



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE GEOGRAFÍA**



## Proyecto terminal

### **Evaluación multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca**

**Que para obtener el grado de:**

Especialista en Cartografía Automatizada,  
Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

**Presenta:**

*Lic. en Arqueología Rosalia Huerta Sumano*

**Asesor:**

*Dra. Xanat Antonio Némiga*

Toluca, Estado de México

Julio, 2019



# Índice

Introducción.....	1
I. Planteamiento de la problemática .....	3
A. <i>Hipótesis</i> .....	8
B. <i>Objetivos</i> .....	8
II. Área de estudio .....	9
A. <i>Características fisiográficas</i> .....	11
B. <i>Topoformas</i> .....	12
C. <i>Características geológicas</i> .....	12
D. <i>Características hidrológicas</i> .....	14
E. <i>Suelos dominantes</i> .....	17
III. Antecedentes.....	21
A. <i>El Valle de Toluca en época prehispánica</i> .....	21
B. <i>Terrazas agrícolas prehispánicas</i> .....	23
IV. Marco teórico .....	26
A. <i>La coyuntura del hombre y el medio físico</i> .....	26
B. <i>Modelos de predicción arqueológica</i> .....	28
C. <i>Evaluación Multicriterio</i> .....	30
V. Metodología.....	33
VI. Resultados.....	37
A. <i>Discusión de los resultados</i> .....	57
VII. Conclusiones y propuestas a futuro.....	59
VIII. Bibliografía.....	62



## Índice de figuras

Figura 1. Sistema en línea del RPMZAH	5
Figura 2. Cedula de registro para sitios arqueológicos.	6
Figura 3. Ponderación de variables con la herramienta Weight del software Idrisi Selva.	35
Figura 4. Modulo MCE para generar el mapa de aptitud continua.	36
Figura 5. Terrazas registradas en el municipio de Ocoyoacac. Tomado de: Pérez & Juan (2013).	37
Figura 6. Terrazas registradas en el municipio de Lerma. Tomado de: Nieto (2012).	38
Figura 7. Terrazas registradas en el municipio de Tenancingo. Tomado de: Miranda (2013).	38
Figura 8. Histograma de los valores de altitud de las terrazas prehispánicas.	45
Figura 9. Gráfica de barras de valores de pendiente de las terrazas prehispánicas.	45
Figura 10. Gráfica de barras de los valores de orientación de las terrazas prehispánicas.	46
Figura 11. Histograma de los valores de distancia de los recursos hídricos.	46
Figura 12. Gráfica de barras de los valores líticos de las terrazas prehispánicas.	47
Figura 13. Gráfica de barras de los valores de tipo de suelo de las terrazas prehispánicas.	47
Figura 14. Gráfica de barras de los valores de profundidad del suelo de las terrazas prehispánicas	48
Figura 15. Ejemplo de la normalización de los criterios con la variable altitud.	50
Figura 16. Histograma de los valores del mapa de evaluación multicriterio.	51
Figura 17. Gráfica circular sobre la coincidencia entre la muestra de las terrazas y las zonas con potencial arqueológico.	53
Figura 18. Gráfica circular sobre la coincidencia entre los sitios del RPMZAH y las zonas con potencial arqueológico.	55



## Índice de mapas

Mapa 1. Localización del área de estudio.	10
Mapa 2. Relieve del área de estudio.	13
Mapa 3. Rocas dominantes del área de estudio.	15
Mapa 4. Hidrografía del área de estudio.	18
Mapa 5. Suelos dominantes en el área de estudio.	20
Mapa 6. Distribución de las terrazas de muestra en el área de estudio.	41
Mapa 7. Pendiente clasificada del área de estudio.	42
Mapa 8. Orientación de las terrazas prehispánicas de muestra.	43
Mapa 9. Distancia desde los recursos hídricos.	44
Mapa 10. Comparación entre las terrazas de muestra y las zonas con potencial arqueológico.	52
Mapa 11. Comparación entre los sitios del RPMZAH y las zonas con potencial arqueológico.	54
Mapa 12. Identificación de zonas con riesgo de conservación por el crecimiento urbano..	56



## Introducción

Como en muchos países, la gestión arqueológica en México enfrenta retos sociales, políticos y económicos que requieren soluciones más rápidas, eficientes y de bajo costo. Por tanto, los arqueólogos se auxilian cada vez más de las tecnologías emergentes para mejorar la metodología de trabajo.

En este sentido, la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una de las soluciones más recurrentes, especialmente en estudios regionales donde es necesario manejar y procesar gran cantidad de datos y mostrar de forma clara y rápida resultados. Una de las primeras herramientas implementadas dentro de este ámbito interdisciplinario fue el Modelo de Predicción Arqueológica (MPA).

Dicho modelo es una técnica que predice zonas con potencial arqueológico en una determinada región con base en el patrón observado de una muestra (método inductivo), o bien, por teorías del comportamiento humano (método deductivo). De esta manera, a partir de la distribución de los sitios arqueológicos y las variables relacionadas con su localización, es posible inferir la existencia de sitios arqueológicos en otros lugares con las mismas condiciones.

En otros países estos modelos se popularizaron desde la década de los ochentas en estudios de patrón de asentamiento, captación y control de recursos, rutas óptimas, entre otros. Pero en los últimos años se está apreciando su utilidad para la delimitación de áreas con potencial arqueológico, permitiendo planear el trabajo a realizar y siendo especialmente ventajoso en la gestión del patrimonio histórico.

En México, apenas se comienza a divulgar el uso de este tipo de herramientas, por lo que a continuación se presenta la aplicación de un modelo de predicción arqueológica con la finalidad de ilustrar los alcances y ventajas de implementar modelos de predicción arqueológica en la protección y gestión del patrimonio arqueológico.



## Evaluación multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca

---



La presente propuesta, a diferencia de muchos modelos antes aplicados, no busca determinar zonas con las condiciones necesarias para la supervivencia humana sino en las actividades que le permitieron al hombre sobrevivir en época prehispánica: caza, pesca, recolección, agricultura, etcétera. Particularmente, se analizó el sistema de terrazas, que fue un importante instrumento de producción agrícola precolombina.

Este sistema agrícola fue ampliamente implementado en el área de estudio, el Valle de Toluca, donde se ha encontrado evidencia de asentamientos humanos con una antigüedad de 2 500 años y otros múltiples sitios de diferentes épocas que ocuparon la Cuenca del Alto Lerma hasta la llegada de los españoles. Convirtiendo al Valle de Toluca en un área con alta densidad de vestigios arqueológicos.

De esta manera se diseñó un modelo de evaluación multicriterio para la detección de zonas con potencial arqueológico, a partir de la localización de terrazas agrícolas prehispánicas. Considerando así a estos elementos como un indicador del proceso de adaptación del hombre a su entorno, reflexionando además, sobre la capacidad natural de la región para la producción agrícola y cómo puede ser mejor aprovechada a través del uso de técnicas agrícolas prehispánicas.



## *I. Planteamiento de la problemática*

La dinámica social, económica y política del Valle de Toluca, así como en muchas otras regiones del país, están transformando el entorno físico, lo que repercute en la destrucción y desaparición del patrimonio arqueológico, un recurso por lo regular infravalorado y del que se desconoce el procedimiento para su protección.

La ley vigente que permite la preservación del patrimonio cultural es la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, promulgada en el año de 1972. En esta se define al patrimonio arqueológico como: *los bienes muebles e inmuebles, producto de culturas anteriores al establecimiento de la hispánica en el territorio nacional, así como los restos humanos, de la flora y de la fauna, relacionados con esas culturas.*

También declara que, el Instituto Nacional de Antropología e Historia es el único organismo competente en materia de monumentos y zonas de monumentos arqueológicos e históricos, y que el Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas e Históricas (RPMZAH) es el instrumento para la inscripción de monumentos con la finalidad de proporcionar seguridad jurídica sobre la existencia física de los monumentos arqueológicos, paleontológicos e históricos y los hechos y actos relacionados con ellos (Mesa, Echauri, & Hernández, 2017).

Esto implica que, cualquier tipo de intervención arqueológica debe estar regulada por el INAH, atribuyendo a la institución una tarea monumental que hoy en día rebasa su capacidad (Sugiura & Nieto, 2014). Especialmente en zonas con intenso crecimiento urbanístico e industrial donde el INAH debe regular todas las obras de construcción.

Desde 2012, la Auditoría Superior de la Federación (ASF) detectó deficiencias en las medidas para la protección del patrimonio arqueológico e histórico, entre las principales observaciones se encuentra el desconocimiento de las zonas arqueológicas e históricas en “áreas de crecimiento urbano” y, por lo tanto, la falta de un programa nacional de protección (Roldán, 2016).



Por lo menos hasta 2017, la ASF continúa señalando al INAH la carencia e inconsistencia en los sistemas de información en cuanto al inventario, catalogación y registro de los bienes culturales, aunado a las deficiencias que presenta el diseño normativo, programático y presupuestal de la política pública y la falta de homologación con la norma del ámbito internacional, lo que dificulta garantizar la preservación del patrimonio cultural (ASF, 2019).

En este contexto, la tecnología y metodología de los SIG son una alternativa óptima para cumplir con el propósito de proteger el patrimonio arqueológico, favoreciendo la planeación de acciones y la toma de decisiones oportunas. Especialmente los modelos de predicción se están considerando como una herramienta muy útil en la gestión de recursos humanos, materiales e incluso del tiempo invertido (Kamermans, van Leusen, & Verhagen, 2009).

Las ventajas de aplicar un MPA en nuestro país no solo se limitan a los resultados que de éste podemos obtener, sino también, en la sistematización del registro de sitios arqueológicos y el acceso a esta información. Actualmente el procedimiento de registro de parte de las observaciones en campo o laboratorio (fotointerpretación y teledetección) que hace un arqueólogo, quién envía al sistema del RPMZAH una cedula preestablecida con la descripción del sitio.

Este formato presenta dos desventajas principales, la primera, que no hay un control sobre la exactitud posicional, por lo que la información sobre la ubicación y distribución de los sitios es generada con errores. En segundo lugar, la información de forma digital y en línea<sup>1</sup> es limitada, por tanto, la consulta debe ser directamente en las oficinas del RPMZAH u otras fuentes como informes y publicaciones.

Debido a la antigüedad del sistema (más de 30 años) y la falta de uso de herramientas informáticas y geotecnológicas, es común tropezar con datos ambiguos, obsoletos o incluso

---

<sup>1</sup> Disponible en: <http://registropublico.inah.gob.mx>



no encontrar datos de sitios reportados, esto implica una desventaja para analizar la distribución de los asentamientos prehispánicos.



Figura 1. Sistema en línea del RPMZAH

Aunado a lo anterior, está la falta de coordinación del INAH con instituciones municipales estatales, federales, del sector privado y la comunidad civil, provocando que el registro de sitios sea posterior a las afectaciones que estos organismos pueden hacer por obras de construcción, actividades productivas, vandalismo, saqueo, etcétera.

Bajo este contexto, la metodología de trabajo del INAH para el registro de los sitios arqueológicos está afectada por diversos factores tanto internos como externos, lo que repercute en la toma de decisiones y acciones oportunas ante los diferentes agentes que ponen en riesgo la preservación del patrimonio arqueológico.

Por lo que, la implementación de MPA puede facilitar el desarrollo de una metodología de registro más rápida, sencilla, interoperable y económica. La principal aportación del modelo predictivo sería la delimitación de zonas con alto y bajo potencial



## Evaluación multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca



arqueológico tanto de lugares conocidos como de aquellos aún no explorados, permitiendo tomar de decisiones más oportunas, asertivas y priorizar adecuadamente los lugares que lo requieren.

INAH		REGISTRO PÚBLICO DE MONUMENTOS Y ZONAS ARQUEOLÓGICAS E HISTÓRICAS		CÉDULA PARA IDENTIFICAR Y CATALOGAR SITIOS ARQUEOLÓGICOS							
INFORMACIÓN EXCLUSIVA DE LA DRPMZAH		Folio real:									
ID del sitio:		Clave de sitio:									
<b>1. IDENTIFICACIÓN DE LOS BIENES DEL SITIO ARQUEOLÓGICO</b>											
*1.1. Nombre del sitio: _____											
1.2. Otros nombres: _____											
*1.3. Componentes generales del sitio: (Se puede marcar más de uno)											
Estructuras		<input type="checkbox"/>		Concheros		<input type="checkbox"/>		Paleontológicos		<input type="checkbox"/>	
Concentración de materiales		<input type="checkbox"/>		Manifestaciones gráfico-rupestres		<input type="checkbox"/>		Yacimiento de materias primas		<input type="checkbox"/>	
<b>2. ORIGEN DE LA INFORMACIÓN</b>											
*2.1. Fecha de identificación o actualización (dd/mm/aaaa): _____											
2.2. Nombre del proyecto: _____											
2.3. Nombre completo del director del proyecto: _____											
*2.4. Institución o dependencia: _____											
*2.5. Nombre completo de quien registró o actualizó: _____											
*2.6. Sitio verificado en campo: Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>											
2.7. Fuente de la información adicional: Bibliografía <input type="checkbox"/> Fotointerpretación <input type="checkbox"/> Otro: _____											
Denuncia o Inspección (Número): _____											
<b>3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA</b>											
*3.1. Estado: _____ *3.2. Municipio: _____											
3.3. Localidad más cercana: _____											
*3.4. Coordenadas UTM: Este _____ Norte _____											
3.5. Altitud: _____ m.s.n.m. *3.6. Datum: NAD27 <input type="checkbox"/> GRS80-ITRF92-WGS84 <input type="checkbox"/>											
*3.7. Especifique en qué lugar del sitio tomó el punto de coordenadas: _____											
*3.8. Clave de la carta topográfica INEGI 1:50 000: _____											
*3.9. Describa el acceso al sitio desde la localidad más cercana: _____											
_____											
_____											
<b>4. MEDIO AMBIENTE</b>											
*4.1. Posición geográfica de las evidencias: A cielo abierto <input type="checkbox"/> Cubierto <input type="checkbox"/> Subacuático <input type="checkbox"/>											
*4.2. Particularidades de ubicación del sitio:											
Abanico aluvial <input type="checkbox"/>		Barranca, Cañada o Cañón <input type="checkbox"/>		Desembocadura (Barra, Delta o Estuario) <input type="checkbox"/>		Isla o Islote <input type="checkbox"/>					
Abrigo o Covaicha <input type="checkbox"/>		Cenote a cielo abierto <input type="checkbox"/>		Dolina con cuerpo de agua <input type="checkbox"/>		Ladera alta o Cima <input type="checkbox"/>					
Acantilado, Cantil o Escarpe <input type="checkbox"/>		Cenote - Dolina <input type="checkbox"/>		Duna <input type="checkbox"/>		Ladera baja <input type="checkbox"/>					
Altiplanicie <input type="checkbox"/>		Cerro o Loma <input type="checkbox"/>		Estero o Pantano <input type="checkbox"/>		Ladera media <input type="checkbox"/>					
Bloque disgregado <input type="checkbox"/>		Cueva <input type="checkbox"/>		Frente rocoso <input type="checkbox"/>		Lago, Laguna o Aguada <input type="checkbox"/>					
Bloque integrado <input type="checkbox"/>		Cueva sumergida <input type="checkbox"/>		Gruta o Caverna <input type="checkbox"/>		Manantial <input type="checkbox"/>					

\* Información obligatoria

Figura 2. Cedula de registro para sitios arqueológicos.



También se puede identificar focos rojos y crear criterios estandarizados para la delimitación de zonas de monumentos arqueológicos<sup>2</sup>, lo que en nuestro país hasta el momento se define de forma empírica. De tal manera que el uso de técnicas SIG nos permite conocer las características naturales y antrópicas del espacio donde se encuentran los elementos arqueológicos y con el análisis de su distribución podemos direccionar adecuadamente las acciones necesarias para su estudio y conservación.

## Justificación

Un modelo de predicción de zonas con potencial arqueológico, es una herramienta que facilita la identificación de sitios arqueológicos y permite tomar decisiones oportunas para su registro, protección, estudio y gestión. Posibilita incorporar el patrimonio arqueológico de manera planificada a proyectos de diversa índole como un recurso social y económicamente beneficioso.

En nuestro país existen pocos casos de aplicación de MPA por lo que el trabajo de la arqueología mexicana se encuentra rezagado en el uso de herramientas de información geográfica en la gestión del patrimonio histórico, especialmente en estados con gran riqueza arqueológica como el Estado de México. De tal manera que, la elaboración del presente modelo es una iniciativa para divulgar el uso de herramientas SIG en la gestión del patrimonio arqueológico.

---

<sup>2</sup> Término jurídico establecido en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, definido como el área que comprende varios monumentos arqueológicos inmuebles, o en que se presuma su existencia. Cualquier obra en este espacio debe ser aprobada con anticipación por el INAH.



## A. Hipótesis

La agricultura fue una actividad primordial en las sociedades prehispánicas a tal grado que influyó en su cosmogonía. A la llegada de los españoles existían varios sistemas de producción agrícola que permitieron a estos grupos adaptarse a las condiciones geográficas y así ampliar el territorio destinado para esta actividad.

De tal manera que, las variables físicas asociadas a estos sistemas y técnicas agrícolas están estrechamente relacionadas con su propósito y localización. Por lo que se propone la siguiente **hipótesis**: las características físicas asociadas a las terrazas prehispánicas del Valle de Toluca, son criterios que permiten inferir zonas potencialmente aptas para este sistema agrícola y que pudieron haber sido aprovechadas en época prehispánica, indicando así, el espacio aproximado de los asentamientos precolombinos.

## B. Objetivos

### Objetivo General

Implementar un modelo de análisis espacial multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca.

### Objetivos particulares

1. Generar una base de datos que compile las características físicas de las terrazas del Valle de Toluca.
2. Determinar a partir de procedimientos geoestadísticos los criterios con mayor peso.
3. Delimitar espacios que cumplen con los criterios de aptitud para la agricultura de terrazas.
4. Evaluar la validez de los resultados para la detección de sitios arqueológicos.



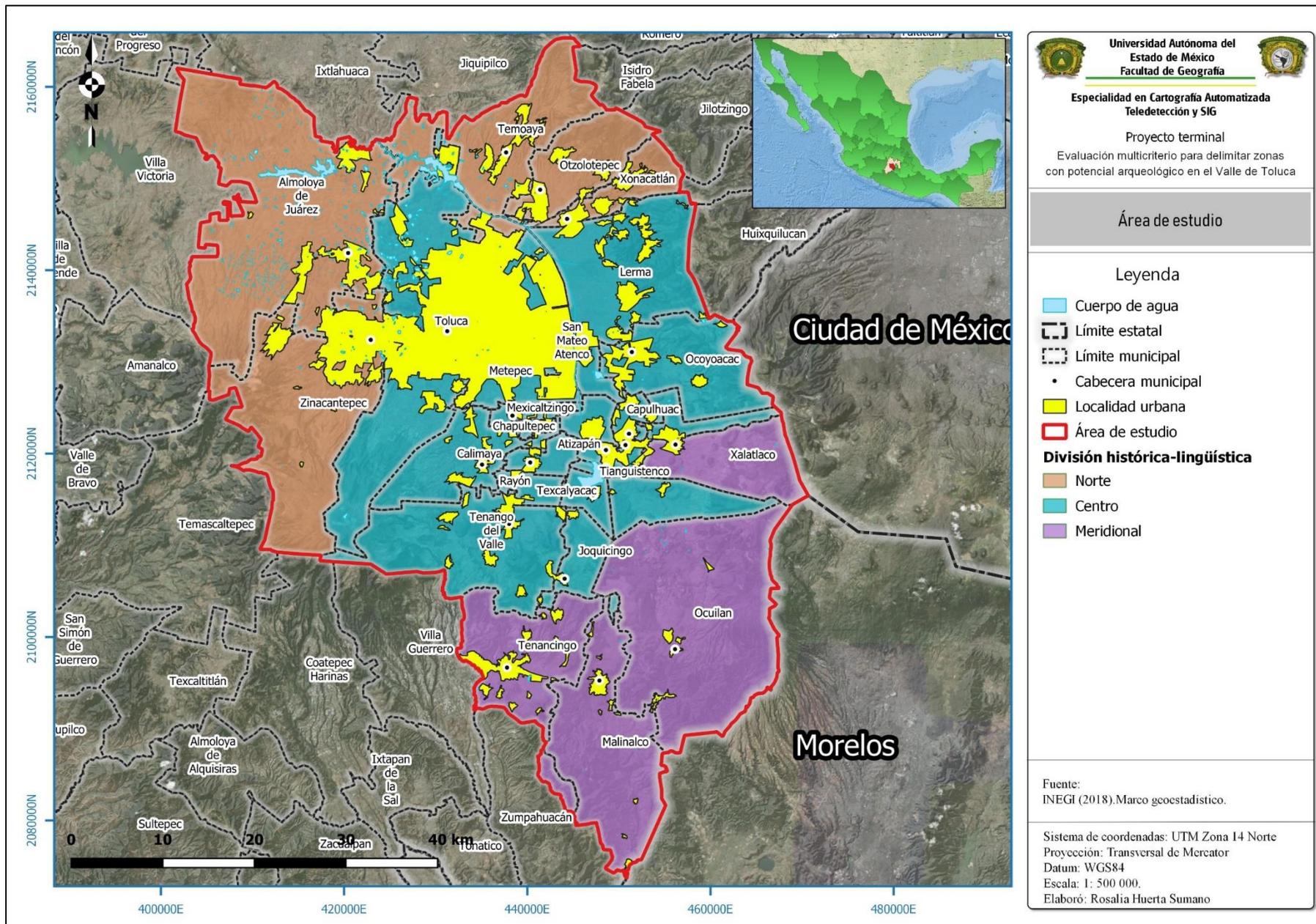
## II. Área de estudio

El área de estudio no solo comprende el espacio de la cuenca alta del río Lerma, sino también se incorporó municipios colindantes, tomando en cuenta la propuesta de Beatriz Albores (2006) para determinar el territorio aproximado que abarcaba la antigua jurisdicción otomiana conocida como Matlatzinco. Este término es utilizado generalmente en el ámbito académico asignado a la antigua jurisdicción de las poblaciones con lengua otomiana al occidente de la Cuenca de México en el momento de la invasión mexicana (Albores, 2006, pág. 260)

La extensión administrativa y política de Matlatzinco es difícil de precisar, y más aún su cobertura histórica frente a cambios significativos en la clase gobernante como la conquista mexicana y la llegada de los españoles. No obstante, Albores (*Ibíd.* págs.264-265), ofrece una propuesta de su ubicación y subdivisión en tres zonas de acuerdo a sus características geográficas-culturales:

- a) La zona norteña o serrana, de tradición lingüística otomí y mazahua en coexistencia con el matlatzinca y el náhuatl, ubicada en el curso alto del río Lerma y contigua con el curso medio del mismo.
- b) La zona central o lacustre, de tradición matlatzinca en contacto con el otomí, mazahua y náhuatl, situada en curso alto del río Lerma.
- c) La zona meridional o de cañadas en sierras descendentes, de tradición ocuilteca en convivencia con el matlatzinca y el náhuatl, que se ubica en la cuenca inicial del río Balsas.

Por tanto, los municipios que ocupan la zona central son: Almoloya del Río, Atizapán, Chapultepec, Capulhuac, Lerma, Metepec, Ocoyoacac, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Texcalyacac, Tianguistenco, Calimaya, Joquicingo, Mexicaltzingo, Tenango del Valle y Toluca. Mientras que la zona norteña ocupa parte del territorio de Otzolotepec, Temoaya, Xonacatlan Almoloya de Juárez y Zinacantepec. Por último, la zona meridional se encontraba hacia los municipios de Xalatlaco, Ocuilan, Malinalco y Tenancingo.



Mapa 1. Localización del área de estudio.



## A. Características fisiográficas

El área de estudio se encuentra entre dos sistemas fisiográficos, el primero corresponde al Eje Neovolcánico y la subprovincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac que abarca la zona norteña y central. Su origen está relacionado con la subducción de la placa de Cocos y la de Rivera debajo de la placa de Norteamérica, provocando en su parte más oriental el alineamiento de grandes estratovolcanes en dirección general de norte a sur (García, y otros, 2008, pág. 161)

En este espacio el relieve se compone de una planicie lacustre-aluvial y un gran número de conos volcánicos de una altura promedio de 650 metros, que pueden estar constituidos por bloques de lava o productos piroclásticos como escoria o ceniza basáltica (Sugiura, Y atrás quedó la ciudad de los dioses. Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca, 2005, pág. 219)

La parte sur se integra a la provincia Sierra Madre del Sur y la subprovincia de Sierras y Valles Guerrerenses, caracterizado por un sistema montañoso afectado por el proceso de subducción de las placas tectónicas, donde encontramos una serie de elevaciones principalmente cretácicas y valles intermontanos cubiertos al norte por materiales del Eje Neovolcánico (Lugo, 1990, pág. 99).

En este sentido, el área de estudio se encuentra delimitada por varias geoformas de origen volcánico, al este por la Sierra de Las Cruces, al noreste por las Sierra Monte Alto, en el norte se encuentran los cerros de El Águila y El Santuario. Del lado oeste se halla la Sierra Santa Ana Nichi, cuyas elevaciones más sobresalientes son los cerros La Guadalupana y El Cedral y que se conecta con suaves lomeríos hasta los volcanes de San Antonio, La Caldera y el Nevado de Toluca. Del lado sur la cuenca se cierra por los derrames basálticos que se extienden desde Tenango del Valle hasta Texcalyacac, agrupación conocida como Sierra Nahuatlaca-Matlatzinca (Ramos, 2011, pág. 30)

Esta disposición se debe a los movimientos tectónicos de fallas antiguas que provocaron la erección de sierras elevadas como la Sierra de las Cruces con orientación



sureste-noreste, pero movimientos más recientes crearon elevaciones con orientación este-oeste como la zona de Tenango del Valle y el estrechamiento Perales que da a lugar a un escalón que separa el valle de Toluca del valle de Ixtlahuaca (Sugiura, Y atrás quedó la ciudad de los dioses. Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca, 2005, pág. 221).

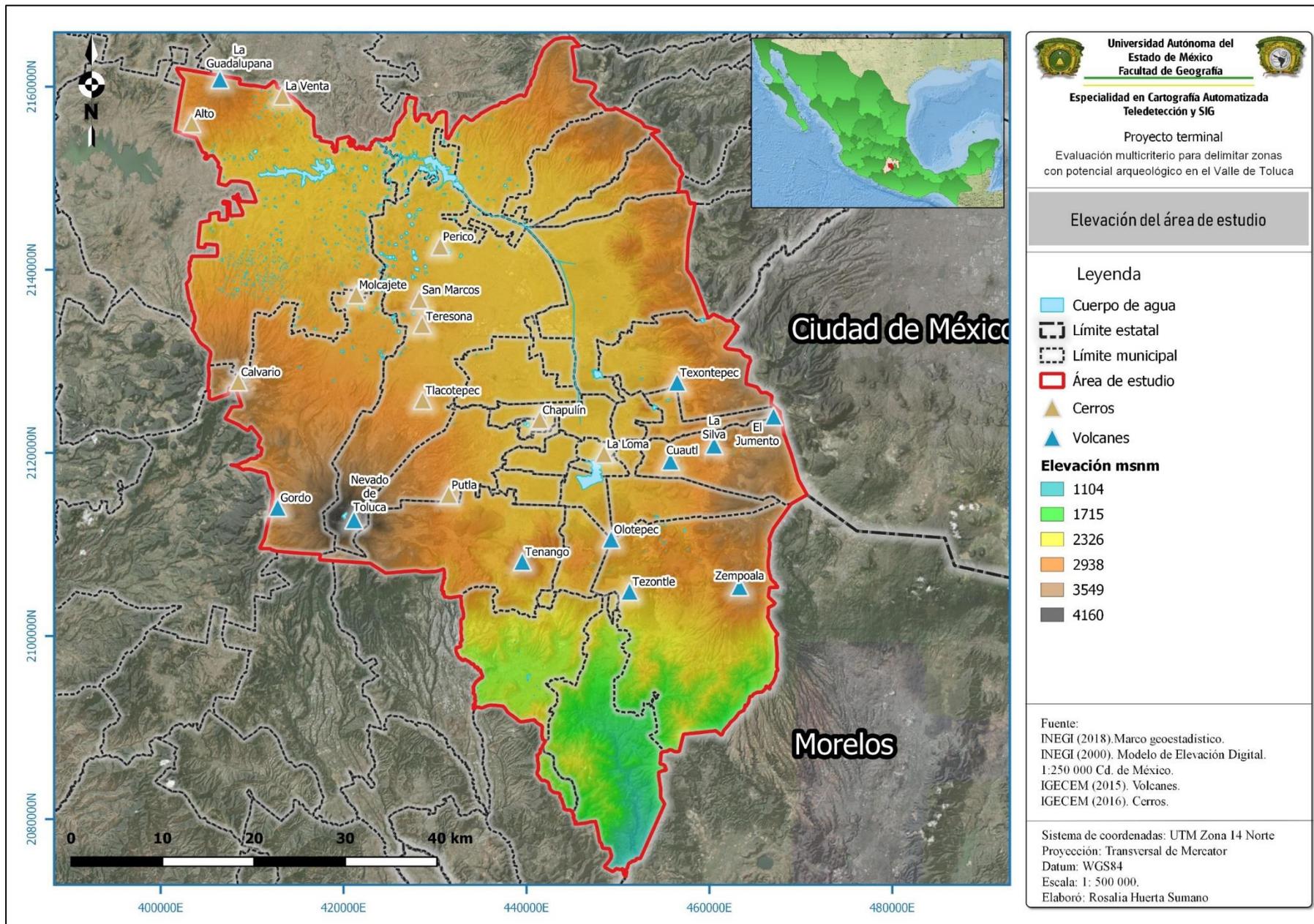
## B. Topoformas

Desde el punto de vista topográfico, la superficie del área de estudio se clasifica en cuatro sistemas de topoformas: valle con laderas tendidas, vaso lacustre, lomeríos y sierras (INEGI, 2001). La zona de valle con laderas tendidas se encuentra hacia el sur donde también encontramos la altitud más baja del área de estudio de 1 104 msnm.

En colindancia con esta zona y alrededor de los 2 000 msnm la forma del relieve cambia a lomeríos con cañadas y sierras de cumbres tendidas (INEGI, 2001). Entre los 2 500 a 2 700 msnm se localiza la planicie aluvial rodeada de una franja de lomeríos que presentan una altitud entre 2600 a 2800 msnm (Sugiura, Y atrás quedó la ciudad de los dioses. Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca, 2005, pág. 221). Finalmente, a partir de los 3000 msnm el afloramiento rocoso es más frecuente por lo que se considera el punto de partida de la zona serrana alcanzando en nuestra área de interés 4157 msnm (García, y otros, 2008, págs. 161-162).

## C. Características geológicas

La formación geológica del área de estudio se debe a diferentes periodos de actividad volcánica provenientes principalmente de la Sierra de Las Cruces y del Nevado de Toluca. La Sierra de Las Cruces está conformada por ocho estratovolcanes traslapados que tuvieron intensa actividad durante el Plioceno y Pleistoceno, produciendo extensos derrames de lava y domos de composición andesítico-dacítica, alternados con flujos piroclásticos de bloques de cenizas, flujos de pómez, oleadas piroclásticas, depósitos de caída, flujos de detritos y lodo (García, y otros, 2008, pág. 161).



Mapa 2. Relieve del área de estudio.



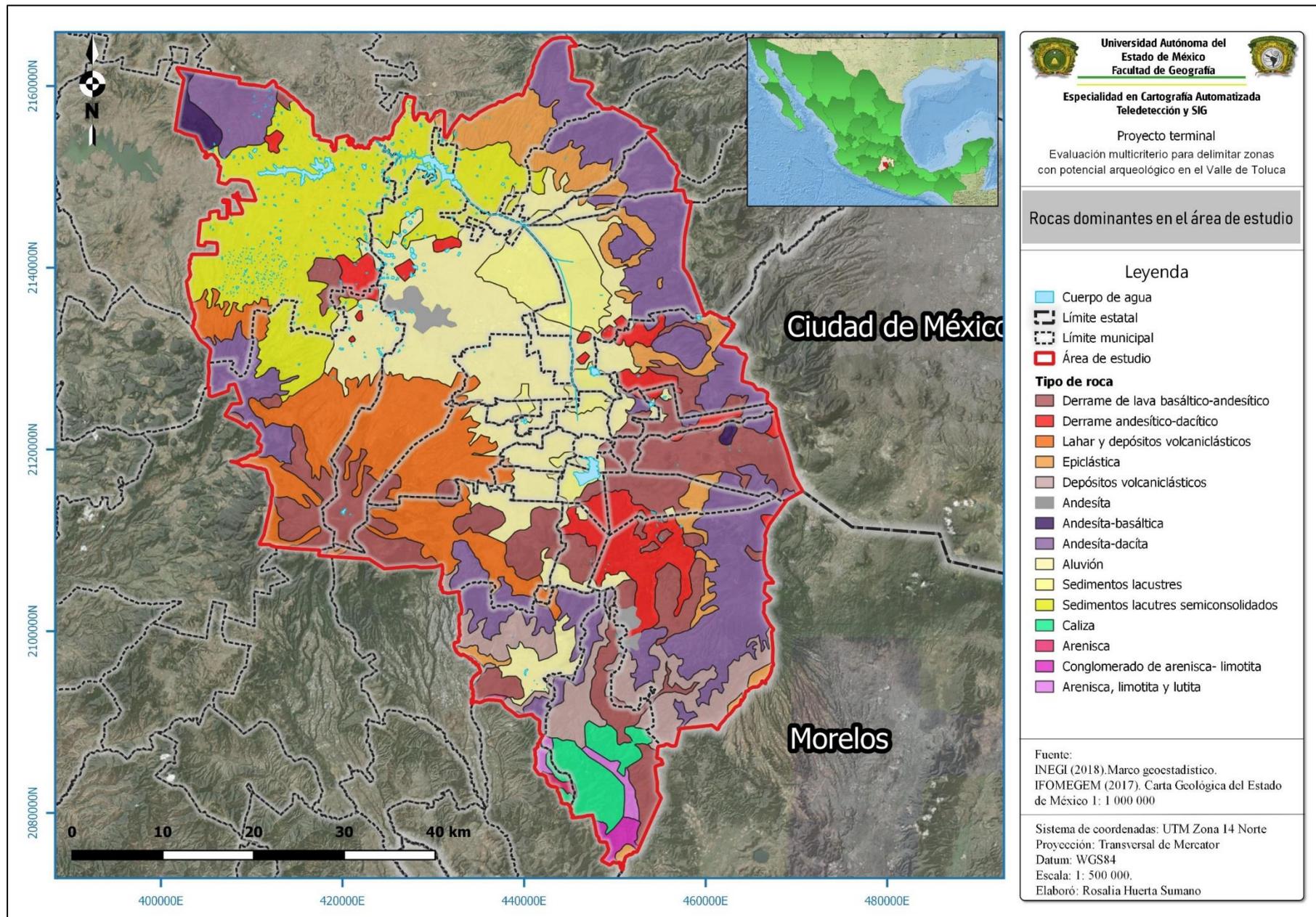
El Nevado de Toluca, un volcán de tipo compuesto con origen Pleistoceno tardío-Holoceno, está constituido por andesitas y dacítas calcialcalinas y se encuentra emplazado en un basamento de rocas volcanosedimentarias metamorfizadas de edad Jurásico-Cretácico, ignimbritas de composición riolítica del Eoceno y derrames andesíticos del Mioceno (Macías, 2005, pág. 389). Se estima que su actividad volcánica inicio hace 1.6 a 1.3 millones de años y su última erupción fue aproximadamente hace 3 300 años, de la que se han identificado principalmente depósitos pumíticos y lahares (*Ibíd.* págs. 392-395).

Las erupciones de estas estructuras volcánicas se depositaron en el vaso lacustre en diferentes secuencias horizontales de turba y materiales piroclásticos y sedimentos lacustres (Sugiura, Y atrás quedó la ciudad de los dioses. Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca, 2005, pág. 221). Así mismo, estos materiales se extienden a la parte sur del área de estudio donde se comienzan a encontrar rocas calcáreas del cretácico (Yarza, 2003, pág. 226; Lugo, 1990, pág. 99).

De tal modo que, en las zonas más elevadas del área de estudio principalmente encontraremos basaltos y andesitas, en las zonas que bordean las sierras se hallan tobas, aglomerados, brechas, cenizas volcánicas y depósitos de pie de monte, mientras que en las zonas de valles, planicies y vaso lacustre, se localizan materiales sedimentados constituidos principalmente por arenas, gravas, arcillas, limos y depósitos lacustres (Ramos, 2011, pág. 36).

#### D. Características hidrológicas

En el área de estudio nace el sistema hidrológico Lerma-Cahapala-Santiago, uno de los más grandes de nuestro país con un recorrido de 1 180 km desde su origen en el territorio del Estado de México, pasando por los estados de Michoacán, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y finalmente desembocando en la costa de Nayarit (Graniel, Mendiola, Graniel, & Gil, 1993, pág. 10).



Mapa 3. Rocas dominantes del área de estudio.



La formación del río Lerma deriva de varios torrentes de la cuenca que corren al norte por la vertiente del Nevado de Toluca, algunos de estas corrientes son los ríos Tejalpa, Verdiguél, Santiaguito, La Gavía, Oztolotepec, Ocoyoacac, Temoaya y Silia. De acuerdo con el criterio hidrológico-tectónico, el cauce del río se dividió en tres segmentos: curso alto, curso medio y curso bajo (*Íd.*).

El curso alto inicia en la laguna Chignahuapan en Almoloya del Río a 2 580 msnm y terminaba nueve kilómetros debajo de la presa Antonio Alzate, ubicada entre los municipios de Toluca y Temoaya. Desde este punto comienza el curso medio con el curso del río hacia el valle de Ixtlahuaca-Atacomulco y atraviesa el bloque de fallas de Perales y la falla de Pastores. Finalmente, el curso bajo se interna en el territorio de los estados de Michoacán y Querétaro (*Íd.*).

El sistema hidrológico de la cuenca también incluye lagunas y manantiales, de las que podemos resaltar las lagunas de Chignahuapan (Almoloya del Río), Chimaliapan (Lerma) y Chiconahuapan (Oztolotepec), pero que desafortunadamente hoy en día solo se conserva la primera laguna, las otras dos se han reducido a ciénegas y zonas de inundación (*Op. Cit.*). De igual manera, los numerosos manantiales que se distribuían tanto en zonas de serranía como en planicies son explotados vertiginosamente, especialmente en la parte oriental de la cuenca, mientras que la zona que conserva mayor número de manantiales es la parte noreste del Nevado hacia el municipio de Almoloya de Juárez (Sugiura, 2005, págs. 232-235).

Así mismo, se ha explotado el acuífero que proviene de tres flujos: el primero, de las infiltraciones que se generan sobre el Nevado de Toluca y circulan rumbo al este y noreste atravesando el Valle de Toluca hasta llegar a la Sierra de Las Cruces; el segundo, que también se origina en el Nevado de Toluca y corre al norte hacia Ixtlahuaca; y un tercer flujo que proviene de la Sierra de Las Cruces y circula rumbo al oeste desembocando en las antiguas lagunas de Lerma-Almoloya (Graniel, Mendiola, Graniel, & Gil, 1993, pág. 11)

Por otro lado, la parte sur del área de estudio se integra a otro importante sistema hidrológico, la región del Balsas, que se divide en tres subregiones Alto Balsas, Medio Balsas y Bajo Balsas. Es la subregión del Alto Balsas la que cubre la mayor superficie del área de



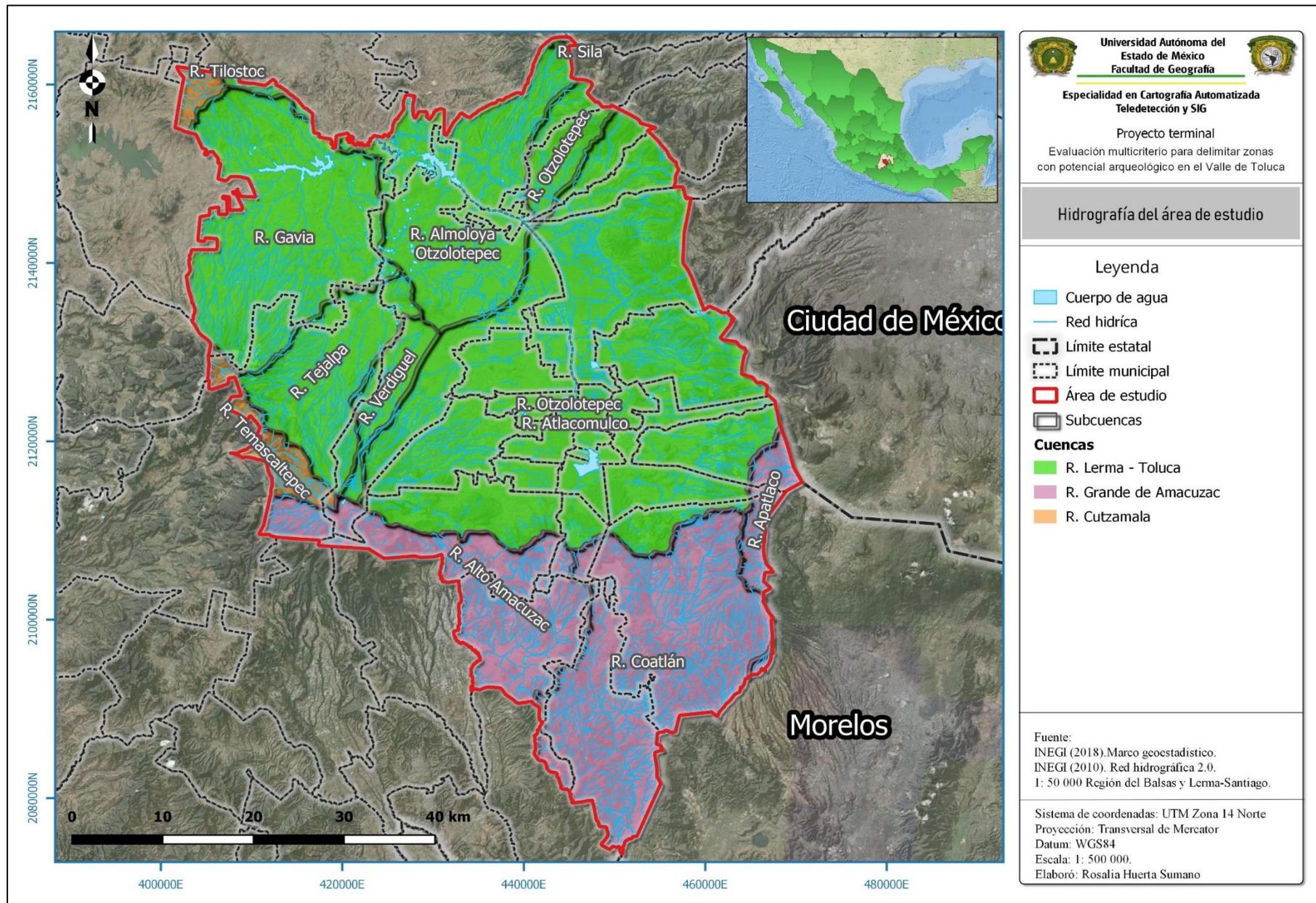
estudio, específicamente formando parte de la cuenca del Río Grande Amacuzac, y en menor medida en la parte oeste y noroeste la subregión del Medio Balsas con la cuenca del Río Cutzamala (CONAGUA, 2010).

El Alto Balsas se constituye principalmente por la corriente del Río Atoyac que nace en las vertientes del Iztaccíhuatl y su confluencia con el Río Mixteco que se origina en la parte occidental de la Sierra de Oaxaca; así como del Río Nexapa que proviene de la vertiente del Popocatepetl y el río guerrerense Tlapaneco (IMTA, 2014, págs. 42-43)

## E. Suelos dominantes

El suelo de la cuenca de Toluca también es determinado en buena medida por la actividad volcánica de la región, por lo que alrededor de los edificios volcánicos predominan los andosoles. De acuerdo con La Base Referencial Mundial del Recurso del Suelo (WRB en inglés) este tipo de suelo suelen desarrollarse sobre vidrios volcánicos (IUSS, 2007, pág. 70)

Colindante a estos suelos especialmente al norte del área de estudio encontramos los vertisoles, suelos que se distinguen por ser muy arcillosos o bien que se mezclan con alta porción de arcillas expandibles producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas, el ambiente donde suelen desarrollarse es en depresiones y áreas llanas onduladas, son suelos fértiles, aunque su manejo para la agricultura resulta difícil por su baja retención de agua (*Ibíd.* págs. 96-97).



Mapa 4. Hidrografía del área de estudio.

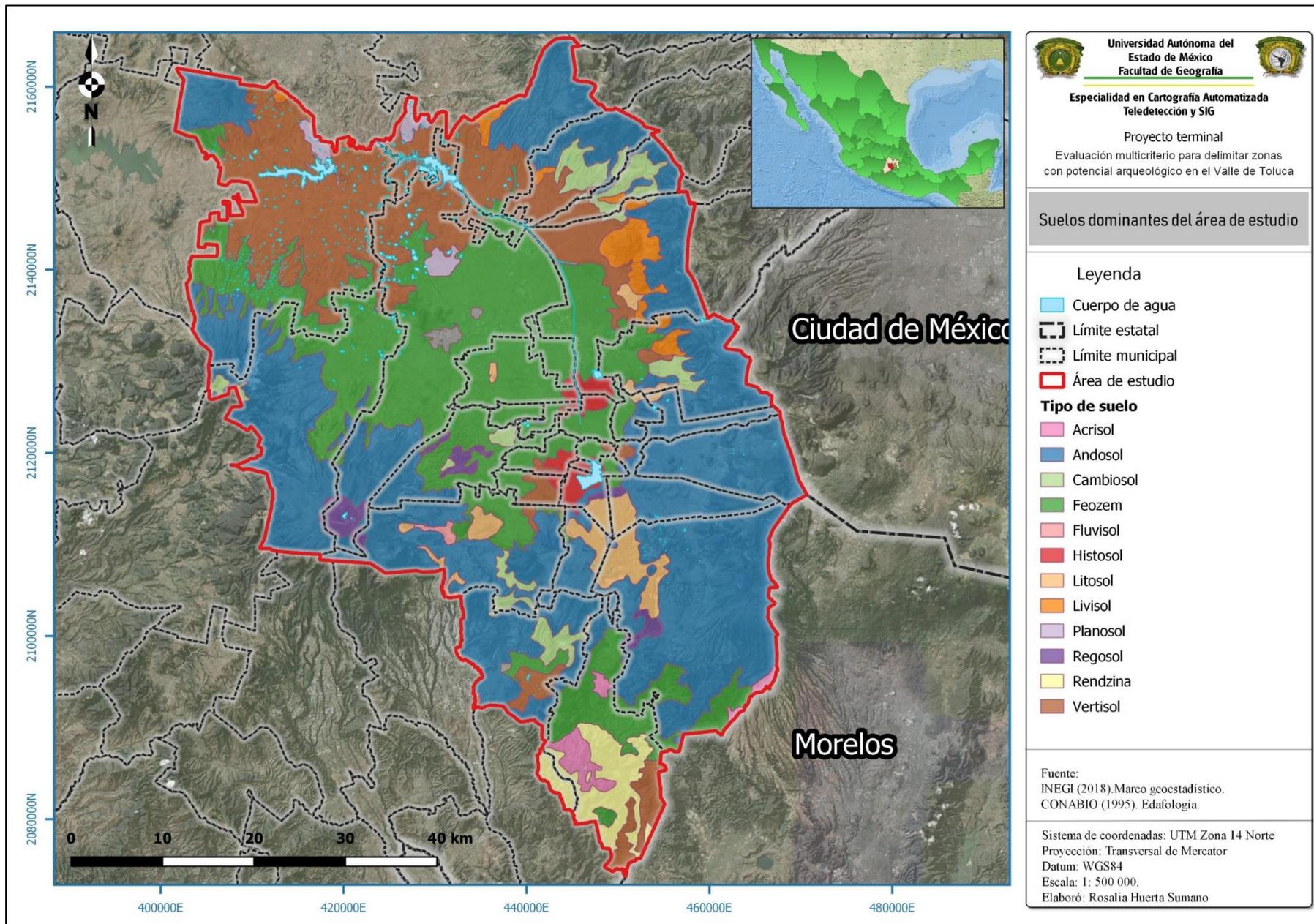


El segundo suelo más común en el área de estudio es el Feozem, ubicado principalmente en la zona central de la cuenca, este suelo oscuro es rico en materia orgánica y se origina en regiones suficientemente húmedas de modo que la mayoría de los años hay alguna precolación a través del suelo, pero también con períodos en los cuales el suelo se seca. Se localiza en tierras llanas u onduladas y tienen como vegetación natural el pastizal y /o bosque. En general es poroso, fértil, excelente para tierras agrícolas siempre y cuando no se exponga a severa erosión eólica o hídrica (*Op. Cit.* pág. 87).

Por otro lado, en una fracción de la sierra Nahuatlaca-Matlazinca y la parte noreste de Ocoyoacac hay presencia de litosoles, suelos muy pedregosos que se desarrollan sobre la colada de lava del volcán Tezontépetl y en algunas partes del noroeste de la cuenca (Ramos, 2011, pág. 38), estos suelos son muy someros y gravillosos ubicados sobre afloramientos rocosos (IUSS, 2007, pág. 83).

En el valle donde nace el río Lerma, hallamos suelos de tipo histosol formados por el material orgánico de las ciénegas (*Ibid.* pág. 81). Mientras que en algunas elevaciones a piedemonte encontramos los suelos de tipo cambisol, aquellos que se originan y evolucionan en el mismo lugar donde se localizan (Ramos, 2011, pág. 38). Por último, en la parte sur del área de estudio encontramos el suelo de tipo rendzina, que se refiere a suelos leptosoles ubicados sobre rocas calcáreas (IUSS, 2007, pág. 83).

También hay algunos espacios con acrisoles, suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo, originados a partir de la meteorización de rocas ácidas, y en arcillas fuertemente meteorizadas que están sufriendo mayor degradación (*Ibid.* pág. 67).



Mapa 5. Suelos dominantes en el área de estudio.



### *III. Antecedentes*

#### A. El Valle de Toluca en época prehispánica

Los asentamientos más antiguos que se han registrado en el área de estudio se remontan al periodo conocido como Formativo Temprano (aproximadamente 1500 a. C.), los cuales ya vivían una vida sedentaria formando unas cuantas aldeas pequeñas y dispersas en la parte baja de una planicie y en terrenos cercanos al río Lerma y algunos afluentes (Sugiura, 2009, pág. 96).

Un número mayor de sitios posteriores se hallaron en zonas más alejadas de las lagunas de la cuenca, como la Sierra Morelos en la actual capital mexiquense. Cabe destacar que estos sitios se ubican sobre lomas y laderas suaves arriba de la cota de 2650 msnm. Posiblemente esto se debe a que era más provechoso cultivar en zonas de pendiente suave (*Íd.*), sin embargo, el crecimiento de población retrocedió a finales del Formativo Tardío.

En este periodo únicamente se han localizado sitios en lugares cercanos a barrancas profundas o en cimas angostas con topografía accidentada, en la parte norte y nororiental del valle, probablemente con la intención de facilitar su contacto con las poblaciones de la Cuenca de México, y una vez que estas comienzan a consolidarse (alrededor del 200-400 d. C.) como centros rectores, la población del Valle de Toluca nuevamente ascendió (*Op. Cit. pág. 97*).

En los siglos subsecuentes el incremento de asentamientos fue paulatino pero sostenido, aunque no homogéneo, principalmente por las dinámicas sociales derivadas del declive teotihuacano, provocando en su última fase que se duplicara la demografía de la cuenca del Alto Lerma (Sugiura, 2009, pág. 99; Sugiura, 2005, págs. 279-280). Siendo este momento (600-750 d. C.) cuando la población otomiana diverge y la población matlatzinca comienza a predominar en la cuenca del Alto Lerma (Albores, 2006, pág. 262).

El grupo étnico matlatzinca forma parte de la familia lingüística otomiana (otomí-pame), que se divide en tres familias: otomí-mazahua, matlatzinca-ocuilteca y chichimeca-



jonaz; ésta última afiliada con los cazadores recolectores del Norte de México (Carrasco, 1979, págs. 11-13). Estos grupos distribuidos en el Valle de Toluca y regiones colindantes tuvieron un auge social y político en el periodo Epiclásico (600-900 d. C.) por lo que surgieron nuevos centros rectores que luchaban por el control económico y político regional, como fue el caso de Tula en Hidalgo, Cacaxtla en Tlaxcala, Xochicalco en Morelos y Teotenango en el Valle de Toluca (Manzanilla, 2014, pág. 997).

En lo que atañe al Matlatzinco, el año 1162 d. C. marca una nueva etapa para los matlatzincas con la caída de Tula, extendiendo su territorio fuera de cuenca del Alto Lerma, incluyendo lugares de la cuenca de México, en este momento los sitios de Tenancingo, Malinalco y Ocuilan adquieren un rol importante de comunicación con la región de Guerrero y de Morelos, así mismo, la zona de Zinacantepec, Almoloya de Juárez e Ixtlahuaca es el área de paso hacia Michoacán (Nieto, Los matlazincas: un recorrido histórico por su desarrollo histórico, 2013). Siendo este el periodo de mayor expansión de los señoríos matlatzincas (Albores, 2006, pág. 262).

Para 1410, el gobernante Itzcóatl quien después de su triunfo sobre Atzacapotzalco inició comisiones militares hacia el Valle de Toluca empezando por Ocuilan (Hernández, 2013, pág. 50). Pero, es el sexto rey mexica Axayácatl a quién se le atribuye, de acuerdo a diferentes fuentes históricas la conquista de las principales ciudades del Valle de Toluca en 1475 d. C. (Anales de Tlatelolco, 2004). De acuerdo con el cronista Durán el Valle de Matlatzinco, en tiempos de Axayácatl, estaba gobernado por tres señores principales:

“...En Toluca y Matlazincos, que se cuenta una sola provincia, reinaban o eran cabeza de ella dos señores muy valerosos y de mucha autoridad que se llamaban, el uno Chimaltecuhtli, éste regía la parcialidad de Toluca y el otro se llamaba Chalciuhquiauh, el cual regía la parcialidad de los Matlatzincas (...) En Tenantzinco gobernaba un señor que se llamaba Tezozomocli” (Durán, 1867, pág. 271).

A pesar de varias rebeliones posteriores, el Valle de Toluca se incorporó al dominio del imperio mexica cediendo jurisdicción territorial a los miembros de la Triple Alianza y



pagando tributo (García R. , 1999, págs. 61-78). Por ejemplo, Toluca aparece en el código Mendocino junto a otros 12 altepetl tributando 400 cargas de mantillas blancas, 1 200 cargas de henequén blanca, dos piezas de armas con dos rodelas con plumas ricas, 20 rodelas valadís y seis trojes de maíz, frijol, chían y guautli (Menegus, 1991, pág. 58).

Con la llegada de los españoles nuevamente la población de la cuenca del Alto Lerma se ajustó a un nuevo orden político, dando lugar a las entidades de Toluca, Metepec y Tenango (Albores, 2006, pág. 265). Con este resumen histórico podemos obtener una idea de la riqueza arqueológica con la que cuenta el área de estudio y de la importancia de su estudio para conocer mejor la historia de nuestro país y de procesos sociales que forman parte de nuestra identidad.

## B. Terrazas agrícolas prehispánicas

El sistema agrícola de terrazas y metepantles fue ampliamente utilizado en época prehispánica permitiendo aprovechar terrenos escarpados y en declive, especialmente donde el relieve se diversifica entre lomas, mesetas, piedemonte y barrancas. Esta técnica disminuye la erosión del suelo y retiene tanto la humedad como la materia orgánica que favorecen el grosor del suelo y su fertilidad (Rojas, 1988, pág. 111).

De acuerdo con el estudio de Donkin (1979) este sistema no sólo se asocia a lugares con una topografía inclinada, sino que además se delimita a regiones con un periodo de secas amplio y con precipitación moderada, por lo que se infiere que las terrazas se diseñaron con el propósito de diezmar la dificultad del cultivo en laderas con una marcada estación seca, con suelos delgados y humedad insuficiente (*Idém.* pág. 113).

Si bien este patrón se cumple en la mayor parte de los casos, también encontramos varias excepciones como el área maya, donde fueron empleadas como una técnica de drenaje superficial a fin de evitar el anegamiento del terreno y la erosión hidrológica del suelo (Lobato, 1988). En este sentido, podemos apreciar que no existe un modelo único de terrazas, sino que existen diversas variantes. Precisamente, Rojas (1988) se basa en los estudios de



Donkin (1979) para describir los tres tipos de terrazas más comunes en Mesoamérica clasificadas por el grado de modificación de la pendiente:

1. Las terrazas de ladera, que presentan una superficie de cultivo moderadamente amplia y plana con muros de roca o de tierra; en esta categoría se incluyen las terrazas de contorno, así como las escalonadas con irrigación permanente como las del área andina.
2. Las “presas”, por lo regular se construyen en el interior o a lo ancho de barrancas y cárcavas, tienen muros de piedra sencillos, dobles y hasta triples.
3. Metepantles, ubicados en pendientes suaves donde se levantan bordos frecuentemente delimitados con hileras de maguey, nopal o árboles frutales.

Cabe mencionar que las terrazas prehispánicas frecuentemente se hallan asociadas a contextos habitacionales y cívico-ceremoniales (Grove, 2005; Rodríguez, 2008; Mountjoy, Schöndube, & Montes, 2014), en estos casos la terrazas permitían una producción de alimentos reducida pero más controlada y formaban parte del sistema de drenaje de las estructuras arquitectónicas.

En relación con la antigüedad de uso de este sistema es aún incierto, pero algunas fuentes consideran que se usaban desde el periodo formativo (2500 a.C. a 1200 a. C.) variando de una región a otra, por ejemplo, en Tlaxcala se estima que su uso comenzó alrededor del 1700 al 1200 a. C. (González, 2014, pág. 2), mientras que en Oaxaca, en la zona de la Mixteca, la adopción de esta técnica fue hasta el 800 a 300 a. C. (Pérez V. , 2006, págs. 250-251).

En el caso del Valle de Toluca también se han localizado terrazas de época prehispánica, aunque se desconoce la antigüedad de su uso en la región, los trabajos dedicados a este tema hasta este momento corresponden a sitios del periodo Posclásico (900-1521) (Pérez & Juan, 2013; Castañeda, 2015). Sin embargo, estos estudios pioneros ofrecen valiosos datos sobre su localización en paisajes de lomeríos y laderas de alta montaña (Pérez & Juan, 2013), así como de las plantas que se cultivaban incluyendo el maíz, frijol, amaranto, plantas medicinales entre otras (Castañeda, 2015).



## Evaluación multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca

---



De esta manera, apreciamos que la población otomí del Valle de Toluca se adaptó a la zona de lomeríos y serranía para habitar y producir alimentos esenciales de su dieta, utilizando una estrategia que favorece la conservación del suelo y un mejor aprovechamiento del agua (González, 2014; Pérez V. , 2006).



## IV. Marco teórico

### A. La coyuntura del hombre y el medio físico.

Las raíces de los modelos predictivos arqueológicos se remontan a la década de los sesentas, cuando las humanidades comienzan a adquirir una concepción filosófica neopositivista, basada en el manifiesto del Círculo de Viena. Del mismo modo, la arqueología tomó este enfoque para explicar las dinámicas sociales sin recurrir a fenómenos externos como invasiones o migraciones que hasta entonces la postura difusionista generalizaba, sentando así las bases de la Nueva Arqueología o Arqueología Procesual (Almudena, 1992, pág. 18).

En este sentido, Binford el principal representante de la Nueva Arqueología, postuló que el cambio no se daba por contacto con otras culturas, sino por influencia del ambiente, lo que llevó a defender la existencia de procesos generales de cambio, leyes que permitían entender el comportamiento humano, acercando el análisis arqueológico al de las ciencias naturales (Micó, 1998).

Es así que, los partidarios de esta corriente se apoyaron en la ecología cultural o ecología humana, inicialmente propuesta por Steward y retomada posteriormente por Karl Butzer entre los años setentas y ochentas, teniendo como fundamento casi exclusivo la adaptación del hombre al medio para explicar todas las dinámicas sociales (Villafañez, 2011, pág. 139).

En el caso de Europa, los estudios arqueológicos también se apegaron al enfoque positivista, pero desde la geografía británica o Nueva Geografía, cambiando la forma de “*entender y representar el espacio y las relaciones que en él se producen (noción de espacio relativo, aplicación de modelos, análisis locacional, técnicas de cuantificación etc.), y reflexiones teóricas metodológicas alternativas para planificación y gestión del espacio*” (Orejas, 1991, pág. 199).

Bajo estas ideas Clarke (1977) y Hodder y Orton (1976) son los primeros arqueólogos en incorporar técnicas estadísticas con el fin de desarrollar una serie de modelos espaciales,



y a finales de los años setentas y principios de los ochentas, este tipo de trabajos fueron el génesis de la Arqueología Post-procesual, llevando a Hodder a reflexionar lo difícil que resultaba comprobar los resultados obtenidos y de las distintas alternativas de interpretación que se podían obtener de un mismo registro arqueológico, acuñando el término de *equifinalidad* (Johnson, 2000, págs. 131-132).

Por lo que, la Arqueología Post-procesual se desarrolla como una alternativa al discurso deductivo-nomológico promovido por la Nueva Arqueología. Desde esta postura, el paisaje es un elemento socialmente construido, de esta manera, se considera que los grupos sociales perciben y articulan su entorno a través de su incorporación a sus actividades cotidianas y el movimiento (Fairén, 2004, pág. 24).

Desde entonces, diversas alternativas han aportado nuevas perspectivas sobre la relación entre el hombre y su medio físico, principalmente movimientos procedentes de Francia, Italia, Países Bajos y España (Orejas, 1991, págs. 206-211). Contribuyendo a reconocer la complejidad del registro arqueológico, *“la arqueología comenzó a considerar de forma integral en su objeto de estudio tanto al individuo como a la sociedad, siendo el espacio aquel “todo” en el que el ser humano interactúa”* (Pastor, Murrieta, & García, 2013, pág. 11).

Esto lleva a los fundamentos de la Arqueología del Paisaje estableciendo que a diferencia de otros seres vivos, los seres humanos no solo viven en el entorno, sino que crean su propio entorno para vivir, por lo que estudia un tipo específico de producto humano (el paisaje), que parte de una realidad dada (el espacio físico) y se crea una nueva realidad (el espacio social) (Criado, 1999, pág. 6).

Intenta explicar cómo las sociedades interactúan entre sí y al mismo tiempo con el medio físico, estudiando los sistemas de aprovechamiento (caza, pesca y recolección) de producción (agricultura, ganadería, piscicultura) y las relaciones sociales, políticas, económicas y religiosas inmersas, además de cómo éstas a su vez transforman el ambiente (Ballivián, 2009).



Precisamente, el punto de partida del modelo que aquí se propone, es la interpretación de las terrazas como estrategia de adaptación al medio físico de las sociedades prehispánicas, visto como un proceso social y no como un evento aislado, que produjo la transformación del medio (hoy en día objeto de estudio) y que involucró dinámicas sociales que modificaron el modo de vida de las mismas poblaciones.

## B. Modelos de predicción arqueológica

Hacia la segunda mitad de la década de los setentas comenzaron a producirse modelos predictivos a gran escala en los Estados Unidos influenciados por la tendencia del positivismo en las humanidades, de acuerdo con Plog y Hill, (1971) el primer trabajo sobre temas de predicción de la ubicación del sitio fue realizada por el Southwest Anthropological Research Group a principios de la década de 1970 (Verhagen & Whitley, 2012, pág. 51).

En la década de los ochentas con el impulso de los SIG, se incrementan los trabajos de modelación predictiva arqueológica (MPA), definida por Kohler y Parker (1986) como: *“una técnica que, como mínimo, intenta predecir “la ubicación de los sitios o materiales arqueológicos en una región, ya sea en una muestra de esa región o en nociones fundamentales sobre el comportamiento humano”* (Fernandez, 2009, pág. 9; Verhagen & Whitley, 2012, pág. 52).

Los MPA se han realizado tanto con aproximación inductiva como deductiva o incluso de forma “combinada”, en el primer caso los modelos parten de datos conocidos de sitios arqueológicos, generalmente dentro de un área de estudio controlada, caracterizados con datos ambientales como la distancia al agua, el tipo de suelo y la pendiente; luego se extrapola las correlaciones encontradas en áreas donde no hay información del sitio, recurrentemente por medio de regresión logística. En general este tipo de trabajos no ofrece explicaciones sobre la preferencia de ubicación, únicamente se menciona que el patrón identificado es el predominante e ideal para la subsistencia.



Por otro lado, están los modelos deductivos o explicativos, donde la información arqueológica del sitio no se usa para buscar correlaciones, sino con fines de prueba de una hipótesis explicativa. Inicialmente, estos modelos explicativos se utilizaron principalmente en regiones con una relativa ausencia de información del sitio, pero en muchos casos son relativamente poco sofisticados hasta el punto de ser llamados modelos "intuitivos" o de "juicio experto" (Verhagen & Whitley, 2012, pág. 51).

Cabe mencionar que los modelos predictivos son complejos de emplear, más aún tratándose de vestigios del pasado, por lo que los resultados suelen ser orientativos, potenciales, partiendo de la base de que es posible que las localizaciones arqueológicas conocidas en la actualidad puede que no constituyan una muestra significativa de los asentamientos del pasado (Fernandez, 2009, pág. 9).

Actualmente, los MPA son utilizados principalmente en la gestión y planeación, un mapa predictivo puede ser un instrumento muy poderoso y útil para la protección del patrimonio arqueológico, se ha demostrado que conduce a importantes ahorros financieros en la etapa de planeación del trabajo, podemos decir que se advierte acerca de los costos específicos que probablemente conlleve cada alternativa (Verhagen & Whitley, 2012; Kamermans, van Leusen, & Verhagen, 2009).

Por último, es importante mencionar que, en nuestro país el MPA es una técnica apenas implementada en un par de casos, en primera instancia se encuentra el modelo de Trujillo (2009) utilizando la técnica Dempster-Shafer para detectar sitios al sureste del estado de Michoacán y noroeste de Guerrero, relacionados a la producción metalúrgica (Trujillo, 2011). Por otro lado, se encuentra el trabajo de Anaya y Hernández (2018), en la costa del Pacífico de Sinaloa, al suroeste del municipio de Mazatlán, donde se aplicaron tres técnicas de modelación: Agregación Potencial, Regresión Lógista, y Dempster-Shafer.



## C. Evaluación Multicriterio

Por lo general el hombre busca elegir en cada situación la mejor opción de todas las disponibles enfrentando un problema de decisión. Cuando la toma de decisión no está guiada por un solo propósito, sino que existen varias finalidades simultáneas que pueden entrar en conflicto, aparecen los problemas de decisión multicriterio.

De acuerdo con la definición de Eastman (2001) y Jankowski & *et al.* (2001), el análisis multicriterio se basa en la comparación de características de desempeño llamadas criterios para encontrar la solución a problemas compuestos de múltiples alternativas (Mendoza y otros, 2009, pág. 57). Las técnicas de análisis multicriterio en la toma de decisiones se desarrollaron en el ámbito económico, con sus primeras aplicaciones en la Teoría del Bienestar, la Teoría de la Utilidad y la Teoría de los Juegos a finales del siglo XX, no es hasta la década de los sesentas que su uso se extiende a diferentes áreas (Beato, Infante, & Ruiz, 1999, pág. 500).

Para comprender mejor el significado y alcance de la evaluación multicriterio es necesario definir el concepto de atributo, objetivo y criterio. En el primer caso, se refiere a los valores de un determinado problema de decisión (Romero, 1996). El objetivo representa dirección de mejora de los atributos que se están considerando, esto puede ser interpretado como “más o menos del atributo que nos permite alcanzar nuestro propósito u alternativa idónea” (*Idém.* pág. 20). Por último, el termino criterio engloba los dos conceptos anteriores, que evalúan cada alternativa (*Idém.* pág. 21).

En este sentido, los análisis multicriterio se dividen en decisiones multiatributo y multiobjetivo, en el primer caso las reglas de decisión se basan en un atributo o varios, mientras que, en la segunda alternativa se establecen reglas conforme al punto de vista u objetivo del tomador de decisiones (Beato, Infante, & Ruiz, 1999, pág. 500). Ambos enfoques son aplicados al análisis espacial para el estudio de eventos y fenómenos geográficos.

Así mismo, los problemas de toma de decisión espacial se clasifican en aquellos completamente predecibles (deterministas) y los que presentan incertidumbre por la falta de



información (problemas probabilísticos), o bien por la imprecisión en la descripción de eventos, fenómenos o afirmaciones (problemas fuzzy) (Mendoza y otros, 2009, pág. 58). Cabe mencionar que, en ningún caso de análisis se está exento de incertidumbre y/o rango de error, pero se puede conocer su dimensión y evaluar en qué grado puede afectar las decisiones que se desean determinar con la evaluación multicriterio.

Por otro lado, Jankowski (1995) realiza una clasificación de la evaluación multicriterio desde el punto de vista operativo y del tratamiento de los datos, estableciendo dos clases de análisis multicriterio, aquellos que tienen técnicas no compensatorias y con técnicas compensatorias (Gómez & Barredo, 2005).

En el enfoque no compensatorio la puntuación baja de un criterio, para una alternativa, no puede ser compensada por la alta puntuación de otro criterio. Pueden ser útiles en la toma de decisiones, situaciones en que el decisor no puede, o no está dispuesto a formular preferencias, la desventaja es recomendar una alternativa inferior debido a su estrategia de procesamiento reducida (*Íd.*).

En cambio, los métodos compensatorios requieren de la clasificación ordinal de los criterios sobre la base de las prioridades de la toma de decisiones. Estas se subdividen de acuerdo con el método de la agregación de las ponderaciones de los criterios y prioridades de la toma de decisiones en:

- 1) técnicas aditivas, donde las puntuaciones de los criterios están estandarizadas para permitir la compensación y la comparación de la actuación en una escala común. La puntuación de cada alternativa se calcula multiplicando el peso por el criterio de puntuación de criterio de desempeño (la alternativa con la puntuación más alta).
- 2) técnicas basadas en la búsqueda del punto ideal, donde se establece un conjunto de soluciones ideales, es decir, especificar el valor más deseable para cada criterio de decisión. Entonces, la distancia entre la solución ideal y cada alternativa considerada se mide usando una distancia euclidiana o una medida de distancia no lineal con el fin de llegar a la clasificación de las alternativas.



En el caso del análisis de decisión multicriterio espacial, el procedimiento consiste en primera instancia en especificar un conjunto de criterios de evaluación asociados a entidades geográficas y a las relaciones entre ellas, por lo que se representan como mapas temáticos. Los criterios son de dos tipos: factores y restricciones, estos últimos, evalúan el espacio de forma binaria: apto y no apto, por lo que limitan las zonas de análisis. Mientras que, los factores sirven para determinar un rango de aptitud del espacio de la alternativa deseada. (Varela, Saco,, Tarela, & Arias, 2005).

Finalmente, se valora la robustez del proceso y se desarrolla un análisis de sensibilidad que permite entender cómo interactúan los diferentes elementos de decisión y cómo derivan en la alternativa preferida, por lo que sirve a manera de recomendación para acciones futuras a fin de mejorar el análisis.



## V. Metodología

El procedimiento metodológico consistió en primera instancia de un estudio estadístico exploratorio de siete variables que fueron constantes en la aplicación de modelos arqueológicos previos (Anaya & Hernández, 2018; Trujillo, 2011; Molina, 2009; Iniesta & Rojas, 2017; Buriticá, 2018; Lanzelotti & Buzai, 2017; Fernández & Rodrigo, 2009; Kamermans, van Leusen, & Verhagen, 2009) y que también son reconocidas como factores que influyen en la disposición de las zonas de cultivo (Sugiura, 2005, págs. 247-254).

Estas variables fueron empleadas como criterios para delimitar áreas con potencial arqueológico, en este caso de terrazas agrícolas prehispánicas, dichos rasgos físicos a evaluar son:

- Distancia a recursos hídricos.
- Pendiente.
- Altitud.
- Orientación.
- Tipo de roca.
- Tipo de suelo.
- Profundidad del suelo

Los datos arqueológicos utilizados para el presente modelo fueron obtenidos de informes, tesis y publicaciones (Pérez & Juan, 2013; Nieto, 2012; Miranda, 2013) que permitieron no solo obtener la locación de las terrazas, sino también la descripción de estos elementos y su contexto arqueológico.

Por su parte, los datos de las variables se obtuvieron del conjunto de datos vectoriales del Marco Geoestadístico (2018), Red Hidrográfica (2010) y el Modelo Digital 1:250 000 de la Ciudad de México y Cuernavaca del INEGI; así como el conjunto de datos vectoriales de Edafología (1995) de CONABIO, y por último la Carta Geológica del Estado de México (2017) provista por IFOMEGEM.



Los datos correspondientes a la pendiente, orientación y distancia de a los recursos hídricos se obtuvieron del Modelo Digital y la red hidrológica, empleando las herramientas de geoprocésamiento *pendiente, orientación y proximity* de Qgis. Así mismo se concentró en la tabla de atributos de las terrazas las condiciones físicas correspondientes a su localización, esta unión de los datos se realizó con la herramienta *unir atributos por localización* para extraer los datos de capas vectoriales, y con las capas ráster se usó *puntos de muestreo*.

La relación se exportó a una hoja de cálculo de Excel con el fin de determinar las tendencias en las características físicas asociadas con la localización de las terrazas, estos datos permitieron ponderar las variables para realizar el modelo multicriterio. Entre las técnicas de ponderación más usadas de la evaluación multicriterio se encuentra el Método de Comparación por Pares o Método de Jerarquías Analíticas (Analytic Hierarchy Process) propuesto por el matemático Thomas L. Saaty en 1980 (Romero, 1996, págs. 29-30).

Este método se basa en la experiencia y el conocimiento formando una matriz de comparación, y estableciendo prioridades o importancia relativa según las preferencias del decisor. La ponderación se establece en dos sentidos, en números enteros para indicar mayor importancia entre los factores y en números decimales para indicar menor importancia.

En el primer caso, el rango de valores va del 1 al 9, donde 1 representa igual de importancia entre los factores comparados, mientras que 9 representa que el segundo factor es extremadamente más importante que el primero, es decir, que la evidencia favorece totalmente al segundo factor. Mientras que, la segunda escala, 0.1 o 1/9 representa extremadamente menos importante que el primero. Posteriormente se calcula el vector de pesos a partir de diferentes procedimientos matemáticos como la media geométrica o el determinismo de álgebra lineal, en cualquier caso, el resultado de los pesos debe sumar la unidad (*Idém.* 32).

El cálculo de esta ponderación se realizó con la herramienta *weight* del programa Idrisi Selva. En esta misma plataforma se importaron las variables en formato ráster, donde se utilizó la herramienta *fuzzy* con el objetivo de normalizar todas las variables, con el objetivo de unificar los valores alcanzados en cada variable, el método de normalización del



programa consiste en restar el valor máximo y mínimo de cada valor obtenido en una variable y dividiendo la diferencia por el rango de la variable, el resultado debe ser 0 cuando la variable alcanza su mejor valor y 1 refiere al peor valor (Romero, 1996, pág. 27).

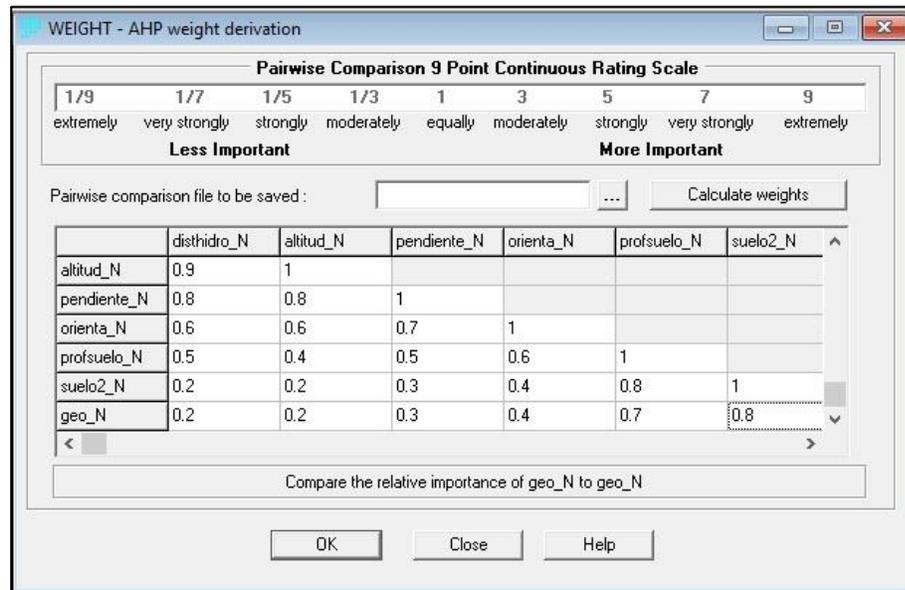


Figura 3. Ponderación de variables con la herramienta Weight del software Idrisi Selva.

También se indica el grado de pertenencia de un elemento respecto a un conjunto, que pueden ser lineal, sigmoideal o en forma de J, estas funciones representan tendencias gráficas crecientes, decrecientes o simétricas y quedan definidas a través de parámetros o puntos de control (a, b, c y d) que corresponden a los valores extremos y óptimos o no óptimos de las variables. Para este análisis se recomienda usar la función sigmoideal que representa un crecimiento lento entre los valores mínimos y máximos (Beato, Infante, & Ruiz, 1999).

Una vez normalizadas las variables, se generaron restricciones como cuerpos de agua y zona urbana usando la herramienta de reclasificación para designar un valor de 0 y 1 permitiendo diferenciar áreas restrictivas de áreas optimas. Por último, se creó el modelo utilizando el módulo MCE de Idrisi Selva, específicamente se aplicó la regla de decisión de sumatoria lineal ponderada.

La regla de decisión es un método aritmético-estadístico que permite integrar los criterios establecidos en un índice de simple composición comparando cada alternativa con



este índice. Como se ha mencionado, la evaluación multicriterio se basa en la evaluación de una serie de alternativas sobre la base de ciertos criterios, sirviendo para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente las alternativas (cursos de acción, hipótesis, localizaciones etc.), a partir de los criterios pertinentes.

También se agregó la compensación entre los factores a partir de la ponderación obtenida por el método AHP y las restricciones. Finalmente se generó un mapa de aptitud continua para cada criterio, en donde cada celda del mapa ráster se clasifica en cuanto al nivel de aptitud entre los extremos “apto - no apto” generando límites difusos (Lanzelotti & Buzai, 2017, pág. 136).

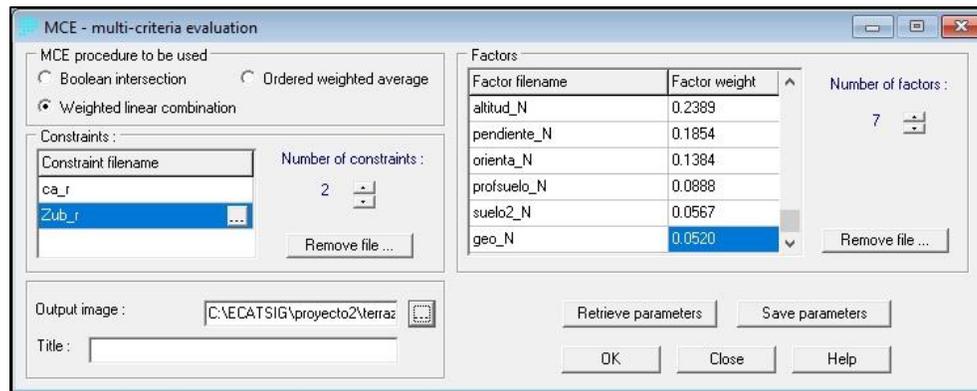


Figura 4. Modulo MCE para generar el mapa de aptitud continua.



## VI. Resultados

De las fuentes consultadas (Pérez & Juan, 2013; Nieto, 2012; Miranda, 2013) se obtuvo una muestra de 50 terrazas agrícolas prehispánicas, que se encuentran distribuidas en varios municipios del área de estudio. Estos elementos presentan variantes en la técnica de construcción, derivado de las condiciones del terreno y el propósito de su uso, es así que la muestra incluye terrazas de uso exclusivo agrícola, pero también, terrazas habitacionales, esto influyó en la disposición de las terrazas y como veremos más adelante en las características físicas asociadas a las mismas.



Figura 5. Terrazas registradas en el municipio de Ocoyoacac. Tomado de: Pérez & Juan (2013).



Figura 6. Terrazas registradas en el municipio de Lerma. Tomado de: Nieto (2012).



Figura 7. Terrazas registradas en el municipio de Tenancingo. Tomado de: Miranda (2013).



Cuadro 1. Relación de las terrazas de muestra en el área de estudio.

Id	Nombre	Municipio	Este	Norte	Muro
1	Sta. Ma. Tlalmimilolpan	Zinacantepec	413785	2133156	Tierra
2	La C. Xochicuautla	Zinacantepec	418900	2124856	Tierra
3	Z.Tlalmimilolpan	Toluca	429661	2125966	Tierra
4	Sn. L. Huitzililapan	Toluca	430626	2125339	Tierra
5	Sn. Fco.Xochicuautla	Calimaya	432171	2117376	Tierra
6	Col. El Bellotal	Tenango del Valle	433425	2114529	Piedra
7	Sta. Ma. Jajalpa	Toluca	424739	2137017	Tierra
8	Col. La Joya	Toluca	427876	2137885	Piedra
9	Sta.Ma.Del Monte	Toluca	428600	2136775	Tierra
10	Sn. M. Yochihuacaltepec	Toluca	429082	2134555	Piedra
11	Sn. Tlaxomulco	Tenango del Valle	431423	2112961	Piedra
12	Ojo de Agua	Tenango del Valle	430844	2111948	Tierra
13	Sn.Tlacotepec	Tenango del Valle	435862	2108473	Tierra
14	Sn. J. Tilapa	Tenango del Valle	443728	2113540	Tierra
15	Z. De Guadalupe	Tianguistenco	454730	2116146	Tierra
16	Sn. Fco. Putla	Xalatlaco	456130	2120923	Tierra
17	Pueblo Nuevo	Tianguistenco	455358	2122081	Tierra
18	Sn. P. Arriba	Tianguistenco	453331	2122757	Tierra
19	Enthavi	Capulhuac	453524	2124205	Tierra
20	Jiquipilco El Viejo	Ocoyoacac	458880	2127969	Tierra
21	Sn. M. Almaya	Ocoyoacac	456226	2130333	Tierra
22	Sn. N. Coatepec	Ocoyoacac	450677	2132070	Tierra
23	Xalatlaco	Ocoyoacac	451787	2133807	Tierra
24	Sn. Tilapa	Lerma	452752	2141963	Tierra
25	Comilpa de Juárez	Lerma	453572	2143024	Tierra
26	Atlapulco	Lerma	453331	2143989	Tierra
27	Sn. M. Balderas	Lerma	450580	2144376	Tierra
28	Sn. B. Atlatlahuaca	Lerma	451063	2144762	Tierra
29	Acazulco	Otzolotepec	441219	2146499	Tierra
30	Sn. M. Mimiapa	Xonacatlán	450484	2149635	Tierra
31	Sta. A. Jilotzingo	Otzolotepec	448312	2151131	Tierra
32	Sn. M. Capulhuac	Otzolotepec	444452	2152965	Tierra

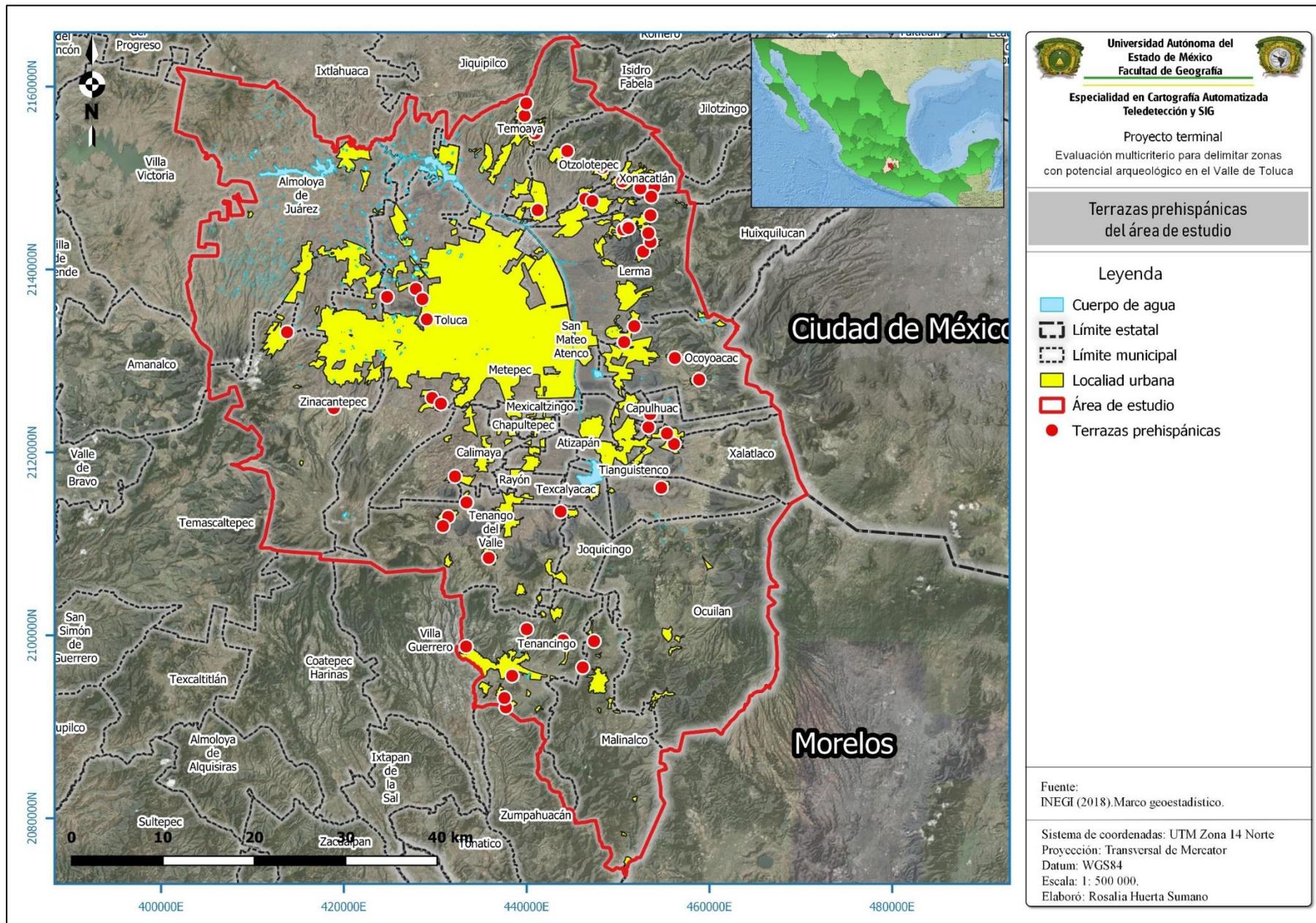


## Evaluación multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca

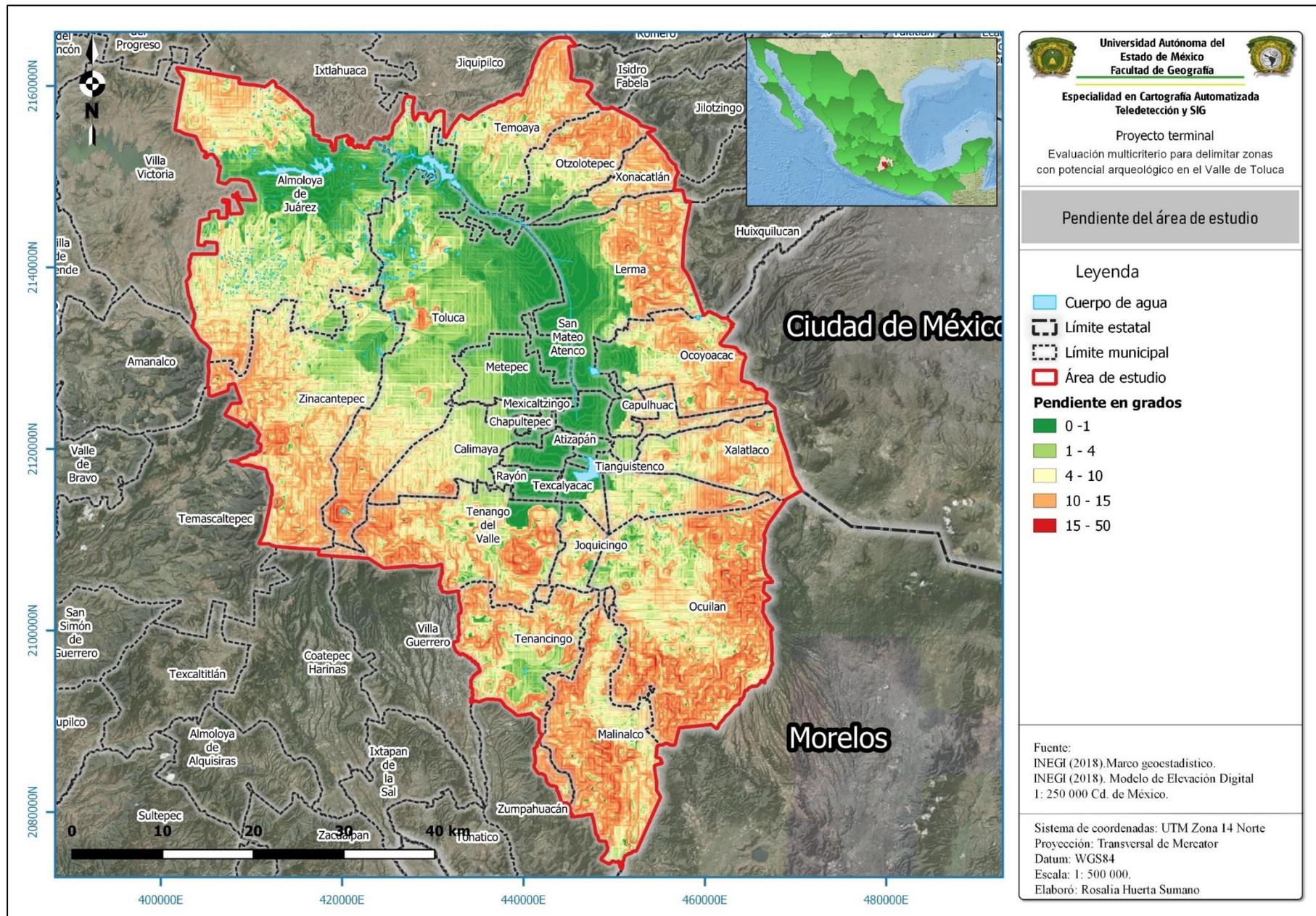


Id	Nombre	Municipio	Este	Norte	Muro
33	Tecaxic	Temoaya	440929	2154895	Piedra
34	V. Cuahutémoc	Temoaya	439771	2156826	Tierra
35	Calixtlahuaca	Temoaya	439964	2158177	Tierra
36	Coamila	Malinalco	447386	2099361	Tierra
37	Coapaxtongo	Tenancingo	440012	2100672	Piedra
38	El Cárcamo de la Loma del Aire	Lerma	453568	2145934	Tierra
39	El Candelero	Xonacatlán	453978	2148999	Tierra
40	El Panteón	Tenancingo	438414	2095577	Tierra
41	El Panteón de Xonacatlán	Xonacatlán	446428	2147722	Tierra
42	Ixtlahuatzingo	Tenancingo	433385	2098779	Piedra
43	La Iglesia de San lorenzo	Lerma	451142	2144556	Tierra
44	La Piedra del Sol	Lerma	453643	2147979	Tierra
45	Las Palmas	Xonacatlán	447201	2147490	Tierra
46	Malinche	Tenancingo	437736	2092122	Tierra
47	Monticulo V	Malinalco	446150	2096499	Tierra
48	Panteón de Tejocolitos	Xonacatlán	452455	2148876	Tierra
49	San Simonito	Tenancingo	443989	2099465	Piedra
50	Santa Cruz	Tenancingo	437571	2093145	Tierra

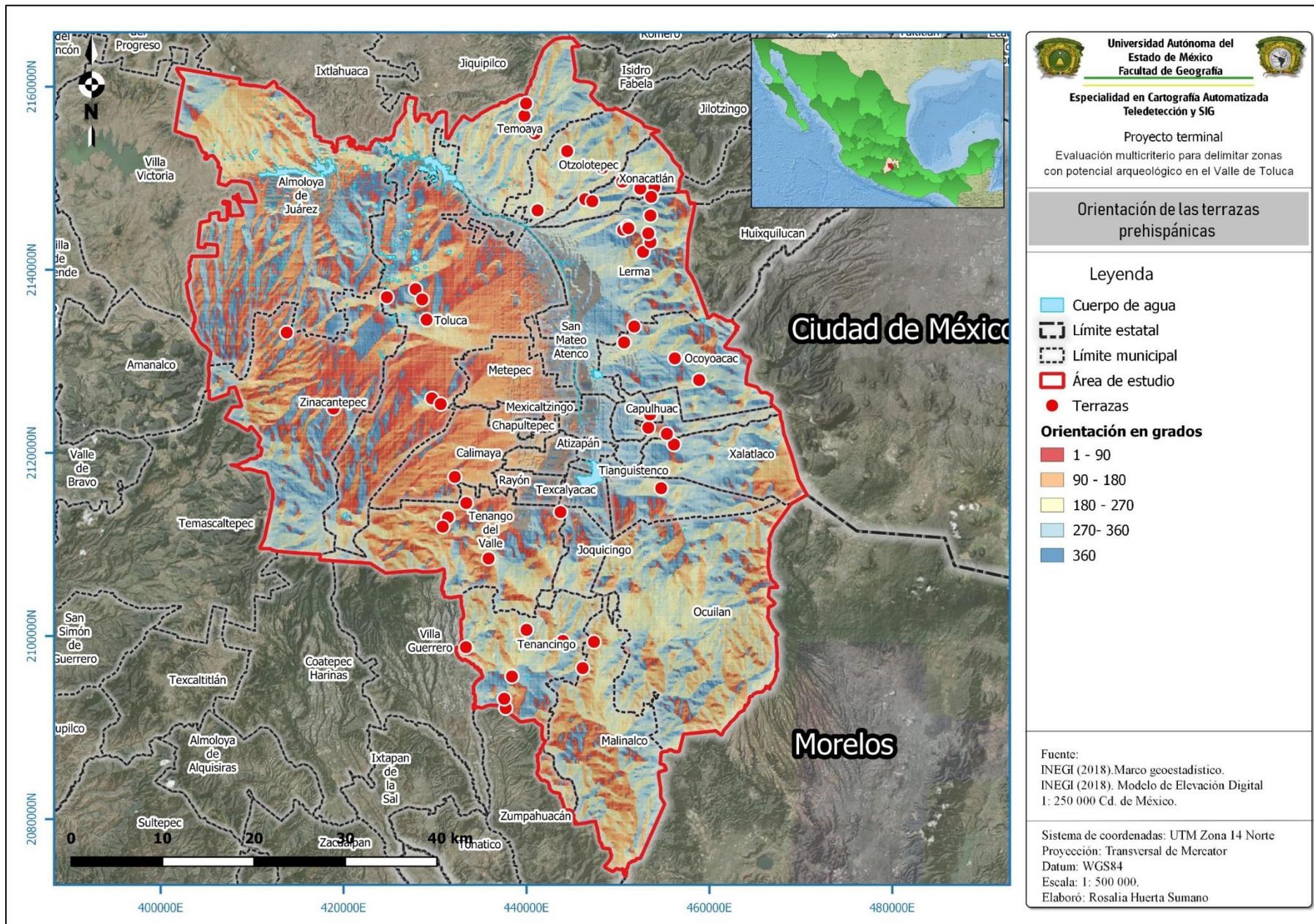
A partir de esta muestra se realizó la comparación de las características físicas que son más frecuentes y que pueden ser factores que influyeron en la ubicación de los asentamientos en época prehispánica. Los datos referentes a la altitud, el tipo de suelo y roca se obtuvieron directamente del conjunto de datos de INEGI e IFOMEGEM. Mientras que, los datos de pendiente, orientación y distancia de los recursos hídricos se consiguieron a través del geoprocesamiento del modelo digital de elevación y los datos sobre la red hídrica de INEGI.



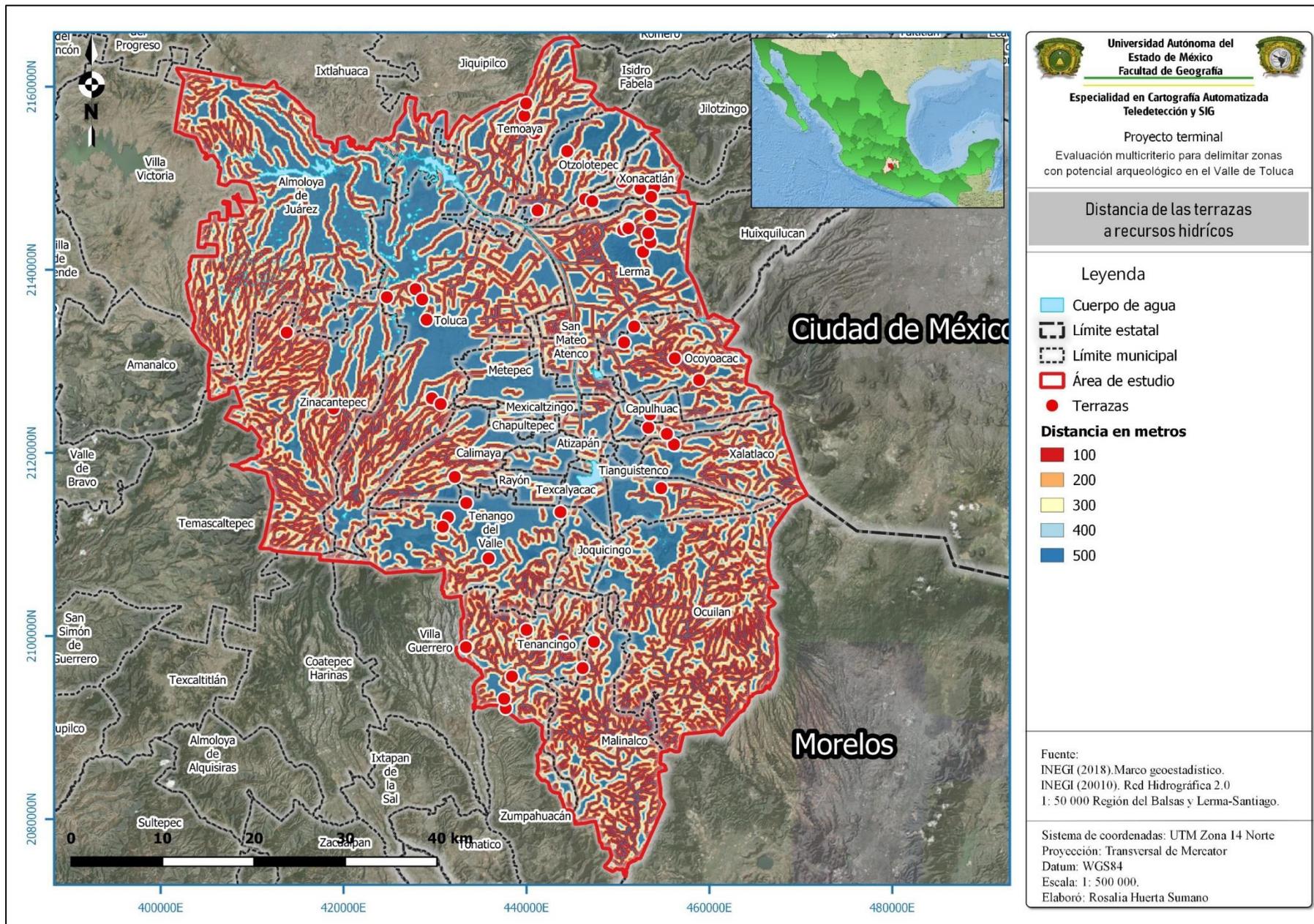
Mapa 6. Distribución de las terrazas de muestra en el área de estudio.



Mapa 7. Pendiente clasificada del área de estudio.



Mapa 8. Orientación de las terrazas prehispánicas de muestra.



Mapa 9. Distancia desde los recursos hídricos.



El análisis exploratorio permitió identificar que el 70% de las terrazas se encuentra en el rango de altitud de 2 500 a 3 000 msnm, donde se encuentra el sistema de topoformas de lomeríos y piedemonte. Sin embargo, el 75% de las terrazas se mantienen en terrenos con baja pendiente no mayor a 10 grados, probablemente porque estos espacios no solo fueron aprovechados para la actividad agrícola, sino que también aquí se construían unidades habitacionales requiriendo de espacios amplios con poca pendiente.

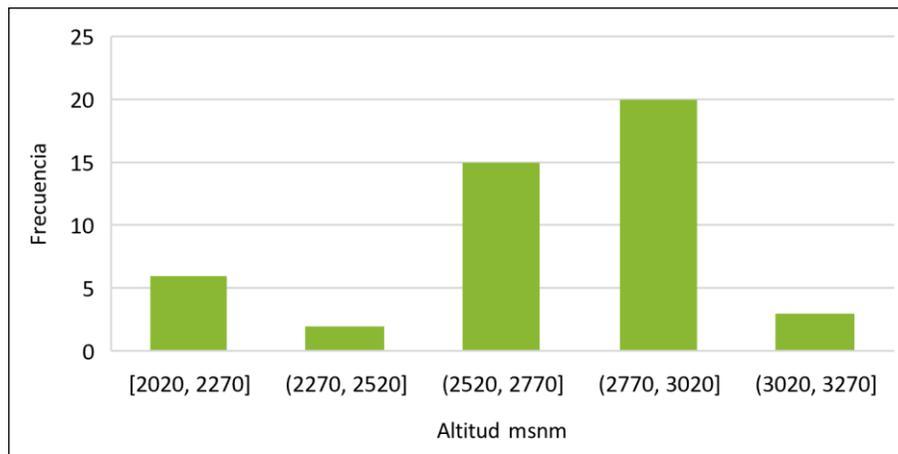


Figura 8. Histograma de los valores de altitud de las terrazas prehispánicas.

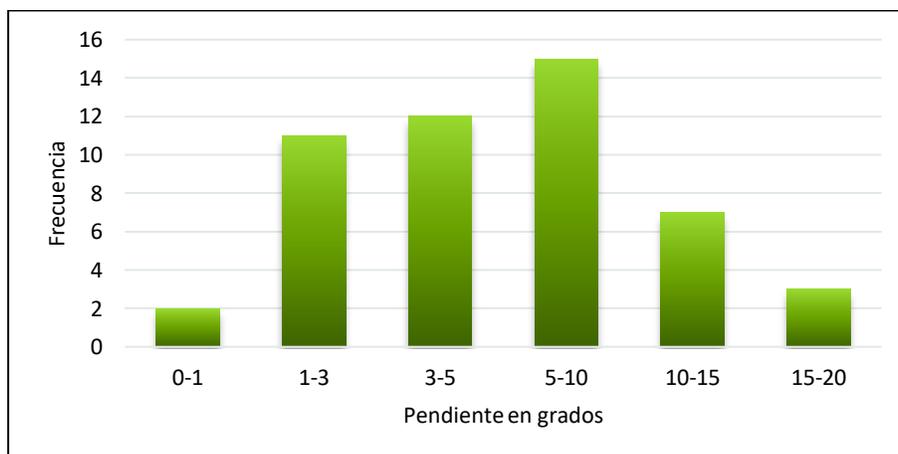


Figura 9. Gráfica de barras de valores de pendiente de las terrazas prehispánicas.

Esta asociación igualmente parece repercutir en la distancia que las terrazas mantienen de los recursos hídricos, de tal manera que el 86% se mantienen por debajo de los 300 metros de distancia de alguna fuente de agua, siendo este el factor el que más influye en



la ubicación de las terrazas. Por otro lado, la orientación es un poco dispersa con una leve predilección del 66% para ubicarse hacia el sur, este factor es importante porque se busca obtener la adecuada cantidad de iluminación recibida a lo largo del día y del año, favoreciendo el crecimiento de los cultivos y una temperatura más confortable en las viviendas.

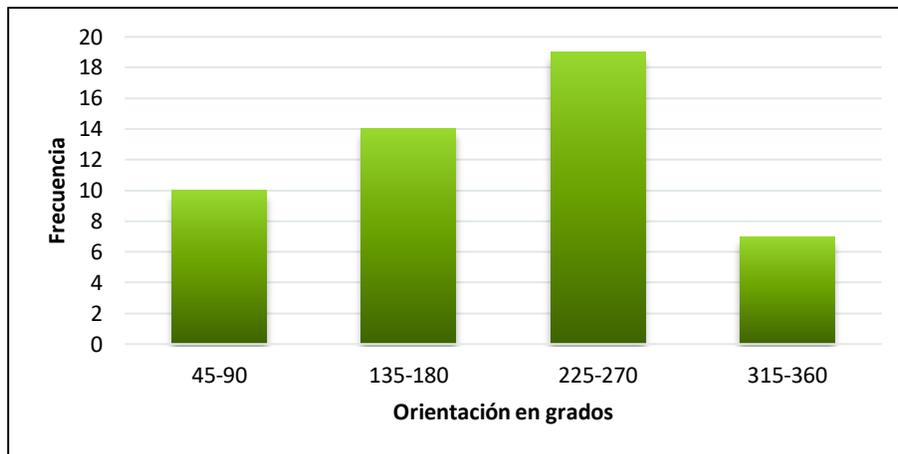


Figura 10. Gráfica de barras de los valores de orientación de las terrazas prehistóricas.

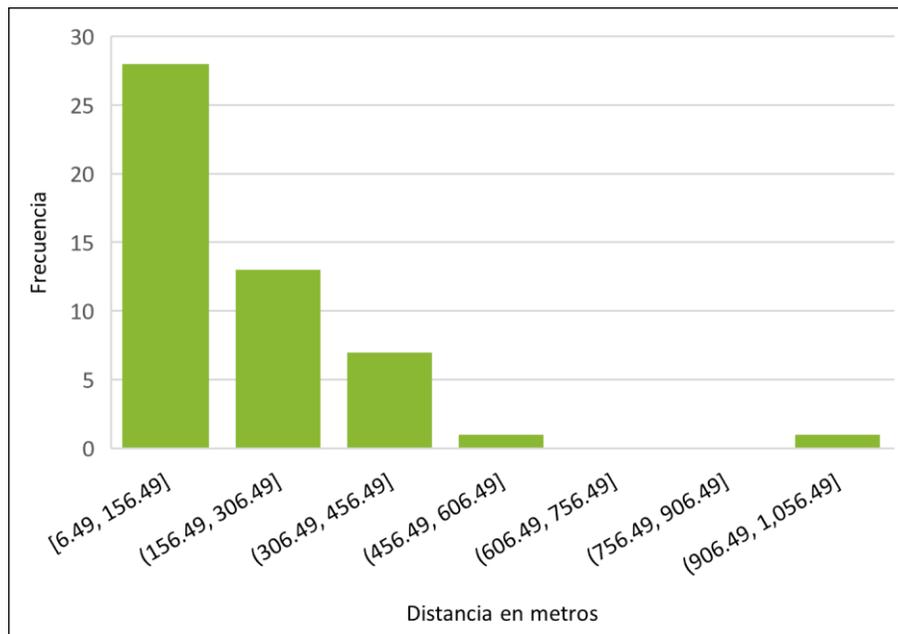


Figura 11. Histograma de los valores de distancia de los recursos hídricos.



En lo referente a las variables de suelo y lítica muestran un comportamiento similar, con tendencias que no superan el 50% de las terrazas de referencia, sin embargo, se ubican principalmente sobre roca andesítica-dacítica y volcánica epiclástica; así como suelos someros y de tipo andosol y feozem.

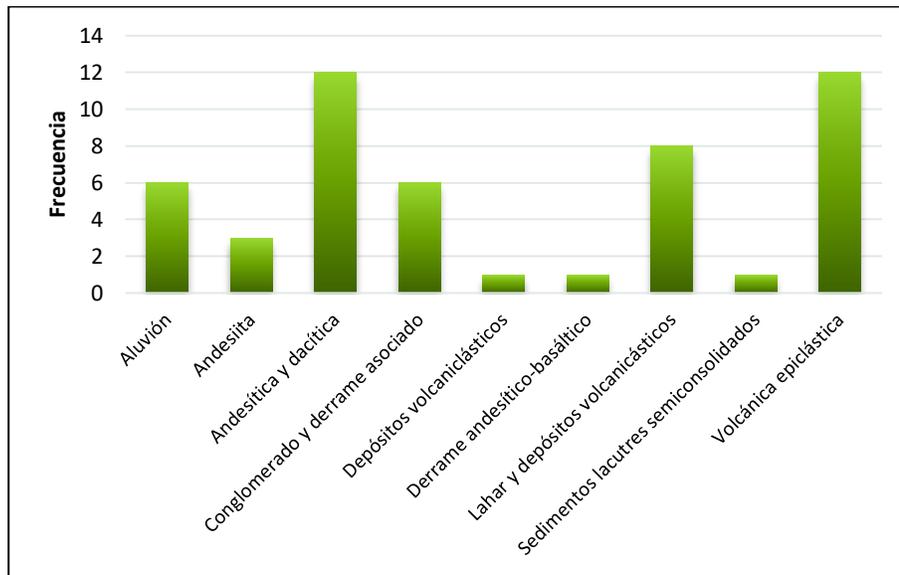


Figura 12. Gráfica de barras de los valores líticos de las terrazas prehispánicas.

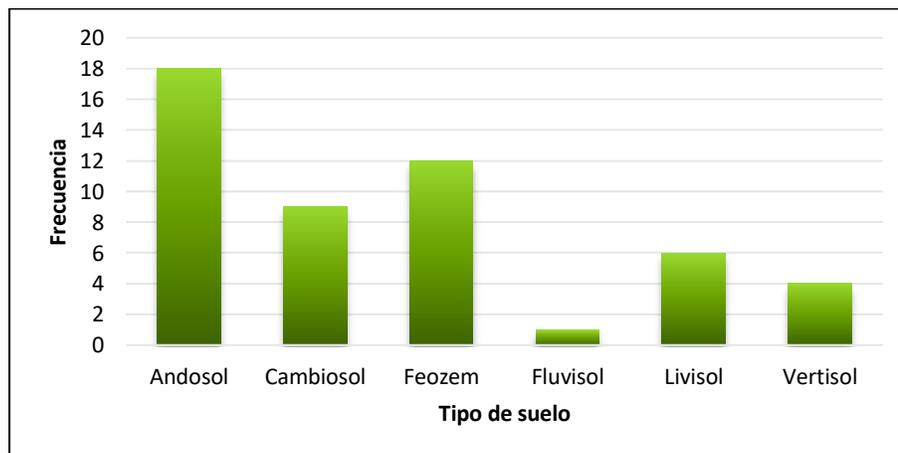


Figura 13. Gráfica de barras de los valores de tipo de suelo de las terrazas prehispánicas.

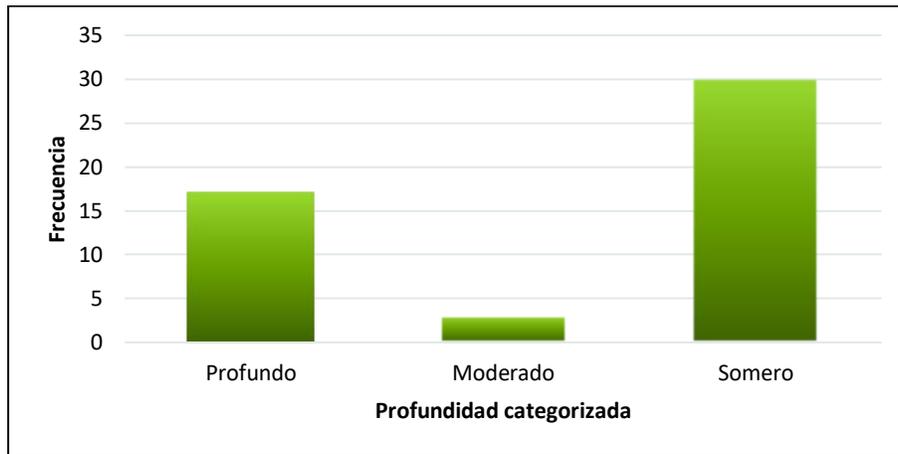


Figura 14. Gráfica de barras de los valores de profundidad del suelo de las terrazas prehispánicas

Cuadro 2. Resumen de las características físicas asociadas a la localización de las terrazas prehispánicas.

Variables	Mayor frecuencia	Media frecuencia	Baja frecuencia
<i>Orientación</i>	181°-270°	1°-180°	271°-360°
<i>Pendiente</i>	1°-10°	10°-15°	15°-20°
<i>Roca</i>	Andesítica-dacítica y Volcánica epiclástica	Lahar y depósitos volcanoclásticos y Conglomerado y brecha de derrame asociado	Aluvión, Depósitos volcanoclásticos, Derrame andesítico-basáltico con depósitos cineríticos, Sedimentos lacustres semiconsolidados
<i>Suelo</i>	Andosol y Feozem	Luvisol y Cambiosol	Vertisol y Fluvisol
<i>Profundidad</i>	Somero	Profundo	Moderado
<i>Altitud</i>	2600-2900 msnm	2900-3100 msnm	2000-2500 msnm
<i>Distancia de red hidrológica</i>	0-150 m	150-300 m	300-500 m

Con base en los resultados del análisis exploratorio y la bibliografía consultada (Anaya & Hernández, 2018; Trujillo, 2011; Molina, 2009; Iniesta & Rojas, 2017; Buriticá, 2018; Lanzelotti & Buzai, 2017; Fernández & Rodrigo, 2009; Kamermans, van Leusen, & Verhagen, 2009), se generó una matriz pareada para ponderar los criterios que más influyen



en la localización de los asentamientos humanos y particularmente en este caso de las terrazas agrícolas prehispánicas.

De tal manera que, las variables de distancia de los recursos hídricos, la altitud y la pendiente fueron los criterios de mayor peso porque mostraron las tendencias más significativas, es probable que estos fueran los principales factores a considerar para la ubicación de las terrazas.

En cuanto a las variables de orientación y profundidad del suelo se ponderaron con valores moderados porque muestran una disposición apenas significativa hacia una categoría particular, mostrando una distribución más bien dispersa. Por esta misma razón, las variables de tipo de suelo y roca se les asignó valores de ponderación bajos al haber terrazas sobre distintos tipos de suelo y roca.

Cuadro 3. Matriz jerárquica analítica para establecer el peso de los criterios.

Criterio	Distancia RH	Altitud	Pendiente	Orientación	Prof. del suelo	Tipo de suelo	Tipo de Roca	Peso
<i>Distancia recursos hídricos</i>	1							0.2398
<i>Altitud</i>	0.9	1						0.2389
<i>Pendiente</i>	0.8	0.8	1					0.1854
<i>Orientación</i>	0.6	0.6	0.7	1				0.1384
<i>Profundidad del suelo</i>	0.5	0.4	0.5	0.6	1			0.0888
<i>Tipo de suelo</i>	0.2	0.2	0.3	0.4	0.8	1		0.0567
<i>Tipo de roca</i>	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	0.8	1	0.0520
<i>Total</i>								1.0000

Con el software Idrisi Selva se realizó la matriz pareada y se importaron capas ráster correspondientes a las variables para emplearlos como criterios en el modelo de evaluación multicriterio. Pero primero, se normalizaron los datos en el rango de 1 a 255 con la finalidad de unificar los valores alcanzados en cada variable.

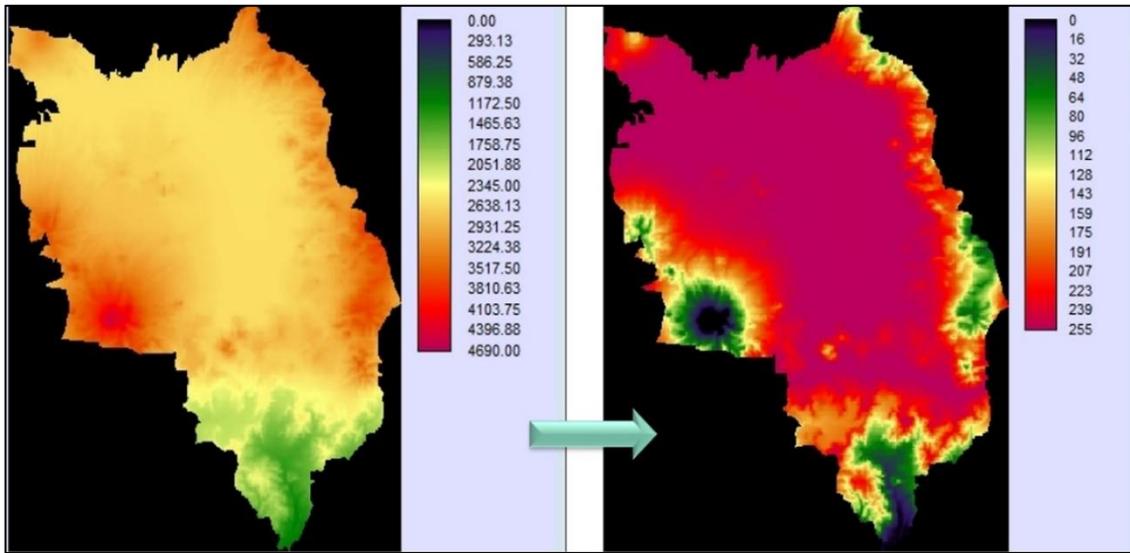


Figura 15. Ejemplo de la normalización de los criterios con la variable altitud.

Así mismo, se importaron capas ráster con los datos de la zona urbana y los cuerpos de agua para emplearlos como restricciones, por lo que estos fueron reclasificados en dos categorías con la finalidad de distinguir zonas no aptas para la ubicación de las terrazas arqueológicas. Finalmente se utilizó el módulo MCE para crear el modelo multicriterio utilizando la técnica de sumatoria lineal ponderada a partir de los pesos previamente obtenidos.

De esta manera los valores de cada celda de los ráster de entrada se multiplicaron por su valor de ponderación y posteriormente se sumaron para generar un mapa de salida con los valores normalizados de entrada, donde los valores más altos representan los espacios con mayor ponderación, es decir aquellos espacios que cumplen con las condiciones físicas en el orden de importancia establecido.

Para facilitar su interpretación se categorizaron los valores en seis clases: sin potencial, muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto potencial, con el apoyo de la herramienta



de histograma de Idrisi. En éste se muestra la frecuencia de los valores distribuidos en el mapa y se puede apreciar que los valores altos son menos frecuentes en comparación con los valores bajos, de tal modo que hay una buena selectividad del área de estudio.

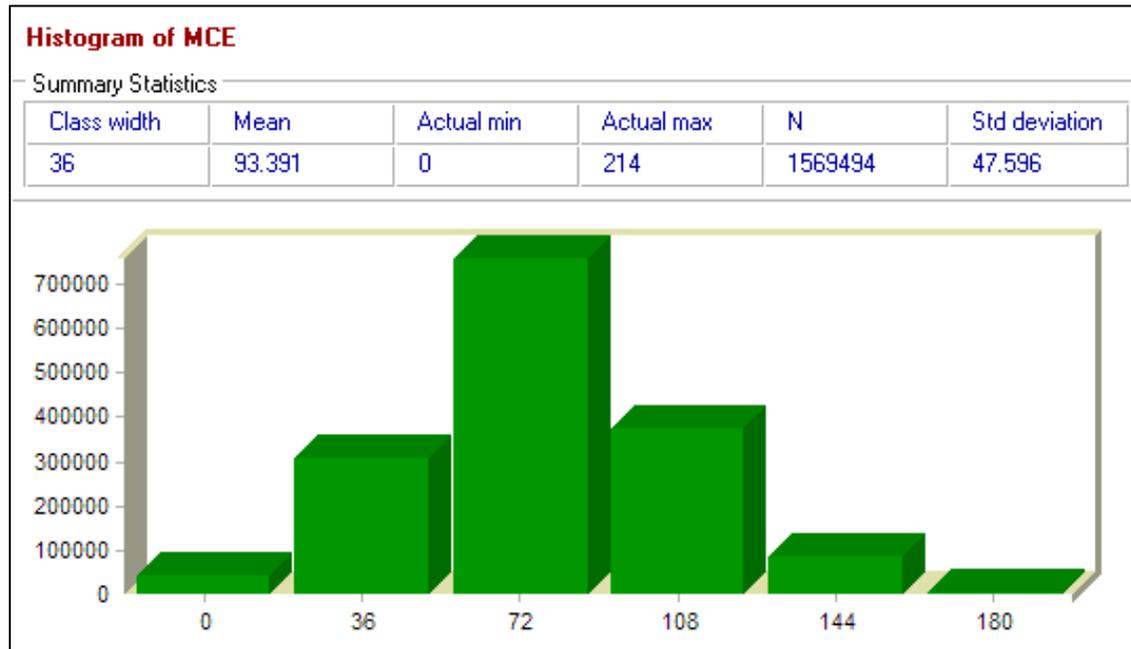
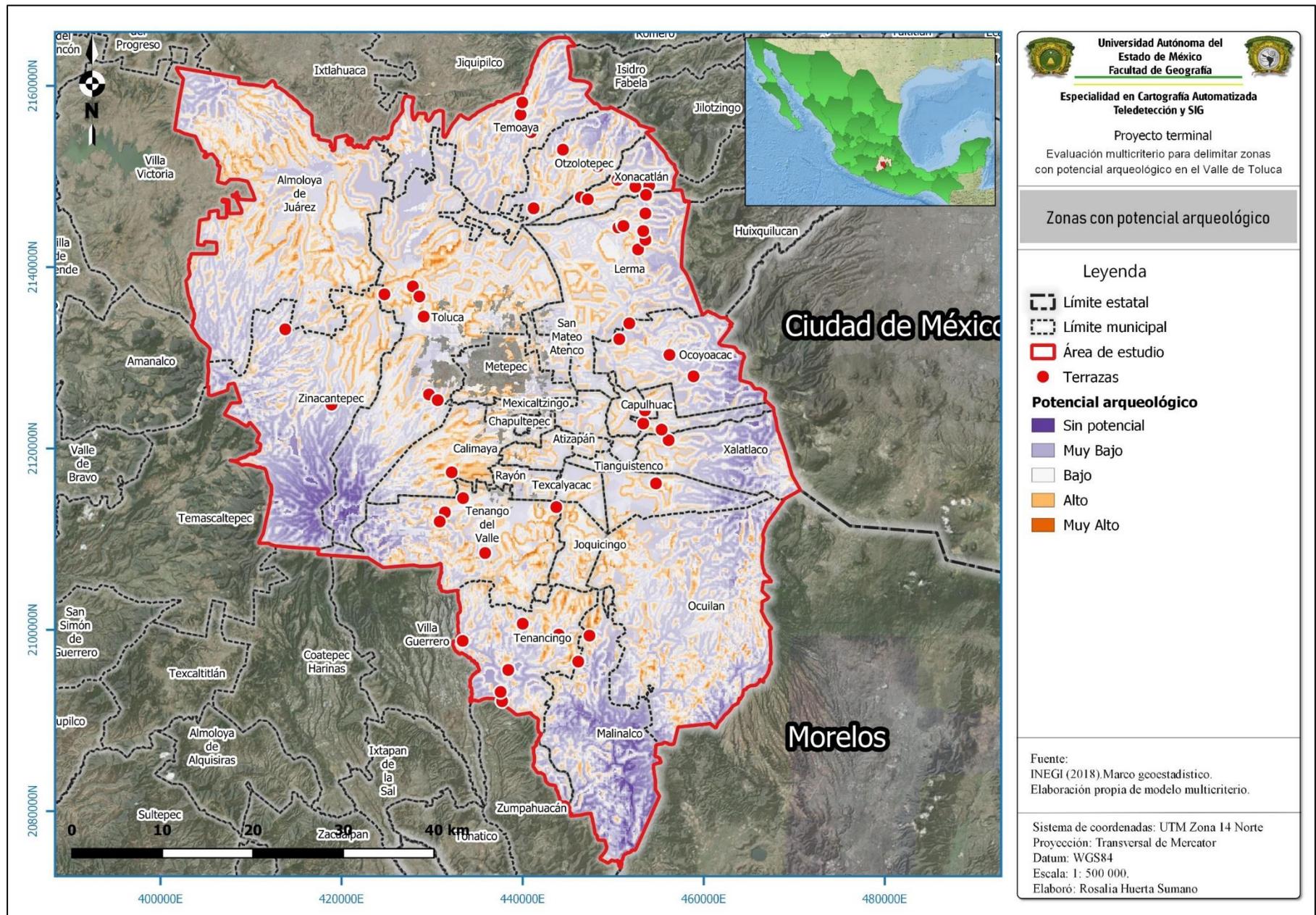


Figura 16. Histograma de los valores del mapa de evaluación multicriterio.



Mapa 10. Comparación entre las terrazas de muestra y las zonas con potencial arqueológico.



Nuevamente se utilizó la herramienta de *puntos de muestreo* de Qgis para cruzar los valores de este mapa con las terrazas de referencia y de esta manera se verificó que el 80% de las terrazas se encuentran en zonas de potencial alto y muy alto. Las terrazas que están en las zonas de medio y bajo potencial son aquellas ubicadas cerca de valles o planicies, con muy baja pendiente por lo que se tratan de terrazas que apenas modificaron el terreno y por tanto son apenas detectadas por este modelo, en estos casos es recomendable hacer uso de otras herramientas y recursos para corroborar su presencia.

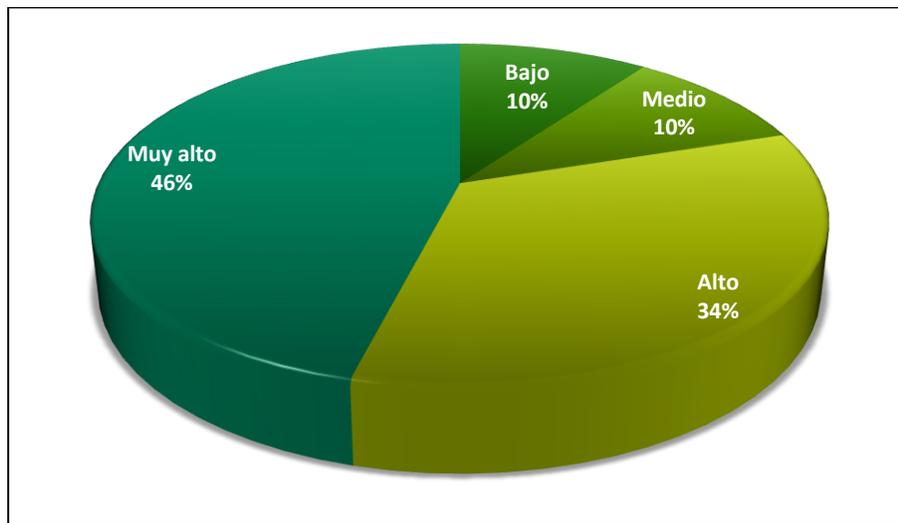
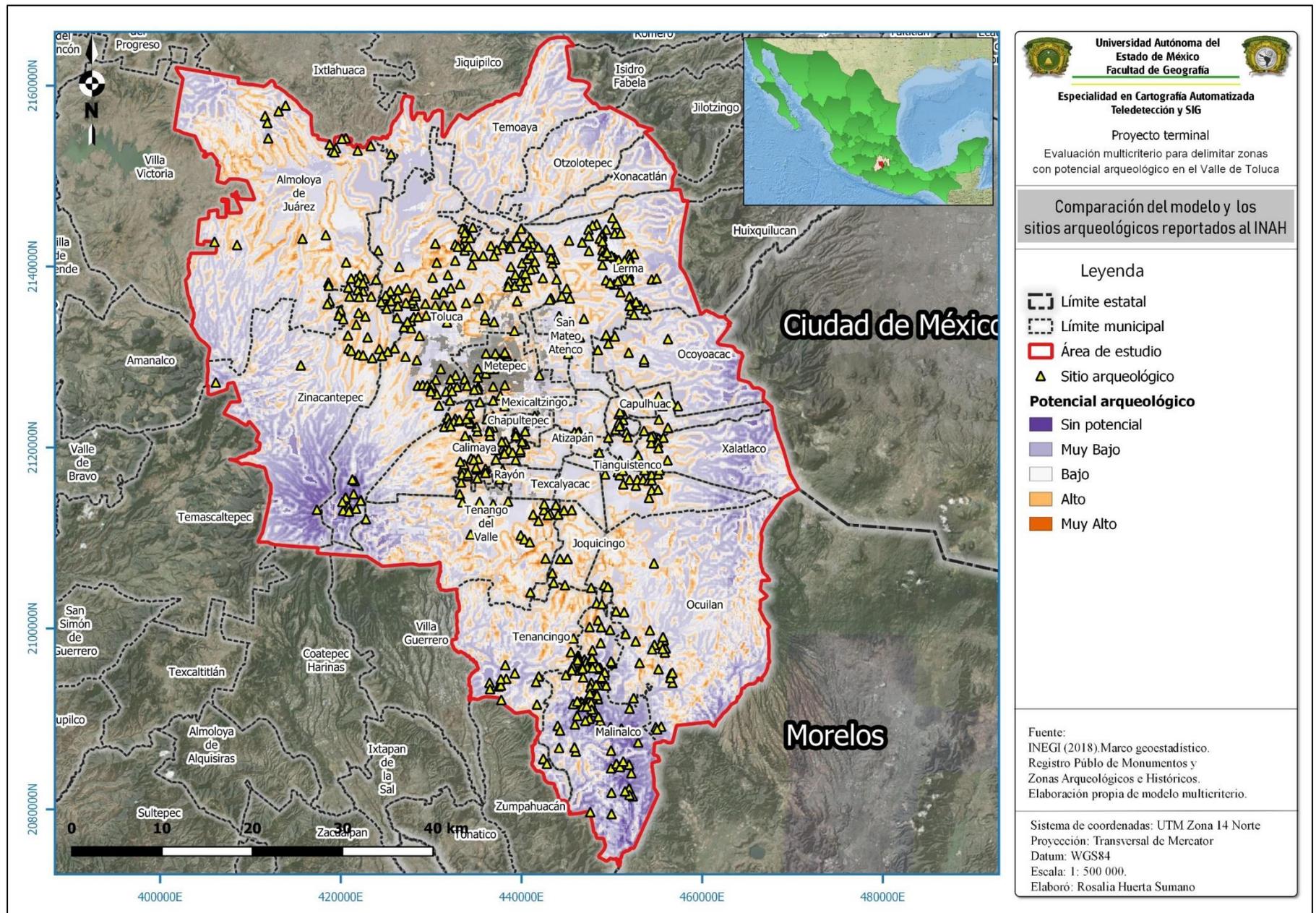


Figura 17. Gráfica circular sobre la coincidencia entre la muestra de las terrazas y las zonas con potencial arqueológico.

Con el objetivo de evaluar el alcance de este modelo para detectar zonas con vestigios arqueológicos se contrastó el mapa obtenido con la distribución de los monumentos reportados al RPMZAH. Los datos fueron proporcionados directamente por el INAH y corresponden al año 2015.

De los 565 sitios arqueológicos reportados en el área de estudio hasta 2015, el 60% se encuentran en zonas de potencial alto y muy alto. Este porcentaje incluye zonas habitacionales porque los criterios empleados para el modelo no sólo son factores que influyen en la ubicación de las terrazas, sino también en la ubicación de las unidades habitacionales que en los contextos arqueológicos se encuentran estrechamente relacionadas.



Mapa 11. Comparación entre los sitios del RPMZAH y las zonas con potencial arqueológico.

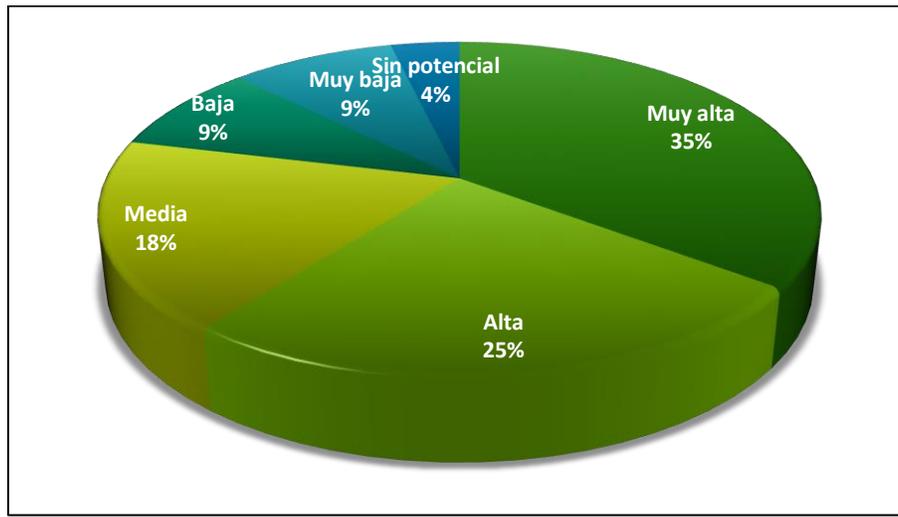
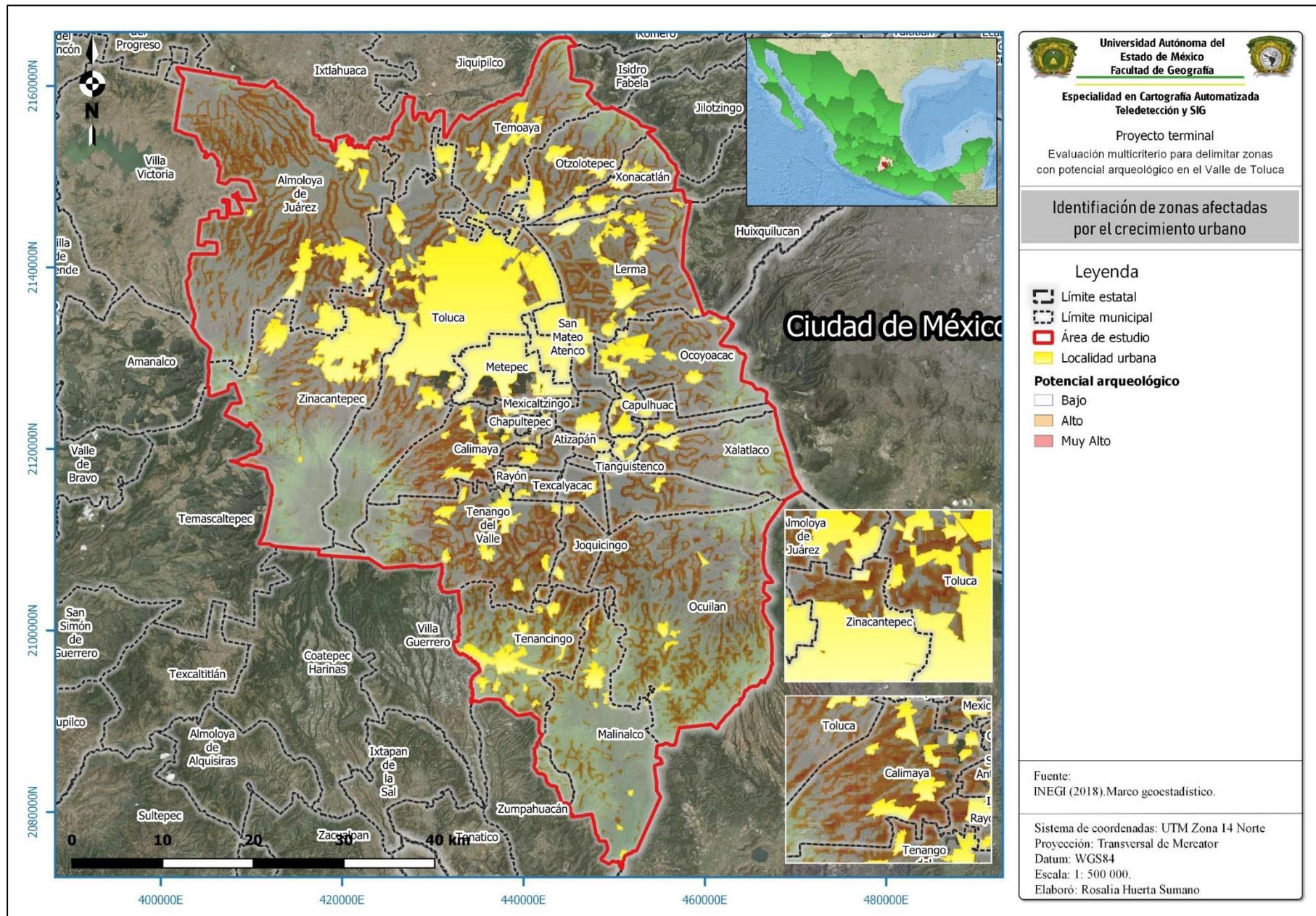


Figura 18. Gráfica circular sobre la coincidencia entre los sitios del RPMZAH y las zonas con potencial arqueológico.

Por su parte, los sitios localizados en zonas de muy bajo potencial o sin potencial, corresponden a los hallazgos de ofrendas en los alrededores del Nevado de Toluca, como tampoco hay coincidencia con sitios de subsistencia lacustre o donde se emplearon otras técnicas agrícolas. De esta manera podemos concluir que el modelo es un buen referente de partida para conocer la distribución de los sitios arqueológicos, pero que aún requiere de ajustes para obtener un porcentaje mayor de confianza.

Ahora bien, a partir de los resultados obtenidos se puede evaluar estrategias de trabajo para optimizar los recursos disponibles y alcanzar los objetivos de cada proyecto. Por ejemplo, el crecimiento urbano suele acarrear varios factores que afectan la conservación del patrimonio, pero, además es frecuente que las acciones para su protección no son oportunas, por lo que su planificación es importante para disminuir los efectos negativos en el patrimonio, así como en la sociedad que convive con este mismo.

En el área de estudio se identificó dos zonas con alto potencial arqueológico que también tienen un riesgo alto de conservación por encontrarse rodeado de localidades urbanas, la primera es al poniente del municipio de Toluca en los límites con el municipio de Zinacantepec, la segunda, es la parte sur del municipio de Calimaya. En estos dos municipios el ritmo de crecimiento urbano ha sido vertiginoso en los últimos años por lo que el riesgo de conservación puede aumentar.



Mapa 12. Identificación de zonas con riesgo de conservación por el crecimiento urbano.



De esta manera, se puede identificar las zonas prioritarias para llevar a cabo acciones tanto de estudio como de protección, facilitando además calcular el tiempo y los recursos necesarios para intervenir de acuerdo con las características espaciales y sociales de cada zona. Siendo así, los MPA una herramienta útil para el estudio y gestión del patrimonio arqueológico, facilitando particularmente al INAH la creación de un plan de manejo para diagnosticar el estado de conservación del patrimonio arqueológico e histórico y llevar a cabo intervenciones más certeras.

Por último, el modelo muestra terrenos óptimos para aplicar la técnica agrícola de terrazas tanto en el pasado como en el presente, resultando una información valiosa para impulsar su uso como un modelo de producción agroecológico que favorece el control de la erosión, la humedad del suelo, el manejo del agua, la producción de materia orgánica, la diversidad de cultivos, la fertilidad del suelo y el abono natural.

De esta manera, se puede aprovechar las investigaciones arqueológicas no solo para el desarrollo del turismo, sino también para la recuperación de actividades económicas que aprovechan los recursos locales y favorecen la conservación del ambiente natural, siendo un factor que debemos tomar en consideración con mayor relevancia ante las problemáticas de contaminación, extinción y sobreexplotación que hoy en día enfrentamos.

## A. Discusión de los resultados

El modelo creado proporciona un porcentaje alto de confianza señalando los lugares de mayor predilección para el asentamiento humano en época prehispánica. Estos lugares se caracterizan por estar cerca de recursos hídricos, pero en terrenos elevados y con una pendiente para evitar las inundaciones y tener un control visual de su entorno, aunque al mismo tiempo, estas condiciones debían ser moderadas para facilitar el traslado de materiales y de la propia población.

De tal manera que, la hipótesis propuesta es ratificada, se comprobó que las características físicas asociadas a las terrazas prehispánicas son criterios adecuados para un



modelo predictivo que permite delimitar espacios aptos para este sistema agrícola y en correlación de los asentamientos precolombinos. Mostrando así, la adaptación del hombre en el Valle de Toluca para su supervivencia aprovechando los recursos disponibles y transformando el entorno natural.

Cabe mencionar que, aún queda poner a prueba la hipótesis en diferentes áreas de estudio, además de tomar en cuenta nuevas muestras que nos permitan hacer una nueva ponderación de los criterios o incluso cambiar algunos de estos mismos con el objetivo de diagnosticar sitios de un contexto diferente al asociado con las terrazas prehispánicas. Así mismo, se puede probar diferentes métodos estadísticos para evaluar cuál es el método que proporciona los mejores resultados, de esta manera podemos obtener mayor ventaja de esta herramienta de análisis espacial.

En el presente caso una de las mayores ventajas fue la elección de los criterios y su ponderación de acuerdo al conocimiento previo que se tiene sobre el patrón espacial, sin embargo, esto a su vez puede ser una debilidad porque podríamos solo obtener resultados preconcebidos sin obtener mayor aporte sobre la disposición espacial de los elementos, por tal razón es importante usar fuentes de información confiables, contrastar los datos en campo y comparar con otros estudios.

Esto no significa que haya una solución definitiva, los MPA se llevan probando por más de 50 años y todavía hay una gran discusión sobre los fundamentos teóricos y metodológicos que mejor pueden explicar la distribución de los asentamientos humanos.

También es importante recordar la naturaleza del objeto de estudio, los vestigios arqueológicos no sólo representan fenómenos sociales que son difíciles de generalizar, sino que, además solo representan una fracción de la realidad. Por tanto, los resultados deben ser utilizados únicamente como una guía o referencia para planificar las estrategias de trabajo.



## *VII. Conclusiones y propuestas a futuro*

La implementación de un modelo de predicción arqueológico presenta varias ventajas para la gestión del patrimonio arqueológico en nuestro país, en primer lugar, permite conocer la distribución de los sitios arqueológicos conocidos, así como lugares aún no explorados, esto es un dato útil tanto para el trabajo de investigación como de gestión. Si bien los arqueólogos vienen realizando estas deducciones de manera empírica, las mismas pueden tener un nivel bajo de confianza debido a distintos factores que afectan la capacidad de deducción de un arqueólogo.

Entre estos factores se encuentran agentes físicos como la vegetación que impide la visibilidad de los materiales en superficie, la erosión que desintegra los materiales arqueológicos sobre todo aquellos en superficie, la actividad de animales, entre otros. Sumado a esto, se encuentra los agentes antrópicos como saqueo, vandalismo, construcciones irregulares, dificultades para inspeccionar algunos terrenos, etcétera.

Este tipo de variables también pueden ser tomadas en cuenta en los MPA sin importar si están relacionadas con la elección de un lugar concreto para el asentamiento humano, por lo que se relacionan con las probabilidades de conservación de los vestigios en tiempos recientes. Por tanto, no se evalúa qué llevó al hombre a elegir un lugar sobre otro, sino que se establecen correlaciones estadísticas entre la información existente sobre una distribución de sitios arqueológicos y determinadas variables ambientales y/o culturales que se presume han podido influir en mayor o menor medida en dicha distribución.

Se pueden tomar en cuenta infinidad de variables, pero es importante seleccionar solo aquellas significativamente asociadas al patrón espacial, es recomendable, especialmente en nuestro país poner a prueba el mayor número de correlaciones que podemos llegar a inferir con la finalidad de contribuir a mejorar la precisión de estos modelos y en general aumentar nuestro conocimiento sobre el desarrollo de las poblaciones prehispánicas.

Por otro lado, con respecto al trabajo de gestión, la implementación del MPA es una herramienta para visualizar las zonas con potencial arqueológico en escalas pequeñas



(regionales), dimensionar su extensión, y analizar su contexto actual a fin de determinar su posible afectación por el crecimiento urbano o el desplazamiento de campos de cultivo entre otras actividades actuales, de tal manera que, en áreas no exploradas se puede tomar como información de apoyo para seleccionar las zonas de trabajo y planificar estrategias para aprovechar mejor los recursos de investigación disponibles.

Es así que la consulta de MPA facilitaría al INAH la creación de un plan de manejo para llevar a cabo la liberación de obras de forma anticipada, reduciendo costos y tiempo de los proyectos de construcción, incluso pueden ser utilizados por los arqueólogos para asesorar directamente a empresas e instituciones sobre sus proyectos de construcción, abriendo camino a nuevas ofertas de trabajo.

Es importante mencionar que, se requiere ajustar el modelo según los resultados y objetivos planteados, de tal manera que se obtenga el mayor grado de confianza posible, pero a su vez debemos ser cautelosos con este ajuste personalizado a fin de ser objetivos y así no discriminar sitios que pueden aportar nuevos datos tanto al patrón de distribución como al conocimiento general sobre el desarrollo de las sociedades pretéritas.

En este sentido, es conveniente incorporar otras técnicas o incluso su verificación en campo, y las estrategias de trabajo no solo deben estar dirigidas a los lugares con potencial arqueológico, sino también aquellos lugares que no mostraron esta aptitud con el objetivo de corroborar premisas o desechar y crear hipótesis de correlación.

Además, es preciso aclarar que, al tratar con los restos materiales de épocas pretéritas, diversos factores naturales como antrópicos ya afectaron la conservación de los mismos, y por tanto, es difícil manejar un nivel de confianza alto para el modelo, así como la selección de las variables tomadas desde el punto de vista de nuestra visión actual y de los datos actuales. De tal manera que, estos modelos solo deben considerarse como una aproximación de lo que podemos encontrar.

Por último, el modelo muestra terrenos óptimos para aplicar la técnica agrícola de terrazas tanto en el pasado como en el presente, resultando una información valiosa para impulsar su uso. De esta manera, el estudio del patrimonio arqueológico puede ser



## Evaluación multicriterio para delimitar zonas con potencial arqueológico en el Valle de Toluca

---



aprovechado en diferentes proyectos de investigación, económicos y sociales, permitiendo incorporar este recurso a nuestra realidad actual y concientizar a la población sobre su importancia.



## VIII. Bibliografía

- Albores, B. (2006). Una travesía conceptual del Matlatzonco al Valle de Toluca. *Anales de antropología* vo. 40-I, 253-282.
- Almudena, G. (1992). Enfoques teóricos en arqueología. *SPAL N°1*, 11-35.
- Anales de Tlatelolco. (2004). *Anales de Tlatelolco*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Anaya, A., & Hernández, C. V. (2018). Los SIG y el manejo de los recursos culturales: tres modelos predictivos de potencial arqueológico. En A. Anaya Hernández, *Aplicaciones prácticas de los sistemas de información geográfica en la arqueología mexicana* (págs. 60-91). San Francisco de Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.
- ASF. (2019). *Informe general ejecutivo. Cuenta pública 2017*. México.
- Ballivián, J. A. (2009). La arqueología del paisaje como teoría y método. *Anales de la XXIII Reunión anual de etnología museo de etnografía y folklore*, 169-176.
- Beato, A., Infante, R., & Ruiz, P. (1999). Decisión multicriterio a través de problemas de optimización cuadrático-fraccionales. *Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Vol. 93. N°4*, 499-505.
- Buriticá, Y. (2018). *Diseño metodológico para el diagnóstico de potencial arqueológico mediante sig en Colombia*. Bogotá: Universidad Distrital José de Caldas. Facultad de Ingeniería.
- Carrasco, P. (1979). *Los otomíes: cultura e historia prehispánica de los pueblos mesoamericanos de habla otomiana*. México: Gobierno del Estado de México.
- Castañeda, M. (2015). *Estudio arqueopaleobotánico de las terrazas del sitio La Malinche, Tenancingo, Estado de México*. Tenancingo: Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias agropecuarias y recursos naturales.
- CONAGUA. (2010). *Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas 2010*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Criado, F. (1999). *Del territorio al espacio: planteamientos y perspectivas de la arqueología del paisaje*. Galicia: Secretaría de CAPA. Universidade de Santiago de Compostela.



- Durán, D. (1867). *Historia de las Indias de Nueva España y islas de Tierra Firme. Tomo I.* México: J.M. Andrade y F. Escalante.
- Fairén, S. (2004). ¿Se hace camino al andar? Influencia de las variables medioambientales y culturales en el cálculo de caminos óptimos mediante SIG. *Trabajos de prehistoria. Vol. 61. N°2, 25-40.*
- Fernández, S., & Rodrigo, J. M. (2009). *Modelo Andaluz de predicción arqueológica.* Recurso electrónico disponible en:
- Fernandez, S. (2009). Bases conceptuales y metodológicas de los modelos predictivos en Arqueología. En *Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica* (págs. 8-32). Recurso electrónico disponible en: <http://cort.as/-Itfx>.
- García, A., Zamorano, J. J., López, C., Galván, A., Valerio, V. C., Ortega, R., & Macías, J. L. (2008). El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central. *Revista mexicana de ciencias geológicas. Vol. 25. N°1, 158-178.*
- García, R. (1999). *Indios, territorio y poder en la provincia matlatzinca: la negociación del espacio político de los pueblos otomíanos, siglos XV-XVII.* Zinacantepec: Colegio Mexiquense A. C.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.* Madrid: Ra-Ma.
- González, A. (2014). Sistemas agrícolas en orografías complejas: las terrazas de Tlaxcala. *Perspectivas latinoamericanas. N°11, 1-30.*
- Graniel, J. H., Mendiola, I., Graniel, H., & Gil, J. F. (1993). Sistema Hidrológico Lerma-Chapala-Santiago. En U. A. México, *Atlas Ecológico de la cuenca de hidrográfica del Río Lerma. Tomo I. Cartografía* (págs. 10-16). México: Gobierno del Estado de México.
- Grove, D. C. (2005). Los monumentos de la terraza 6 de Chalcatzingo, Morelos. *Arqueología. N°35, 23-32.*
- Hernández, R. (2013). *El Valle de Toluca época prehispánica y siglo XVI. Tercera edición.* Zinacantepec: Secretaria de Educación del Gobierno del Estado de México y Colegio Mexiquense A.C.
- IMTA. (2014). *Programa de medidas preventivas y de mitigación de sequía del Consejo de Cuenca del Río Balsas.* México: SEMANART. Versión electrónica disponible en: <http://cort.as/-IORF>.



- INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Estados Unidos Mexicanos.
- Iniesta, M. L., & Rojas, J. F. (2017). Modelo de distribución potencial de locaciones arqueológicas para el periodo tardío (1200-1500 DC) en el valle de Guandacol (oeste de la provincia de La Rioja). *Intersecciones en Antropología*. Vol. 18. N°1, 79-89.
- IUSS. (2007). *Base referencial mundial del recurso del suelo*. Roma: FAO.
- Johnson, M. (2000). *Teoría arqueológica. Una introducción*. Barcelona: Ariel s. A.
- Kamermans, H., van Leusen, M., & Verhagen, (. (2009). *Archaeological prediction and risk management*. Países Bajos: Leiden University Press. Faculty of Archaeology.
- Lanzelotti, S., & Buzai, G. (2017). Agricultura, ambiente y sociedad en Yocavil: análisis espacial de evaluación multicriterio con clasificaciones Fuzzy. *Mundo de antes* N°11, 129-147.
- Lobato, R. (1988). Terrazas prehispanicas en la región del Río Usumacinta y su importancia en la agricultura maya. En *Estudios de cultura maya*. Vol. XVII (págs. 19-58). México D.F.: Instituto de Investigaciones Filológicas. Centro de Estudios Mayas UNAM.
- Lugo, J. (1990). El relieve de la república mexicana. *Revista mexicana de ciencias geológicas*. Vol. 9. N°1, 82-111.
- Macías, J. L. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo LVII, N° 3., 379-424.
- Manzanilla, L. R. (2014). The basin of Mexico. En C. Renfrew, & P. Bahn, *The Cambridge World Prehistory* (págs. 986-1004). Cambridge University Press.
- Menegus, M. (1991). *Del señorío a la república de indios. El caso de Toluca: 1500-1600*. Madrid: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.
- Mesa, S., Echauri, L., & Hernández, W. (2017). El registro público del patrimonio cultural en el INAH. *Arqueología* N°52, 217-233.
- Micó, R. (1998). Teoría arqueológica II. La arqueología procesual. *Revista de Arqueología de Ponent*. N°8., 61-78.



- Miranda, R. (2013). *Organización espacial en la época prehispánica a través de los estudios del patrón de asentamiento en la Región de Tenancingo, México*. Tenancingo, México: Tesis para obtener el grado de licenciatura en Arqueología.
- Molina, o. (2009). Aplicación de los SIG para el desarrollo de modelos predictivos en la prospección y búsqueda de contextos arqueológicos. *Boletín Antropológico*. Vol.27. N°76, 219-236.
- Mountjoy, J., Schöndube, O., & Montes, J. P. (2014). Las terrazas prehispánicas de Ayutla, Jalisco. *Arqueología*. N°48, 49-68.
- Nieto, R. (2012). *De la Cuenca de México al Valle de Toluca: estudio de la interacción y desplazamientos poblacionales en la época prehispánica*. México D.F.: Tesis para obtener el grado de Doctor en estudios Mesoamericanos.
- Nieto, R. (2013). Los matlazincas: un recorrido histórico por su desarrollo histórico. En *Patrimonio arqueológico de Toluca. herencia milenaria* (págs. 17-38). Toluca: H. Ayuntamiento de Toluca. IMPLAN.
- Orejas, A. (1991). Arqueología del paisaje: historia, problemas y perspectivas. *Archivo español de arqueología*. N°64, 191-230.
- Pastor, S., Murrieta, P., & García, L. (2013). Los SIG en la arqueología de habla hispana. Temas, técnicas y perspectivas. *COMECHINGONIA Revista Arqueología*. N°17, 9-29.
- Pérez, J. M., & Juan, J. (2013). Caracterización y análisis de los sistemas de terrazas agrícolas en el Valle de Toluca, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. Vol. 10. N°4, 397-418.
- Pérez, V. (2006). Sociedades complejas y paisajes agrícolas: un estudio regional de asentamientos y terrazas en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. En I. (. Grau, *La aplicación de los SIG en arqueología del paisaje* (págs. 247-254). Madrid: Universidad de Alicante.
- Ramos, R. (2011). Medio físico-geográfico. En *Atlas de la cuenca del Río Lerma en el Estado de México* (págs. 27-55). México: Gobierno del Estado de México. CVS Publicaciones.
- Rodríguez, J. r. (2008). *El sitio arqueológico de Las Ventanas y sus terrazas prehispánicas. Tesis para optar por el grado de licenciado en antropología con especialidad en arqueología*. Universidad Autónoma del Estado de Zacatecas.



- Rojas, t. (1988). *Las siembras del ayer. La agricultura indígena del siglo XVI*. México D.F.: Secretaria de Educación Pública. Centro de Investigaciones y estudios Superiores en Antropología Social.
- Roldán, N. (09 de 03 de 2016). El INAH olvida conservar las zonas arqueológicas del país: auditoría. *Animal político*, págs. Artículo electrónico disponible en: <https://www.animalpolitico.com/2016/03/el-inah-olvida-conservar-las-zonas-arqueologica-del-pais-auditoria/>.
- Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Gráficas Algorán, S. A.
- Sugiura, Y. (2005). *Y atrás quedó la ciudad de los dioses. Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca*. México D.F.: Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sugiura, Y. (2009). Caminando el valle de Toluca: arqueología regional, el legado de William T. Sanders. *Cuiculco N°47*, 87-111.
- Sugiura, Y., & Nieto, R. (2014). Una reflexión sobre la preservación del patrimonio arqueológico: el caso de los sitios de escala menor en el Estado de México. *Anales de Antropología. Vol. II. N°48.*, 75-95.
- Trujillo, A. (2011). *Un model predictivo arqueológico: El caso de minería del cobre durante el siglo XVI, en la región de tierra caliente, Michoacán*. Zamora, Michoacán: Colegio de Michoacán.
- Varela, J., Saco, P., Tarela, A., & Arias, J. (2005). Análisis de decisión multicriterio espacial. En J. A. Taboada, & J. M. Cotos, *Sistemas de información medioambiental* (págs. 117-134). España: Gesbiblo, S. L.
- Verhagen, P., & Whitley, T. G. (2012). Integrating Archaeological Theory and Predictive Modeling: a Live Report from the Scene. *Springer*, 49-100.
- Villafañez, E. A. (2011). Entre geografía y arqueología: el espacio como objeto y representación. *Revista de geografía norte grande. N°50*, 135-150.
- Yarza, E. (2003). Los volcanes del Sistema Volcánico Transversal. *Investigaciones Geográficas (Mx) N° 50*, 220-234.