



**CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE NATURAL DEL RANCHO
EXPERIMENTAL TESEACHI COMO INSUMO PARA SU ORDENAMIENTO
ECOLÓGICO TERRITORIAL**

POR:

I. E. ABILENE TREVIZO HERNÁNDEZ

**Tesina presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestría en Ecología y Medio Ambiente**

Especialidad: Ordenamiento Territorial

**Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Zootecnia y Ecología
Secretaría de Investigación y Posgrado**

Caracterización del componente natural del rancho experimental Teseachi como insumo para su ordenamiento ecológico territorial. Tesina presentada por I. E. Abilene Trevizo Hernández como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ecología y Medio Ambiente, ha sido aprobada y aceptada por:

M. A. Luis Raúl Escárcega Preciado
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología

M. C. Antonio Humberto Chávez Silva
Secretario de Investigación y Posgrado

D. Ph. Pablo Fidel Mancillas Flores
Coordinador Académico

M. C. Rey Manuel Quintana Martínez
Presidente

ABRIL 08 - 2016

Fecha

Comité:

M. C. Rey Manuel Quintana Martínez
D. Ph. Alfredo Pinedo Álvarez
Dr. Eduardo Santellano Estrada
D. Ph. Carmelo Pinedo Álvarez

© Derechos Reservados

Abilene Trevizo Hernández
PERIFÉRICO FRANCISCO R.
ALMADA KM. 1, CHIHUAHUA,
CHIH., MÉXICO C.P. 31453

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, porque siempre me acompaña en cada paso que doy.

A la Universidad Autónoma de Chihuahua, pero más en especial a la Facultad de Zootecnia y Ecología, por aceptarme y formar parte de los alumnos de posgrado.

A mi asesor principal M. C. Rey Manuel Quintana Martínez por su amistad y asesoría en esta investigación.

Al D. Ph. Carmelo Pinedo Álvarez por toda su paciencia y por enseñarme mucho de lo que ahora se.

Al D. Ph. Alfredo Pinedo Álvarez por su apoyo y sobre todo por darme ánimos todos los días.

Al M. A. Luis Raúl Escárcega Preciado por su amistad, confianza, comprensión y por darme todo el apoyo necesario.

Al D. Ph. Eugenio César Quintana Martínez por todo su apoyo y amistad, siendo mi jefe, por toda la comprensión hacia mis actividades extras de maestría.

Al Dr. Eduardo Santellano Estrada por todo su apoyo y amistad, muchas gracias por la carilla.

A la M. C. Nathalie Socorro Hernández Quiroz por todo el apoyo que me dio al principio como asesora, las pláticas tan amenas que tuvimos, muchas gracias Naty.

Al personal de la Secretaría de Investigación y Posgrado, la biblioteca, Extensión y Difusión, Académicos al M. C. Jesús Alejandro Prieto Amparán, por toda tu ayuda mil gracias, todos siempre fueron muy amables y contribuyeron a mi formación con su actitud y buena vibra.

A todos aquellos que han dejado alguna enseñanza y porque con ustedes eh compartido esta etapa de mi vida.

A todos mis maestros, gracias por todas las enseñanzas, por toda esa carilla que nos dieron durante toda la maestría, porque sin su enorme entrega esto no sería posible. Muchísimas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres:

Raúl Trevizo y Luz María Hernández, no hay forma o palabras para agradecerles todo lo que han hecho, todos sus sacrificios para que yo haya llegado hasta donde estoy, sin su esfuerzo, paciencia y todo el amor que es lo que día a día me da la fuerza para seguir con todos los proyectos de vida. Los amo.

A mis hermanos:

Edith y Raúl, por todo lo que compartimos día a día, por alentarme por todo el apoyo incondicional que tienen hacia mi persona porque con ustedes siempre me olvido de todos los problemas, los adoro con toda mi alma.

A mis amigos:

Abrahán, Estela, Rebe, Irelyli, Myriam, Sara, Omar porque gracias a todos ustedes por alentarme por irnos a quitar el estrés cuando se necesitó, además sé que tengo a “La Manada”, ya que con ustedes comencé esta aventura con muchos momentos alegres y por qué seguimos juntos hasta el final, se les quiere.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 18 de octubre de 1988 en Chihuahua, Chihuahua, México.

| | |
|------------------|---|
| 2006-2011 | Estudios de Licenciatura en el Programa Educativo de Ingeniero en Ecología de la Facultad de Zootecnia y Ecología. |
| 2011- Actualidad | Coordinadora de Carnet Cultural Universitario, Seguimiento a Egresados y Bolsa de Trabajo, Jefa de Biblioteca de la Facultad de Zootecnia y Ecología. |
| 2013-2015 | Estudiante de Maestría en Ecología y Medio Ambiente. |

Miembro de la Mesa Directiva del Colegio de Ingenieros en Ecología de Chihuahua 2015-2017.

RESUMEN

CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE NATURAL DEL RANCHO TESEACHI COMO INSUMO PARA SU ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL

POR:

I. E. ABILENE TREVIZO HERNÁNDEZ

Maestría en Ecología y Medio Ambiente

Secretaria de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: M. C. Rey Manuel Quintana Martínez

El rancho experimental Teseachi de la Universidad Autónoma de Chihuahua, tiene como funciones principales, la enseñanza, investigación y transferencia de tecnología en ciencia animal y recursos naturales. Para sustentar estas funciones, se requiere caracterizar el componente natural para su ordenamiento ecológico territorial dentro de los ejes ambiental, económico y social. Como fuente primaria de datos se utilizó modelos digitales de elevación (MDE) escala 1:20,000, dos series de imágenes LandSat TM 2008 y 2011 y una serie OLI 8 del 2014. Del MDE se obtuvieron la altitud, pendiente, exposición y topoformas. Los datos de estaciones climatológicas integrados al MDE generó la precipitación anual, temperatura media anual, máximas de máximas y mínimas de mínimas. Las imágenes de satélite se sometieron a los procesos convencionales de corrección atmosférica, radiométrica y geométrica. Los mapas de uso de suelo y vegetación se obtuvieron por técnicas de clasificación a través

del método supervisado de distancia mínima a las medias. La altitud media es de 2250 msnm con una mínima de 1908 y máxima de 2802. La pendiente media es de 17 % con el oeste como exposición dominante. Las 5 topoformas dominantes son: tierras bajas, mesetas y bajadas, lomeríos y cañadas, sierras bajas y sierras altas. Las principales coberturas de Uso de Suelo y Vegetación son: Bosque de Encino (44.35 %) y el Bosque Encino-Pino (22.26 %). La línea base del componente natural, mejorará la capacidad de análisis de los recursos naturales y apoyará el Plan de Manejo Sustentable del Rancho Teseachi.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE NATURAL COMPONENT OF TESEACHI RANCH AS AN INPUT FOR ECOLOGICAL ZONING

BY:

ABILENE TREVIZO HERNANDEZ

The experimental ranch Teseachi of the Autonomous University of Chihuahua, has as main functions: teaching, research and technology transfer in animal science and natural resources. To support these functions, it is required to characterize the natural component for its ecological zoning within the environmental, economic and social lines. As a primary source of data, a digital elevation model (DEM) at scale 1:20,000 was used, as well as two sets of Landsat TM series, 2008 and 2011, and a 2014 series of OLI 8. Altitude, slope, exposure and topography were obtained from the DEM. Weather stations data that were integrated to the DEM generated annual precipitation, annual average temperature, maximum of maximum, and minimum of minimum. The satellite images were subjected to conventional processes of atmospheric, radiometric and geometric correction. Maps of land use and vegetation were obtained using techniques through the supervised classification method to the average minimum distance. The average altitude is 2250 m with a minimum of 1908 and a maximum of 2802. The average slope is 17 % with West as the dominant exposure. The 5 key geomorphology are: lowlands, plateaus and downfalls, hills and ravines, high mountains and low mountains. The main coverage of land use and vegetation are: oak forest (44.35 %) and oak-pine forest (22.26 %). The base line of natural

component, will improve the ability to analyze natural resources and support the Sustainable Management Plan of Teseachi Ranch.



CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMEN..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| LISTA DE CUADROS..... | xiv |
| LISTA DE FIGURAS..... | xv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) en México..... | 3 |
| Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente..... | 4 |
| Fases del Ordenamiento Ecológico Territorial..... | 5 |
| Fase de caracterización..... | 5 |
| Fase de diagnóstico..... | 5 |
| Fase de pronóstico..... | 5 |
| Fase de propuesta..... | 6 |
| Variables Topográficas..... | 6 |
| Relieve y Clima en los Pastizales..... | 7 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 9 |
| Descripción del Área de Estudio..... | 9 |
| Clima..... | 9 |
| Geología..... | 9 |
| Topografía..... | 11 |
| Vegetación..... | 11 |



| | |
|--|----|
| Hidrología..... | 12 |
| Metodología..... | 12 |
| Datos y programas..... | 12 |
| Procesamiento y Análisis de las Variables..... | 13 |
| Variables topográficas..... | 13 |
| Variables climáticas..... | 13 |
| Erosividad..... | 14 |
| Dinámica temporal de uso de suelo..... | 14 |
| Generación de uso de suelo y vegetación..... | 15 |
| Áreas de entrenamiento..... | 15 |
| Etapa de asignación..... | 16 |
| Fase de validación..... | 16 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 18 |
| Generación Uso de Suelo y Vegetación..... | 18 |
| Variables Topográficas..... | 22 |
| Altitud..... | 22 |
| Topoformas..... | 25 |
| Uso de suelo y vegetación..... | 25 |
| Hidrología..... | 28 |
| Edafología..... | 28 |
| Variables Climáticas..... | 30 |
| Temperatura media anual..... | 32 |
| Temperatura máxima..... | 34 |



| | |
|-------------------------------------|----|
| Temperatura máxima extrema..... | 34 |
| Temperatura mínima extrema..... | 34 |
| Precipitación..... | 38 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 40 |
| LITERATURA CITADA..... | 42 |



LISTA DE CUADROS

| Cuadro | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Superficies en hectáreas de los tipos de vegetación por proceso de clasificación supervisada..... | 21 |



LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Área de estudio..... | 10 |
| 2 | Composición en falso color de las bandas 4, 5 y 7 en el orden RGB para el sensor LandSat OLI8..... | 19 |
| 3 | Mapa de clasificación supervisada para el rancho experimental Teseachi..... | 20 |
| 4a. | Mapa referente a la altitud del rancho experimental Teseachi..... | 23 |
| 4b. | Mapa de rangos de altitud del rancho experimental Teseachi..... | 24 |
| 5 | Subsistema de topoformas del rancho experimental Teseachi..... | 26 |
| 6 | Uso de suelo y vegetación para el rancho Experimental Teseachi..... | 27 |
| 7 | Mapa de hidrología del rancho experimental Teseachi..... | 29 |
| 8 | Mapa de edafología del rancho experimental Teseachi..... | 31 |
| 9 | Mapa de temperatura media anual para el rancho experimental Teseachi..... | 33 |
| 10 | Mapa de temperatura máxima para el rancho experimental Teseachi..... | 35 |



| | | |
|----|--|----|
| 11 | Mapa de temperatura máxima extrema para el rancho experimental Teseachi..... | 36 |
| 12 | Mapa de temperatura mínima extrema para el rancho experimental Teseachi..... | 37 |
| 13 | Mapa de precipitación del rancho experimental Teseachi..... | 39 |



INTRODUCCIÓN

La ordenación del territorio en México es un tema particularmente reciente, asocia temas de interés como: políticas ambientales, urbanísticas y de desarrollo regional. Integrar el territorio en un espacio donde interactúen los recursos naturales, gobierno, instituciones públicas y privadas es tema que preocupa tanto a actores gubernamentales como académicos. Algunos estudios iniciales para la ordenación del territorio se remontan a la época de la colonización española; tratar de delimitar las fronteras geográficas al término de las guerras era una de las prioridades. El mismo autor menciona que la técnica de planeación fija y sectorial, nos permite incorporar variables ambientales y ecológicas al proceso de ordenación de las actividades humanas; integrando así una visión para dar congruencia a las acciones que detonen el crecimiento y desarrollo de un país (Legarrea, 2002).

Dentro de la normativa que influye directamente a las acciones para el ordenamiento del territorio se encuentra la Ley General de Asentamientos Humanos y la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), ambas creadas para la ordenación ecológica de México. La primera surgió en la década de los setenta para establecer un criterio de la intervención económica en los usos de suelo y la segunda, surgió una década después para atender al proceso de planeación ecológico del país.(LGEEPA, 1996).

El rancho experimental Teseachi de la Universidad Autónoma de Chihuahua cuenta con características biológicas donde abarcan ecosistemas únicos con una gran diversidad de especies animales y vegetales con un potencial productivo tanto ganadero como agrícola además de maderable, lo que



lo ubica como un predio de gran potencial y con valores únicos en los componentes cultural, biológico y económico.

Un problema fundamental para apoyar los planes de gestión territorial del predio Teseachi es la falta de un programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) como una estrategia de planificación de carácter técnico político que permita configurar en el corto y mediano plazo, la organización y uso sostenible de su territorio acorde con sus potencialidades, expectativas y objetivos de su desarrollo.

Como línea base de trabajo del OET para el Rancho Experimental Teseachi, se requiere de la información relacionada con el componente natural asociado a una base cartográfica e integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este proceso interactivo mejorará la capacidad de análisis de los recursos disponibles y apoyará la toma de decisiones de las autoridades administrativas, sector académico y gubernamental para orientar y promover el Plan de Manejo Sustentable del rancho experimental Teseachi. Por lo que para este estudio se estableció como objetivo el realizar un estudio de caracterización biofísica de escala predial que permita la caracterización del componente natural del rancho experimental Teseachi como insumo para su ordenamiento ecológico territorial.



REVISIÓN DE LITERATURA

Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) en México

Las primeras experiencias en México se obtuvieron con la Ley General de Asentamientos Humanos, que se publicó en 1976. En esta se consideraron los aspectos ambientales del desarrollo para la planeación de usos del suelo del territorio (INE, 2015). En 1982 la Ley Federal de Protección al Ambiente por primera vez incluye el concepto de Ordenamiento Ecológico como instrumento básico de la planeación ambiental. En 1983 surge la Ley de Planeación, donde el gobierno federal continúa con su labor de planificación ambiental haciendo nuevos proyectos de OET en zonas y áreas prioritarias para el desarrollo nacional (SEMARNAT, 2013). En la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1996, se fortalece más el concepto de Ordenamiento Ecológico permitiendo el establecimiento de un marco básico de gestión integral para el territorio y sus recursos, sirviendo como una herramienta para la eficacia entre el estado y la sociedad (SEMARNAT, 2013).

El OET es definido por la Conferencia Europea de Ministros Responsables de Ordenación del Territorio (CEMAT) a través de la Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983), como la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad cuyo objetivo es el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector. En la definición se ponen de manifiesto tres de las acepciones que se utilizan más usualmente al hablar de Ordenamiento Territorial, al considerarla como una disciplina científica, una técnica administrativa y una política lo cual constituye uno de los puntos controversiales al abordar el tema.



La ordenación del espacio es un término más nuevo y conlleva más técnica, con políticas que vienen del Estado o desde su región. Un instrumento de gran utilidad para la gestión de estos modelos lo constituyen los Ordenamientos Territoriales Comunitarios (OTC), a través de los cuales se hace posible la organización y planeación de la silvicultura comunitaria (Salinas, 2008).

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

En 1988 se concibió como un instrumento de la política ambiental y un proceso de planeación cuyo objetivo es encontrar un patrón de ocupación del territorio que maximice el consenso y minimice el conflicto entre los diferentes sectores sociales y las autoridades en una región. Durante este proceso se generan, instrumentan, evalúan y, en su caso, modifican las políticas ambientales con las que se busca alcanzar un mejor balance entre las actividades productivas y la protección de los recursos naturales a través de la vinculación entre los tres órdenes de gobierno, la participación activa de la sociedad y la transparencia en la gestión ambiental (SEMARNAT, 2013).

La LGEEPA (1996) define cuatro modalidades de ordenamiento ecológico, considerando la competencia de los tres órdenes de gobierno, así como los alcances de acuerdo con el área territorial de aplicación: General, Marino, Regional y Local. Este último es del interés para este trabajo, ya que este tiene como objetivo regular los usos del suelo fuera de los centros de población y establecer los criterios de regulación ecológica dentro de los centros de población para su protección, restauración, preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de lugar.



Fases del Ordenamiento Ecológico Territorial

Fase de caracterización. Su objetivo es describir el estado de todos los componentes natural, social y económico del área a ordenar. Entre las principales actividades se encuentra el delimitar el área a ordenar, describir sus componentes, identificar los intereses de los sectores involucrados, analizar y ponderación de cada una de las variables que los sectores consideren de suma importancia mediante talleres de participación pública (SEMARNAT, 2013).

Fase de diagnóstico. El objetivo es identificar y analizar los conflictos ambientales entre los sectores presentes en el área. Entre las principales actividades es realizar un análisis de aptitud y obtener mapas de cada uno de los sectores involucrados. Esto nos permite conocer, si el sitio es apto o no apto para determinada actividad que se pretenda desarrollar. El poder analizar los conflictos ambientales en entre los sectores que están interviniendo en el territorio o que están en competencia por los mismos atributos. La validación de mapas de aptitud y conflicto de estos sectores e identificar y delimitar el mapa correspondiente para cada una de las áreas a preservar, proteger y restaurar (SEMARNAT, 2013).

Fase de pronóstico. Se examina el desenvolvimiento de los conflictos ambientales a partir de la predicción del comportamiento de las variables natural, social y económica que influyen en el patrón de ocupación del territorio. Se predice el comportamiento de los atributos ambientales que determinan la aptitud del territorio para sustentar las actividades de cada sector; si la aptitud por sector en el área a ordenar se modifica con el tiempo, las causas y dónde se presentan



esos cambios, y si, a partir de las modificaciones, existen ajustes en los mapas de aptitud por sector o se modifican zonas de conflicto identificadas.

Fase de propuesta. Su objetivo es obtener un patrón de ocupación del territorio que maximice al consenso entre los sectores, minimice los conflictos ambientales y favorezca el desarrollo sustentable, delimitando las Unidades de Gestión Ambiental (UGAS), asignando los lineamientos ecológicos a estas, teniendo como meta el estado deseado para una UGA, definir las estrategias ecológicas que incluyen los objetivos específicos, las acciones, los programas, proyectos y los responsables de su realización, integrar el modelo siendo esta la representación en un Sistema de Información Geográfica (SIG), de las unidades de gestión ambiental y sus respectivos lineamientos y estrategias (SEMARNAT, 2013).

Variables Topográficas

El relieve determina variables fisiográficas importantes como la altitud, la pendiente y la exposición. La altitud produce variaciones en diferentes escalas como los vientos, mesoclimas y microclimas que determinan la diversidad de los tipos de variación (Cervantes y Alfaro, 2001). La altitud y la posición de las formaciones topográficas sobre las que se desarrolla la vegetación definen los tipos de unidades del paisaje. González (2001) en su estudio en Santa Elena, Chihuahua encontró la importancia de la altitud para identificar los tipos de vegetación y menciona la importancia del gradiente altitudinal para determinar incluso las asociaciones vegetales.

La relación de exposición-orientación de la pendiente es importante por su influencia en el clima, suelo y consecuentemente vegetación. La temperatura del



aire y del suelo, la infiltración, el escurrimiento, lixiviación y drenaje depende directamente de la pendiente y exposición del terreno (Gastó, 1979). El efecto de exposición es incorporado como parte de un gradiente de humedad que se relaciona con el gradiente vegetacional (Begon *et al.*, 1986).

Para un análisis objetivo, detallado y rápido de la influencia de las variables topográficas, los MDE continúan mejorando sus capacidades digitales. En su concepción simple se definen como la representación espacial de la altitud del terreno mediante una estructura numérica de datos (INEGI, 2010). Esta estructura raster se genera a partir de un arreglo regular de los valores de elevación de los mapas topográficos y ofrece una serie de aplicaciones y opciones para el análisis de variables como pendientes, orientaciones efectos de luminación y representaciones tridimensionales (Muñoz, 2001).

Relieve y Clima en los Pastizales

La pendiente afecta la utilización de los pastizales tanto en forma directa como indirecta. Esta variable impone en los animales un mayor esfuerzo para utilizar las plantas que requiere para su alimentación (Aizpuru, 1979). En pendientes hasta el 20 % puede existir hasta un 80 % de utilización del pastizal y puede disminuir a medida que la pendiente se incrementa. Incluso la utilización del pastizal puede llegar a 20 % cuando la pendiente es mayor al 60 % ya distancias de 1600 metros del pie de la pendiente (Holechek *et al.*, 2011).

Con respecto al clima, el Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de los pastizales del Desierto Chihuahuense en el estado de Chihuahua 2011-2016 (Jáquez y Corral, 2011), refieren como la pérdida de pastizales ha alcanzado niveles preocupantes como resultado de las continuas



prácticas de manejo inadecuado, la expansión de la agricultura, la presencia de especies invasoras y el cambio climático. Con respecto a este último factor, Pinedo *et al.* (2013) mencionaron que el número de animales que pueden ser sostenidos sin un daño irreversible a los recursos vegetación y suelo, está fuertemente controlado por el clima, particularmente por la precipitación y su distribución estacional.

Muchos aspectos de la ecología de los pastizales están determinados por la distribución espacial y temporal de la precipitación y de sus efectos sobre la disponibilidad del agua del suelo (Knapp *et al.*, 2001). En México y en especial en el estado de Chihuahua la distribución geográfica de los pastizales sigue la distribución de la precipitación con un ecotono (valles centrales) entre la región desértica y los bosques a Oeste del estado (Villalobos, 2011).

Hernández (2015) mencionó que la precipitación presenta una alta variabilidad con una tendencia a disminuir a partir del año 2003. En el 2005 la precipitación se presentó por debajo del límite inferior al promedio histórico y en el año 2011 presento el valor más bajo en los registros históricos (58 mm).

Existen tendencias interanuales que definen la variabilidad de la temperatura media anual (TMA). Su aumento sostenido en los últimos doce años se caracteriza al estado de Chihuahua como extremo en el clima (Hernández, 2015).



MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

Este estudio se realizó en el rancho experimental Teseachi de la Universidad Autónoma de Chihuahua, ubicado geográficamente entre las coordenadas 253877, 270307 E y 31793335, 3200449 N en el municipio de Namiquipa a 16 km de la Colonia Oscar Soto Máynez (Figura 1). El predio tiene una superficie aproximada de 12,050 ha. La función principal del rancho es la enseñanza, investigación y transferencia de tecnología en ciencia animal y recursos naturales. La actividad económica se fundamenta en el sistema vaca-cría.

Clima. El clima es de tipo Bs1kw (é) seco-árido según Köppen en su clasificación, modificada por García (1988), con inviernos fríos, veranos calientes y con temperaturas bajas durante la noche. Su temperatura media anual es de 13 °C; y con temperaturas mínimas de -5.9 °C; el mes más frío es enero y Junio el más caliente (31.6 °C). La precipitación promedio anual es de 580 mm.

Geología. En los lomeríos suaves y valles predominan los suelos ricos en materia orgánica y nutrientes, su color es pardo-rojizo; con textura franco-arenosa a arcillo-arenosa, con partes de grava fina; estructura granular, consistencia moderadamente dura con un buen drenaje interno, escurrimiento superficial de moderado a lento y con un grado de erosión mínima (Zaragoza, 1995). La Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA, 1978) describe los lomeríos y las sierras altas y escarpadas como formaciones geológicas del periodo cenozoico medio volcánico; el suelo es de formación *in situ* coluvial con profundidad variable de media somera, con

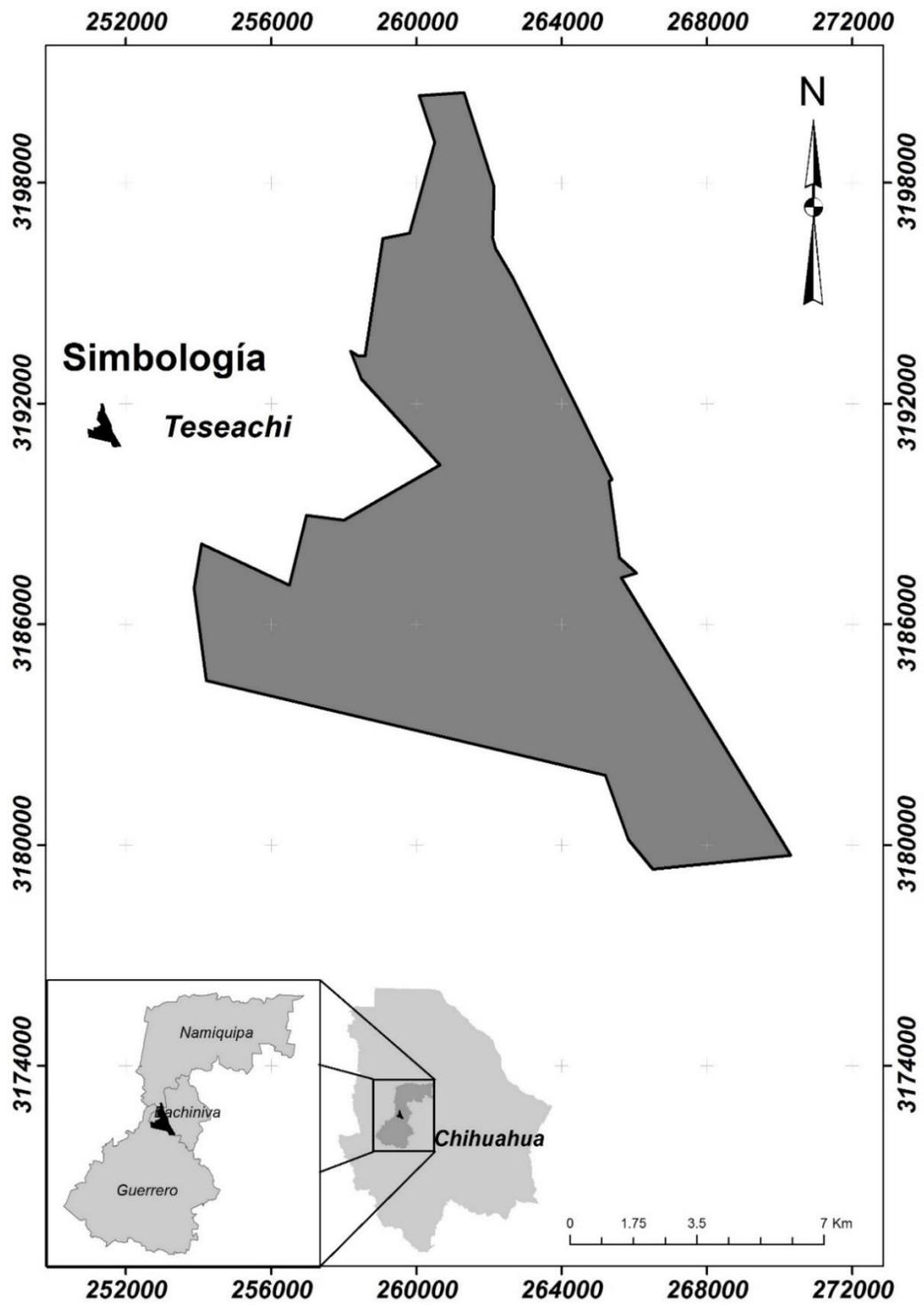


Figura 1. Área de estudio.



piedra en la superficie y con afloramientos de roca; el suelo es de textura franco arcillosa con escurrimiento superficial muy rápido.

Topografía. La superficie del predio presenta 2 subsistemas de toporformas diferenciadas; en primer término se presentan planos constituidos por extensos valles, con ondulaciones ligeras con pendientes de 0 a 4 %; en segundo término, se presentan mesas poco planas en valles y cañones, la pendiente es compleja y varía de 20 a 60 %, con frecuentes áreas escarpadas inaccesibles al ganado (Pérez, 1971). Los límites altitudinales varían de 1800 a 2400 msnm., en su parte más alta destaca la Sierra de Chuchupates (COTECOCA, 1978).

Vegetación. De acuerdo con los inventarios de vegetación realizados en la Facultad de Zootecnia y Ecología se han enlistado 51 familias de plantas vasculares y 250 especies dominadas por especies de gramíneas (Lebgue y Valerio, 1985). En un primer estudio, Pérez (1971) identificó 6 tipos de unidades vegetativas: 1) pastizal abierto, 2) pastizal amacollado abierto, 3) bosque de encino, 4) bosque de encino táscate, 5) bosque de encino pino y 6) bosque de pino encino. En un estudio más reciente, Morales (1997) identificó 8 clases generales; 1) bosques de encino pino, 2) vegetación de ribera, 3) amacollado y herbáceos, 4) chaparral de gatuño, 5) chaparral de agrito, 6) pastizal mediano abierto, 7) amacollado con arbustos y 8) sobrepastoreo. Hernández (2007) describe las gramíneas más predominantes como: *Schizachyrium cirratum*, *Bouteloua gracilis*, *Lycurus phleoides*, *Muhlenbergia rígida*, y algunas especies herbáceas codominantes: *Bouteloua hirsuta*, *Elynorus barbiculmis*, *Muhlenbergia montana*, así como unas hierbas anuales y perennes. Las especies arbustivas



presentes son *Mimosa biuncifera*, *M. dysocarpa*, *dysocarpa Benth* y *Juniperus deppeana*.

Hidrología. El sistema hidrológico está conformado por la microcuenca del Río Santa María (Pérez, 1971). Esta nace en la Sierra del Chuchupates el cual converge en cinco flujos de agua (arroyos) de clase cinco lo cual favorece la presencia de las áreas ribereñas con un consecuente beneficio en la presencia y desarrollo de una diversidad de flora y fauna silvestre.

Metodología

Datos y programas. Como fuentes de datos, se utilizaron imágenes del satélite Landsat-TM5 del 2008 y 2011 y el sensor OLI-8 de LandSat 2014. Para el análisis de las variables topográficas se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) en escala 1:20,000. Esta fuente también sirvió de base de datos para generar las variables del clima. Para esto se utilizaron los registros históricos de 1961 a 2003 de 24 estaciones meteorológicas colindantes al área de estudio (Medina *et al.*, 2006) y los registros actuales provenientes de las estaciones climatológicos de la Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua (UNIFRUT) del 2003 al 2013. Para la generación del mapa hidrológico, el archivo vectorial de hidrografía se obtuvo de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía y en forma similar, las variables temáticas de edafología, geología y usos de suelo y vegetación serie V. INEGI (2015).

Para el proceso de los datos de estructura raster se utilizó el programa IDRISI Selva v. 13.0[®]. Los datos de estructura vectorial se procesaron con ArcGis v. 10.2[®]. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con el programa Excel[®].



Procesamiento y Análisis de las Variables

Variables topográficas. La elevación se obtuvo en forma directa del MDE. A este modelo se aplicaron dos algoritmos de análisis topográficos para generar el Modelo Digital de Pendiente (MDP) y el Modelo Digital de Exposición (MDExpo). De estas fuentes de datos se derivaron las variables pendiente y exposición. La variable topoforma se derivó de procesos de reclasificación y sobre posición temática en SIG.

Variables climáticas. La influencia del clima en el predio Teseachi se analizó a través de las siguientes variables: precipitación total anual (P) y la temperatura media anual (TMA), temperatura media de máximas anual (TMAX), temperatura media de mínimas anuales (TMIN), temperatura máxima extrema (MAXEXT), temperatura mínima extrema (MINEXT), promedio de grados horas calor (HC) obtenidos por el método mensual, promedio de grados horas frío (HF) obtenidos por el método de Damota.

Los valores de cada una de las variables se integraron en un mapa raster siguiendo los procedimientos de parámetros de regresión topoclimática (PARETOCLIM). El método de PARETOCLIM relaciona los valores de elevación del MDE con los datos históricos de las estaciones climatológicas de cada una de las variables. En este estudio, se utilizó la calculadora raster del programa ArcGis v.10.2® para el desarrollo de la ecuación de regresión pertinente. En su análisis exploratorio se aplicaron modelos estadísticos del tipo lineal y cuadrático. Bajo estos modelos, se originó el de regresión lineal, en el cual la variable independiente fue la altitud generada a partir del MDE, y la variable de respuesta



fue el valor de cada una de las variables analizadas. El modelo matemático de la ecuación de regresión general fue el siguiente:

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$$

donde:

Y_i = variable de respuesta

α = intercepto

β =coeficiente de regresión

x_i = altitud generada a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE)

ε_i = error aleatorio

Erosividad. Para la obtención de esta variable, se utilizó el método de interpolación media ponderada por el universo de la distancia (IDW por sus siglas en inglés). Para minimizar el error y obtener mayor certidumbre, se exploró las diferentes potencias del analista geoestadístico. Como indicadores de precisión, se utilizaron los valores del coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (ECM). Los mapas obtenidos se transformaron a formato raster para facilitar el modelaje bajo una estructura de SIG.

Dinámica temporal de uso de suelo. Las bandas de los sensores de la serie Landsat para los diferentes periodos, se sometieron a los procesos convencionales de preparación de imágenes de satélite. El registro de imágenes, análisis radiométrico, corrección atmosférica, remuestreo geométrico y filtrado de imágenes se realizaron conforme a los procedimientos de Eastman (2012). Las bandas preparadas se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP) para dimensionar la información espectral de las bandas, minimizar la



varianza y obtener nuevas bandas a las originales utilizadas en el estudio. El coeficiente de correlación derivado de la matriz del ACP, facilitó la selección de las bandas más importantes, siendo estas las que presentaron la mayor información espectral diferente. Este proceso permitió también explorar cambios en las coberturas presentes del predio Teseachi y áreas adyacentes.

Como un proceso preliminar a la utilización de técnicas de clasificación multiespectral multitemporal, se exploró diferentes combinaciones de bandas en los canales azul, verde y rojo del espectro electromagnético con el fin de seleccionar la composición en falso color (CFC) que mejor discriminó las coberturas más importantes del suelo.

Generación de uso de suelo y vegetación. Para generar el uso de suelo y vegetación del rancho Teseachi se aplicaron técnicas de clasificación supervisada. Los métodos empleados utilizan reglas de decisión basadas en la probabilidad. La herramienta lleva a cabo análisis de frecuencias categóricas para evaluar clases de vegetación. La similitud entre píxeles fue la distancia euclidiana, esta función estandariza los valores para evaluar la pertenencia entre grupos. El proceso de clasificación consideró todas las bandas de la imagen, excepto la Banda 1 considerada como la banda aerosol, empleada para determinar otros elementos de la atmósfera.

Áreas de entrenamiento. La generación de áreas de entrenamiento se llevó a cabo a través del método del píxel semilla con límites espaciales. Este proceso consistió en identificar píxeles puros que son representativos del área de entrenamiento (Chuvieco, 2002), en donde uno o más píxeles contiguos al píxel semilla, se consideran para estimar la media espectral del área de entrenamiento.



Posteriormente, cada área de entrenamiento fue conjuntada en un archivo firma para la estimación de sus estadísticos. Una vez definidas las firmas y antes de abordar el proceso de clasificación, fue necesario evaluar la viabilidad de cada categoría para determinar los niveles de error (Jensen, 2005).

Etapas de asignación. La fase de asignación se realizó con el algoritmo de máxima verisimilitud, uno de los más utilizados por su robustez estadística y por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos de la presente investigación. El modelo matemático del algoritmo de máxima probabilidad gaussiana se expresa como:

$$g(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i)$$

donde:

g_i = vector de la clasificación

i = clase

x = n - dimensión de los datos (donde n es el número de bandas)

$p(\omega_i)$ = probabilidad de que la clase ω_i ocurra en la imagen y se asume que es lo mismo para todas las clases

$|\Sigma_i|$ = determinante de la matriz de covarianza de los datos en la clase ω_i

Σ_i^{-1} = inversa de la matriz

m_i = media del vector

Fase de validación. Para llevar a cabo el proceso de verificación y cuantificar el error de la clasificación se utilizó la composición en falso color de la imagen. El análisis preliminar de estos insumos permite obtener una representación real de las condiciones actuales y pasadas de las coberturas del



uso del suelo y vegetación. Las imágenes de falso color o *RGB* (Red, Green y Blue), consiste en la combinación de tres bandas de información para formar una imagen en color. Con este tipo de combinaciones se pretende extraer y resaltar la información en función de los colores resultantes, los cuales representan los tipos de vegetación del rancho experimental Teseachi.

Se empleó un diseño de muestreo aleatorio estratificado basado en el entendido de que cada clase temática registra un número determinado de puntos de muestreo de acuerdo a la superficie de cada unidad temática, para ello se empleó el estadístico multivariado discreto K_{APPA} , de acuerdo a la siguiente formula.

$$K_{APPA} = \frac{N \sum^k X_{ij} \sum^k (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - (X_{i+} * X_{+i})}$$

donde:

K_{APPA} = Índice Kappa

k = número de filas en la matriz

X_{ij} = número de observaciones en la fila i y columna j

X_{i+} ; X_{+i} = total marginal para la fila i y columna i

N = número total de observaciones



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generación de Uso de Suelo y Vegetación

En este trabajo de investigación el empleo de imágenes LandSat OLI8 proporciono los elementos necesarios para obtener un mapa base, conformados de las siguientes combinaciones de las bandas 4 (0.63 – 0.69 μm), 5 (0.76 – 0.90 μm) y 7 (1.55 – 1.75 μm) en el orden del espectro visible rojo, verde y azul (RGB), fueron las seleccionadas y las que mostraron un buen nivel de detalle en la discriminación de las coberturas vegetales en el rancho experimental Teseachi para el año 2015. La Figura 2 muestra la composición en falso color obtenida. El mapa muestra las características de las condiciones de uso de suelo y vegetación en el 2015.

La CFC manifiesta buen contraste evidenciando que la banda que corresponde al infrarrojo cercano (banda 4), es clave en el análisis de imágenes de satélite. Por otra parte, el empleo de las bandas 3 y 4 son utilizadas en la mayoría de los análisis donde se pretende llevar a cabo evaluaciones de la condición de la vegetación, usando para ello índices de vegetación (Herold *et al.*, 2002; Carleer y Wolff, 2004; Franke *et al.*, 2012).

En la Figura 3 se observa la distribución de la vegetación presente en la clasificación de la imagen del 2015, misma que se encuentra definida por el gradiente orográfico de la región, definido por factores climáticos que influyen en la distribución espacial de la vegetación en la zona.

El Cuadro 1 presenta las superficies de los tipos de vegetación generados a través del proceso de clasificación supervisado, donde la comunidad más ampliamente distribuida fueron los bosques de encino-pino con 5291.34 ha,

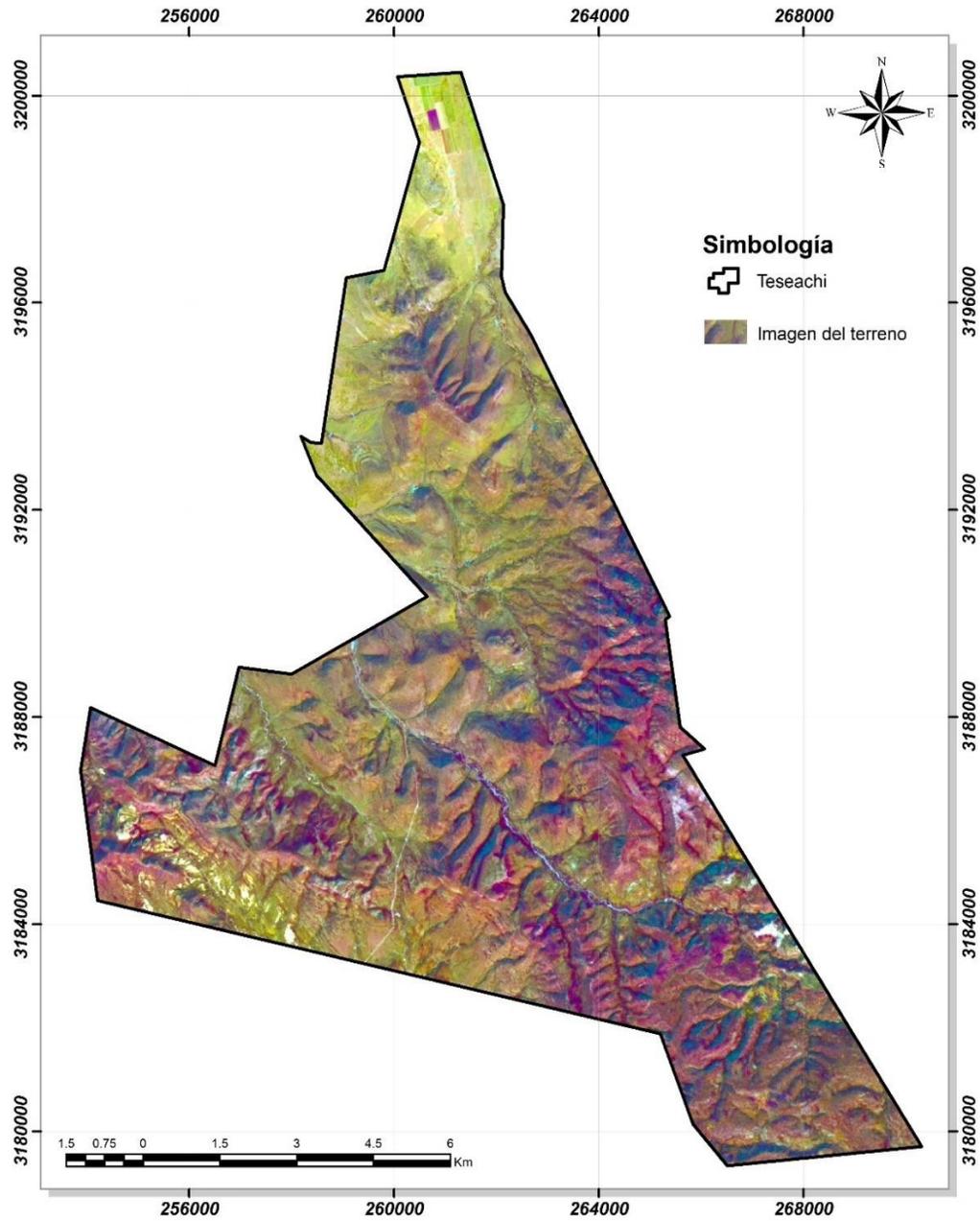


Figura 2. Composición en falso color de las bandas 4, 5 y 7 en el orden RGB para el sensor LandSat OLI8.

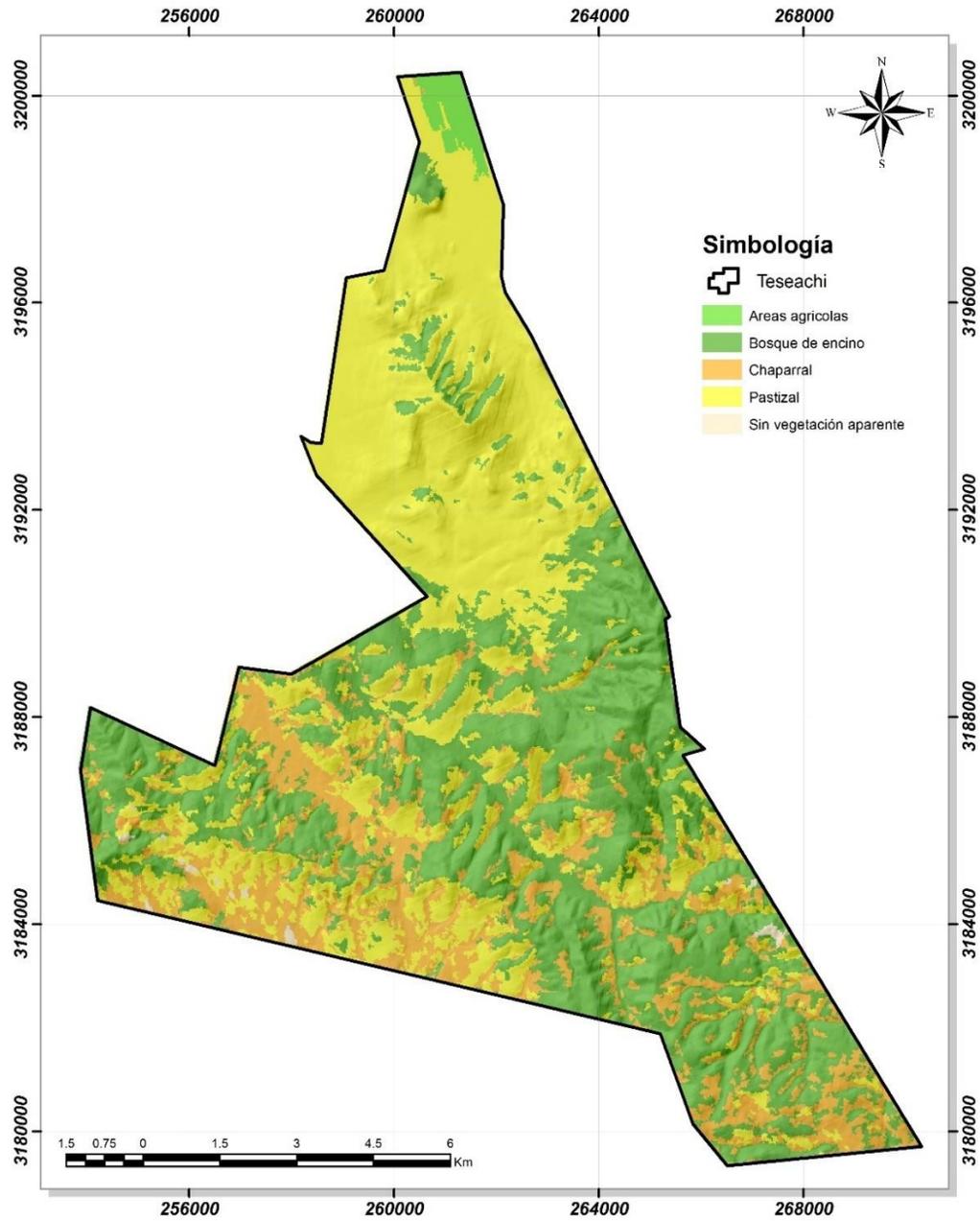


Figura 3. Mapa de clasificación supervisada para el rancho experimental Teseachi.



Cuadro 1. Superficies en hectáreas de los tipos de vegetación por proceso de clasificación supervisada

| Código | Tipo de vegetación | Área (ha) |
|---------------|---------------------------|------------------|
| 0 | Sin vegetación aparente | 37.63 |
| 1 | Áreas agrícolas | 134.90 |
| 2 | Chaparral | 2075.97 |
| 3 | Pastizal | 4957.16 |
| 4 | Bosque de encino-pino | 5291.34 |



seguido de los pastizales con 12,500 ha y chaparrales asociados con comunidades arbustivas con 12,100 ha. Existe una pequeña Proción de agricultura de riego con una superficie de 400 ha.

Variables Topográficas

Altitud. Los modelos digitales de elevación 1:250,000 utilizados en estudios anteriores para la caracterización de las variables topográficas del Rancho Teseachi, han presentado limitaciones para un análisis en detalle de variables del componente asociadas al manejo combinado del pastizal y bovinos carne.

En este estudio se desarrollaron procesos y métodos utilizando MDE en escala 1:20,000. La Figura 4a presenta los valores de altitud del Rancho Teseachi. La altitud mínima del predio es de 1908 msnm, la máxima de 2802 msnm con una media de 2250 msnm. La Figura 4b presenta los rangos de esta variable topográfica. Es claro que la altitud se relaciona fuertemente con la aptitud del uso del suelo y vegetación. En terreno plano se resalta su aptitud para suelo agrícola.

Actualmente en el predio se combinan las áreas de los cultivos de sorgo y maíz con áreas adyacentes de pastizal mediano abierto (1900-1950 msnm). Un rasgo importante es que entre los dos rangos de 1950 a 2050 se denota la aptitud de desarrollo del pastizal mediano abierto con el pastizal amacollado aunque es importante considerar la influencia de pendiente.

En los rangos de altitud de 2100 a 2800 msnm es evidente la influencia de la altitud como factor fisiográfico. En los rango de altitud de 2100 a 2250 msnm

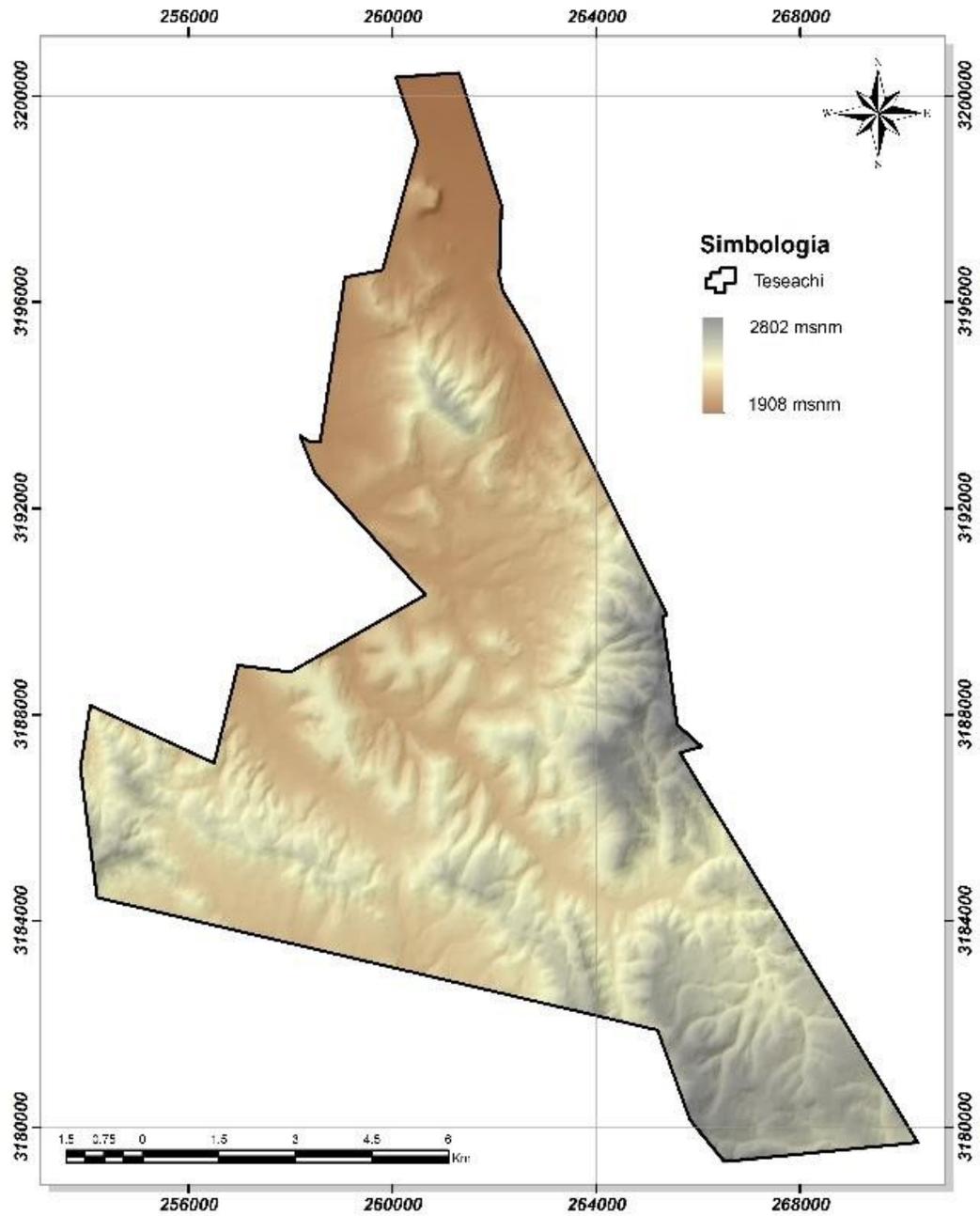


Figura 4a. Mapa referente a la altitud del rancho experimental Teseachi

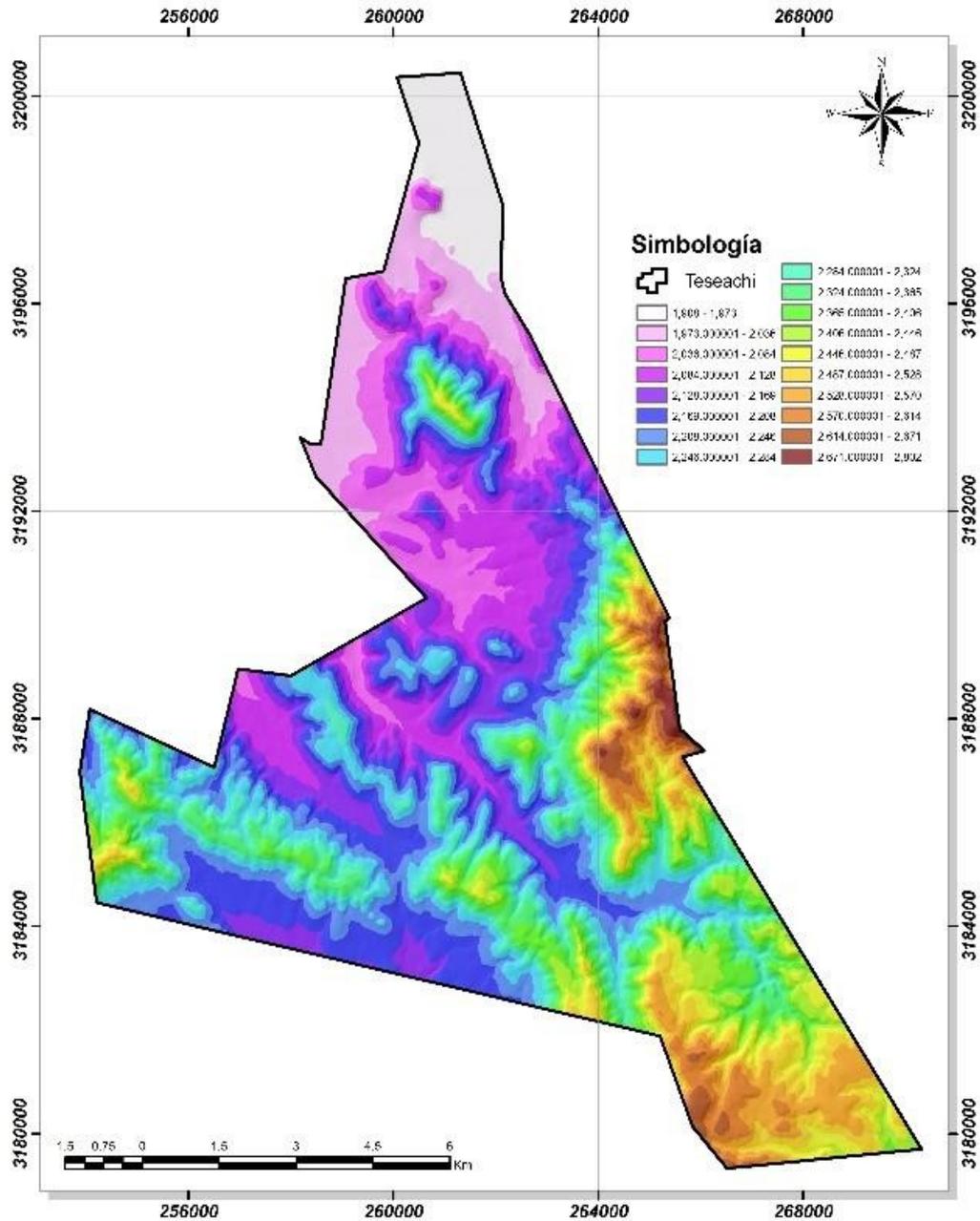


Figura 4b. Mapa de rangos de altitud del rancho experimental Teseachi.



donde predominan las comunidades de bosque de encino representadas principalmente por *Quercus grisea*, *Q. arizónica* y *Q. emori*. En cañadas y barrancas también se localizan *Q. rugosa* y *Cupressus* algo. En los rangos de los 2250 a 2500 msnm es común encontrar las comunidades de *Pinus cembroides* con pequeñas poblaciones de *P. arizónica* y *P. engelmannii* (Bosque escleroaciculifolio). En los rango de mayor altitud del predio (2500 a 22800 msnm) es común encontrar comunidades o poblaciones de medianas a grandes de *P. arizónica* y *P. engelmannii* (Bosque acicuesclerófilo).

Topoforma. El proceso de reclasificación basado en altitud, definió 5 principales subsistemas de topoformas: tierras bajas, mesetas, bajadas, lomeríos, cañadas, sierras bajas y altas (Figura 5). Los subsistemas de mesetas, bajadas, lomeríos y cañadas representan más el 74 % (9271 ha) y el 25 % (3240 ha) lo representan las tierras bajas, sierras bajas y altas. En comparación al estudio de Pérez (1971), quien al utilizar fotografía área detecto 2 subsistemas, en cambio, la escala del MDE utilizada en este estudio facilitó el mapear 5 principales subsistemas de topoformas.

Uso de suelo y vegetación. Los Usos de Suelo y Vegetación (Figura 6) para el área de estudio, están representados por ocho clases de acuerdo a la Serie V de INEGI. La categoría que presenta la mayor superficie es Bosque de Encino con un total de 5,532.95 ha., que representa el 44.35 % de la totalidad del Rancho. Seguida a esta categoría se encuentra la de Bosque encino-pino que tiene la mitad del porcentaje de superficie del Bosque de Encino (22.26 %), y se encuentra bien identificada en la zona centro de Teseachi y en la parte sur oeste del rancho. Las especies que dominan de encino son *Quercus oblongifolia* y

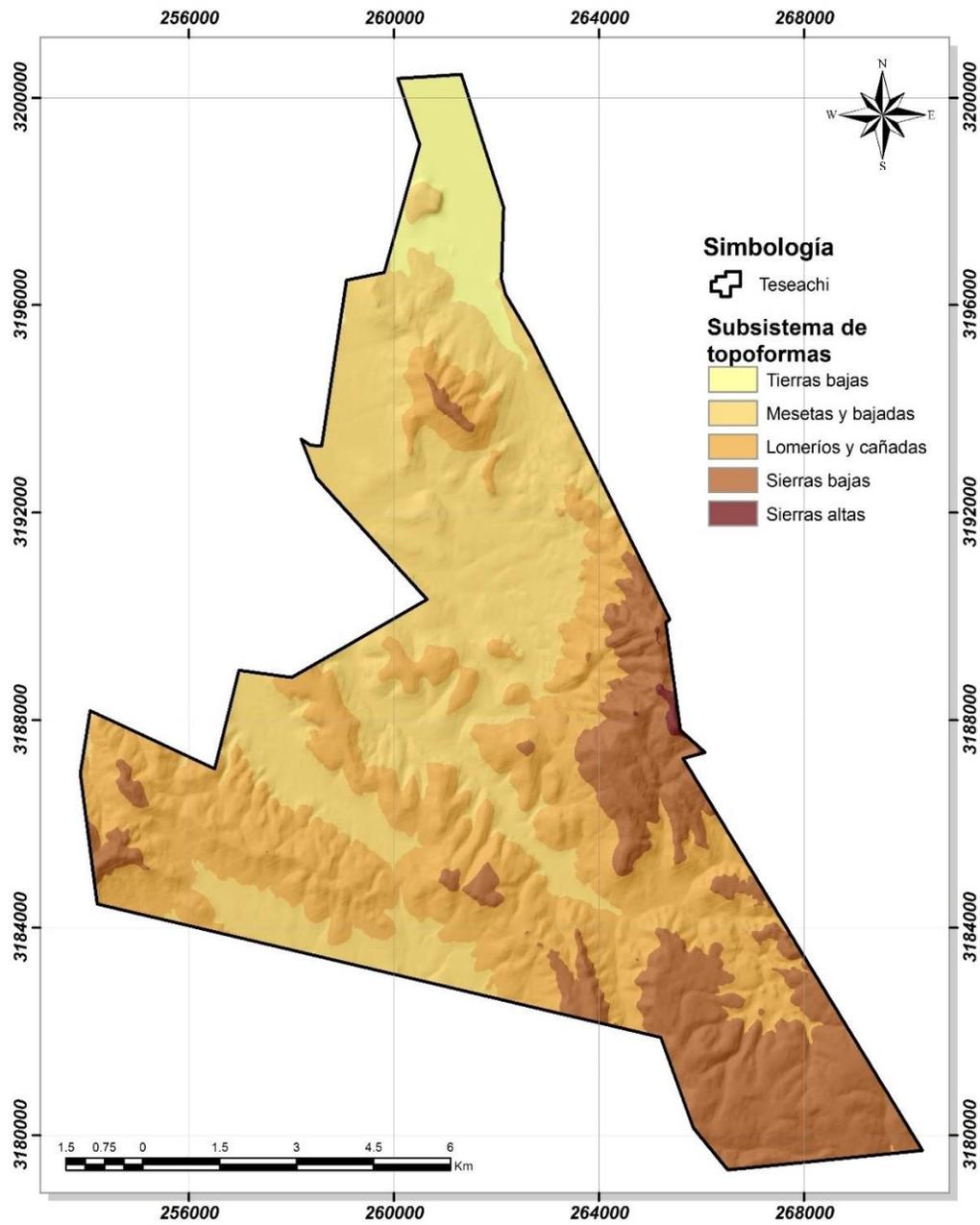


Figura 5. Subsistema de topografías del rancho experimental Teseachi.

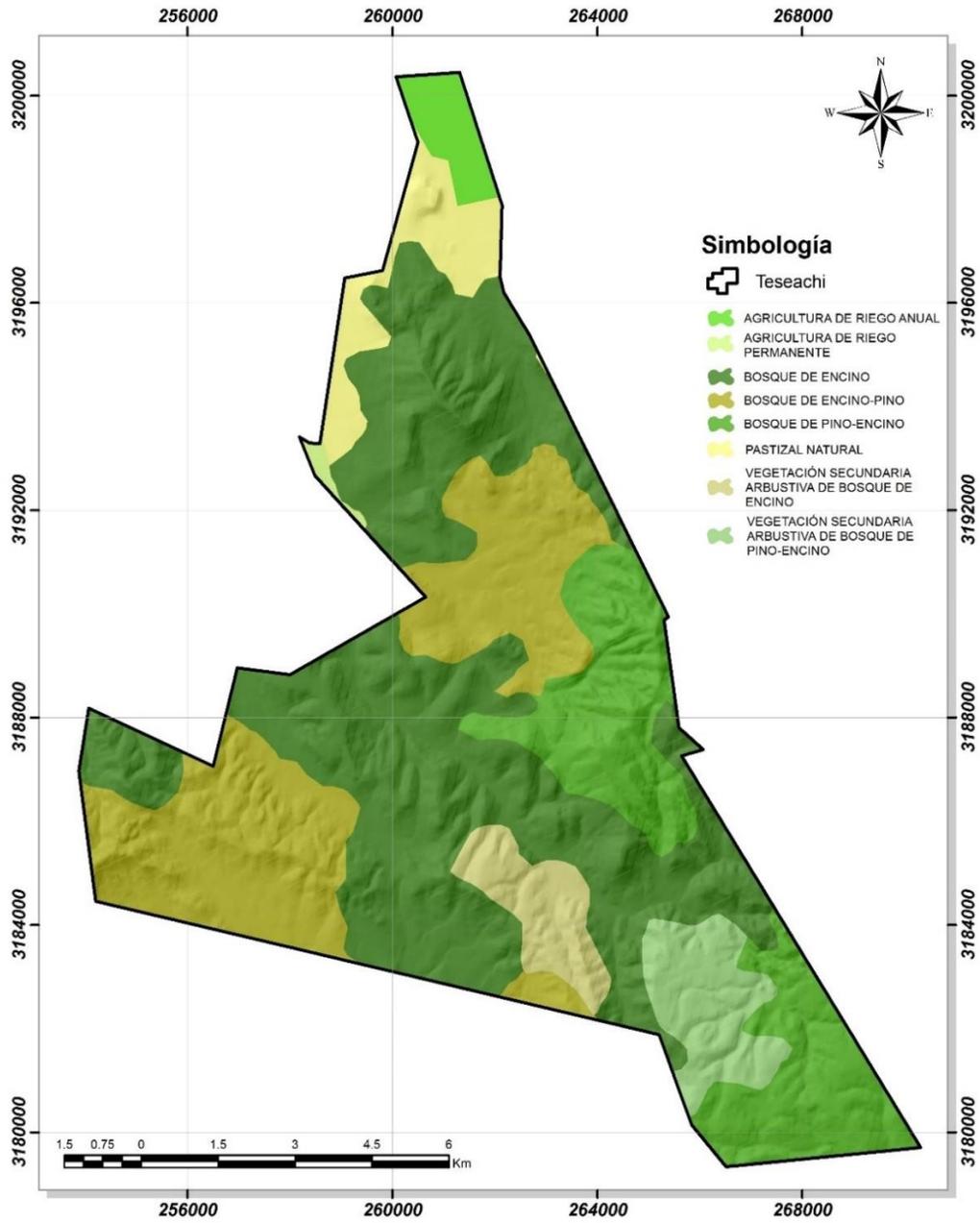


Figura 6. Uso de suelo y vegetación para el rancho experimental Teseachi.



Q. arizónica y de pino la llamada Pino piñonero (*Pinus cembroide*). La categoría que menor representatividad tiene es la de Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino en la cual la especie arbustiva que la caracteriza es la *Cercocarpus brevifolius*, el porcentaje que abarca es de 3.9 %. Además de estas categorías también se cuenta con Agricultura de riego anual (2.10 %), Agricultura de riego permanente (0.34 %), Bosque de encino-pino (22.26 %), Bosque de pino-encino (17.00 %), Pastizal natural (4.7 %) y Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino (5.2 %).

Hidrología. El rancho cuenta con varios arroyos (Figura 7) dentro de los cuales destacan el arroyo Teseachi con una longitud de 12,207.93 m², seguido del llamado Arroyo Grande de 7,075.93 m² de longitud y el Puerto de 5,666.11 m², entre otros más. Así mismo se cuenta con importantes cuerpos de agua entre los que destacan La Posta, El Estudiante y Saybory; con una superficie de 1,494.9 m² para la primera, 2,171.72 y 2,233.83 m² para las dos restantes ya mencionadas. Cabe destacar que de acuerdo a la Información Geográfica del Estado de Chihuahua (INEGI, 2010), el rancho pertenece a la Región Hidrológica Cuencas cerradas del Norte Casas Grandes (RH-34), específicamente la cuenca Río Santa María.

Edafología. De acuerdo con INEGI (2015), el tipo de suelo que cubre el Rancho Teseachi es el Phaeozem, que según sus características, es el cuarto más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutriente. Los suelos de tipo Phaeozem (60.10 %) son de una profundidad muy variable, cuando estos son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y son utilizados para la agricultura

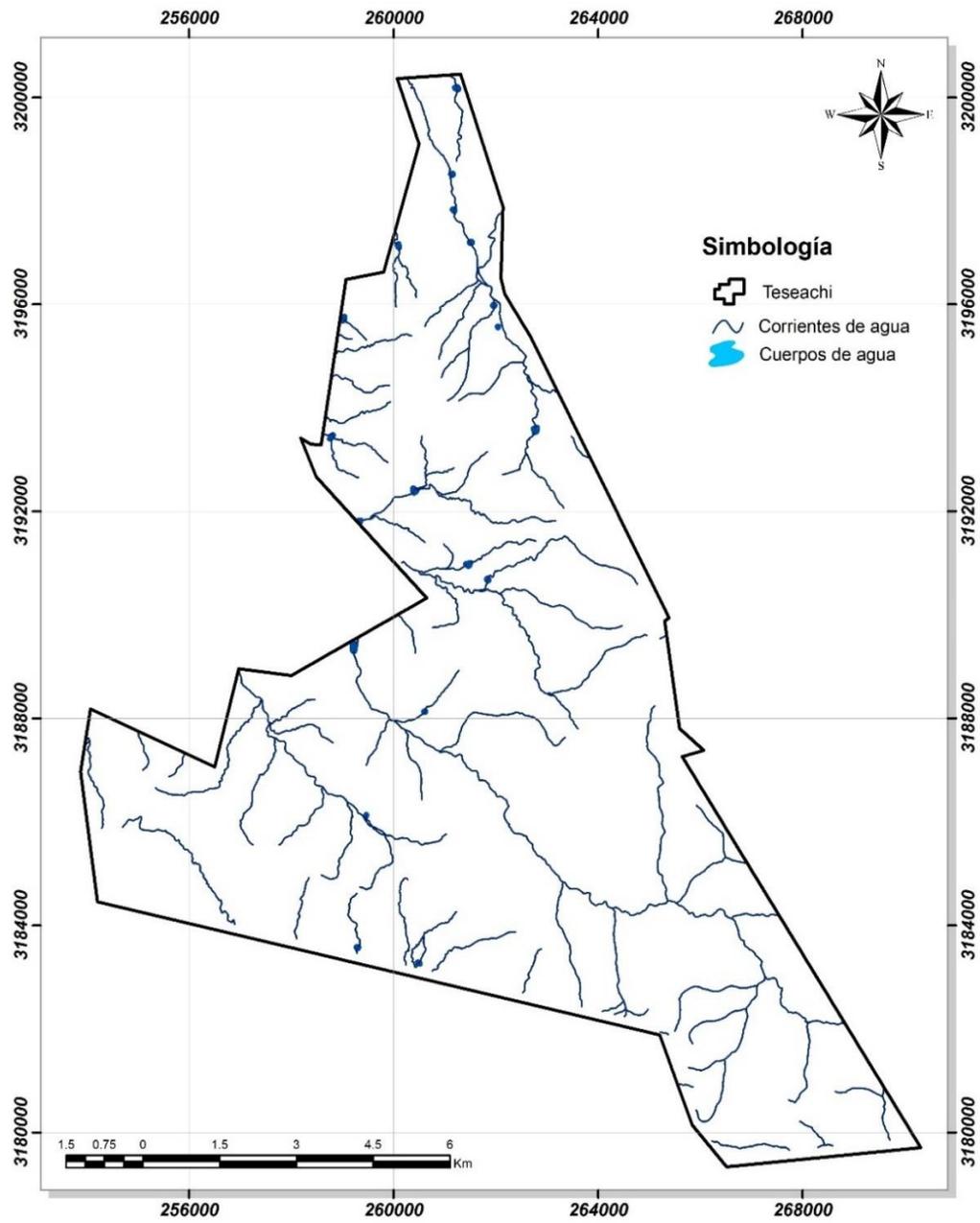


Figura 7. Mapa de hidrología del rancho experimental Teseachi.



de riego o temporal con un rendimiento alto; los menos profundos, están situados en laderas o pendientes, pero su principal limitante es la roca y cementaciones muy fuertes al suelo, estos al contrario tienen un rendimiento muy bajo y se erosionan con más facilidad pero pueden ser utilizados para pastoreo o ganadería con resultados aceptables. El cambisol (8.21 %) son suelos jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en zonas áridas, son muy abundantes y son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión. El caso de los suelos tipo durisol (2.74 %) solo pueden ser usados para pastizales extensivos o para cultivos si el regadío es posible estos se asocian a un clima árido, semiárido y mediterráneo. Los de tipo leptosol (0.229 %) aparecen en zonas altas o medias con topografía escarpada, son suelos poco o nada atractivos para cultivos ya que presentan una potencialidad muy limitada para cultivos arbóreos. Los suelos de tipo regosol con 28.64 % constituye el segundo tipo de suelo más importante en México por su extensión. Su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad (Figura 8).

Variables Climáticas

Para generar los mapas de las variables climáticas se utilizó una base de datos climática del servicio meteorológico del gobierno del Estado de Chihuahua, tomando en cuenta 20 estaciones de la zona noroeste del Estado. Álvarez, (1969, 1987 y 1989). Esta base de datos cuentan con las siguientes variables: 1) Altitud (ALT) de la estación en metros sobre el nivel del mar (msnm), 2) Temperatura media anual (TMED) en grados centígrados, 3) Temperatura media de máximas anual (TMAX) en grados centígrados, 4) Temperatura media de mínimas anuales

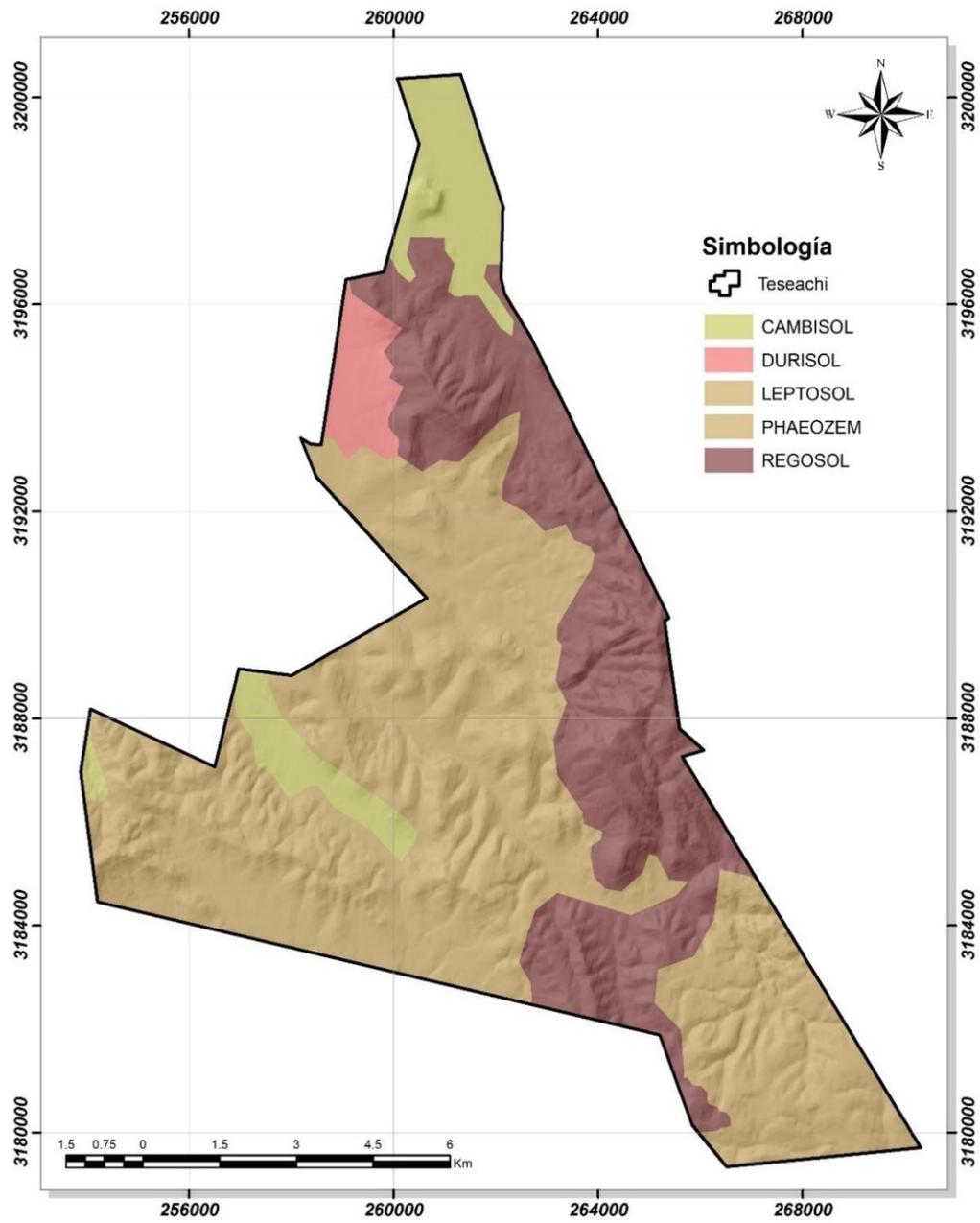


Figura 8. Mapa de edafología del rancho experimental Teseachi.



(TMIN) en grados centígrados, 5) Temperatura máxima extrema (MAXEXT) en grados centígrados, 6) Temperatura mínima extrema (MINEXT) en grados centígrados, 7) Promedio de grados horas calor (HC) obtenidos por el método mensual, 8) Promedio de grados horas frío (HF) obtenidos por el método de Dama, 9) Promedio de lluvia media anual (LLMED) en milímetros (mm).

Utilizando la calculadora del programa ArcGis 10.2 se aplicó el método estadístico de regresión lineal, en el cual la variable independiente fue el modelo digital de elevación (MDE) con una resolución de 15 m, y la variable dependiente fue cada una de las variables antes descritas. La ecuación de regresión general fue la siguiente:

$$Y = a + bx$$

donde:

Y= variable a obtener (variable dependiente)

a= intercepto

b= pendiente

x= MDE (modelo unido y cortado de la región)

Temperatura media anual. La temperatura media anual (Figura 9) resultante de la regresión lineal varía de 4 a 14 °C, ubicándose las temperaturas más bajas en la zona del cerro del Chuchupate. Las temperaturas más elevadas se encuentran en los potreros: El estudiante, Rancho Viejo, Varitas, Fistulados, Palmitas, Savory y en el casco del rancho, lugares en los cuales también se encuentran las altitudes más bajas. La temperatura media anual promedio es de 14.1 °C. La ecuación de regresión para este mapa es la siguiente:

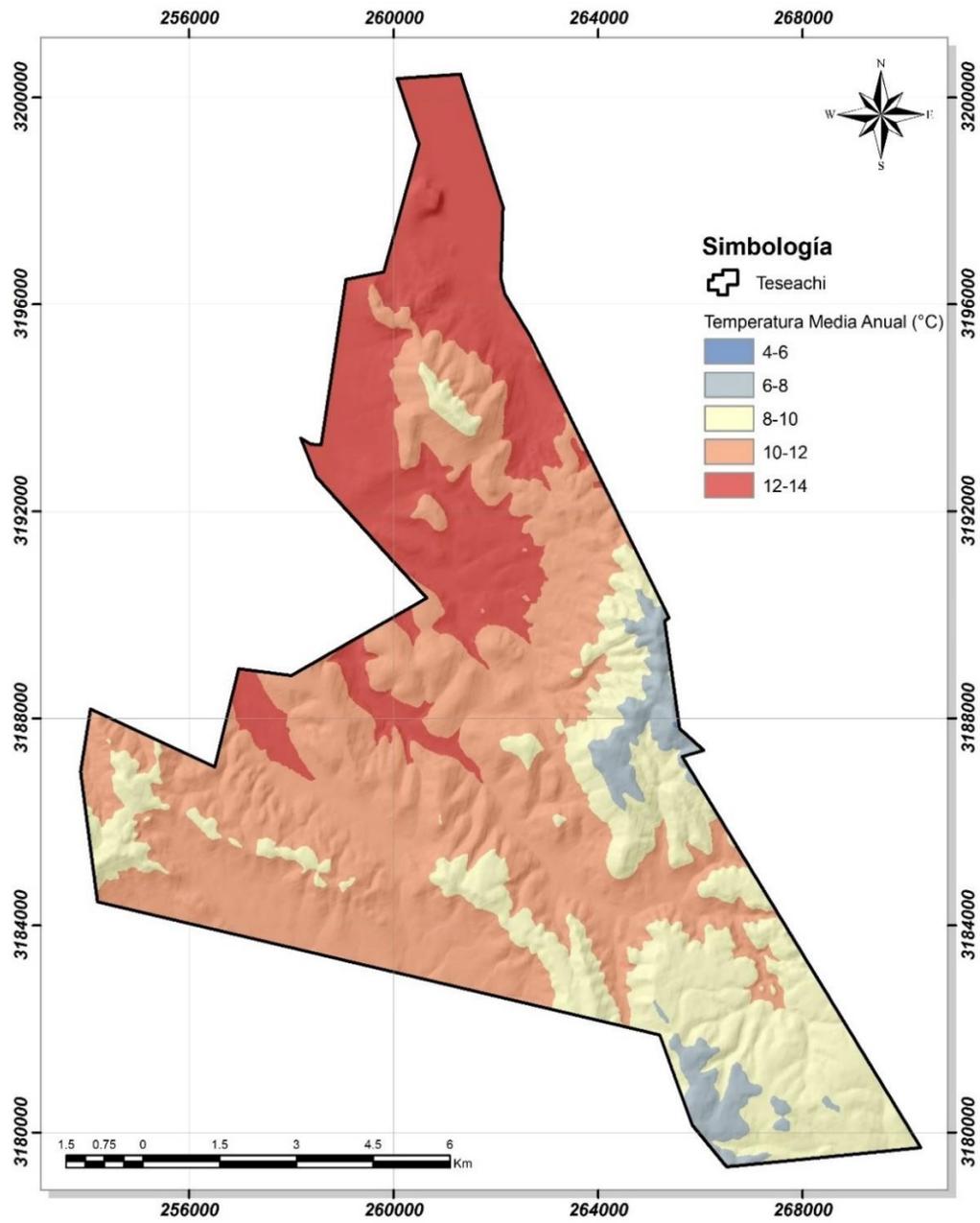


Figura 9. Mapa de temperatura media anual para el rancho experimental Teseachi.



$$y = -0.009x + 31.091$$

$$R^2 = 0.886$$

Dado que se obtuvo una R^2 de 0.88 se puede decir que se considera la ecuación aceptable.

Temperatura máxima. De acuerdo a la resultante de la regresión lineal aplicada tenemos que las temperaturas máximas (Figura 10) van desde los 27 a los 36 °C, contando con las temperaturas más calientes en el potrero en la zona agrícola, teniendo en todo el rancho una variabilidad de temperatura de entre los 31 a los 33 °C maso menos uniforme.

La ecuación de regresión utilizada para este mapa fue:

$$y = -0.008x + 50.38$$

$$R^2 = 0.7626$$

Temperatura máxima extrema. Como resultante de la aplicación de una ecuación de regresión lineal, tenemos que las temperaturas máximas extremas (Figura 11) van desde los 30 °C llegando hasta los 38 °C en la parte norte del rancho en donde se localizan las tierras de uso agrícola, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$y = -0.0082x + 53.462$$

$$R^2 = 0.8314$$

donde R^2 es una resultante aceptable.

Temperatura mínima extrema: Según se calculó en los potreros llamados como Bajío Ancho y Las Coloradas se encuentra un rango de temperaturas (Figura 12) que van desde los -29 hasta los -21 y en la parte restante al Norte, Este, Centro y Sureste del rancho van en una escala desde los

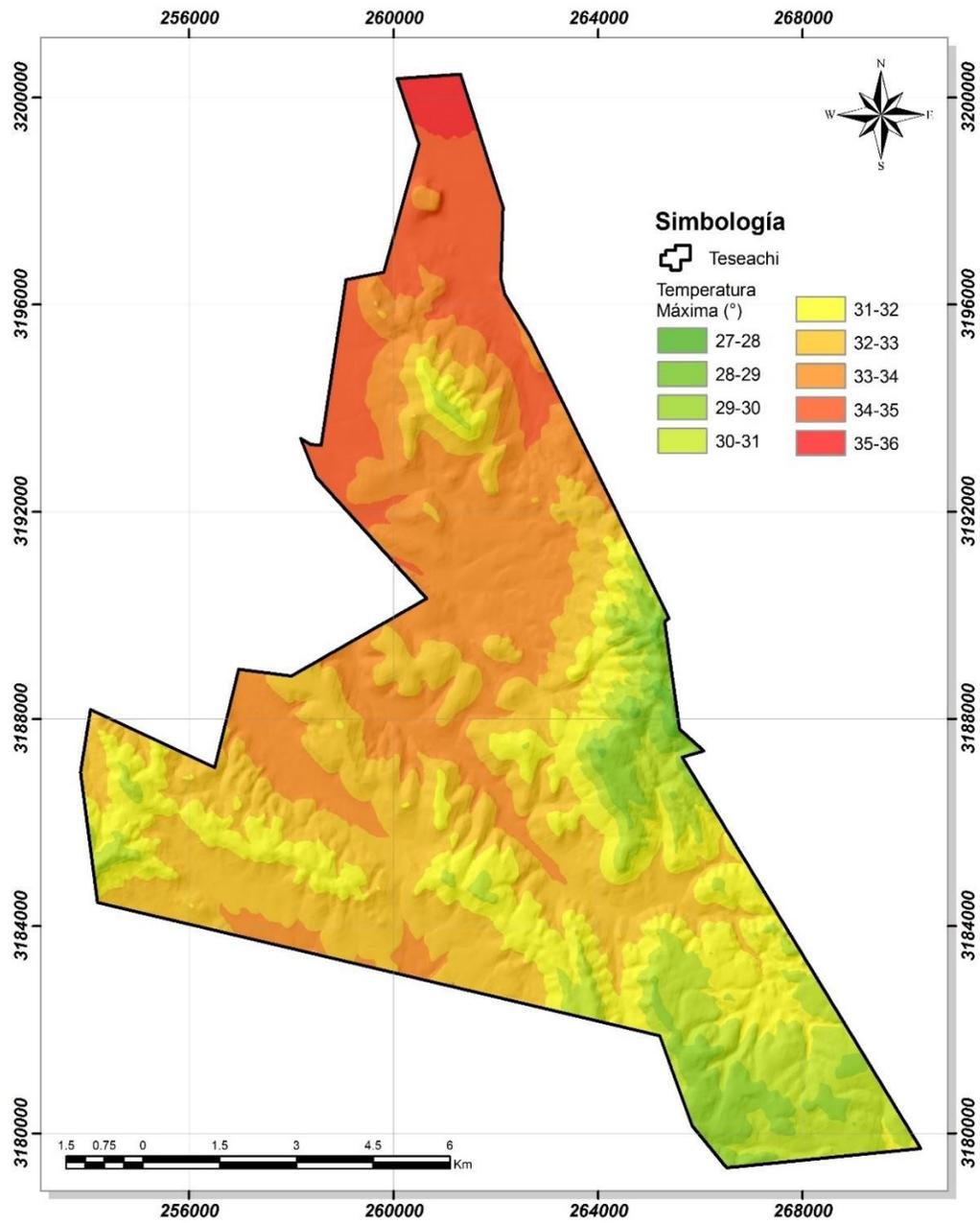


Figura 10. Mapa de temperatura máxima para el rancho experimental Teseachi.

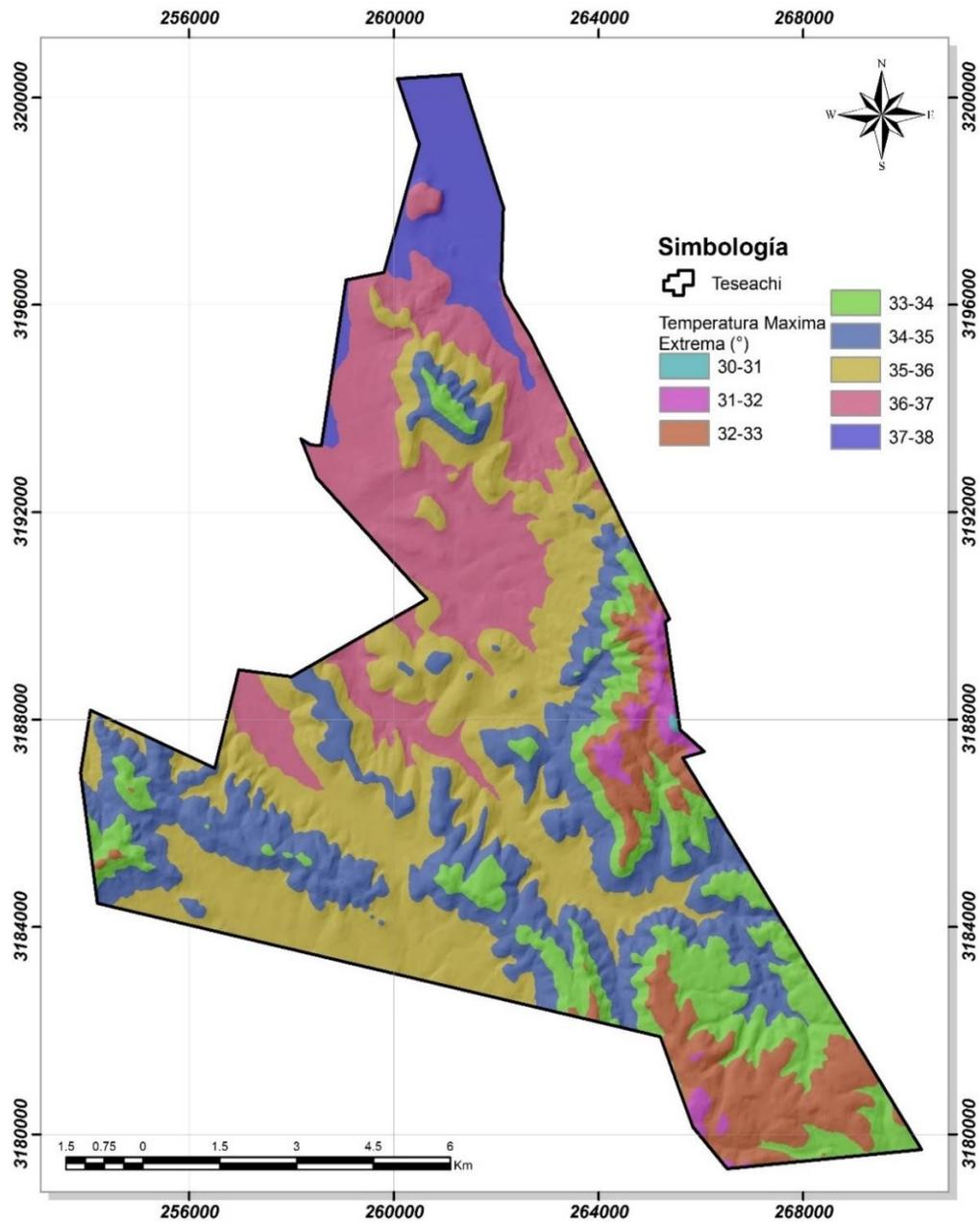


Figura 11. Mapa de temperatura máxima extrema para el rancho experimental Teseachi.

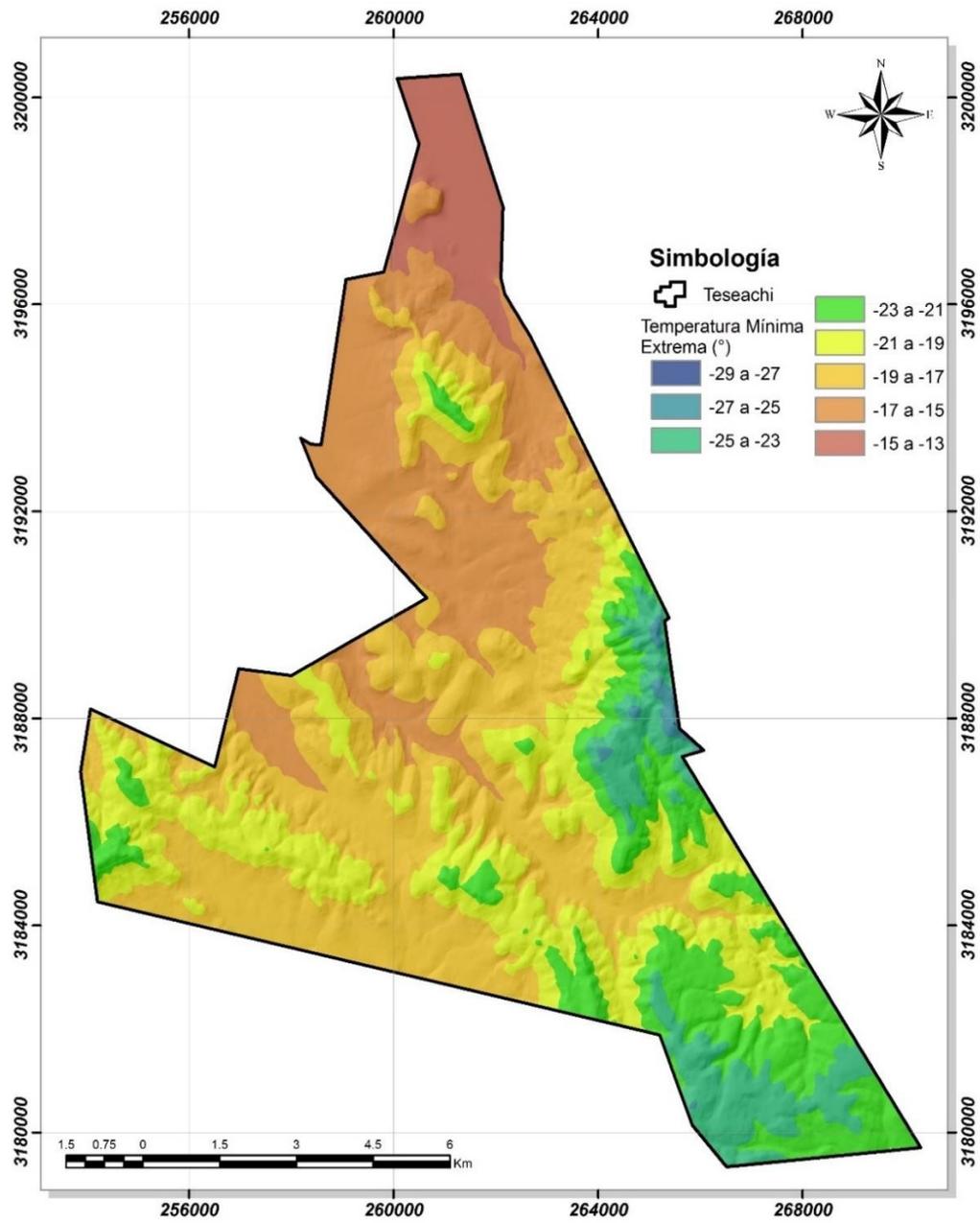


Figura 12. Mapa de temperatura mínima extrema para el rancho experimental Teseachi.



-21 hasta los -13; esto como resultado de la siguiente ecuación:

$$y = -0.0151x + 13.192$$

$$R^2 = 0.5136$$

Precipitación

La Figura 13 presenta el mapa de precipitación del rancho experimental Teseachi. Esto como resultado de la relación de la altitud con la precipitación total anual. La ecuación de regresión lineal derivada de este proceso, presentó un coeficiente de determinación de $R^2 = 64 \%$ el cual se consideró como parámetro idóneo para integrar la ecuación en el SIG. La ecuación de describe a continuación:

$$\text{Precipitación} = 39.2 + 0.263 \text{ Altitud}$$

La distribución de la precipitación está determinada por el efecto de relieve. Se distinguen 6 rangos de precipitación pluvial, la cual aumenta conforme la altitud determinada por el sistema montañoso. La sierra de Chuchupates presenta la máxima cantidad de precipitación pluvial (750-800 mm), al igual que las áreas de pastoreo Las Coloradas, Bajío Ancho, Alamillo, Las Lajas y Palmitas. Los rangos de 600-700 mm se distribuyen en relieves de lomeríos y sierras bajas representadas por comunidades de encino y pastizal amacollado principalmente. Por su condición de relieve, las precipitaciones más bajas en el predio (500-600 mm), se presentan en las partes bajas del predio que corresponden a las áreas agrícolas y presencia de pastizal mediano abierto.

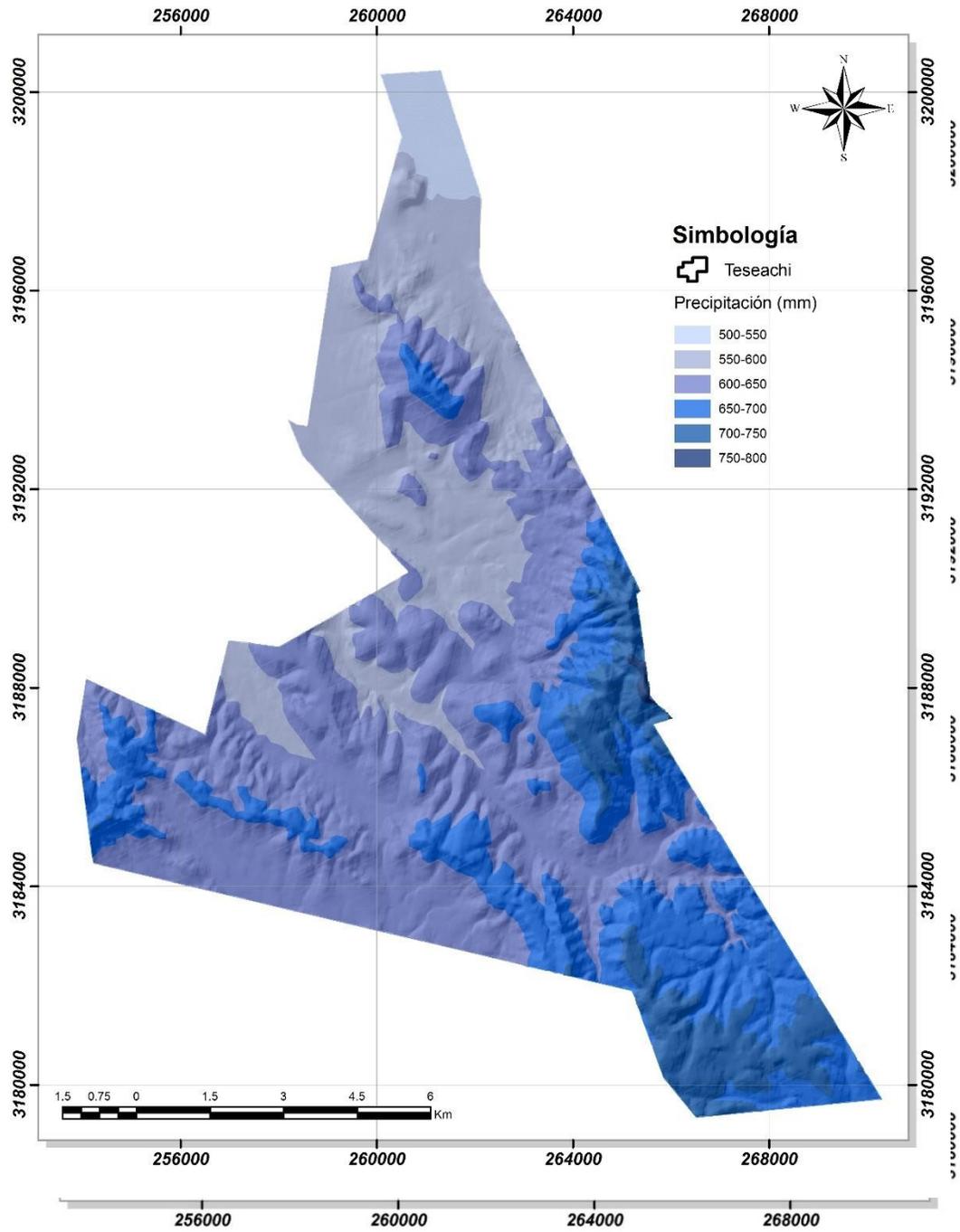


Figura 13. Mapa de precipitación del rancho experimental Teseachi.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio de caracterización biofísica de escala predial, ofrece la posibilidad de contar con información base que permita llevar a cabo diversos estudios de productividad, biodiversidad y servicios ecosistémicos del rancho experimental Teseachi.

La información generada a través de procesos de clasificación supervisada y caracterización del relieve, muestra una gran diversidad de asociaciones vegetales como; comunidades de pastizal, áreas de matorral, bosques de encino-pino, bosques de pino-encino y áreas agrícolas. Estos tipos de uso de suelo proporcionan al rancho el potencial natural para llevar a cabo diversas actividades productivas.

De la misma manera fue factible caracterizar la variación y la distribución de las temperaturas y la precipitación en las diversas áreas del rancho, mostrándose en todos los casos coeficientes de determinación (R^2) aceptables

La información recabada proporciona las fuentes de datos que permitan en un futuro cercano implementar un ordenamiento ecológico del territorio. Este instrumento es indispensable para llevar a cabo el uso adecuado de los recursos naturales, que permita establecer políticas de mejores prácticas de aprovechamiento del agostadero y sus múltiples recursos, así como regulación de cultivos menos demandantes de agua. Relacionado a lo anterior, la protección de la fauna a través de corredores biológicos. Además de la importancia ecológica, esto asegura la sustentabilidad en los sistemas de producción y mantiene los servicios inherentes para la vida humana.



La información proporcionada en este trabajo presenta los elementos necesarios para la toma de decisiones que permitan implementar el Plan de manejo sustentable rancho experimental Teseachi.



LITERATURA CITADA

- Aizpuru, G. E. 1979. Manejo de Pastizales 1. Ecología de los pastizales. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.
- ArcGIS, E. S. R. I. 2012. 10.2. *Redlands, California: ESRI*.
- Begon, M. J., L. Harper y C. R. Townsend. 1986. Ecology. Individuals, population, and communities. Sinauer Associates. Inc. Publishers. Massachussetts, E. U. A.
- Carleer. A. y E. Wolff. 2004. Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 70: 135-140.
- Cervantes, B. J. F. y G. S. Alfaro. 2001. La ecología del paisaje en el contexto del desarrollo sustentable. CIAU-Facultad de Arquitectura. Instituto de Geografía, UNAM. En: <http://www.brocku.ca/epi/lbek/borja.html>. Consultado septiembre 2015.
- COTECOCA. 1978. Comisión técnico consultiva para determinación de los coeficientes de agostadero del estado de Chihuahua. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaria de Ganadería.
- Chuvieco E. 2002. Teledetección Ambiental. Ediciones Ariel. 4ed. España.
- Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva. Worcester, MA: Clark University.
- Franke, J., V. Keuk y F. Siegert. 2012. Assesment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. *J Nat Conserv.* 20:125.134.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A. México, D.F.
- Gastó, C. 1979. Ecología: El hombre y la transformación de la naturaleza. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.
- González, P. A. 2001. Caracterización ecológica de la vegetación en las áreas de protección de flora y fauna Cañón de Santa Elena y Big Bend National Park. Tesis de disertación. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México.
- Hernández, Q. N. S. 2007. Análisis de los pastizales del rancho Teseachi con datos integrados LandSat-TM- 1C y modelos digitales del terreno de alta resolución espacial. Tesis Profesional. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.



- Hernández, C. C. F. 2015 Variabilidad climática y su impacto en las ecoregiones ganaderas del desierto y semidesierto de Chihuahua. Tesis profesional. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.
- Herold, M., M. Gardner, B. Hadley y D. Roberts. 2002. The spectral dimension in urban land cover mapping from high-resolution optical remote sensing. Proceedings of 3rd Symposium on Remote Sensing of Urban Areas, Istanbul, Turkey.
- Holechek. J. L., R. D. Pieper y H. H. Carlton. 2011. Range Management. Principles and practices. 6th ed. Pearson. New Jersey, EUA.
- INE. 2015. El ordenamiento del territorio en México. En: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/504/ordenamiento.html> Consultado 21 Octubre 2015.
- INEGI. 2010. Síntesis de información geográfica del estado de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México.
- INEGI. 2015. Conjunto de datos de perfiles de suelos escala 1: 250,000 Serie II (Continuo Nacional). Chihuahua, Chih. México.
- Jensen, J. R. 2005. Introductory digital image processing. 3rd edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. E.U.A.
- Knapp, A. K., J. M. Briggs y J. K. Koelliker. 2001. Frequency and extent of water limitation to primary production in a mesic temperate grassland Ecosystems. 4:19-28.
- Lebgue, T. y A. Valerio. 1985. Lista parcial de las plantas vasculares del rancho Teseachi de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Producción Animal en Zonas Áridas y Semiáridas. Vol. 4 No. 2. UACH.
- Legarrea Molina, M. D. P. 2002. Programas estatales de ordenamiento territorial (PEOT). Notas. Revista de información y análisis, 20, 36-42.
- LGEEPA, 1996. Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente. Diario Oficial de la federación. Consultado Diciembre 2015.
- Medina, G., G. Díaz, M. Berzoza, M. M. Silva, A. H. Chávez y A. D. Baez. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Chihuahua (periodo 1961-2003) mm 1a ed. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP): Chihuahua, Chih., México.
- Morales, S. A. 1997. Mapeo de la vegetación del predio Teseachi mediante imágenes de satélite LandSat-TM. Tesis Profesional. Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.



- Muñoz, C. A. 2001. Elaboración de un modelo espacial de peligro de incendios forestales. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.
- Pérez, G. A. 1971. A vegetational survey of the Teseachi ranch university of Chihuahua, Chih., México. Tesis de Maestría New Mexico of the State University. Las Cruces, New Mexico.
- Pinedo, A. C., Q. N. S. Hernández, C. A Melgoza, V. M. Rentería, S. V. C. Vélez, N. C. Morales, E. E. Santellano y E. Esparza. 2013. Diagnóstico actual y sustentabilidad de los pastizales del estado de Chihuahua ante el cambio climático. Cuerpo Académico de Recursos Naturales y Ecología (UACH-CA16). Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chih., México.
- Jáquez, C. H. D., J. R. H Corral. 2011. Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de los pastizales del Desierto Chihuahuense en el estado de Chihuahua 2011-2016. Gobierno del Estado de Chihuahua.,
- Salinas, E. M. E. 2008. El ordenamiento territorial: Principales experiencias internacionales. 1ª ed. IEPSA. México. D.F.
- SEMARNAT, 2013. Leyes Federales. En: <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/leyes-federales>. Consultado 16 noviembre 2013.
- UNIFRUT. 2014. Datos climáticos históricos (reporte diario-mensual) En: www.unifrut.com.mx/archivos/meteorologico/historicos-dia.php Consultado 20 noviembre 2014.
- Villalobos, C. 2011. Cambio climático en los pastizales y su efecto en los rumiantes en pastoreo. Producción Animal y Manejo de Pastizales. II Congreso Internacional de Manejo de Pastizales y XXXI Reunión Internacional de Manejo de Pastizales y XXXI Reunión Internacional de carne y leche en zonas áridas. Chihuahua, Chih., México.
- Zaragoza, R. J. L. 1995. Análisis hidrológico de un pastizal amacollado arborescente de la región noreste del Estado de Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.