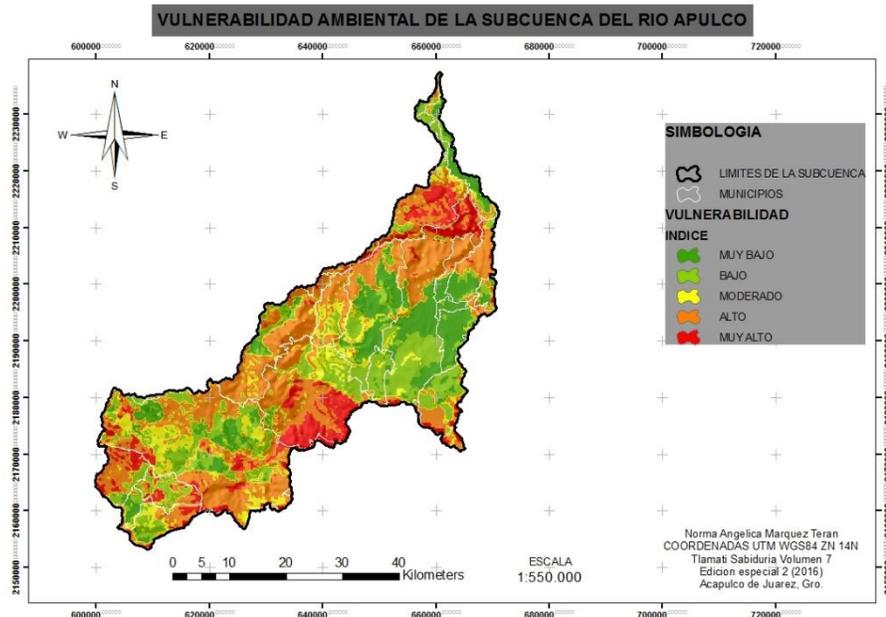


Figura 7. Mapa de Vulnerabilidad Ambiental de la subcuenca.



**Cuadro 6.** Porcentaje de Área por niveles de riesgos a deslaves de la subcuenca del Apulco.

INDICE	m <sup>2</sup>	Ha	%
MUY BAJO	318302007	31830,2007	15,28
BAJO	486249488	48624,9488	23,35
MODERADO	194985297	19498,5297	9,36
ALTO	853319482	85331,9482	40,97
MUY ALTO	229847235	22984,7235	11,04
Total	2082703509	208270,351	100

## Conclusiones

El presente estudio se realizó analizando diversos factores que influyen de manera ambiental en la Subcuenca del río Apulco para definir la vulnerabilidad que está presente actualmente.

La metodología del trabajo cumplió con el objetivo de zonificar las áreas más vulnerables de la Subcuenca estudiada mediante las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica.

Esta Subcuenca presenta una Vulnerabilidad ambiental que va de una categoría alta a muy alta con un 52% del área total de la cuenca como se muestra en la figura 9.

Las variables que más incidieron lo podemos visualizar fácilmente y relacionarlas estas son las Pendientes, la erosión del suelo y la precipitación ya que estas en conjunto provocan inestabilidad en las laderas por lo cual se presentan deslizamientos de los suelos.

Es importante tener un monitoreo de un mayor tiempo para una base de datos más precisa dado que el tiempo de esta investigación se limitó a 5 semanas de monitoreo además que solo se tomó la vulnerabilidad ambiental por lo que se requiere de un estudio mayor para obtener una vulnerabilidad Global abarcando otros factores para tener un resultado más integral.



## Referencias Bibliográficas

- Biltran, B. (2000). Evaluacion del impacto socioeconomico de los principales desastres naturales de la republica mexicana durante 1999. *Cenapred*, 50.
- R., S. (1999). El daño y la evaluacion de Riesgo en America Central. *Tesis, UCR. Costa Rica*, 7.
- Sandoval, W. M. (2003). Vulnerabilidad a desastres naturales, determinacion de areas criticas y propuesta de mitigacion en la microcuenca del rio Talgua, Catacamas, Honduras. *Centro Agronomico Tropical y enseñanza* , 30-54.
- Sandoval, W. R. (2003). Vulnerabilidad a Desastres Naturales, determinacion de areas criticas y propusta de mitigacion en la microcuenca del rio Talga, Honduras. *CATIE*, 27.