



## TESIS

# MODELACIÓN ESPACIAL DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE *Quercus emoryi* Torr. (FAGACEAE) EN MÉXICO

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE AGROECOSISTEMAS Y RECURSOS NATURALES

**MARÍA DE JESÚS TORRES MEZA**

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

JUNIO DEL 2007, AGUASCALIENTES, AGS.

TESIS REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CUERPO TUTORIAL  
DESIGNADO Y QUE HA SIDO REVISADA Y APROBADA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN MANEJO DE AGROECOSISTEMAS Y  
RECURSOS NATURALES**

CUERPO TUTORIAL

DIRECTOR:   
Ph.D. Alma Delia Báez González

ASESOR:   
M.C. Luis Humberto Maciel Pérez

ASESOR:   
M.C. Esperanza Quezada Guzmán

ASESOR:   
Dr. J Santos Tristán Sierra

MAYO DEL 2007, AGUASCALIENTES, AGS.

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue realizada en gran parte, en el Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agradezco mucho la invaluable ayuda y paciencia brindadas por su personal, especialmente a la Dra. Alma Delia Báez González, Responsable del Laboratorio y Líder del Programa Nacional en Modelaje y Sensores Remotos, quien confió en mí y estuvo a cargo de la tutoría de esta investigación.

Agradezco también a mis asesores, el M.C. Luis Humberto Maciel Pérez, la M.C. Esperanza Quezada Guzmán y el Dr. J Santos Tristán Sierra, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, por su gran apoyo y entusiasmo.

A la Biól. Irene García González, Jefa del Departamento de Botánica del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, por permitirme revisar el género *Quercus* del Herbario INEGI. A la Biól. Marcela Verónica Gutiérrez Garduño, Responsable del Herbario del INIFAP por su apoyo desinteresado al brindarme la base de datos de la colección y permitir a la M.C. Esperanza Quezada Guzmán la toma de fotografías de la colección de *Quercus emoryi*. A la Dra. Yolanda Herrera Arrieta, Investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Rural-Durango, por brindarme la base de datos de *Quercus emoryi* del Herbario del CIIDIR-Durango. Al Biól. Juan Francisco Torres Origel y al M.C. Daniel Chapa Bezanilla, por su asesoría técnica. Al Dr. Fernando Zavala Chávez, Profesor, Investigador y Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Dasonomía de la Universidad Autónoma Chapingo, quien desinteresadamente me hizo llegar sus trabajos publicados sobre el género *Quercus*. Al personal del Herbario de la Universidad Autónoma de Zacatecas, por permitirme la revisión del género *Quercus* de su colección.

A mis maestros y compañeros de maestría, amigos y familia. Todos me brindaron mucho de sí para realizar este trabajo, pero principalmente agradezco la dicha de disfrutar lo que cada día recibo de ellos.

## ÍNDICE

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                       | 1  |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....                             | 6  |
| 3. OBJETIVOS                                               |    |
| 3.1. Objetivo General.....                                 | 21 |
| 3.2. Objetivos Específicos.....                            | 21 |
| 4. HIPÓTESIS.....                                          | 22 |
| 5. SELECCIÓN DE ESPECIE                                    |    |
| 5.1. Materiales y Método.....                              | 23 |
| 5.2. Resultados y Discusión.....                           | 25 |
| 5.3. Conclusiones preliminares.....                        | 29 |
| 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE COLECTA                |    |
| 6.1. Materiales y Método                                   |    |
| 6.1.1. Suelo y Vegetación.....                             | 30 |
| 6.1.2. Relieve.....                                        | 31 |
| 6.1.3. Clima                                               |    |
| 6.1.3.1. Selección de Estaciones.....                      | 31 |
| 6.1.3.2. Depuración de Datos.....                          | 35 |
| 6.1.3.3. Interpolación de Datos.....                       | 38 |
| 6.1.3.4. Extracción de Datos de las Imágenes.....          | 39 |
| 6.2. Resultados y Discusión.....                           | 40 |
| 6.3. Conclusiones preliminares.....                        | 44 |
| 7. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO                                 |    |
| 7.1. Materiales y Método.....                              | 45 |
| 7.2. Resultados y Discusión.....                           | 47 |
| 7.3. Conclusiones preliminares.....                        | 53 |
| 8. VALIDACIÓN                                              |    |
| 8.1. Materiales y Método.....                              | 55 |
| 8.1.1. Obtención de Sitios de Presencia y de Ausencia..... | 57 |

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1.2. Matriz de 2x2.....                                                                                          | 58  |
| 8.1.3. Verificación en campo del Modelo 57_noorien.....                                                            | 59  |
| 8.1.4. Modelo Basado en 136 sitios de Colecta.....                                                                 | 59  |
| 8.2. Resultados y Discusión.....                                                                                   | 61  |
| 8.3. Conclusiones preliminares.....                                                                                | 67  |
| 9. CALIBRACIÓN                                                                                                     |     |
| 9.1. Materiales y Método                                                                                           |     |
| 9.1.1. Errores de Omisión.....                                                                                     | 68  |
| 9.1.2. Errores de Inclusión.....                                                                                   | 69  |
| 9.2. Resultados y Discusión.....                                                                                   | 76  |
| 9.3. Conclusiones preliminares.....                                                                                | 92  |
| 10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD                                                                                       |     |
| 10.1. Materiales y Método.....                                                                                     | 94  |
| 10.2. Resultados y Discusión.....                                                                                  | 95  |
| 10.3. Conclusiones preliminares.....                                                                               | 100 |
| 11. ESCENARIOS DE CAMBIO                                                                                           |     |
| 11.1. Materiales y Método.....                                                                                     | 101 |
| 11.2. Resultados y Discusión.....                                                                                  | 103 |
| 11.3. Conclusiones preliminares.....                                                                               | 114 |
| 12. CONCLUSIONES GENERALES.....                                                                                    | 116 |
| 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                | 118 |
| ANEXO A. Información Base para la Selección de Especie y Sitios de Colecta de<br><i>Quercus emoryi</i> .....       | 123 |
| ANEXO B. Metadatos.....                                                                                            | 129 |
| ANEXO C. Datos de los Sitios Utilizados para Evaluar la Precisión de los Modelos.....                              | 132 |
| ANEXO D. Resultados del Análisis de Regresión Lineal Simple para las Anomalías con<br>Tendencia Significativa..... | 147 |

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Matriz para la selección de especie .....                                                                                            | 26 |
| Cuadro 2. Número de estaciones climáticas por estado utilizadas para interpolar datos.....                                                     | 33 |
| Cuadro 3. Matriz con los valores obtenidos para cada variable en los sitios de colecta.....                                                    | 40 |
| Cuadro 4. Frecuencias de clase de la matriz con 57 sitios de colecta de <i>Q. emoryi</i> . ....                                                | 42 |
| Cuadro 5. Valores mínimos y máximos para las variables continuas y categorías para las variables cualitativas en los 57 sitios de colecta..... | 43 |
| Cuadro 6. Matriz de 2 x 2 para conocer la precisión del modelo.....                                                                            | 56 |
| Cuadro 7. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57_noorien.....                                                  | 62 |
| Cuadro 8. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 57_noorien.....                            | 62 |
| Cuadro 9. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136_noorien.. ....                                               | 62 |
| Cuadro 10. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 57_noorien.....                           | 63 |
| Cuadro 11. Frecuencias de clase de la matriz con 136 sitios de colecta de <i>Q. emoryi</i> .....                                               | 70 |
| Cuadro 12. Frecuencias de clase (clases de 10 mm) de la variable precipitación para los 136 sitios de colecta de <i>Q. emoryi</i> .....        | 71 |
| Cuadro 13. Modelos obtenidos para la reducir los errores de inclusión.....                                                                     | 75 |
| Cuadro 14. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57_frecnocero_ppt.....                                          | 76 |
| Cuadro 15. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 57_frecnocero_ppt.....                    | 77 |
| Cuadro 16. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136_frecnocero.....                                             | 78 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Cuadro 17. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 136_frecnocero..... | 78  |
| Cuadro 18. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136_frec_altas.....                       | 80  |
| Cuadro 19. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57_frecnocero_pptc10.....                 | 81  |
| Cuadro 20. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136_frecnocero_pptc10.....                | 82  |
| Cuadro 21. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57_frecnocero_pptc10_tmín.....            | 84  |
| Cuadro 22. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136_frecnocero_pptc10_tmínalt.....        | 86  |
| Cuadro 23. Resultados de las pruebas de concordancia y precisión, “ <i>sensu stricto</i> ”.....                          | 87  |
| Cuadro 24. Resultados de las pruebas de concordancia y precisión, “ <i>sensu lato</i> ”. .....                           | 88  |
| Cuadro 25. Agrupación de pares de imágenes para evaluar la sensibilidad de las variables. ....                           | 94  |
| Cuadro 26. Resultados de las pruebas de concordancia y precisión.....                                                    | 95  |
| Cuadro 27. Promedios en las pruebas de concordancia y precisión.....                                                     | 96  |
| Cuadro 28. Resultados del análisis de regresión.....                                                                     | 104 |
| Figura 1. Fenómenos atribuidos al calentamiento global.....                                                              | 9   |
| Figura 2. Árbol de <i>Q. emoryi</i> Torr. ....                                                                           | 13  |
| Figura 3. Ejemplar de herbario.....                                                                                      | 13  |
| Figura 4. Rama con bellotas.....                                                                                         | 13  |
| Figura 5. Ejemplar de herbario con pelos axilares en el envés .....                                                      | 14  |
| Figura 6. Procesos para la obtención de un modelo ecológico.....                                                         | 16  |
| Figura 7. Proceso de revisión de ejemplares botánicos .....                                                              | 24  |
| Figura 8. Sitios de colecta <i>Q. emoryi</i> de la colección del Herbario INEGI.....                                     | 29  |
| Figura 9. Proceso de selección de estaciones climáticas.....                                                             | 32  |

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 10. Estaciones utilizadas en la interpolación de datos climáticos.....                                                                                                                                                        | 34 |
| Figura 11. Proceso de depuración de datos climáticos.....                                                                                                                                                                            | 37 |
| Figura 12. Algunas estaciones climáticas de Durango proyectadas sobre el MDE.....                                                                                                                                                    | 38 |
| Figura 13. Zonas dentro del intervalo de altitud 1645 a 2750 msnm en el área de estudio.....                                                                                                                                         | 48 |
| Figura 14. Zonas con exposición N a E (337.5 a 112.5°) dentro del área de estudio.....                                                                                                                                               | 48 |
| Figura 15. Pendiente del terreno dentro del intervalo de 0 a 66° para el área de estudio.....                                                                                                                                        | 49 |
| Figura 16. Temperatura mínima media de enero dentro del intervalo de -12 a 3 °C<br>para el área de estudio.....                                                                                                                      | 49 |
| Figura 17. Temperatura media de junio dentro del intervalo de 11 a 25 °C<br>para el área de estudio.....                                                                                                                             | 50 |
| Figura 18. Precipitación media anual dentro del intervalo de 219 a 686 mm<br>para el área de estudio.....                                                                                                                            | 50 |
| Figura 19. Área con los ocho tipos de vegetación considerados para el modelo,<br>dentro del área de estudio.....                                                                                                                     | 51 |
| Figura 20. Área que comprende las unidades de suelo; litosol, cambisol eutrico,<br>feozem háplico, luvisol crómico, rendzina, xerosol lúvico, planosol mólico,<br>vertisol pélico y regosol eutrico, dentro del area de estudio..... | 51 |
| Figura 21. Modelo 57_all, que incluye todas las variables (altitud, orientación,<br>pendiente, temperatura mínima media de enero, temperatura media de junio, precipitación<br>media anual, suelo y vegetación).....                 | 52 |
| Figura 22. Modelo 57_noorien.....                                                                                                                                                                                                    | 53 |
| Figura 23. Sitios de verificación en campo de la presencia de <i>Q. emoryi</i> en<br>Durango y Zacatecas.....                                                                                                                        | 60 |
| Figura 24. Modelo 57_noorien y sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....                                                                                                                                           | 64 |
| Figura 25. Modelo 136_noorien y sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....                                                                                                                                          | 65 |
| Figura 26. Sobreposición de capas con los intervalos de precipitación basados en 136 sitios<br>de colecta y considerando únicamente las clases con frecuencia mayores a cero.....                                                    | 72 |
| Figura 27. Sobreposición de capas con el intervalo de altitud basado en 57 y en 136 sitios<br>de colecta.....                                                                                                                        | 73 |
| Figura 28. Sobreposición de capas con intervalos de temperatura mínima de -12 a 3 °C y<br>de -12 a -3 °C.....                                                                                                                        | 74 |



|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 29. Modelo 57_frecnocero_ppt y los 80 sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....              | 77  |
| Figura 30. Modelo 136_frecnocero y los 136 sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....                | 79  |
| Figura 31. Modelo 136_fre_alta y los 136 sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....                  | 80  |
| Figura 32. Modelo 57_frecnocero_pptc10 y los 80 sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....           | 81  |
| Figura 33. Modelo 136_frecnocero_pptc10 y los 136 sitios de presencia y de ausencia de la especie.....                | 82  |
| Figura 34. Modelo 57_frecnocero_pptc10_tmín y los 80 sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> .....      | 83  |
| Figura 35. Sobreposición del Modelo 57_frecnocero_pptc10 y del Modelo 57_frecnocero_pptc10_tmín.....                  | 84  |
| Figura 36. Modelo 136_frecnocero_pptc10_tmínalt y los 136 sitios de presencia y de ausencia de <i>Q. emoryi</i> ..... | 85  |
| Figura 37. Sobreposición del Modelo 136_frecnocero_pptc10 y del Modelo 136_frecnocero_pptc10_tmínalt.....             | 86  |
| Figura 38. Sobreposición del Modelo 57_frecnocero_pptc10_tmín y del Modelo 136_frecnocero_pptc10_tmínalt.....         | 89  |
| Figura 39. Modelo 57_frecnocero_pptc10_tmín sobre el mosaico con las orientaciones para los siete Estados.....        | 91  |
| Figura 40. Estaciones climáticas seleccionadas para el análisis de regresión lineal simple.....                       | 103 |
| Figura 41. Estaciones con tendencia significativa en los datos de temperatura mínima media de enero.....              | 107 |
| Figura 42. Estaciones con tendencia significativa en el número de días con temperatura menor a 0 °C.....              | 108 |
| Figura 43. Estaciones con tendencia significativa en los datos de temperatura media de junio.....                     | 108 |
| Figura 44. Estaciones con tendencia significativa en el rango de temperaturas extremas.....                           | 109 |
| Figura 45. Estaciones con tendencia significativa en los datos de precipitación.....                                  | 110 |
| Figura 46. Estaciones con tendencia significativa en el número de días con ppt mayor                                  |     |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| o igual a 10 mm.....                                                                                                                 | 110 |
| Figura 47. Estaciones con tendencia significativa en el índice de intensidad<br>diaria de precipitación.....                         | 111 |
| Figura 48. Estaciones con tendencia significativa en las anomalías relacionadas<br>tanto con temperatura como con precipitación..... | 112 |
| Figura 49. Estaciones con tendencias significativas en las anomalías relacionadas<br>con la temperatura.....                         | 113 |
| Figura 50. Estaciones con tendencias significativas en las anomalías relacionadas<br>con la precipitación.....                       | 113 |

## RESUMEN

### **Modelación Espacial de la Distribución Geográfica de *Quercus emoryi* Torr. (Fagaceae) en México**

Spatial Modeling of Geographic Distribution of *Quercus emoryi* Torr. (Fagaceae) in Mexico

Torres Meza María de Jesús

Comité tutorial: Ph. D. Alma Delia Báez González, M.C. Luis Humberto Maciel Pérez,

M.C. Esperanza Quezada Guzmán y Dr. J Santos Tristán Sierra.

De la gran diversidad biológica que habita nuestro territorio y que lo sitúa como el único de los países megadiversos ubicado en un centro primario de domesticación, se tiene un conocimiento incompleto; lamentablemente, parte de esta diversidad se encuentra en riesgo de extinción debido a nuestra forma de apropiación de la naturaleza. Ante el inminente cambio climático global y el estado de degradación de los recursos naturales en México, es imprescindible incrementar el conocimiento sobre la relación entre especies y ambiente, con fines tanto de aprovechamiento sustentable como de conservación. La mayor concentración de especies de encino en el mundo (alrededor de 125) posiblemente se encuentra en el Centro y Sur de México. Son especies potencialmente útiles para reforestar por su capacidad de adaptarse a diversos ambientes, son fuente de alimento, hábitat de flora y fauna y son las de mayor uso energético en el país. Como una contribución al conocimiento del género *Quercus* y al uso del modelaje, herramienta con una creciente importancia en investigación y manejo de recursos naturales; se definió la distribución geográfica de *Quercus emoryi* Torr. en México, en función de factores climáticos, edáficos, de vegetación y de relieve y su distribución predictiva bajo diversos escenarios de cambio en su hábitat; a través de la caracterización de sitios de colecta como un acercamiento al nicho realizado de la especie y, del análisis de regresión lineal de indicadores climáticos extremos. Se obtuvo un modelo de distribución geográfica de *Q. emoryi* Torr. con una concordancia sustancial, se detectaron tendencias positivas significativas en anomalías de indicadores climáticos relacionados con temperatura y negativas en las relacionadas con precipitación, implicando ambas, riesgo para la especie. Estos resultados representan una base para la identificación de necesidades de investigación en el tema así como un apoyo a estudios biogeográficos, de evolución y ecología de la especie, y a programas de conservación y aprovechamiento. **Palabras clave:** Modelación espacial; Distribución geográfica; Género *Quercus*; *Quercus emoryi*; Nicho realizado; Cambio climático.

## ABSTRACT

Knowledge about the great biological diversity of Mexico, the only mega-diverse country at the primary center of domestication, continues to be limited. Unfortunately, that biodiversity is at risk of extinction because of the misappropriation of natural resources. In the face of imminent global climatic change and the state of degradation of natural resources in Mexico, it is essential to accelerate the generation of information in order to improve understanding of the relationship between species and the environment, and promote conservation and sustainable development. The greatest concentration of oak species in the world is believed to be found in southern and central Mexico. These oak species are potentially useful for reforestation because of their capacity to adapt to diverse environments; furthermore, they are a source of food and energy, and serve as habitat to numerous flora and fauna. To contribute to knowledge about the genus *Quercus* and the application of modeling, an increasingly important tool in natural resource research and management, this study defines the geographic distribution of *Quercus emoryi* Torr. in Mexico, considering climatic, edaphic, vegetative and relief factors, and predicted distribution under different scenarios of habitat change. This was done through a characterization of collecting sites as an approximation of the realized niche of the species and through a linear regression analysis of extreme climatic indicators. A geographic distribution model of *Q. emoryi* was developed with substantial agreement; significant positive tendencies in anomalies of climatic indicators related to temperature and negative in relation to precipitation were detected, both implying risk for the species. These results provide a base for the identification of further research needs in the subject as well as a support in biogeographic, evolution and ecology studies of the species, and in use and conservation programs.

**Key words:** Spatial modeling; Geographic distribution; Genus *Quercus*; *Quercus emoryi*; Realized niche; Climatic change.

## 1. INTRODUCCIÓN

La forma en que el ser humano se ha apropiado de la naturaleza, es decir, cómo ha aprovechado los recursos naturales o cómo se ha articulado con la naturaleza a través del trabajo; explica la condición actual de los recursos biológicos. Dicha condición es poco prometedora de un futuro próspero para la humanidad, pero especialmente para las naciones más afectadas en sus recursos naturales. Ahora más que nunca se evidencia como indiscutible la frase de que el desarrollo de una nación depende del manejo sensato de sus recursos biológicos; y basta conocer la cifra de 545,000 ha anuales deforestadas en México (Velásquez, Mas y Palacio, 2002), para darse cuenta de que el problema ambiental en el país es ya un problema de supervivencia cuya atención estratégica es impostergable. Se ha estimado que en Latinoamérica la pérdida de vegetación a finales del siglo XX ha sido del 50% de la superficie original y los países que más han contribuido a ello han sido Costa Rica, Brasil y México (Velásquez *et al.*, 2002).

Las implicaciones de la degradación de los recursos naturales pueden sintetizarse en la pérdida de servicios ambientales, los cuales son definidos por Torres y Guevara (2002) como el conjunto de condiciones y procesos naturales que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia y que la sociedad puede utilizar. Ejemplo de ellos son la biodiversidad, la conservación de germoplasma, la estabilidad climática, la contribución a los ciclos (de materia y energía) y el mantenimiento de valores estéticos.

La pérdida de biodiversidad como resultado de la destrucción de hábitats en países megadiversos, es decir, aquellos países que albergan más del 70% de la biodiversidad del planeta; entre otras cosas, limita o extingue las posibilidades de uso del acervo genético por la humanidad para su supervivencia.

México es uno de los trece países megadiversos y el único de ellos que de acuerdo con Harlan (1971), está ubicado en un centro primario de domesticación, denominado “Centro Mesoamericano”, del cual se conocen por lo menos 60 especies vegetales útiles que han contribuido al bienestar de la humanidad.

La riqueza biológica de México es el resultado de interacciones entre procesos evolutivos, ecológicos y antrópicos, sin embargo, su compleja historia geológica ha sido una fuerza evolutiva importante que ha contribuido a que la riqueza biológica del territorio sea comparable con pocos sitios en la Tierra. El territorio está situado a ambos lados del trópico de cáncer casi de manera equitativa, tiene una forma peculiar que se va angostando hacia el Sur y presenta una gran variación en la topografía ubicada entre las más accidentadas del planeta; características que han sido determinantes de una gran variedad climática y edáfica y que han contribuido a que el territorio sirva de corredor y barrera a biotas de diferentes orígenes y a la formación de islas biológicas que albergan alrededor del 50% de la flora, es decir, especies endémicas (Rzedowski, 1998). La situación es similar en cuanto a fauna, específicamente en reptiles y anfibios, el endemismo es también alrededor del 50% (Flores, 1998). Esto significa que la diversidad biológica del país está conformada por grupos taxonómicos originados fuera del territorio (principalmente de origen neártico y neotropical) y también autóctonos.

Lo anterior ha resultado en que, de acuerdo con Rzedowski (op. cit.), México se distinga a nivel mundial porque en él se encuentran todos los grandes tipos de vegetación conocidos y porque presenta una gran variedad de formas biológicas especialmente en las zonas áridas; además de lo ya mencionado arriba. Como ejemplo de su riqueza florística, Rzedowski (op. cit.) afirma que México es centro de diversificación de la familia Cactaceae y Agavaceae, cuenta con más géneros y más especies de la familia Compositae que cualquier parte del mundo, en él se localiza casi totalmente la diversidad del género *Bouteloua* y probablemente es centro de origen y diversificación de los géneros *Yucca*, *Fouquieria*, *Dasyllirion*, *Nolina* y *Krameria*, entre otros.

Aun cuando se carece de un inventario completo de los recursos biológicos del país y de suficiente información acerca de la distribución geográfica de los mismos, la estimación de su flora fanerogámica es de 22,000 especies, cifra que lo ubica entre los primeros cuatro países en riqueza florística (Rzedowski, op. cit.).

A esta riqueza florística contribuyen con una cuarta parte los bosques de coníferas y de encino y también en ellos se concentra la mayor abundancia de endemismos a nivel de especie. Los géneros *Pinus* y *Quercus* tienen como centro de diversificación en el hemisferio occidental, el territorio mexicano y son las plantas leñosas de más amplia distribución. El género *Quercus* es

el principal componente de los bosques de encino, de encino-pino, mesófilo de montaña y del chaparral (Rzedowski, 1978). Lo anterior, junto con el hecho de que probablemente la mayor concentración de especies de encino en el mundo se encuentra en las porciones centrales y sur de México en donde se conocen alrededor de 125 especies (Nixon, 1998) y de que son especies potencialmente útiles para reforestar por su alta plasticidad y tendencia a ocupar diversidad de ambientes (Zavala, 1998), que son las especies con mayor uso energético y que a la vez son hábitat de flora y fauna o bien son fuente de alimento; hacen del género un necesario objeto de estudio para la conservación de la vegetación.

Pero no sólo la riqueza biológica es resultado de la interrelación de múltiples procesos, también los problemas ecológicos y ambientales, como muchos otros fenómenos, tienen su origen en complejas interacciones de factores físicos, biológicos y sociales. Por ello, su abordaje a través de un enfoque más integrativo como el sociológico-ecológico (Toledo, Alarcón y Barón, 2002), podría llevar a interpretaciones más acordes con la realidad y a soluciones viables; y así lo han demostrado tanto numerosas investigaciones realizadas desde los años setenta como la reconceptualización de la forma de apropiación de la naturaleza que se ha denominado “desarrollo sustentable”.

Se suma a la necesidad de investigación con un enfoque sistémico, la necesidad de utilizar métodos y herramientas que incrementen la velocidad del conocimiento adquirido sobre las especies y de la relación que mantienen con el ambiente, ante la cada vez más costosa o logísticamente complicada tarea de lograr un inventario completo de los recursos biológicos del país y la acelerada destrucción de los mismos.

La utilización de información digital ha facilitado el manejo de muchos datos y el uso de técnicas estadísticas complejas; la combinación de ambos y el uso de sistemas de información geográfica son base para que a través de modelaje sea posible definir relaciones entre las partes de un sistema y sobre las cuales predecir cambios en el comportamiento de éste o sus componentes a lo largo del tiempo en respuesta a fuerzas externas.

Los modelos son herramientas útiles para organizar y comunicar ideas, sintetizar el conocimiento y datos actuales, desarrollar metas y objetivos de manejo y generar hipótesis. Los

modelos ecológicos son representaciones de los fenómenos naturales que abstraen o simplifican el mundo real abarcando sus principales componentes y procesos clave, haciendo más comprensible la complejidad ecológica.

Sin olvidar que la presencia de una especie en el espacio geográfico es determinada por factores bióticos, abióticos y antropogénicos y que una investigación con enfoque sistémico o sociológico-ecológico es requerida para abordar cualquier problemática pero especialmente la ambiental y ecológica; el presente trabajo está enfocado en valorar mediante modelaje, si el intervalo dentro de un gradiente ambiental creado con algunas variables abióticas describe la distribución geográfica de *Quercus emoryi* con un nivel aceptable de confianza. La exclusión de factores bióticos y sociales, se debe principalmente a las limitantes que impone el trabajar a una escala nacional y a las características de los datos utilizados. Sin embargo, aunque no es uno de los primeros acercamientos al modelaje de recursos naturales en México, pone a prueba el potencial de uso de esta herramienta que cada vez adquiere más importancia en la solución de problemas ambientales ante el inminente cambio climático.

Por lo tanto, como una contribución al conocimiento del género *Quercus* y a la utilización del modelaje como herramienta para la investigación y el manejo de recursos naturales; el presente trabajo tiene como propósito definir la distribución geográfica de *Quercus emoryi* Torr. en función de factores climáticos, edáficos y de relieve, y su distribución predictiva bajo diversos escenarios de cambio en su hábitat; a través de la caracterización de sitios de colecta y análisis de regresión de indicadores climáticos extremos. Asimismo, se pretende que sirva como base para la identificación de las principales necesidades de investigación en el tema y servir de apoyo a estudios biogeográficos, de evolución y ecología, así como en programas de conservación y aprovechamiento.

Los principales resultados fueron la obtención de un modelo de distribución geográfica de *Q. emoryi* con una alta concordancia y precisión cuando se comparó con un grupo de datos independientes y la detección de tendencias significativas en anomalías de indicadores climáticos extremos en estaciones ubicadas dentro del área del modelo interpretada como presencia de la especie. Las tendencias positivas en indicadores relacionados con la temperatura y las tendencias



negativas en indicadores relacionados con la precipitación pueden representar un riesgo para la especie.

Esta tesis está organizada en capítulos, los primeros cuatro incluyen: Introducción, Revisión de Literatura, Objetivos e Hipótesis y en un intento por facilitar la comprensión del trabajo, los capítulos cinco a once describen cada proceso: Selección de Especie, Caracterización de los Sitios de Colecta, Construcción del Modelo, Validación, Calibración, Análisis de Sensibilidad y Escenarios de Cambio, e incluyen los materiales empleados, el método utilizado, los resultados y discusión y conclusiones preliminares. En el capítulo 12 se expone la Conclusión General de todos los procesos y sus resultados. En el capítulo 13 se presentan las Referencias Bibliográficas y por último, cuatro Anexos con información sobre los sitios de colecta de *Q. emoryi* y los Estados donde se han colectado 70 especies de *Quercus* con base en literatura; los metadatos; información sobre los sitios utilizados para validar los modelos y; los resultados del análisis de regresión de datos climáticos.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Ante las evidencias científicas de un cambio climático global, los estudios de los efectos de éste sobre los sistemas físicos y biológicos se han incrementado en todo el mundo. Los eventos climáticos extremos tienen gran impacto tanto en las sociedades como en los ecosistemas y existen evidencias contundentes de cambios significativos en éstos a partir de la segunda mitad del siglo XX en áreas ubicadas en países desarrollados.

Las repercusiones del cambio climático en los ecosistemas se estiman como graves al verse rebasada la capacidad de adaptación de las especies, dado que ésta se ha desarrollado en el transcurso de miles de años y las variaciones climáticas actuales tienen su origen en las actividades humanas del último siglo. Aunque no se conocen a fondo los efectos debido a la complejidad del fenómeno se han detectado sucesos desde lo imperceptible hasta fenómenos naturales devastadores. Sin embargo, de lo que se tiene certeza es que el cambio al suceder en un sistema que es el terrestre, incidirá en todos sus componentes y las relaciones entre ellos. Además, se sabe que la supervivencia no sólo depende de los efectos sino también de la capacidad de resistencia, adaptación y recuperación de los sistemas. Y es precisamente en esas capacidades en donde se encuentra la vulnerabilidad. Los países menos desarrollados y más afectados en sus recursos naturales son los más vulnerables.

Al tener México una de las más altas tasas de deforestación en América, se coloca en una situación de alto riesgo para la supervivencia de su población. Con una superficie promedio deforestada al año, que de acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (INE, 2006) es de 260,000 ha y de acuerdo con Velásquez *et al.* (2002) es de 545,000 ha; la pérdida de recursos naturales se convierte en causa, efecto y un fenómeno sinérgico del cambio climático<sup>1</sup>. De acuerdo con Masera (2002), los cambios en el uso del suelo contribuyen en 30% a las emisiones de gases de efecto invernadero en México.

---

<sup>1</sup>“A la pérdida de cobertura forestal, debe añadirse la degradación de los bosques, que alcanza muy conservadoramente, otras 500 mil ha/año” (Masera *et al.* 1997, citado en Masera, 2002).

En la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se presenta el siguiente panorama para México de acuerdo con las proyecciones de cambio climático y las evaluaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC): se espera que el clima alrededor de 2020 sea entre 1.5 y 2.5 °C<sup>2</sup> más caliente que en la actualidad, se estima una reducción anual de aproximadamente 10% en la disponibilidad natural de agua con respecto al 2000 junto con un aumento en la demanda de agua del 10% en el sector agrícola, así como una disminución significativa en el escurrimiento del orden del 10 al 20% a nivel nacional y mayor al 40% en los humedales costeros del Golfo (INE, 2006).

Frich, Alexander, Della-Marta, Gleason, Haylock, Klein y Peterson (2002) afirman que cuando los cambios en la temperatura media se relacionan con aumento en la frecuencia de eventos, el impacto en la sociedad y los ecosistemas es mayor. Desde 1996 se enfatizó en la necesidad de analizar los cambios en los extremos climáticos y se han desarrollado indicadores de ellos en grupos de trabajo a nivel internacional. Después de la reunión del Grupo de Trabajo sobre Cambio Climático de la Organización Meteorológica Mundial en septiembre de 1998, se realizaron una serie de encuentros en Europa, Australia y Estados Unidos. De estas reuniones se acordó que los participantes deberían intercambiar únicamente series de tiempo de indicadores derivados, dado el tiempo insuficiente para recopilar los datos globales diarios, por lo tanto en 1999 se recomendó la generación de una lista de 10 indicadores sencillos, factibles de producirse y que permitieran hacer comparaciones dentro y entre regiones así como análisis globales (Frich *et al.* (2002).

Frich *et al.* (2002) definen 10 indicadores climáticos de fácil cálculo e intercambio para ser utilizados tanto en centros de monitoreo del clima como en grupos dedicados al modelaje. Estos indicadores tienen la característica de no ser eventos muy raros ni muy extremos ya que desde el 2001 en varias investigaciones (Manton *et al.*, 2001 y Zhang *et al.*, 2001; mencionados en Frich *et al.*, 2002) se reconoció que los análisis de tendencia lineal de eventos del tipo de estos últimos, generalmente no dan resultados significativos en escalas regionales. Los 10 indicadores que sugieren son los siguientes:

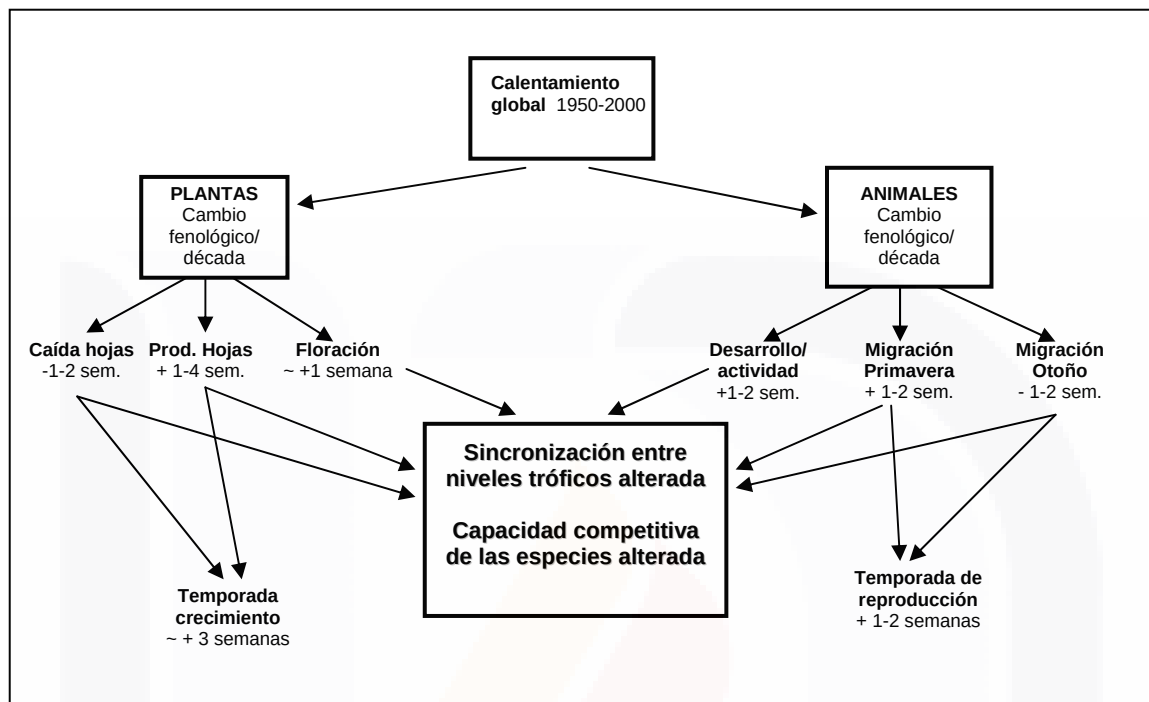
---

<sup>2</sup> Aunque el documento no lo especifica, estas cifras se refieren a la temperatura media del aire.

|                                             |                                                                                                                           |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frost days (Fd)                             | Número total de días con temperatura mínima menor de 0 °C.                                                                |
| Intra-anual extreme temperature range (ETR) | Diferencia entre la temperatura más alta y la temperatura más baja leídas en el mismo año calendario.                     |
| Growing season length (GSL)                 | Inter-período cuando las temperaturas son mayores a 5 °C por más de 5 días y cuando son menores a 5 °C por más de 5 días. |
| Heat wave duration index (HWDI)             | Período máximo mayor que 5 días consecutivos con temperatura máxima mayor a 5 °C arriba de la normal.                     |
| Tn90                                        | Porcentaje del tiempo con temperaturas mínimas mayores que el percentil 90° de temperatura mínima diaria.                 |
| R10                                         | Número de días con precipitación mayor o igual a 10 mm d <sup>-1</sup>                                                    |
| Consecutive dry days (CDD)                  | Número máximo de días secos consecutivos                                                                                  |
| R5d                                         | Precipitación total de los 5 días con mayor precipitación en el año.                                                      |
| Simple daily intensity index (SDII)         | Precipitación total anual entre el número de días con precipitaciones $\geq 1$ mm.                                        |
| R95T                                        | Fracción de la precipitación total anual debida a eventos que exceden el percentil 95° de 1961-1990.                      |

De acuerdo con el documento técnico V del IPCC, no se han estimado los impactos mundiales del cambio climático sobre la biodiversidad, aunque sí existe un gran número de estudios que demuestran una relación entre cambio en el clima regional y los procesos en los ecosistemas, por ejemplo ya se han detectado asincronías entre presas y depredadores en zonas tanto de latitud como de altitud altas. Asimismo, se sabe que normalmente las especies y ecosistemas con rangos de distribución restringidos son los más vulnerables, así como especies especializadas, con escasa dispersión o poblaciones pequeñas, periféricas o fragmentadas en su hábitat. Sin embargo, la ocurrencia de movimiento o migración de ecosistemas como una unidad es improbable, no así los cambios en su composición, estructura y dominancia de especies; aunque estos efectos es posible que se perciban después de varios años o décadas (Suárez y Dokken, 2002).

En la Figura 1 se muestran fenómenos observados tanto en plantas como animales, atribuidos al calentamiento global. Los cambios son más marcados en latitudes altas.



**Figura 1. Fenómenos atribuidos al calentamiento global.**

Fuente: Root & Hughes, 2005. Tomado de Conferencia: “Cambio Climático ¿Qué pasa con la biodiversidad?”, del Dr. José Sarukhán presentada el 28 de septiembre del 2006.

De acuerdo con Sarukhán (2006), dentro del panorama nacional, se cree que el impacto climático ocasionará posibles pérdidas importantes en la biodiversidad, entre ellas:

- Especies endémicas, especialmente de bosques de pino y de pino-encino
- Especies de anfibios
- Peces endémicos de lagunas
- Especies marinas de arrecifes

Y los ecosistemas que se cree que resultarán más afectados por cambios en el clima son:

- Bosques a más de 2800 msnm.
- Bosques de niebla y de lauráceas
- Arrecifes de Quintana Roo

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Sin embargo, las selvas y bosques templados de pino-encino lo serán más por otros factores, siendo el cambio de uso del suelo el más importante.

En cuanto a recursos vegetales, México se distingue principalmente por seis características:

1. En su territorio, México presenta todos los grandes tipos de vegetación conocidos.
2. Presenta una gran variedad de formas biológicas, especialmente en las zonas áridas.
3. Su vegetación está compuesta por elementos boreales, meridionales y autóctonos.
4. Alrededor del 50% de su flora es endémica.
5. Se encuentra entre los primeros lugares de los países con mayor riqueza florística.
6. Es el único país de los 13 considerados como megadiversos, que se encuentra dentro de un centro de domesticación, el Centro Mesoamericano de acuerdo con Harlan (1971).

Por lo anterior, las pérdidas de biodiversidad en nuestro territorio reducen o extinguen la posibilidad de su uso como recurso genético.

Los bosques templados (de los que se cree que tendrán más cambios por el calentamiento global y deforestación), pertenecen a una de las zonas ecológicas más afectadas por las actividades del hombre desde hace cientos de años: la zona templada subhúmeda; la de mayor diversidad y endemismos de fanerógamas y vertebrados terrestres (Rzedowski, 1998).

Principalmente en esta zona se encuentran las plantas leñosas de más amplia distribución en el país, los encinos, que comparten este rasgo con otra especie leñosa, los pinos.

De ambos géneros: *Quercus* y *Pinus*, México es considerado centro de diversificación en el Hemisferio Occidental. En el caso de los encinos, se estima que existen alrededor de 165 especies (Rzedowski, op. cit.), la cifra más alta en el mundo.

Pero los encinos no sólo se encuentran en bosques puros o mixtos compartiendo la dominancia del hábitat con los pinos, también llegan a ser un componente principal en bosque mesófilo y chaparral. Los podemos encontrar desde el nivel del mar hasta casi los 3000 msnm,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

sobrepasando algunas especies el límite altitudinal de los pinos; tanto en climas cálidos como fríos así como en diversas condiciones de disponibilidad de agua. Además poseen una alta capacidad para adaptarse a diversas condiciones ambientales (plasticidad), lo cual los convierte en especies potencialmente útiles para reforestar. Su importancia ecológica es notable al servir como refugio y fuente de alimento a diversas especies animales así como sostén a numerosas especies epífitas como las orquídeas que comprenden una de las familias más grandes en México, con 935 especies. Sin embargo, tal vez sean más conocidos los encinos por ser las especies de mayor uso energético en el país. Se estima que 28 millones de mexicanos consumen 37 millones de m<sup>3</sup> de leña combustible para uso doméstico (INE, 2006), los cuales provienen principalmente de los bosques.

La diversidad de especies del género *Quercus* y su alta plasticidad ha dificultado su estudio lo cual a su vez limita las posibilidades de manejo y conservación de este recurso. Zavala (1998), sugiere que se precisa atender los siguientes temas acerca de los encinos en México:

- a) Distribución detallada (considerando hábitat y factores asociados) a nivel genérico e infragenérico, así como por región ambientalmente delimitada.
- b) Tendencias evolutivas relacionadas con la distribución geográfica.
- c) Esclarecimiento y resolución de problemas taxonómicos, mediante estudios detallados de la distribución de especies afines.
- d) Evaluación de especies que deban incluirse en las listas de categorías de riesgo para definir estrategias de conservación.

De los temas anteriores destaca el conocer la distribución de las especies y su relación con el ambiente porque se trata de un conocimiento estratégico que sería un apoyo en los estudios biogeográficos, de evolución, taxonomía y ecología.

Respecto a *Quercus emoryi* (Figuras 2 a 5), que es el objeto de estudio del presente trabajo, se transcribe la descripción botánica que hace Spellenberg (2000)<sup>3</sup>, en un intento por lograr una mejor percepción de la especie en aquellos que la desconocen.

---

<sup>3</sup> Spellenberg (2000) además de hacer una descripción taxonómica detallada, a diferencia de otros autores, incluye información referente al medio en que se desarrolla la especie y su distribución geográfica.

**“Quercus emoryi Torr.** [Q. duraznillo Trel., Q. balsequillana Trel.] *Árbol, algunas veces arbusto, 2 a 15 m. Hojas estrechamente lanceoladas a estrechamente ovadas, 2 a 7 x 0.8 a 3.5 cm, delgadas y rígidas, planas, extendidas, enteras o con 1 a 4 dientes triangulares prominentes en cada lado un fuerte mucrón o arista corta; base de la hoja redondeada, obtusa, truncada o cordada, ápice agudo; venas 6 a 11 en cada lado inconspicuas, ligeramente elevadas en la superficie abaxial; márgenes planos ligeramente cartilaginosos; superficie adaxial pulida, verde brillante, glabra o glabrescente con la edad, lisa; superficie abaxial ligeramente más pálida, lustrosa, la epidermis lisa, glabra con la edad excepto por mechones de pelos ramificados tiesos en las axilas de las venas basales. Frutos anuales, 9 a 10 mm de largo, copas de 8 a 12 mm de ancho, en grupos de 1 a 2 con pedúnculos de 1 a 2 mm de largo. Se desarrolla en laderas con pendiente ligera de la Sierra Madre Occidental en pastizales y bosques secos, en Chihuahua, Sonora, desde 1400 a 2100 m; también al Este hasta Coahuila, al Sur hasta Durango y posiblemente Jalisco (Carvajal 1981, la precisión de la localidad de la colecta es cuestionada por González-Villarreal 1986); en Arizona, Nuevo Mexico y Texas. Se hibridiza con Q. coccolobifolia (produciendo Q. aerea Trel.), Q. durifolia, Q. eduardii (Muller 1967), Q. hypoleucoides, Q. viminea”.*

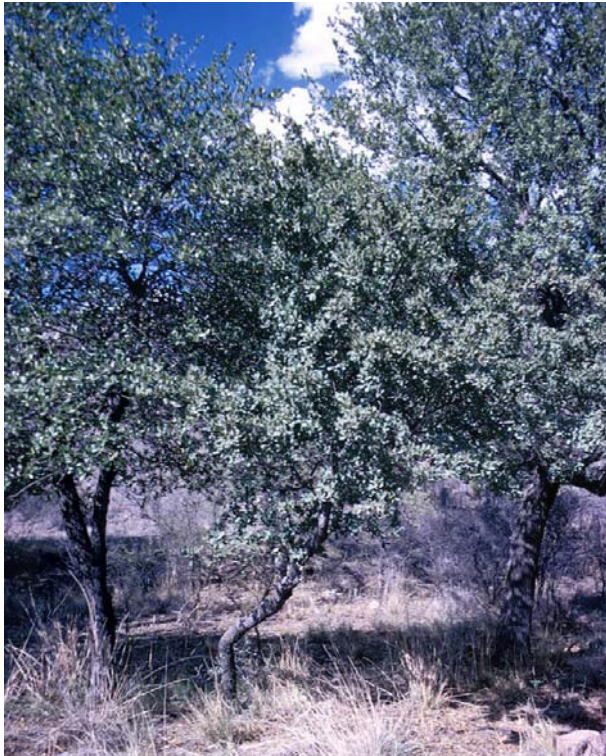
Felger, Johnson y Wilson (2001), mencionan la importancia de *Q. emoryi* no sólo en la alimentación y resguardo de animales silvestres sino también para el consumo humano, ya que las bellotas se venden en cantidades considerables y son consumidas frescas en cantinas locales tanto de Sonora como de Arizona. Dos características más de relevancia de esta especie son: que de los encinos de la región (en Sonora) su madera es más dura que la de otros y que las semillas germinan aun después de almacenadas por un mes a temperatura ambiente, aunque las más frescas tienen mayor tasa de germinación, germinan más pronto y producen plántulas más vigorosas.

Hay que agregar que es una especie proveniente del Norte y el dato de su distribución más al Sur es el de Rzedowski (1978), quien señala que:

...“en Durango y en el noroeste de Zacatecas, en la base de la Sierra Madre del lado del Altiplano, se encuentra como en Chihuahua y Sonora una faja de encinar bajo y muy



*abierto cuyos componentes principales son Quercus cordifolia, Q. chihuahuensis, Q. emoryi y Juniperus macrosperma”.*



**Figura 2. Árbol de Q. emoryi Torr.**

Fuente: <http://aggie-horticulture.tamu.edu> . 19/02/2007.

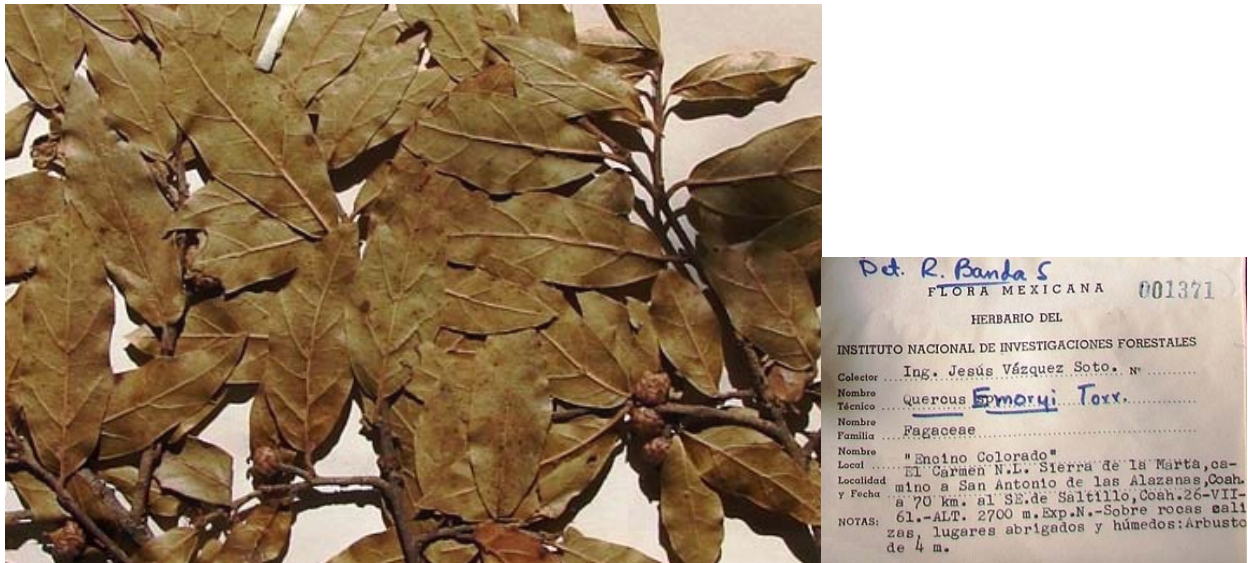


**Figura 3. Ejemplar de herbario.**

Foto: Esperanza Quezada Guzmán. 08/03/2007



**Figura 4. Rama con bellotas.** Foto: Wynn Anderson. <http://museum.utep.edu/chih>. 19/02/2007.



**Figura 5. Ejemplar de herbario con pelos axilares en el envés, una de las características de la especie.**  
Foto: Esperanza Quezada Guzmán. 08/03/2007.

El conocimiento de la distribución geográfica de especies y su relación con el ambiente es una de las bases para estimar el grado en que están siendo afectadas o podrían estarlo, así como tomar algunas medidas para su conservación como el diseño de corredores y ordenamiento del territorio.

Algunas de las necesidades de investigación en México que se relacionan con los ecosistemas y la biodiversidad, mencionadas por Sarukhán (2006), son las siguientes:

- Efectos del cambio climático y monitoreo
- Modelaje de cambio climático
- Mecanismos y dinámica de dispersión de especies
- Desarrollo de modelos de cambio climático
- Respuestas térmicas de especies vulnerables
- Vulnerabilidad de cultivos
- Respuestas de pastizales

Y entre las prioridades de atención, se encuentran las siguientes:

- Especies en peligro de extinción y endémicas
- Nuevo diseño y análisis de áreas naturales protegidas
- Creación de corredores para reducir extinciones

Como puede percibirse, ante este panorama mundial y nacional y las necesidades de investigación, cobra gran importancia el desarrollo de modelos.

Un modelo es una herramienta para representar las características esenciales de un sistema, por lo que puede considerarse como una abstracción o simplificación del mundo real que abarca los procesos clave y principales componentes; y se realizan con el objetivo de hacer más comprensible la complejidad de los fenómenos.

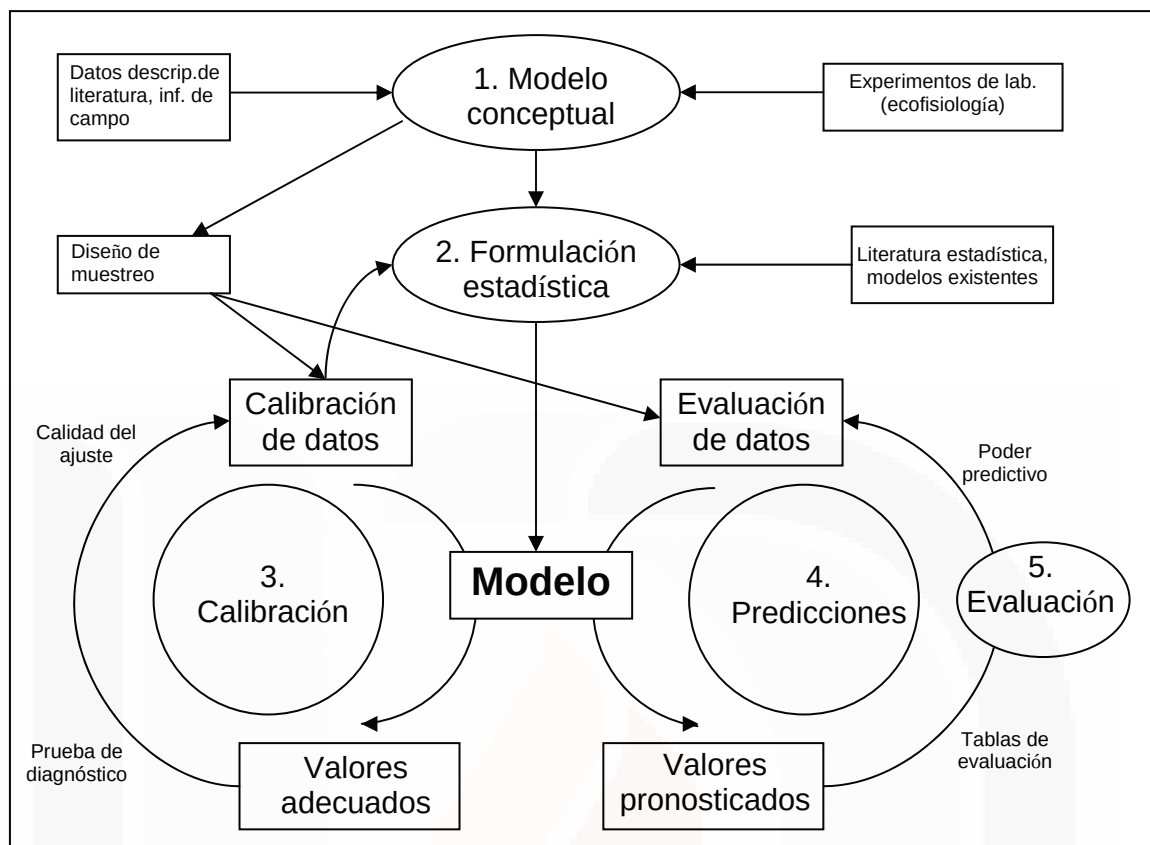
Los modelos definen relaciones entre las partes de un sistema y los procesos que cambian e influyen en esas partes. Esas relaciones son las bases sobre las cuales es posible predecir cambios en el comportamiento del sistema o sus componentes a través del tiempo en respuesta a fuerzas externas (Maxwell, Berkson, Schoennagel, Poiani y Costanza, 2003).

Su razón de ser se encuentra en la creación de escenarios, ya que el comparar simultáneamente los resultados de un modelo con escenarios idénticos excepto por un factor específico, permite evaluar tanto alternativas como la importancia de una variable sobre otra (Harwell y Gentile, 2003); lo cual sería muy costoso o difícilmente de llevar a cabo sobre el sistema real.

Además, con los modelos se facilita la revisión del conocimiento actual probando sus predicciones y se tiene acceso a información útil que no está disponible en los datos empíricos, contribuyendo con ello a la toma de decisiones.

El conjunto de procesos que implica la obtención de un modelo ecológico, Guisan y Zimmermann (2000) lo sintetizan en la Figura 6.





**Figura 6. Procesos para la obtención de un modelo ecológico. Fuente: Guisan y Zimmermann (2000).**

De acuerdo con Richardson y Berish (2003), los pasos básicos en el desarrollo de un modelo son los siguientes y los describen así:

**Conceptualización.** En esta etapa se definen las variables y procesos. Debe dirigir las preguntas así como el reconocimiento de las necesidades de información y disponibilidad para construir, verificar, calibrar, probar y correr el modelo

**Calibración.** Puede concebirse como un ajuste de los parámetros del modelo para mejorar su capacidad de predicción del conjunto de datos para la verificación. Es también un intento de asegurar que los resultados del modelo están en concordancia con las observaciones utilizadas para su construcción.

**Verificación.** Es el proceso con el cual se confirma que el modelo se comporta correctamente con los datos de la calibración. Los datos utilizados para verificar el modelo generalmente son los mismos que se usan para calibrarlo.

**Validación.** Determina que el modelo se comporta de la misma manera con un conjunto de datos independientes. No siempre es requerida para que un modelo sea usado.

Una forma de incrementar el uso de los modelos es a través del conocimiento de una fuente de variación que es la sensibilidad de los mismos. La identificación de las principales necesidades de investigación o incertidumbres principalmente sucede durante el análisis de sensibilidad del modelo; en él se examina el cambio relativo en los resultados con el cambio en una o más variables.

El análisis de sensibilidad es el estudio de cómo la variación en los resultados de un modelo puede ser proporcional cualitativa o cuantitativamente a diferentes fuentes de variación. La elección del método de análisis de sensibilidad depende de un número de factores como las propiedades del modelo, el número de factores considerados en el análisis, el tiempo computacional requerido para evaluar el modelo y el objetivo del análisis (Saltelli *et al.*, 2000, citado en Hohler, Ashwood, Richardson, Olsen, Hendrix and Williams, 2003).

El que los modelos permitan hacer predicciones no implica que no deba tenerse cuidado al realizar extrapolaciones. Todos los modelos tienen limitantes en su uso, pero los riesgos de ir más allá de esos límites pueden reducirse siempre que queden bien especificadas las fuentes de información y cualquier incertidumbre percibida durante la elaboración.

Dentro del modelaje estadístico en ecología vegetal, hay tres componentes principales: el modelo ecológico, el modelo de datos y el modelo estadístico. El modelo ecológico se refiere a las teorías y conocimiento ecológico utilizado o puesto a prueba; el modelo de datos se refiere a la forma de coleccionar, medir o estimar los datos y el modelo estadístico al método, función de error y pruebas de significancia (Austin, 2002).

En el caso de modelaje de distribución de especies, se han puesto a prueba diferentes modelos tanto ecológicos como estadísticos y de datos. Dentro de ellos sobresalen la incorporación de sistemas de información geográfica y sensores remotos, el concepto de nicho fundamental y nicho realizado de Hutchinson, el modelo lineal generalizado (GLM), el árbol de regresión y clasificación (CART), el modelo aditivo generalizado (GAM), análisis de componentes principales (PCA), análisis de correspondencia canónica (CCA), regresión logística, análisis de función discriminante y algoritmos genéticos. Y aun cuando los investigadores llevan años trabajando en esta área, prevalece la necesidad de examinar muchos conceptos ecológicos así como métodos estadísticos.

Hay tesis que han sido de gran influencia en el desarrollo del modelaje de distribución de especies, por ejemplo las contribuciones en la relación clima-vegetación.

Woodward (1987) sintetiza los trabajos en los que, a través de isótopos de oxígeno en calcita de depósitos minerales formados en cavernas por el agua subterránea, se evidencia la correlación entre cambio climático y presencia de especies vegetales determinada por los registros fósiles de polen; y llega a la conclusión de que dicha correlación sugiere que el clima es un factor de control en la presencia de especies vegetales.

Afirma que la expansión hacia los polos de un tipo fisonómico de vegetación está controlada por la temperatura mínima y la capacidad fisiológica de la especie para sobrevivir a ella. Sin embargo, la evidencia sugiere que la expansión a nivel de especie hacia el ecuador, probablemente se deba a exclusión competitiva. Pero, la frontera generada de esta forma es probablemente muy dependiente de condiciones locales de clima, suelo, composición de especies y crecimiento.

La distribución de las especies implica períodos prolongados que sólo pueden estudiarse a través de la ecología histórica. Sin embargo, la explicación de por qué los rangos de algunas especies se expanden mientras que otros no, o bien, incluso se contraen; es ecofisiológica y su comprensión es crucial para conocer el control de la distribución vegetal. La respuesta de las especies vegetales al cambio climático puede entenderse como la combinación de dos

fenómenos: la dispersión de propágulos y la migración de poblaciones vegetales (Woodward, 1987).

Kullman (1979, citado en Woodward, 1987), explica en sus trabajos la fuerte correlación que existe entre temperaturas medias altas y establecimiento. Concluyó de sus estudios, que el límite altitudinal de un bosque de *Betula pubescens* en Suecia, se incrementó en el 75% de las localidades debido al aumento en la frecuencia de veranos calientes durante 1930 a 1949.

Entre las aportaciones de Kullman (*op. cit.*) que deben ser consideradas al intentar distinguir patrones geográficos en la distribución de los taxa, está el que la probabilidad de dispersión disminuye geométricamente a partir de la fuente inicial de propágulos, aunque el patrón de distribución sea también fuertemente dependiente del área disponible para colonización y la probabilidad de disturbio.

Woodward (1987), afirma que el límite geográfico natural de una especie por lo tanto, puede entenderse como los sitios en los cuales el número de individuos mantenidos alrededor del ciclo de vida entendido como un continuo, es insuficiente para que la población esté en equilibrio o se expanda. En este caso, la extinción puede ser progresiva, tomando unos años aunque con intervalos más o menos productivos; no se trata de un efecto de umbral sino que el progresivo detrimento es la causa más probable de disminución de la especie y de su límite geográfico junto con una reducida habilidad competitiva. Los límites de distribución de las especies son muy sensibles a los cambios climáticos y brindan información interesante acerca de cómo las especies se ajustan a los cambios cuando el límite es fijado por un umbral.

Una forma de interpretar el espacio geográfico de una especie es a través del nicho fundamental de Hutchinson, explicado claramente en Legendre y Legendre (1998). De acuerdo con Hutchinson, la existencia de una especie está determinada por múltiples variables que pueden representarse en un lenguaje matemático y cuya estructura es conocida en geometría como un hiperespacio, es decir un espacio de muchas dimensiones en donde cada variable o factor ambiental se puede concebir como un eje. En cada eje hay límites dentro de los cuales las especies pueden existir y fuera de ellos no; el conjunto de las condiciones limitantes de los ejes

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

dentro del espacio multidimensional definen un hipervolumen que representa el nicho fundamental de la especie y describe su distribución geográfica.

Es decir que, el nicho fundamental de una especie es el hipervolumen de  $n$ -dimensiones definido por la sumatoria de todas las variables (factores ecológicos) que afectan a la especie. Puesto que el nicho no es un espacio, sino el conjunto de propiedades del ambiente que permiten el cubrimiento de las necesidades genéticas de un organismo, el nicho fundamental de una especie se considera como el grado de tolerancia a las condiciones abióticas del ambiente el cual se reduce con la competencia, oferta de recursos y enemigos, constituyendo así el nicho real del organismo. Aunque, hay quienes afirman que el nicho real podría ser mayor que el fundamental cuando la presencia de otra especie da lugar a relaciones de cooperación que amplían las posibilidades de extensión de la primera.

A través de modelos estadísticos es posible obtener una aproximación del nicho real o realizado de una especie pero no igual del nicho fundamental.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Definir la distribución geográfica de *Quercus emoryi* Torr. en función de factores climáticos, edáficos, de vegetación y de relieve y su distribución predictiva bajo diversos escenarios de cambio en su hábitat.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir y cuantificar los factores que influyen en la distribución geográfica de *Quercus emoryi* Torr.
- Definir la distribución geográfica de *Quercus emoryi* Torr. mediante modelaje espacial.
- Generar escenarios de impacto con base en los principales factores que tengan influencia en su hábitat.

#### 4. HIPÓTESIS

La distribución geográfica de *Quercus emoryi* Torr. así como escenarios de impacto climático sobre las poblaciones de esta especie, pueden definirse mediante modelación espacial caracterizando sitios de colecta en función de factores climáticos, edáficos, de relieve y de vegetación.



## 5. SELECCIÓN DE ESPECIE

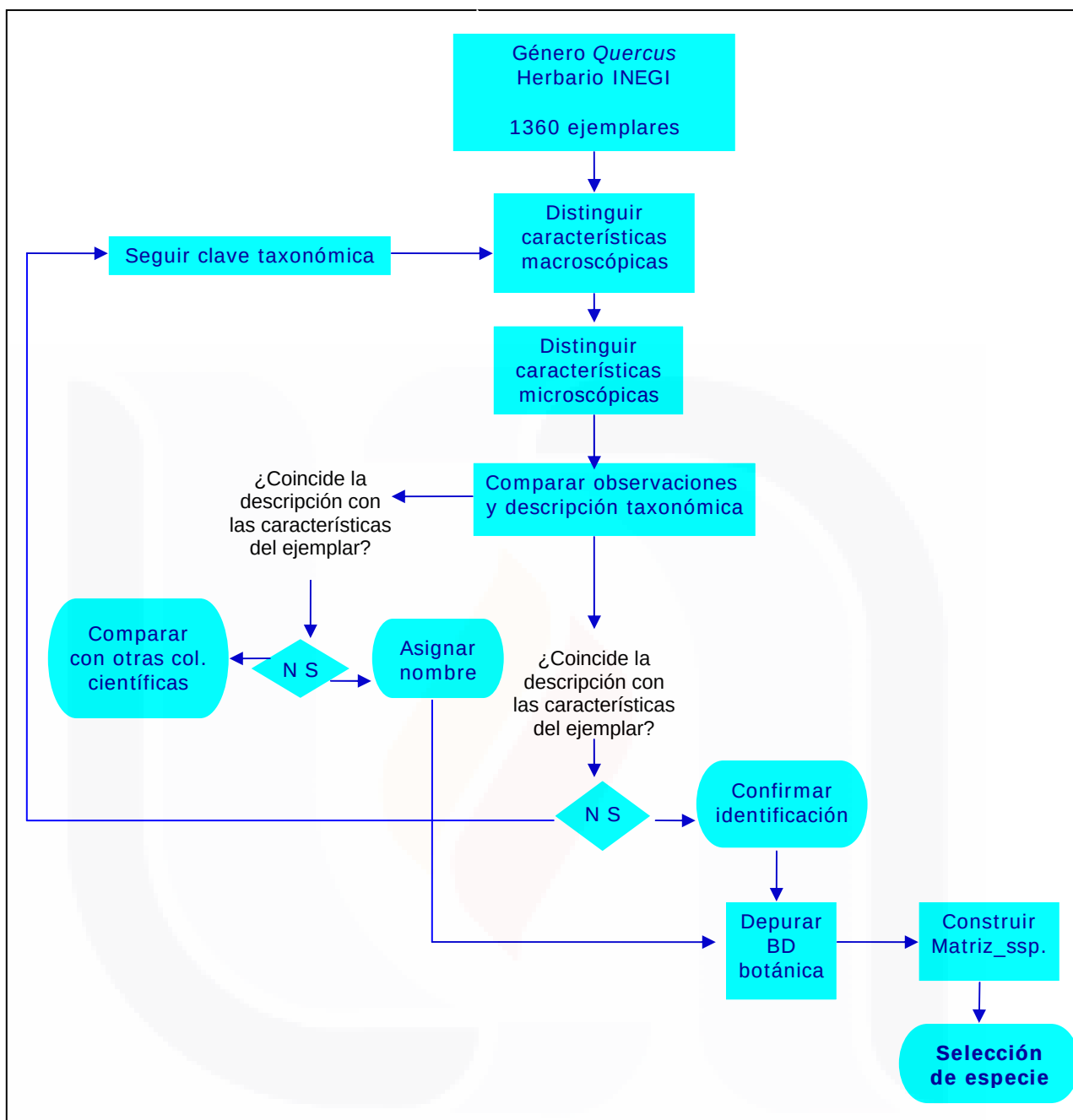
### 5.1. MATERIALES Y MÉTODO

La información botánica utilizada se obtuvo del “Sistema de Consulta Herbario INEGI” (INEGI, 2003); y la especie que contempló el estudio se seleccionó de la siguiente manera:

1. Se revisaron 1360 ejemplares del género *Quercus* de la colección del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Herbario INEGI), de un total de 1510, con el fin de verificar la identificación botánica de cada uno y depurar la base de datos botánicos. La revisión consiste en verificar que las características del ejemplar coincidan con las descritas para la especie. Cuando no es así, entonces se identifica de nuevo el ejemplar. Se utilizan para ello claves botánicas, literatura especializada en taxonomía y microscopio estereoscópico (Figura 7).
2. Se construyó una matriz otorgando un valor a cada una de las especies de *Quercus* del Herbario INEGI, de acuerdo con los siguientes criterios<sup>4</sup>:
  - A. Importancia económica (4 muy importante, 3 importante, 2 regular, 1 pobre, 0 nula).
  - B. Distribución geográfica ((núm. de estados donde se localiza la especie/32)\*10).
  - C. Número de ejemplares ((núm. de ejemplares de la especie/total de ejemplares)\*100).
  - D. Número de sitios con geo-referencia ((número de sitios/número de ejemplares)\*10).
  - E. Consistencia (0 si hay dificultad para separarla morfológicamente de otras especies, 1 es posible su distinción sin cuando se conoce la localidad de la colecta, 2 con características inconfundibles que facilitan su separación).
  - F. Indicador de Rareza<sup>5</sup> (0 para las especies que se encuentran en el mayor número de Estados –en este caso 22- y 10 para las especies que se encuentran en un sólo Estado).

---

<sup>4</sup> No se incluyó la importancia ecológica debido a que en la literatura se carece de información para las 70 especies, y la poca que existe, con frecuencia se refiere a la importancia ecológica de la especie exclusivamente en el área de estudio de los trabajos consultados, ya que cada una tiene funciones específicas que varían de un sitio a otro porque están influidas éstas por condiciones ambientales y por la estructura de la comunidad.



**Figura 7. Proceso de revisión de ejemplares botánicos.**

La información relacionada con la importancia económica estuvo basada en las siguientes obras: Spellenberg (2000), Vázquez (1992), Romero (1993), Bello y Labat (1987), Fernández,

<sup>5</sup> Este criterio se incluyó después de obtener una primera selección y reconocer la necesidad de que las especies con distribución restringida participaran con un peso mayor para obtener una selección de especies heterogénea y no una encabezada por aquellas con amplia distribución geográfica.

Orozco, Arreguín, Yépez, Rodríguez y Cabrera (1997), González (1986), Felger, Johnson y Wilson (2001) y Avendaño (1999).

Los estados en los que se han colectado las especies y la literatura que hace referencia a ello, aparecen detallados en el Cuadro 2 del Anexo A.

Se jerarquizaron las especies con base en un valor de importancia para cada una, el cual se obtuvo sumando los valores de cada criterio. El valor de importancia tuvo como objetivo obtener una especie que estuviera bien representada en la colección, que la mayoría de ejemplares tuviera geo-referencia, que a nivel nacional sin tener una amplia distribución tampoco estuviera restringida a una pequeña área y que no presentara fuerte dificultad en su separación taxonómica. La selección se hizo tomando en cuenta el valor de importancia más alto.

## **5.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De la revisión se obtuvieron 70 especies, 210 ejemplares se etiquetaron como pendientes ya que ameritaban una segunda revisión y comparación con otras colecciones botánicas.

Se utilizaron los datos de 1003 ejemplares para la construcción de la matriz con base en la cual se seleccionó la especie a estudiar ya que hubo que eliminar de la base de datos 147 registros por tener coordenadas geográficas repetidas (Cuadro 1 del Anexo A).

La matriz con los valores dados a las especies dentro de cada criterio y el valor de importancia obtenido de la suma de éstos, aparece en el Cuadro 1. Las especies ordenadas con base en el valor de importancia así como los Estados de la República en donde se han colectado, se presentan en el Cuadro 2 del Anexo A.

Cuadro 1. Matriz para la selección de especie.

| ESPECIE        | A<br>IMP.<br>ECON. | B<br>DISTRIB.<br>GEOGRÁFICA | C<br>NÚMERO DE<br>EJEMP. | D<br>SITIOS<br>GEO-REF. | E<br>C | F<br>INDICADOR DE<br>RAREZA | IMPORTANCIA |
|----------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|-----------------------------|-------------|
|                | 0-4                | (edos/32)10                 | (ej/tot_ej)100           | (sitios/ejem)10         | 0-2    | 0 = 22; 10 = 1<br>estados   |             |
| acatenangensis | 3                  | 0,6250                      | 0,0997                   | 10,0000                 | 1      | 9,5238                      | 24,2485     |
| acutifolia     | 4                  | 3,1250                      | 1,2961                   | 6,9231                  | 0      | 5,7143                      | 21,0585     |
| affinis        | 3                  | 3,1250                      | 0,8973                   | 4,4444                  | 1      | 5,7143                      | 18,1810     |
| albocincta     | 1                  | 1,2500                      | 0,0997                   | 10,0000                 | 2      | 8,5714                      | 22,9211     |
| aristata       | 2                  | 2,1875                      | 0,9970                   | 7,0000                  | 2      | 7,1429                      | 21,3274     |
| arizonica      | 0                  | 1,5625                      | 1,1964                   | 9,1667                  | 1      | 8,0952                      | 21,0208     |
| brandegei      | 0                  | 0,3125                      | 0,0997                   | 10,0000                 | 2      | 10,0000                     | 22,4122     |
| candicans      | 4                  | 6,2500                      | 2,2931                   | 6,5217                  | 2      | 0,9524                      | 22,0172     |
| castanea       | 4                  | 6,8750                      | 6,0818                   | 4,9180                  | 2      | 0,0000                      | 23,8748     |
| coccolobifolia | 2                  | 3,1250                      | 0,5982                   | 8,3333                  | 1      | 5,7143                      | 20,7708     |
| conspersa      | 3                  | 2,1875                      | 1,4955                   | 6,6667                  | 2      | 7,1429                      | 22,4925     |
| corrugata      | 2                  | 1,2500                      | 0,2991                   | 10,0000                 | 2      | 8,5714                      | 24,1205     |
| crassifolia    | 4                  | 5,3125                      | 4,7856                   | 7,9167                  | 2      | 2,3810                      | 26,3958     |
| crassipes      | 4                  | 4,0625                      | 1,9940                   | 7,5000                  | 2      | 4,2857                      | 23,8422     |
| cupreata       | 0                  | 0,3125                      | 0,1994                   | 5,0000                  | 2      | 10,0000                     | 17,5119     |
| chihuahuensis  | 2                  | 3,1250                      | 2,9910                   | 10,0000                 | 1      | 5,7143                      | 24,8303     |
| depressipes    | 0                  | 1,2500                      | 2,8913                   | 9,3103                  | 1      | 8,5714                      | 23,0231     |
| deserticola    | 3                  | 2,5000                      | 0,5982                   | 5,0000                  | 1      | 6,6667                      | 18,7649     |
| devia          | 0                  | 0,3125                      | 0,0997                   | 10,0000                 | 2      | 10,0000                     | 22,4122     |
| durifolia      | 1                  | 1,8750                      | 2,0937                   | 8,5714                  | 2      | 7,6190                      | 23,1592     |
| dysophylla     | 2                  | 3,4375                      | 0,1994                   | 10,0000                 | 2      | 5,2381                      | 22,8750     |
| eduardii       | 2                  | 3,1250                      | 3,1904                   | 8,1250                  | 2      | 5,7143                      | 24,1547     |
| elliptica      | 3                  | 2,5000                      | 2,0937                   | 7,1429                  | 2      | 6,6667                      | 23,4032     |
| emoryi         | 4                  | 1,5625                      | 6,2812                   | 9,0476                  | 2      | 8,0952                      | 30,9865     |
| eugeniaefolia  | 2                  | 1,5625                      | 0,2991                   | 10,0000                 | 1      | 8,0952                      | 22,9568     |
| excelsa        | 2                  | 0,6250                      | 0,6979                   | 8,5714                  | 1      | 9,5238                      | 22,4181     |
| frutex         | 2                  | 2,5000                      | 0,2991                   | 3,3333                  | 1      | 6,6667                      | 15,7991     |
| fusiformis     | 0                  | 0,9375                      | 0,6979                   | 4,2857                  | 2      | 9,0476                      | 16,9687     |
| germana        | 2                  | 2,1875                      | 0,3988                   | 10,0000                 | 2      | 7,1429                      | 23,7292     |
| glabrescens    | 3                  | 2,8125                      | 0,3988                   | 7,5000                  | 2      | 6,1905                      | 21,9018     |
| glaucescens    | 2                  | 2,1875                      | 0,5982                   | 6,6667                  | 2      | 7,1429                      | 20,5952     |
| glaucoides     | 3                  | 4,3750                      | 1,0967                   | 8,1818                  | 2      | 3,8095                      | 22,4631     |
| gravesii       | 0                  | 0,3125                      | 0,3988                   | 10,0000                 | 2      | 10,0000                     | 22,7113     |
| greggii        | 3                  | 2,1875                      | 0,9970                   | 10,0000                 | 2      | 7,1429                      | 25,3274     |
| grisea         | 3                  | 3,1250                      | 3,0907                   | 7,7419                  | 1      | 5,7143                      | 23,6719     |

Continuación Cuadro 1. Matriz para la selección de especie.

| ESPECIE       | A<br>IMP.<br>ECON. | B<br>DISTRIB.<br>GEOGRÁFICA | C<br>NÚMERO DE<br>EJEMP. | D<br>SITIOS<br>GEO-REF. | E<br>C | F<br>INDICADOR DE<br>RAREZA | IMPORTANCIA |
|---------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|-----------------------------|-------------|
|               | 0-4                | (edos/32)10                 | (ej/tot_ej)100           | (sitios/ejem)10         | 0-2    | 0 = 22; 10 = 1<br>estados   |             |
| hintoniorum   | 0                  | 0,3125                      | 0,3988                   | 7,5000                  | 2      | 10,0000                     | 20,2113     |
| hypoleuroides | 1                  | 1,2500                      | 0,2991                   | 6,6667                  | 2      | 8,5714                      | 19,7872     |
| hypoxantha    | 0                  | 0,6250                      | 0,3988                   | 10,0000                 | 2      | 9,5238                      | 22,5476     |
| intricata     | 0                  | 1,5625                      | 1,1964                   | 9,1667                  | 1      | 8,0952                      | 21,0208     |
| invaginata    | 0                  | 0,3125                      | 0,1994                   | 5,0000                  | 1      | 10,0000                     | 16,5119     |
| laeta         | 3                  | 4,6875                      | 3,8883                   | 5,8974                  | 1      | 3,3333                      | 21,8066     |
| laurina       | 3                  | 5,6250                      | 4,1874                   | 5,7143                  | 1      | 1,9048                      | 21,4315     |
| magnoliifolia | 4                  | 4,0625                      | 4,8853                   | 8,5714                  | 2      | 4,2857                      | 27,8050     |
| martinezii    | 3                  | 0,6250                      | 0,6979                   | 5,7143                  | 2      | 9,5238                      | 21,5610     |
| mexicana      | 3                  | 5,3125                      | 1,6949                   | 6,4706                  | 2      | 2,3810                      | 20,8590     |
| microphylla   | 2                  | 3,7500                      | 1,2961                   | 6,1538                  | 0      | 4,7619                      | 17,9619     |
| oblongifolia  | 0                  | 0,6250                      | 0,2991                   | 6,6667                  | 2      | 7,6190                      | 18,4598     |
| obtusata      | 4                  | 4,0625                      | 5,0847                   | 7,4510                  | 1      | 4,2857                      | 25,8839     |
| oleoides      | 3                  | 2,5000                      | 1,4955                   | 8,0000                  | 2      | 6,6667                      | 23,6622     |
| peduncularis  | 3                  | 2,8125                      | 0,7976                   | 10,0000                 | 2      | 6,1905                      | 24,8006     |
| polymorpha    | 3                  | 2,1875                      | 3,3898                   | 7,6471                  | 2      | 7,1429                      | 25,3672     |
| potosina      | 2                  | 2,5000                      | 1,3958                   | 9,2857                  | 1      | 6,6667                      | 22,8482     |
| praeco        | 2                  | 0,9375                      | 0,0997                   | 10,0000                 | 0      | 9,0476                      | 22,0848     |
| praineana     | 2                  | 0,9375                      | 0,2991                   | 6,6667                  | 2      | 9,0476                      | 20,9509     |
| pringlei      | 2                  | 1,2500                      | 0,1994                   | 5,0000                  | 1      | 8,5714                      | 18,0208     |
| repanda       | 1                  | 2,1875                      | 0,2991                   | 6,6667                  | 1      | 7,1429                      | 18,2961     |
| resinosa      | 3                  | 2,5000                      | 2,0937                   | 8,5714                  | 2      | 6,6667                      | 24,8318     |
| rugosa        | 4                  | 6,8750                      | 4,0877                   | 6,0976                  | 1      | 0,0000                      | 22,0603     |
| rysophylla    | 3                  | 1,2500                      | 0,7976                   | 7,5000                  | 2      | 8,5714                      | 23,1190     |
| salicifolia   | 4                  | 3,1250                      | 1,2961                   | 8,4615                  | 1      | 5,7143                      | 23,5969     |
| sapotaefolia  | 2                  | 0,9375                      | 0,1994                   | 5,0000                  | 2      | 9,0476                      | 19,1845     |
| sartorii      | 3                  | 2,8125                      | 0,5982                   | 10,0000                 | 0      | 6,1905                      | 22,6012     |
| scytrophylla  | 2                  | 3,1250                      | 2,1934                   | 5,9091                  | 2      | 5,7143                      | 20,9418     |
| sebifera      | 0                  | 0,9375                      | 0,3988                   | 7,5000                  | 2      | 9,0476                      | 19,8839     |
| sideroxyla    | 2                  | 5,3125                      | 2,2931                   | 9,5652                  | 2      | 2,3810                      | 23,5518     |
| sillae        | 0                  | 0,3125                      | 0,1994                   | 10,0000                 | 2      | 10,0000                     | 22,5119     |
| sinuata       | 0                  | 0,6250                      | 0,0997                   | 10,0000                 | 2      | 9,5238                      | 22,2485     |
| urbanii       | 2                  | 2,5000                      | 0,4985                   | 6,0000                  | 2      | 6,6667                      | 19,6652     |
| uxoris        | 3                  | 1,5625                      | 0,3988                   | 7,5000                  | 2      | 8,0952                      | 22,5565     |
| viminea       | 1                  | 2,1875                      | 0,4985                   | 10,0000                 | 2      | 7,1429                      | 22,8289     |

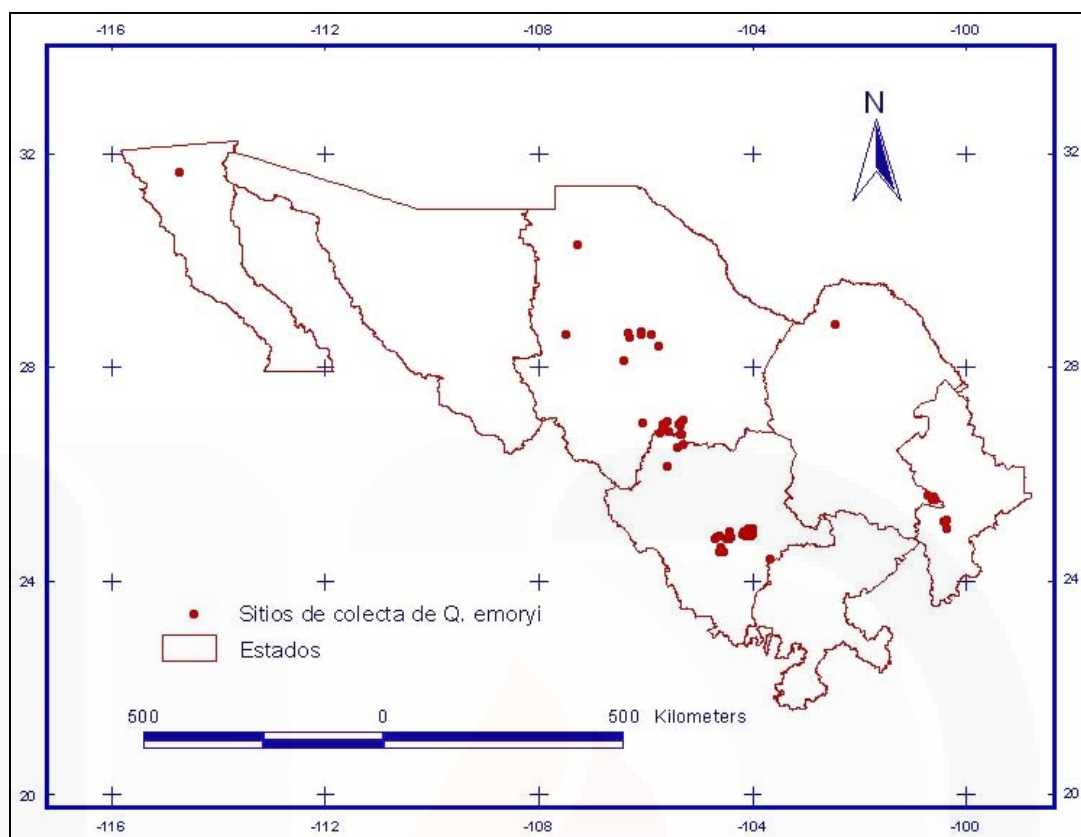


Como puede verse en el Cuadro 2 del Anexo A, el valor más alto correspondió a *Quercus emoryi*, una especie que aunque no es endémica de México porque se encuentra también en Estados Unidos en: Arizona, Nuevo México y Texas; sólo se ha colectado en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Nuevo León. También tiene gran importancia económica por ser fuente de alimento para el hombre y servir como forraje y sombra para el ganado. Asimismo, tuvo el mayor número de ejemplares con geo-referencia de la colección y aunque puede dificultarse su identificación en ciertas áreas geográficas donde es posible que se hibridice con *Q. durifolia* y *Q. eduardii*, es distinguible principalmente por la consistencia coriácea de las hojas, las nervaduras poco evidentes y los pelos tanto glandulares como axilares en el envés.

Los ejemplares con geo referencia del Herbario INEGI correspondientes a *Q. emoryi* son 57 y provienen de colectas de casi todos los estados (excepto Sonora) en donde se sabe que se distribuye la especie. Existe además una colecta proveniente de Ensenada, Baja California en el Parque Nacional Constitución de 1857, lo cual amplía el conocimiento que se tiene acerca de su distribución en el país. (Cuadro 3 del Anexo A y Figura 8).

Por lo anterior, los estados considerados en el presente estudio fueron: Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora, Nuevo León, Baja California y Zacatecas. Se agregó este último debido a que las colectas de la especie más al Sur, están ubicadas en el límite de Durango con Zacatecas.

En este caso *Q. emoryi* fue la especie con el valor más alto de importancia dentro de la colección de *Quercus* del Herbario INEGI, sin embargo el resultado variará de acuerdo con las características de cada colección científica.



**Figura 8. Sitios de colecta *Q. emoryi* de la colección del Herbario INEGI.**

### 5.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES

El método de selección de la especie planteado en el estudio, permitió sintetizar el contenido de una colección científica y ordenarla bajo un criterio de conveniencia de estudio de acuerdo no sólo con criterios tradicionalmente utilizados como la importancia económica, ecológica o grado de endemismo de las especies sino también de acuerdo con la representatividad y la cantidad y calidad de datos geográficos de la colección.

Obtener una jerarquización de las especies de la colección usando entre otros criterios, el número de ejemplares y cuántos de ellos tienen geo-referencia, contribuye tanto para la obtención de un buen diagnóstico para dirigir proyectos de desarrollo de las colecciones como para conocer su potencial de uso.

## 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE COLECTA

### 6.1. MATERIALES Y MÉTODO

La caracterización consistió en obtener para cada sitio de colecta de *Quercus emoryi* (57 sitios de acuerdo con los resultados de la selección de especie), el valor de las variables suelo, vegetación, relieve y, precipitación media anual, temperatura media del mes más caliente y temperatura media mínima del mes más frío, como variables climáticas. Estas variables climáticas se han utilizado en modelos bioclimáticos, ya que se ha comprobado que las temperaturas críticas en invierno así como temperaturas menos extremas en la época de máximo crecimiento de hojas son limitantes de la distribución vegetal (Lyons *et al.*, 1979<sup>a</sup>, citado en Woodward, 1987).

Las colectas de la especie están ubicadas en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Baja California. De acuerdo con las medias obtenidas de los mosaicos con las temperaturas mínimas y máximas; el mes más frío para la zona que comprenden dichos estados, es enero y el más caliente es junio; por lo tanto las variables temperatura media del mes más caliente y temperatura media mínima del mes más frío se obtuvieron de los meses de junio y enero respectivamente.

#### 6.1.1. Suelo y Vegetación

De las cartas edafológica y de vegetación escala 1:250 000 publicadas por el INEGI en formato digital (INEGI, 2000a e INEGI, 2000b), se obtuvo la unidad de suelo y el tipo de vegetación respectivamente, utilizando el programa Arc View 3.2<sup>®</sup> a través de un “join” entre los cuadros tanto de la capa de suelo como de vegetación y la de los sitios de colecta de *Quercus emoryi*.

### 6.1.2. Relieve

Del mosaico con los modelos digitales de elevación (MDE) (INEGI, 1992c), se obtuvieron además de la capa de altitud, la de orientación y la de pendiente (en grados), utilizando el programa Erdas 8.6<sup>®</sup>.

Con el programa Erdas fue necesario convertir las unidades de grados decimales en metros cambiando la imagen a una proyección con unidades métricas; en este caso se utilizó la proyección Cónica Conforme de Lambert (Anexo B) por la escala que se manejó. Una vez obtenida la capa de pendiente, ésta se convirtió de nuevo a una capa con coordenadas geográficas para uniformizar el tratamiento de las imágenes.

### 6.1.3. Clima

**6.1.3.1. Selección de Estaciones.** Se utilizaron los datos del Extractor Rápido de Información Climática versión II (ERIC II) (IMTA, 2000), y aunque también del sistema CLICOM<sup>6</sup>, algunos obtenidos de la página de Internet <http://smn.cna.gob.mx>. Las estaciones climáticas de interés para caracterizar los sitios de colecta fueron las de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Baja California ya que las colectas de *Quercus emoryi* pertenecientes a la colección del Herbario INEGI, provienen de dichos estados. Posteriormente se incluyeron estaciones de los estados de Sonora y Zacatecas para fines de modelaje, así como estaciones de parte de los Estados de Aguascalientes, Baja California Sur, Guanajuato, Tamaulipas, Sinaloa, San Luis Potosí, Jalisco, Querétaro y Nayarit para obtener una interpolación<sup>7</sup> adecuada de las variables climáticas.

---

<sup>6</sup> Base de datos históricos del Servicio Meteorológico Nacional derivada del proyecto Climatic Computatinal Project al que pertenecen los países miembro de la Organización Mundial de Meteorología.

<sup>7</sup> Estimación que realiza un Sistema de Información Geográfica (SIG), de los valores de un atributo en áreas donde se desconocen éstos, con base en valores conocidos del atributo en sitios circundantes.

Primero se seleccionaron estaciones del ERIC II con datos de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima registrados durante 20 años continuos o más. Se proyectaron los sitios de colecta y las estaciones seleccionadas; el resultado fue una insuficiencia de estaciones para caracterizar los sitios de colecta y para realizar el modelaje, ya que para ambos se requiere de una interpolación confiable y ésta depende de la frecuencia y distribución espacial de los datos. Por lo tanto, se seleccionaron estaciones con 20 años discontinuos o más y se realizó el mismo procedimiento para valorar si eran suficientes o no. Dado que el resultado fue negativo, se seleccionaron estaciones que tuvieran registros durante un mínimo de 10 años (Figura 9).

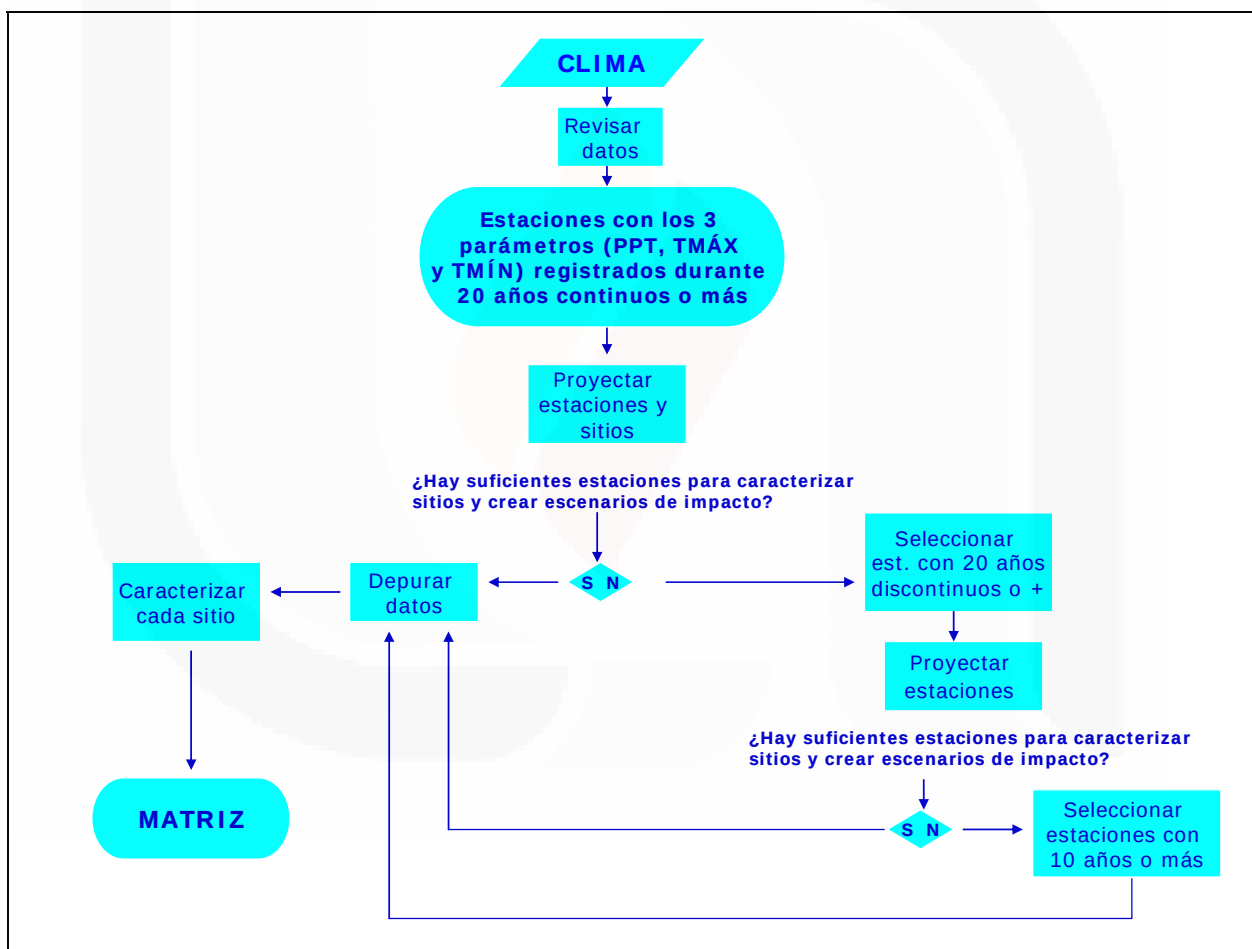


Figura 9. Proceso de selección de estaciones climáticas.

Aunque la interpolación se realizó por Estado, se incluyeron los datos de las estaciones ubicadas dentro de un perímetro de 0.5° de latitud y longitud a partir de los límites máximos y mínimos del modelo de elevación de cada Estado, para mejorar la calidad de los datos obtenidos en áreas cercanas a los límites estatales (Figura 10).

Las estaciones seleccionadas sumaron un total de 985: del ERIC 2 se utilizaron 510 (las correspondientes a los Estados de Baja California, Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León y Sonora) y de la página de Internet <http://smn.cna.gob.mx>, 475, (68 correspondientes al Estado de Zacatecas, 43 de los Estados arriba mencionados y 364 de Estados circundantes para mejorar la interpolación). El número de estaciones utilizadas de los Estados que abarcaron el área de estudio se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Número de estaciones climáticas por Estado utilizadas para interpolar datos.

| Estado          | Con 20 años continuos o más de registro | Con 20 años discontinuos o más de registro | Con mínimo 10 años de registro | Total |
|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-------|
| Baja California | 13                                      | 25                                         | 30                             | 68    |
| Coahuila        | 7                                       | 23, 2*                                     | 40                             | 72    |
| Chihuahua       | 11                                      | 39, 23                                     | 77                             | 150   |
| Durango         | 27                                      | 31, 8                                      | 31                             | 97    |
| Nuevo León      | 26                                      | 13, 6                                      | 15                             | 60    |
| Sonora          | 14                                      | 32, 4                                      | 54                             | 104   |
| Zacatecas       |                                         |                                            |                                | 68    |
|                 |                                         |                                            |                                | 621   |

\*Los números posteriores a la coma, se refieren al número de estaciones cuyos datos se obtuvieron de la página de Internet.

El número de estaciones por estado que se utilizaron para mejorar la calidad de la interpolación en los límites estatales fueron las siguientes:

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Aguascalientes:      | 32  |
| Baja California Sur: | 24  |
| Guanajuato:          | 51  |
| Jalisco:             | 66  |
| Nayarit:             | 13  |
| Querétaro:           | 1   |
| San Luis Potosí:     | 45  |
| Sinaloa:             | 68  |
| Tamaulipas:          | 64  |
| Total:               | 364 |

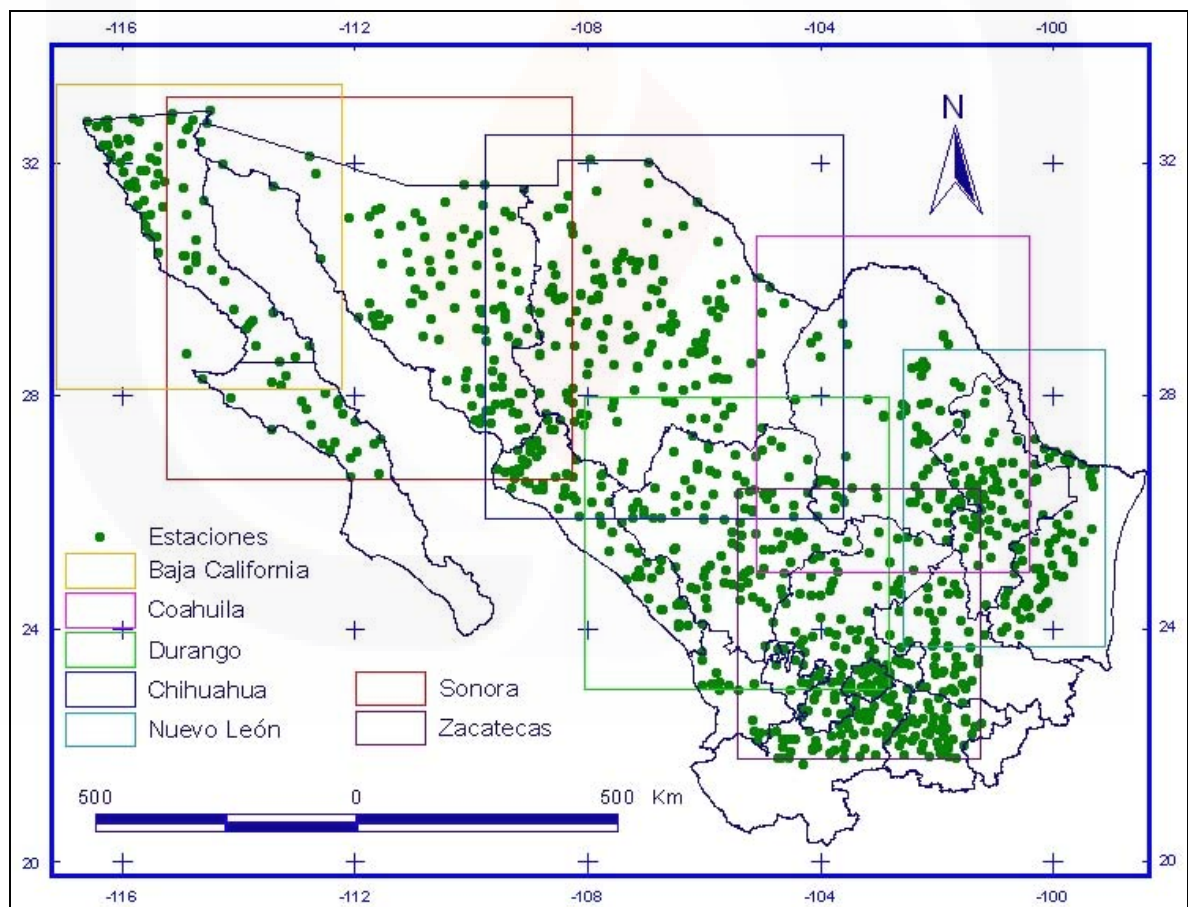


Figura 10. Ubicación geográfica de las estaciones utilizadas en la interpolación de datos climáticos.

**6.1.3.2. Depuración de datos.** Debido a que se detectaron errores en los datos del ERIC II<sup>8</sup>, hubo que realizar una revisión de éstos. Las diversas condiciones climáticas comprendidas en los siete estados y la imposibilidad de distinguir entre errores y eventos extraordinarios en los datos de todas las estaciones seleccionadas, ya sea por desconocimiento de las características climáticas en diversas regiones o por la ausencia de datos continuos de algunas estaciones; fueron la base para que la revisión se hiciera comparando los datos tanto del ERIC II como de los obtenidos de la página de Internet <http://smn.cna.gob.mx> y se proyectaran las estaciones climáticas con buffers<sup>9</sup> de 25 km en una imagen con las sombras del modelo de elevación, utilizando el programa Arc-View 3.2. La distancia de 25 km responde a que fenómenos meteorológicos de pequeña escala suceden en menos de 100 km (World Meteorological Organization, 2003) y una visualización de dicha distancia da una idea del área de influencia de los fenómenos registrados.

Antes de revisar los datos se verificó que las coordenadas geográficas de las estaciones climáticas de cada estado estuvieran comprendidas dentro de los límites estatales. Cuando no fue así, no se tomaron en cuenta. Asimismo que los datos pertenecieran a la estación y a cada parámetro climático.

Cuando hubo estaciones con las mismas coordenadas geográficas, se eliminó la estación con menos datos registrados.

El dato de altitud de las estaciones se obtuvo del modelo de elevación para homogeneizar la información ya que para algunas estaciones este dato difiere entre las fuentes consultadas.

La depuración de datos se realizó de la siguiente manera (Figura 11):

- Se revisaron los datos diarios, mes por mes de todos los años registrados en cada estación seleccionada, marcando los valores aberrantes y extremos<sup>10</sup> de cada parámetro climático.

---

<sup>8</sup> Por ejemplo en los datos de la estación 19010, en el mes de agosto de 1961, las temperaturas mínimas tienen valores correspondientes a las mediciones de precipitación para ese día, es decir, que hubo un error cuando al registrar el dato de temperatura mínima ingresaron el dato de precipitación.

<sup>9</sup> Zonas de distancia restringida alrededor de entidades, que para su búsqueda, un SIG utiliza la distancia euclidiana.

<sup>10</sup> De la revisión de los datos de Nuevo León se consideró como valor extremo en precipitación, 70 mm en un día, ya que la muchos de los datos para ese estado se encuentran por debajo de ese valor.



- Los valores aberrantes o incongruentes (*i.e.* números negativos en precipitación, temperaturas máximas menores a las temperaturas mínimas en la misma fecha<sup>11</sup>) se modificaron a NO\_D.
- Se construyó un cuadro en Excel<sup>®</sup> con los valores extremos de precipitación en todos los años, señalando la estación, el mes y el día del evento y se obtuvo una gráfica por cada mes para identificar fácilmente los más altos. (Se muestra un ejemplo en la Gráfica 1).
- Se compararon los datos del parámetro en los días de interés entre estaciones cercanas, una vez proyectadas éstas sobre una imagen con sombras del modelo de elevación; con el fin de identificar zonas de similitud o patrones en la distribución de los eventos climáticos. En la Figura 12 se muestra un ejemplo en el cual es posible detectar una franja a lo largo de la Sierra Madre Occidental en Durango, formada por las estaciones 10037, 10086, 10003, 10087, 10050, 10082, 10042, 10036, 10038 y 10058 (resaltadas en amarillo y con un buffer de 25 km), cuando registran el 24 de enero de 1979 precipitaciones que van de 100 a 280.6 mm.
- Al mismo tiempo se compararon los datos de años anteriores en la estación de interés y en estaciones cercanas.
- En el caso de temperaturas, también se compararon los valores de temperaturas máximas y mínimas del mismo día.

La decisión para convertir un valor diario de alguno de los parámetros en NO\_D, tuvo como base el identificar la existencia de valores semejantes registrados en estaciones cercanas; de valores semejantes en años anteriores o posteriores al evento tanto en la estación de interés como en las cercanas; en el caso de precipitación, también la existencia de datos antes y después del evento; de un patrón de distribución geográfico del evento climático así como de la localización geográfica del mismo y su relación con el relieve

Ningún dato se modificó sin contar con suficiente información de respaldo.

De todas las estaciones se obtuvieron las medias históricas para cada parámetro.

---

<sup>11</sup> En este caso la modificación se realizó después de verificar en cuál de los dos datos se encontraba el error.

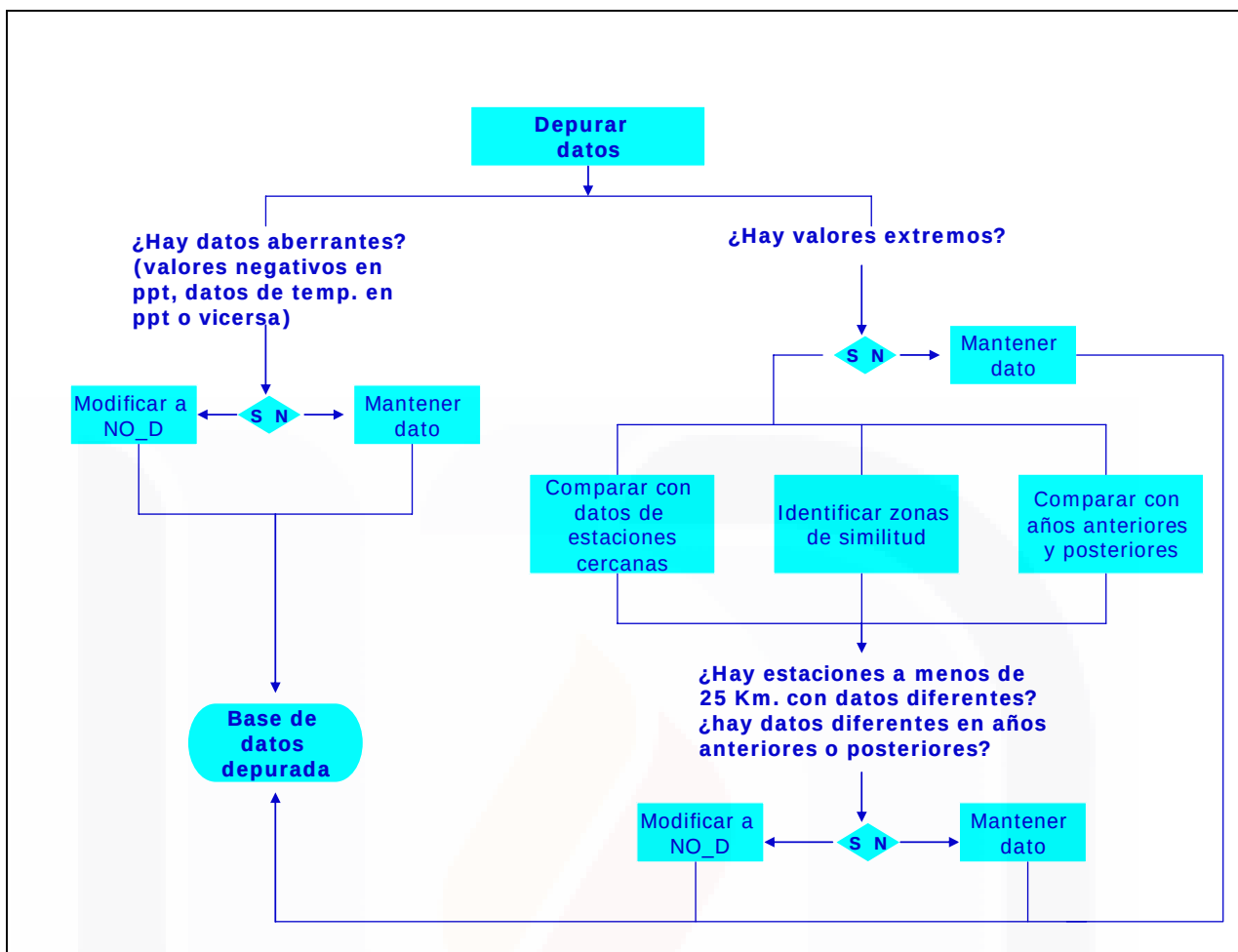
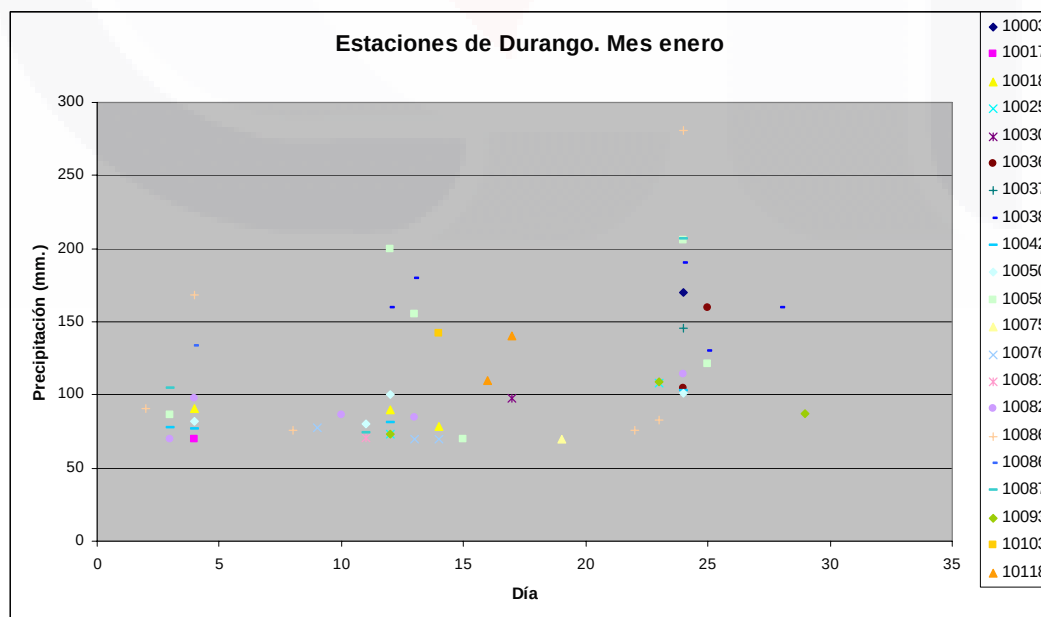
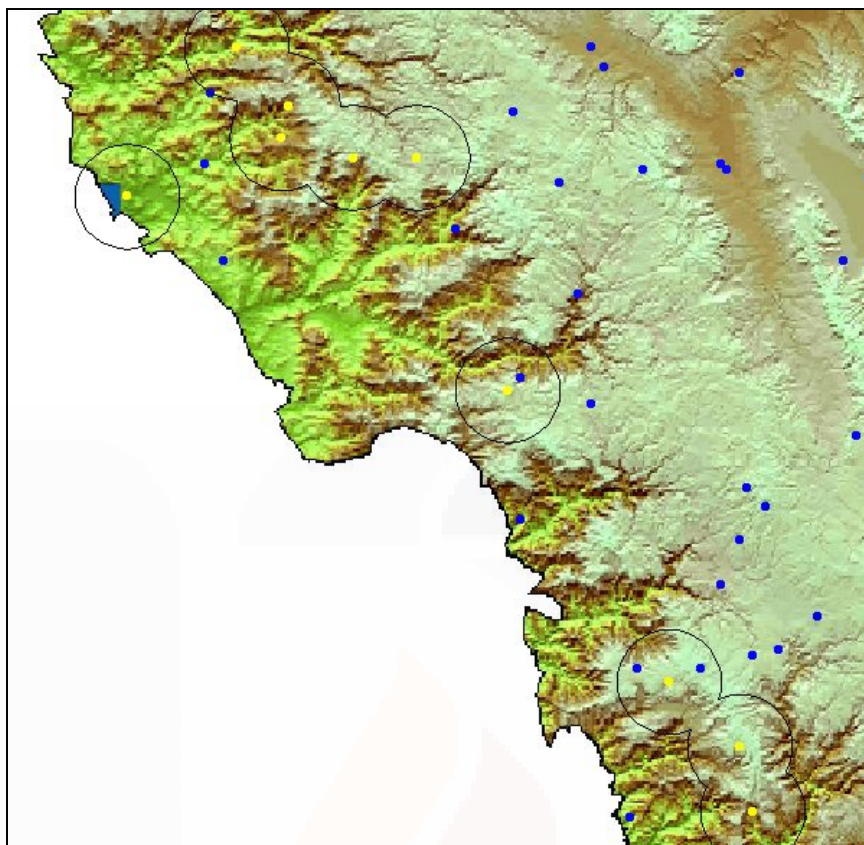


Figura 11. Proceso de depuración de datos climáticos.



Gráfica 1. Ejemplo de las gráficas para detectar con mayor facilidad los valores extremos de ppt en cada mes.



**Figura 12.** Algunas estaciones climáticas de Durango proyectadas sobre el MDE.

**6.1.3.3. Interpolación de Datos.** Para la generación de las matrices de temperaturas máxima y mínima, así como de precipitación pluvial, en cada punto de la cuadrícula de los Estados considerados en el estudio; se utilizó un programa escrito en Quick Basic<sup>®</sup> proporcionado por el Programa de Potencial Productivo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Maciel, Macías y Jiménez., 2005), el cual considera como referencia el modelo digital de elevación con una resolución de 3 segundos de arco (equivalente a un tamaño de celda de 90x90 m) en formato ASCII y un archivo de texto tipo \*.DAT que contiene la localización geográfica (altitud, latitud y longitud) de las estaciones climatológicas por renglones y los datos de las medias históricas de los parámetros climáticos en columnas. El programa realiza la interpolación tomando en consideración las cinco estaciones más cercanas al punto donde se ubica la celda a la que se le asignará un valor de  $x$  a las variables del clima consideradas y pondera los valores mediante el inverso de la distancia al cuadrado. Para las temperaturas máximas y mínimas el método hace una corrección por altitud de  $0.65^{\circ}\text{C}$  por cada 100 m de elevación.

Las 252 imágenes obtenidas (una por cada variable climática por mes, para los siete estados), se convirtieron nuevamente a formato binario para su manejo tanto en Arc-View como en ERDAS 8.6, para la obtención de los valores climáticos en cada sitio de colecta de la especie.

**6.1.3.4. Extracción de Datos de las Imágenes.** Las imágenes de cada estado con las interpolaciones de los datos climáticos mensuales se documentaron en Idrisi16<sup>®</sup> y se importaron a ERDAS como archivos tipo Generic Binary, formato BSQ y tipo de datos Float, esto último para eliminar la posibilidad de que algún valor de temperatura mínima no fuera incluido debido a que estos ocupan un mayor número de bits. Cada imagen se documentó con los metadatos correspondientes a los modelos de elevación puesto que para la interpolación se utilizaron los MDE de cada estado (Anexo B).

Los mosaicos temáticos que abarcan los siete Estados, se construyeron utilizando el módulo “Mosaic images” de la ventana “Data prep” de ERDAS, y se verificó que las imágenes tuvieran la misma información en proyección geográfica, esferoide y datum para evitar desplazamientos o sobreposición de éstas.

La extracción de los datos correspondientes a los sitios de colecta de *Q. emoryi*, de las capas temáticas (una por cada variable), fue hecha con los programas ArcGIS 9.0 y ERDAS 8.6. El primero se utilizó para proyectar en Cónica Conforme de Lambert, la capa con los sitios de colecta y obtener un buffer de 1 m alrededor de las coordenadas de los sitios. La nueva capa (shape) con los buffer de 1 m, de nuevo se convirtió a coordenadas geográficas para realizar una intersección con los mosaicos raster de las variables climáticas. Para ello, se utilizó la herramienta “Zonal Attributes” del módulo “GIS Analysis” de la ventana “Interpreter” de ERDAS. Se solicitó al programa el cálculo de la media y la desviación estándar para cada área comprendida en el buffer con el fin de tener una idea de la precisión de los datos. El resultado de la intersección es agregado al archivo \*.DBF del buffer, por el programa.

Todos los datos obtenidos se fueron agregando a la base de datos botánica para la construcción de la matriz.

## 6.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 252 imágenes con los datos mensuales de las tres variables climáticas obtenidas mediante interpolación, para los siete Estados de interés. Con éstas, se integraron los mosaicos de los siete Estados, de los cuales se extrajeron los valores para cada sitio de colecta de la especie. Asimismo, se obtuvieron los mosaicos con los MDE de los Estados y de ellos las capas con los datos de altitud, pendiente y orientación. Los valores de dichas variables en los sitios de colecta se integraron en una matriz de datos junto con las unidades de suelo y tipos de vegetación extraídos de las respectivas capas vectoriales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz con los valores obtenidos para cada variable en los sitios de colecta.

|    | Registro | Tmin01  | Tmed06 | Ppt    | Orientación | Altitud | Pendiente | Suelo* | Vegetación** |
|----|----------|---------|--------|--------|-------------|---------|-----------|--------|--------------|
| 1  | 8966     | -1,450  | 13,955 | 485,52 | 8           | 2310    | 49        | I      | BP           |
| 2  | 13925    | -3,130  | 20,630 | 418,88 | 49          | 1984    | 17        | Be     | BJ           |
| 3  | 2646     | -6,710  | 19,005 | 584,03 | 165         | 2224    | 45        | I      | BP           |
| 4  | 5446     | -10,270 | 17,015 | 512,70 | 30          | 2319    | 35        | I      | BQ           |
| 5  | 5444     | -8,960  | 18,475 | 515,58 | 202         | 2203    | 1         | I      | PN           |
| 6  | 5677     | -7,890  | 18,530 | 457,18 | 46          | 2100    | 11        | I      | PN           |
| 7  | 13941    | -5,600  | 18,800 | 442,49 | 299         | 2200    | 13        | I      | BPQ          |
| 8  | 5464     | -9,360  | 17,565 | 505,11 | 88          | 2206    | 5         | I      | PN           |
| 9  | 2874     | -3,185  | 20,605 | 685,25 | 8           | 1978    | 5         | Hh     | BQ           |
| 10 | 13903    | -6,750  | 17,920 | 424,62 | 220         | 2212    | 3         | Hh     | BQ           |
| 11 | 888      | 2,860   | 19,170 | 412,52 | 86          | 1797    | 2         | I      | MDM          |
| 12 | 13898    | -4,690  | 21,665 | 466,40 | 245         | 1852    | 19        | Lc     | BQ           |
| 13 | 5574     | -8,830  | 18,585 | 513,40 | 22          | 2189    | 17        | I      | PN           |
| 14 | 6343     | 1,440   | 17,530 | 479,97 | 33          | 1996    | 8         | I      | BPQ          |
| 15 | 9802     | -6,550  | 17,725 | 543,59 | 71          | 2310    | 3         | I      | BQP          |
| 16 | 13945    | -5,720  | 18,445 | 387,86 | 119         | 2201    | 19        | I      | BW           |
| 17 | 5443     | -7,700  | 19,385 | 502,93 | 355         | 2085    | 20        | I      | BQ           |
| 18 | 2751     | -5,760  | 20,105 | 563,84 | 282         | 2067    | 3         | I      | T            |
| 19 | 859      | -0,800  | 22,650 | 477,70 | 358         | 1862    | 6         | Hh     | PN           |
| 20 | 2647     | -8,980  | 16,735 | 569,36 | 336         | 2430    | 45        | I      | BP           |
| 21 | 13939    | -3,420  | 21,345 | 397,38 | 181         | 2001    | 17        | I      | BQ           |
| 22 | 11423    | 0,660   | 24,165 | 454,46 | 38          | 1672    | 1         | E      | PN           |
| 23 | 10449    | 0,570   | 24,080 | 457,34 | 70          | 1692    | 6         | E      | PN           |
| 24 | 10486    | -0,840  | 22,985 | 454,05 | 105         | 1817    | 3         | XI     | BQ           |
| 25 | 13334    | -0,790  | 23,055 | 454,18 | 105         | 1813    | 2         | XI     | PN           |
| 26 | 11682    | 0,140   | 15,825 | 583,41 | 11          | 2109    | 17        | I      | BPQ          |
| 27 | 13904    | -5,210  | 19,145 | 438,42 | 84          | 2068    | 27        | I      | BPQ          |

Continuación Cuadro 3.

|    | Registro | Tmin01  | Tmed06 | Ppt    | Orientación | Altitud | Pendiente | Suelo* | Vegetación** |
|----|----------|---------|--------|--------|-------------|---------|-----------|--------|--------------|
| 28 | 13966    | -6,870  | 17,675 | 573,03 | 346         | 2303    | 33        | Hh     | BPQ          |
| 29 | 3527     | -10,980 | 15,688 | 503,37 | 16          | 2404    | 3         | I      | BP           |
| 30 | 9337     | 0,830   | 24,670 | 469,94 | 58          | 1750    | 25        | Hh     | BW           |
| 31 | 8628     | -3,880  | 20,685 | 219,08 | 29          | 1703    | 15        | Wm     | BQP          |
| 32 | 13892    | -9,160  | 15,655 | 434,97 | 235         | 2397    | 11        | Hh     | BPQ          |
| 33 | 2872     | -3,610  | 21,095 | 577,40 | 104         | 1996    | 0         | Hh     | BQ           |
| 34 | 11426    | -0,170  | 23,185 | 437,92 | 354         | 1796    | 2         | Vp     | PN           |
| 35 | 887      | -1,350  | 16,145 | 418,25 | 308         | 2200    | 1         | I      | ML           |
| 36 | 5575     | -8,430  | 18,275 | 497,18 | 329         | 2132    | 10        | I      | PN           |
| 37 | 3141     | -4,100  | 21,370 | 561,70 | 361         | 1939    | 0         | Vp     | PN           |
| 38 | 5447     | -11,180 | 16,175 | 538,79 | 352         | 2405    | 16        | I      | BQ           |
| 39 | 6937     | -0,640  | 22,885 | 473,10 | 128         | 1829    | 12        | Hh     | BQ           |
| 40 | 2873     | -6,490  | 18,055 | 573,48 | 185         | 2269    | 66        | Hh     | BQ           |
| 41 | 9143     | 1,340   | 17,425 | 479,86 | 24          | 2004    | 8         | I      | BPQ          |
| 42 | 5676     | -8,100  | 17,865 | 561,79 | 359         | 2244    | 44        | Hh     | MC           |
| 43 | 5675     | -9,530  | 16,365 | 561,94 | 330         | 2381    | 12        | Hh     | BQ           |
| 44 | 10217    | -7,660  | 19,760 | 541,06 | 28          | 2093    | 33        | I      | MC           |
| 45 | 5576     | -6,080  | 19,675 | 561,72 | 1           | 2088    | 13        | Vp     | MC           |
| 46 | 10605    | -5,890  | 20,165 | 561,85 | 34          | 2010    | 10        | Hh     | PN           |
| 47 | 10488    | -11,890 | 12,615 | 547,47 | 224         | 2747    | 17        | I      | BPQ          |
| 48 | 10460    | -1,380  | 22,080 | 479,98 | 328         | 1916    | 21        | Hh     | BQ           |
| 49 | 12168    | -2,250  | 13,345 | 436,33 | 32          | 2417    | 30        | I      | BP           |
| 50 | 14132    | -2,990  | 12,725 | 451,53 | 9           | 2542    | 36        | I      | BP           |
| 51 | 11442    | -2,250  | 23,515 | 525,07 | 233         | 1798    | 3         | Hh     | PN           |
| 52 | 11428    | -3,670  | 19,750 | 433,42 | 305         | 2110    | 11        | Re     | BPQ          |
| 53 | 10500    | -3,390  | 20,035 | 432,67 | 57          | 2085    | 8         | Re     | BPQ          |
| 54 | 11387    | -4,080  | 11,910 | 301,25 | 95          | 1650    | 7         | Re     | BP           |
| 55 | 11456    | -3,430  | 21,330 | 628,32 | 88          | 2037    | 12        | I      | BW           |
| 56 | 3261     | -3,940  | 21,425 | 297,85 | 347         | 1700    | 8         | I      | PN           |
| 57 | 11444    | -2,060  | 23,010 | 553,28 | 185         | 1855    | 3         | XI     | PN           |

\* I=litosol, Hh=feozem háplico, XI=xerosol lúvico, Vp=vertisol pélico, Re=regosol eútrico, E=rendzina, Be=cambisol eútrico, Lc=luvisol crómico, Wm=planosol mólico.

\*\* PN=pastizal natural, BQ=bosque de encino, BPQ=bosque de pino-encino, BP=bosque de pino, BQ=bosque de encino, BW=bosque bajo abierto, MC=matorral crasicaule, BQP=bosque de encino-pino, BJ=bosque de táscate, MDM=matorral desértico micrófilo, T=agricultura de temporal, ML=chaparral.

En el Cuadro 4 se presentan las frecuencias para cada variable. Los intervalos de clase en altitud fueron de 50 m; en pendiente, de 5°; en temperatura media y mínima, de 1 °C y en precipitación, de 50 mm. Se resaltan en amarillo las frecuencias más altas.

Cuadro 4. Frecuencias de clase de la matriz con 57 sitios de colecta de *Q. emoryi*.

| Orien.  | Tmín01 |      | Tmed06 |      | Ppt   |      | Altitud |      | Pendiente |      | Suelo* | Vegetación** |
|---------|--------|------|--------|------|-------|------|---------|------|-----------|------|--------|--------------|
| Frec    | Clase  | Frec | Clase  | Frec | Clase | Frec | Clase   | Frec | Clase     | Frec | Frec   | Frec         |
| N=14    | -12    | 0    | 11     | 0    | 200   | 0    | 1650    | 1    | 0         | 2    | l=29   | PN=15        |
| NE=12   | -11    | 2    | 12     | 1    | 250   | 1    | 1700    | 3    | 5         | 15   | Hh=14  | BQ=13        |
| E=10    | -10    | 2    | 13     | 2    | 300   | 1    | 1750    | 2    | 10        | 9    | Xl=3   | BPQ=10       |
| NW=7    | -9     | 3    | 14     | 2    | 350   | 1    | 1800    | 3    | 15        | 9    | Vp=3   | BP=7         |
| S=5     | -8     | 5    | 15     | 0    | 400   | 2    | 1850    | 3    | 20        | 9    | Re=3   | BW=3         |
| SW=5    | -7     | 3    | 16     | 3    | 450   | 11   | 1900    | 3    | 25        | 2    | E=2    | MC=3         |
| SE=2    | -6     | 6    | 17     | 4    | 500   | 15   | 1950    | 2    | 30        | 2    | Be=1   | BQP=2        |
| W=1     | -5     | 5    | 18     | 8    | 550   | 11   | 2000    | 4    | 35        | 3    | Lc=1   | BJ=1         |
| plano=1 | -4     | 3    | 19     | 7    | 600   | 13   | 2050    | 4    | 40        | 1    | Wm=1   | MDM=1        |
|         | -3     | 9    | 20     | 7    | 650   | 1    | 2100    | 7    | 45        | 3    |        | T=1          |
|         | -2     | 4    | 21     | 6    | 700   | 1    | 2150    | 3    | 50        | 1    |        | ML=1         |
|         | -1     | 3    | 22     | 6    |       | 0    | 2200    | 3    | 55        | 0    |        |              |
|         | 0      | 5    | 23     | 4    |       |      | 2250    | 6    | 60        | 0    |        |              |
|         | 1      | 4    | 24     | 4    |       |      | 2300    | 1    | 65        | 0    |        |              |
|         | 2      | 2    | 25     | 3    |       |      | 2350    | 4    | 70        | 1    |        |              |
|         | 3      | 1    |        | 0    |       |      | 2400    | 2    |           | 0    |        |              |
|         |        | 0    |        |      |       |      | 2450    | 4    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      | 2500    | 0    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      | 2550    | 1    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      | 2600    | 0    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      | 2650    | 0    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      | 2700    | 0    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      | 2750    | 1    |           |      |        |              |
|         |        |      |        |      |       |      |         | 0    |           |      |        |              |

\* l=litosol, Hh=feozem háplico, Xl=xerosol lúvico, Vp=vertisol pélico, Re=regosol eútrico, E=rendzina, Be=cambisol eútrico, Lc=luvisol crómico, Wm=planosol mólico.

\*\* PN=pastizal natural, BQ=bosque de encino, BPQ=bosque de pino-encino, BP=bosque de pino, BQ=bosque de encino, BW=bosque bajo abierto, MC=matorral crasicaule, BQP=bosque de encino-pino, BJ=bosque de táscate, MDM=matorral desértico micrófilo, T=agricultura de temporal, ML=chaparral.

En el caso de la orientación, el 75.43% de los sitios se encuentran ubicados en orientaciones NW, N, NE y E y en esa misma proporción, se encuentran en los tipos de suelo litosol y feozem háplico. En el caso de vegetación, el 78.94% de los sitios se encuentra en pastizal natural, bosque de encino, de pino-encino y de pino.

Sobresalen por la disminución notoria de las frecuencias abajo y arriba de ciertos intervalos; la precipitación y la pendiente y en menor grado altitud y temperatura media de junio.

En la variable precipitación, es en el intervalo de 401 a 600 mm donde se concentran la mayoría de los sitios (87.72%); en la variable pendiente es en el de 1 a 20 °. En el caso de la temperatura media de junio, 34 de los 57 sitios se encuentran en el intervalo de 17 a 22 °C y en el de altitud, 49 sitios se encuentran entre 1751 a 2450 msnm. Aunque hay sitios con temperaturas mínimas en enero desde -12 a 3 °C; 39 de los 57 sitios se concentran en temperaturas entre -6.9 y 1 °C.

De la caracterización de los sitios de colecta, a la vez se obtuvo una aproximación a un perfil de la especie *Q. emoryi*, basado en los valores mínimos y máximos dentro de estas ocho variables para los 57 sitios, el cual se sintetiza en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores mínimos y máximos para las variables continuas y categorías para las variables cualitativas en los 57 sitios de colecta.

|               | <b>Altitud<br/>(msnm)</b> | <b>Pendiente<br/>(grados)</b> | <b>T mín. enero<br/>(°C)</b> | <b>T media junio<br/>(°C)</b> | <b>Precipitación media anual<br/>(mm)</b> |
|---------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Mínima</b> | 1650                      | 0                             | -11,89                       | 11,91                         | 219,08                                    |
| <b>Máxima</b> | 2747                      | 66                            | 2,86                         | 24,67                         | 685,25                                    |
| <b>Media</b>  | 2079                      | 15,25                         | -4,56                        | 19,12                         | 488,10                                    |

| <b>Orientación<br/>(sitios)</b> | <b>Suelo</b>      | <b>Vegetación</b>            |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------|
| N=14                            | Litosol           | Bosque de pino               |
| NE=12                           | Cambisol eutricto | Bosque de táscate            |
| E=10                            | Feozem háplico    | Bosque de encino             |
| NW=7                            | Luvisol crómico   | Pastizal natural             |
| S=5                             | Rendzina          | Bosque de pino-encino        |
| SW=5                            | Xerosol lúvico    | Bosque bajo abierto          |
| SE=2                            | Planosol mólico   | Chaparral                    |
| W=1                             | Vertisol pélico   | Bosque de encino-pino        |
| plano=1                         | Regosol eútrico   | Matorral desértico micrófilo |
|                                 |                   | Matorral crasicaule          |
|                                 |                   | Agricultura de temporal      |



Del Cuadro 5 sobresalen los límites superiores en temperaturas que no sobrepasa los 3 °C en la mínima de enero y los 25 °C en la media de junio. Asimismo, la altitud máxima obtenida que fue de 2747 msnm y corresponde a una colecta en el municipio de Santa Bárbara, Chihuahua (Cuadro 3 del Anexo A). Esta altitud es mayor a la mencionada por Spellenberg (2000) de 2100 msnm como límite superior para la especie.

### **6.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES**

El caracterizar sitios de colecta de una especie vegetal con base en variables aun cuando sólo sean abióticas, brinda un perfil aproximado de respuesta y tolerancia de la especie a factores ambientales, es decir, un acercamiento a su nicho realizado.

Incluir un perfil aproximado de la especie en una descripción botánica contribuiría a entender mejor su distribución geográfica siempre que se especifique el tamaño de la muestra (número de ejemplares). Para ello son necesarios datos geográficos que correspondan a ejemplares de la especie de interés y que el ejemplar esté correctamente identificado.

## 7. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

### 7.1. MATERIALES Y MÉTODO

Del perfil aproximado de la especie (Cuadro 5), se utilizaron para la construcción del modelo; los intervalos formados por los valores mínimos y máximos en el caso de las variables altitud, pendiente, temperatura mínima media de enero, temperatura media de junio y precipitación media anual. En el caso de las unidades de suelo, se incluyeron en el modelo todos los que se extrajeron para cada sitio de colecta.

Aunque, de acuerdo con la caracterización de los sitios, *Q. emoryi* se colectó en lugares con vegetación de matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule y agricultura de temporal, éstos no son representativos de su hábitat y se trata de sitios muy cercanos a áreas con bosque. Por lo tanto, no se consideraron estos tres tipos en el intervalo de vegetación.

Respecto a la orientación, se consideraron los siguientes intervalos en grados a partir del azimuth, para distinguir cada punto cardinal. El programa ERDAS considera como plano el valor de 361 grados.

| Orientación (grados) |               |
|----------------------|---------------|
| N                    | 337.5 a 22.5  |
| NE                   | 22.5 a 67.5   |
| E                    | 67.5 a 112.5  |
| SE                   | 112.5 a 157.5 |
| S                    | 157.5 a 202.5 |
| SW                   | 202.5 a 247.5 |
| W                    | 247.5 a 292.5 |
| NW                   | 292.5 a 337.5 |

Los valores de orientación que presentaron los sitios, fueron desde cero hasta 360 grados; es decir, la especie fue colectada en laderas expuestas a todos los puntos cardinales y en sitios sin

exposición definida. Sin embargo, el 63.15% de los sitios se encuentran en laderas con exposiciones Norte a Este y el 75.43% Noroeste a Este. Debido a lo anterior, se construyeron dos modelos; en uno se consideró la orientación con un intervalo de 337.5 a 112.5 grados, es decir, con exposiciones Norte, Noreste y Este, el cual se denominó Modelo 57\_all; y otro sin considerar la orientación denominado Modelo 57\_noorien.

Los intervalos de cada variable fueron los siguientes:

| <b>Altitud<br/>(msnm)</b> | <b>Pendiente<br/>(grados)</b> | <b>T mín. enero<br/>(°C)</b> | <b>T media junio<br/>(°C)</b> | <b>Precipitación media anual<br/>(mm)</b> | <b>Orientación<br/>(grados)</b> |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| 1650 a 2750               | 0 a 66                        | -12 a 3                      | 11 a 25                       | 219 a 686                                 | 337.5 a 112.5                   |

| <b>Suelo</b>     | <b>Vegetación</b>     |
|------------------|-----------------------|
| Litosol          | Bosque de pino        |
| Cambisol eútrico | Bosque de táscate     |
| Feozem háplico   | Bosque de encino      |
| Luvisol crómico  | Pastizal natural      |
| Rendzina         | Bosque de pino-encino |
| Xerosol lúvico   | Bosque bajo abierto   |
| Planosol mólico  | Chaparral             |
| Vertisol pélico  | Bosque de encino-pino |
| Regosol eútrico  |                       |

Con el programa Arc view 3.2 se realizó una selección de unidades de suelo y de tipos de vegetación, utilizando la herramienta “Query builder” sobre la carta edafológica y la de uso del suelo y vegetación en formato digital.

Posteriormente fue necesario convertir las capas vectoriales (formato shape) de suelo y vegetación a formato raster para que hubiera compatibilidad con las capas climáticas, al construir el modelo. Para ello se utilizó la herramienta “Vector to raster” dentro del módulo “Interpreter” del programa ERDAS. Debido a que las capas con la selección tanto de vegetación como de suelo contienen muchos polígonos se definió en el tipo de datos, “unsigned 32 bit”. El tamaño de pixel también se definió, y fue de 0.01082431307243962 ya que la herramienta utilizada para la

conversión permite un tamaño mínimo de píxel de 0.01 por 0.01. El tamaño se obtuvo de multiplicar 0.00083263946711074 que es el tamaño de píxel del mosaico de los MDE, por 13, que es el factor máximo por el que se obtiene una cifra no menor a la permisible por el programa. El resto de los metadatos se hicieron coincidir con los del mosaico del MDE (Anexo B).

Se verificó que el resultado de la conversión incluyera toda la información de las capas vectoriales y sus metadatos coincidieran al máximo con los de las capas climáticas.

Antes de generar el modelo, se obtuvieron las imágenes exclusivamente con datos dentro del intervalo definido para cada variable, usando la herramienta “Model maker” de ERDAS, la cual permite definir los criterios y funciones a realizar por el programa así como el tipo de archivo y tipo de datos de las capas a obtener.

El modelo es el resultado de la intersección de todas las imágenes con los datos de cada variable dentro de los intervalos definidos y se obtuvo utilizando la misma herramienta.

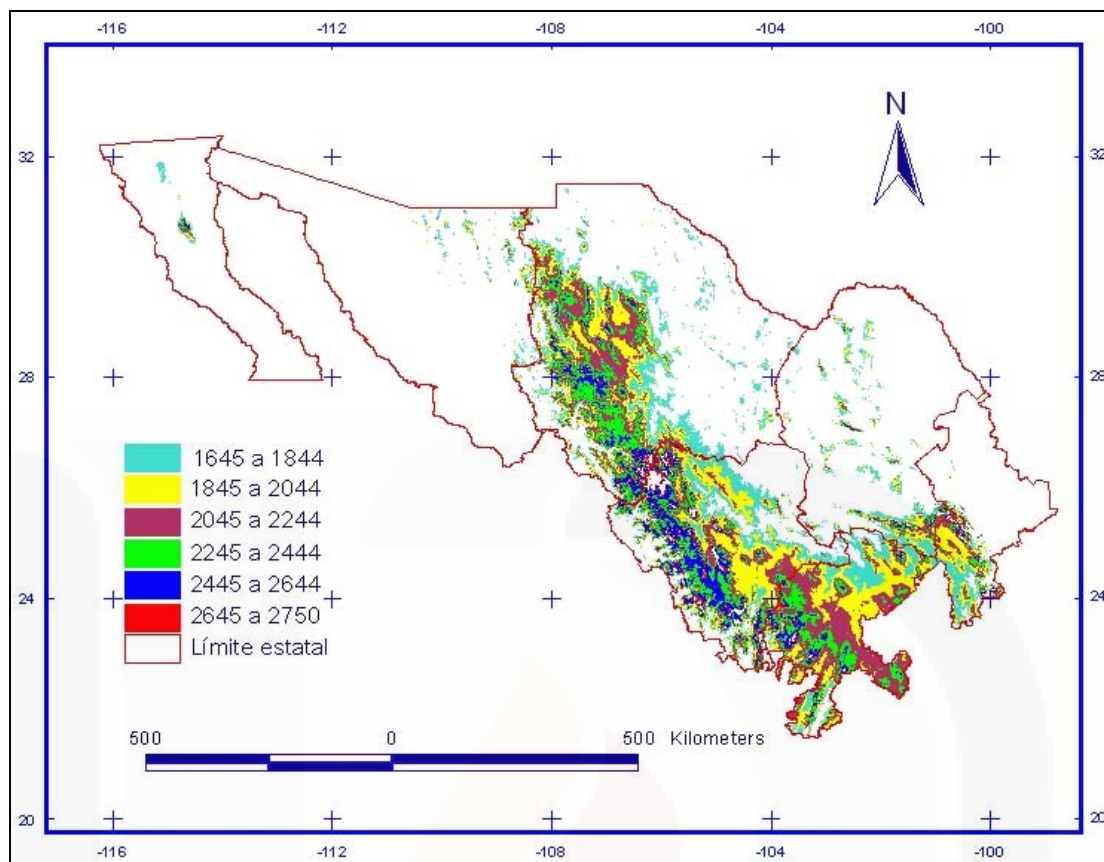
Una vez que se comprobó que los metadatos del modelo coincidieran con los del mosaico del MDE y que todos los sitios de colecta estuvieran incluidos en él, se dio el visto bueno al modelo para su validación.

## **7.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

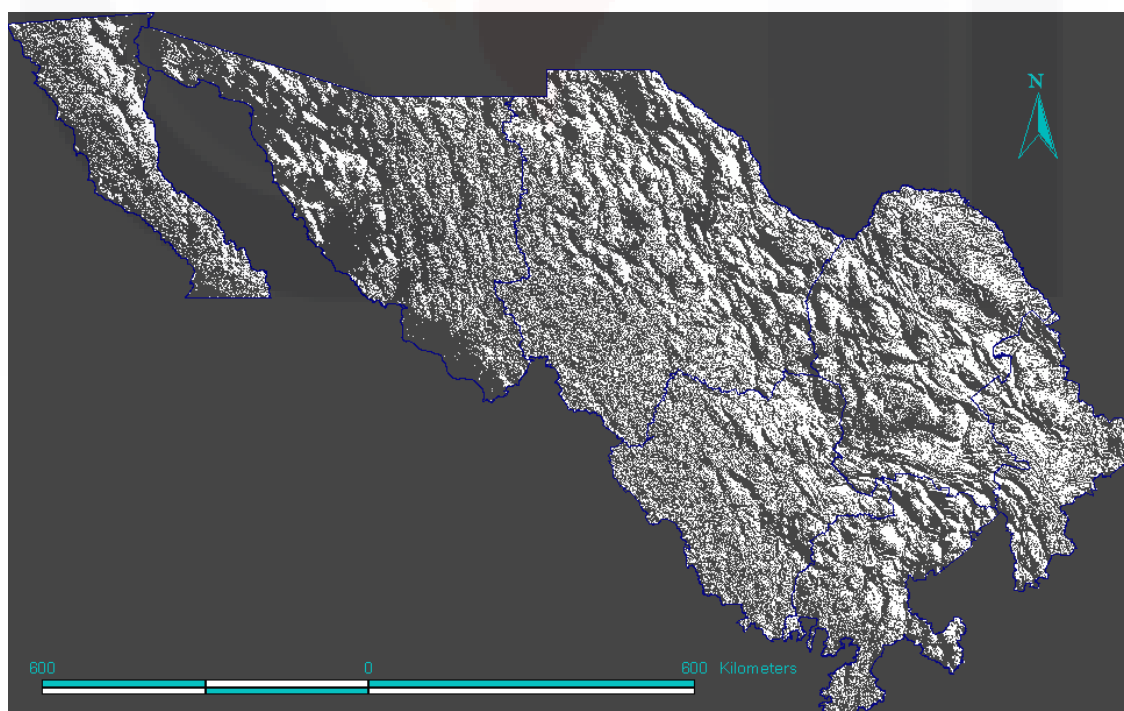
Se obtuvieron ocho imágenes (una para cada variable) con los datos dentro de los intervalos considerados; posteriormente se obtuvieron dos modelos como resultado de la intersección de éstas, uno utilizando las capas de las ocho variables y otro excluyendo la variable orientación. (Figuras 13 a 20)<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Las imágenes con las unidades de suelo y los tipos de vegetación en los que se encuentran los sitios de colecta, no se presentan debido a que la escala utilizada impide distinguir visualmente diferencias entre cada uno.

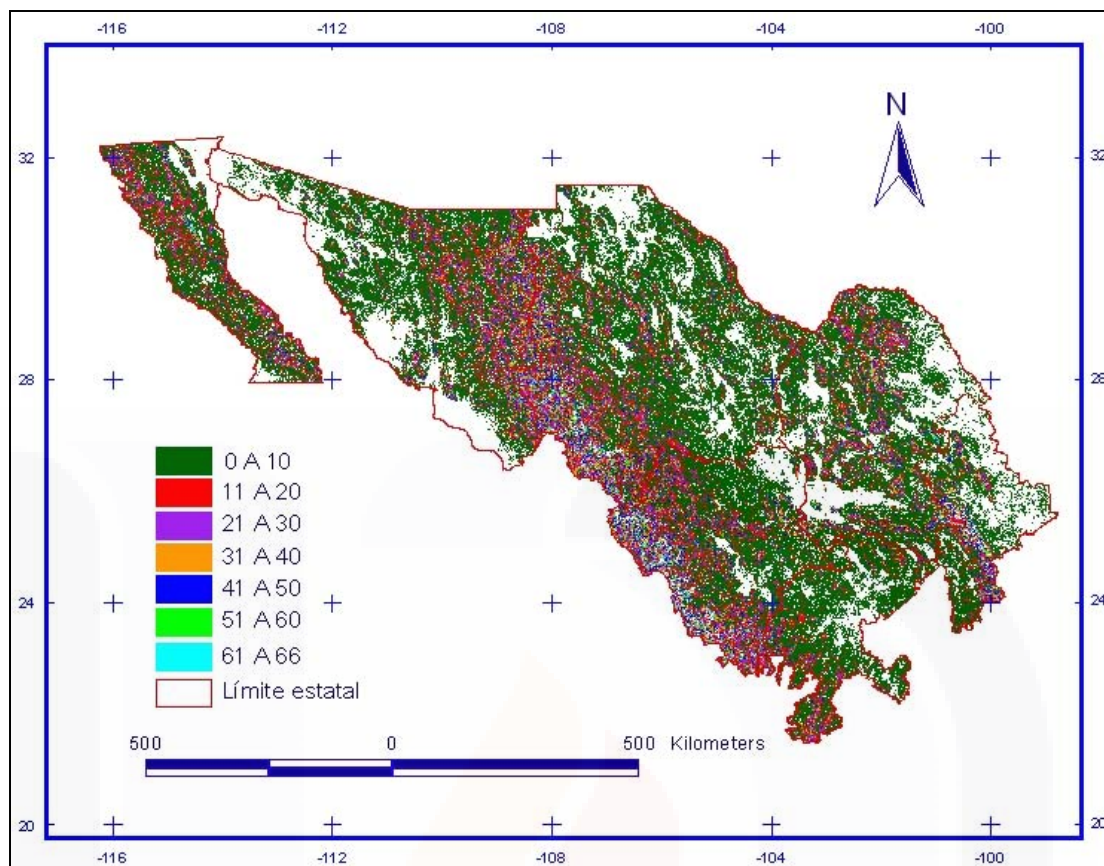


**Figura 13. Zonas dentro del intervalo de altitud 1645 a 2750 msnm en el área de estudio.**

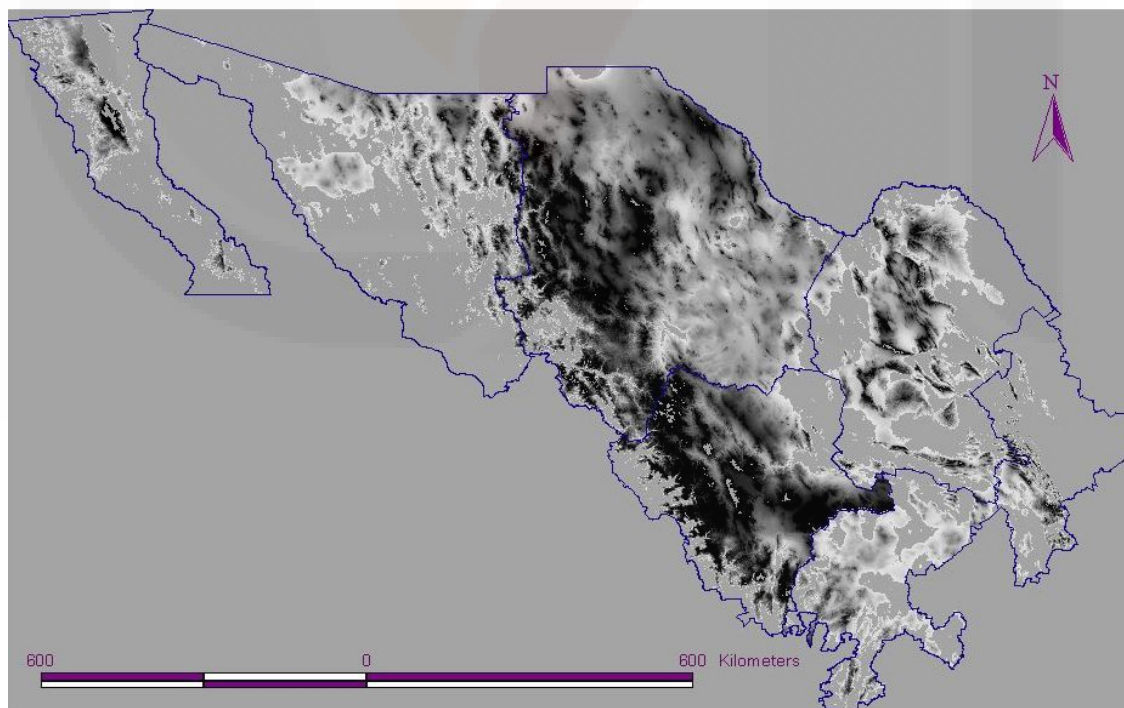


**Figura 14. Zonas con exposición Norte a Este (337.5 a 112.5°) dentro del área de estudio.**

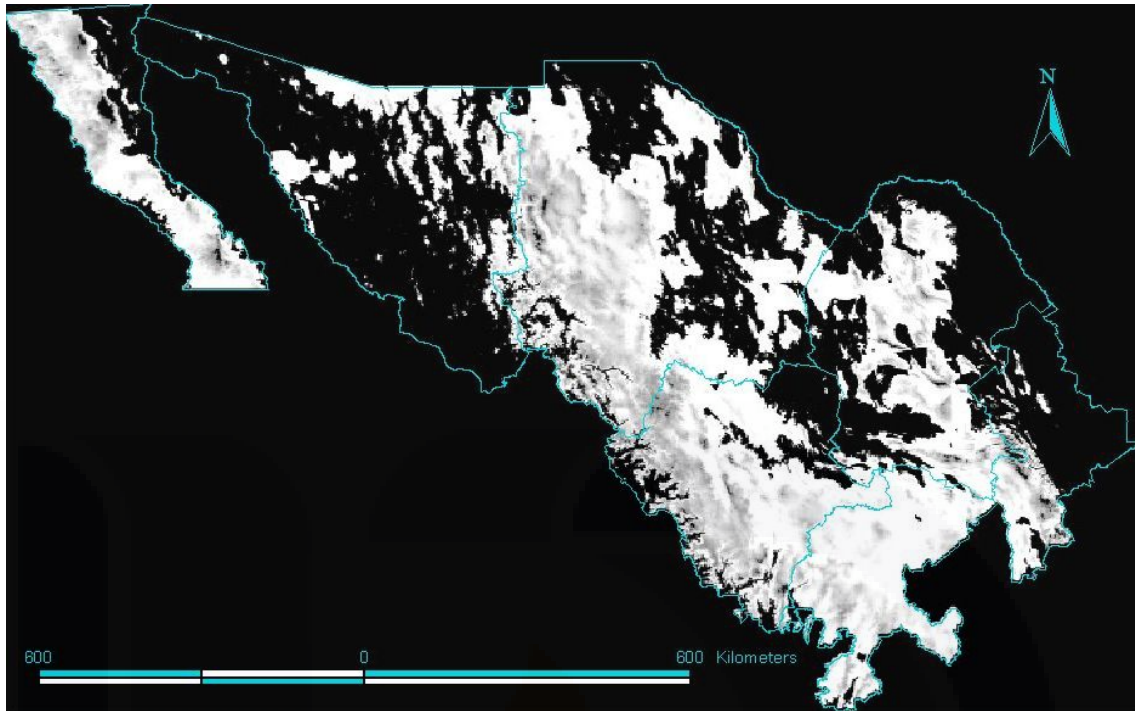




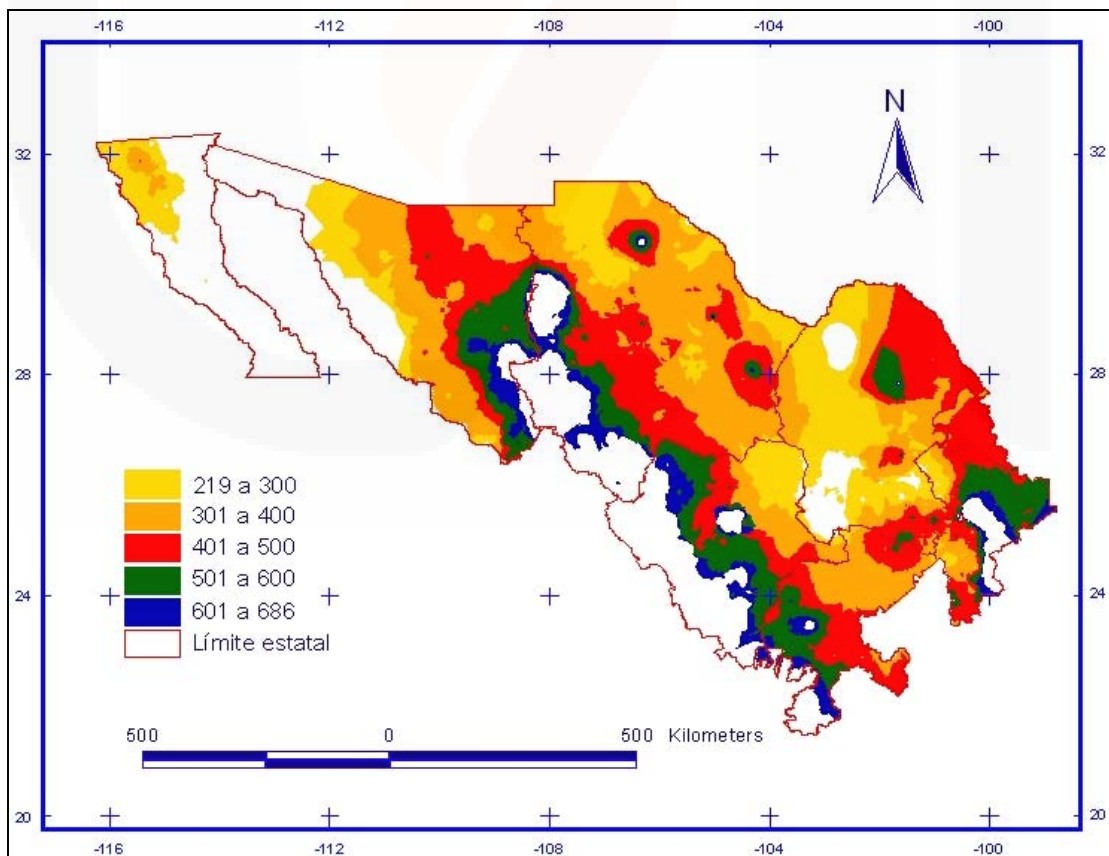
**Figura15. Pendiente del terreno dentro del intervalo de 0 a 66° para el área de estudio.**



**Figura 16. Temperatura mínima media de enero dentro del intervalo de -12 a 3°C para el área de estudio.**  
**Los tonos más oscuros corresponden a temperaturas más bajas.**



**Figura 17. Temperatura media de junio dentro del intervalo de 11 a 25°C para el área de estudio.**  
**Los tonos más oscuros corresponden a temperaturas más bajas.**



**Figura 18. Precipitación media anual dentro del intervalo de 219 a 686 mm para el área de estudio.**

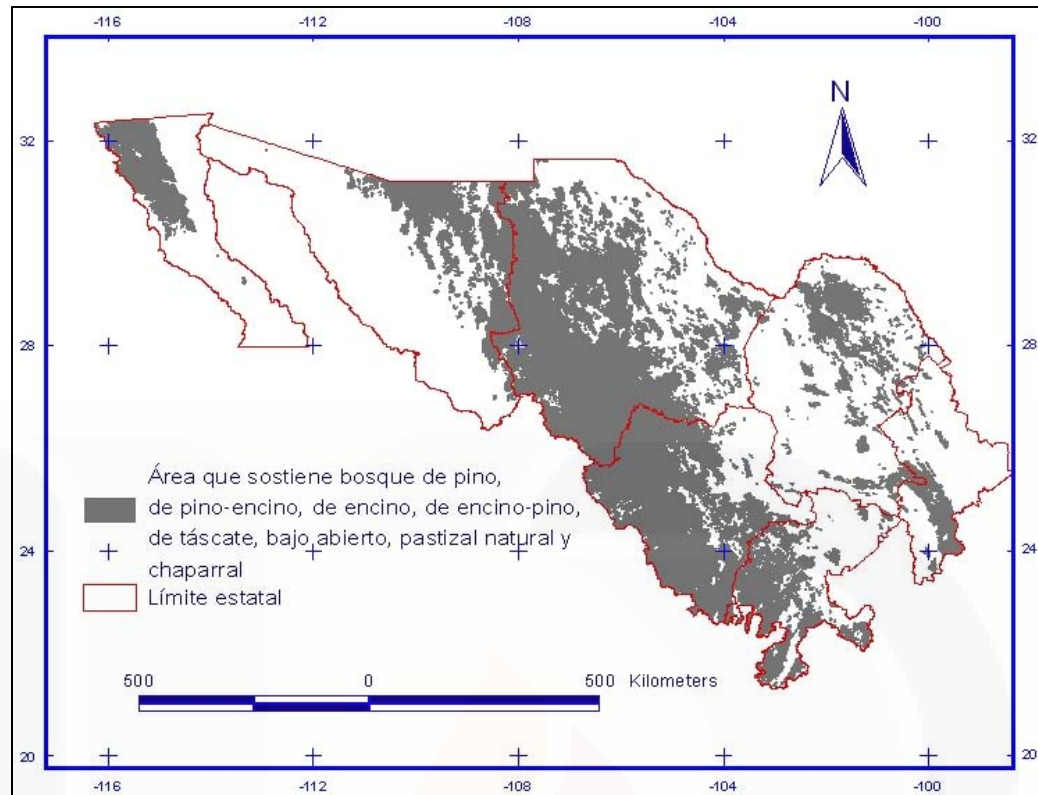


Figura 19. Área con los ocho tipos de vegetación considerados en el modelo, dentro del área de estudio.

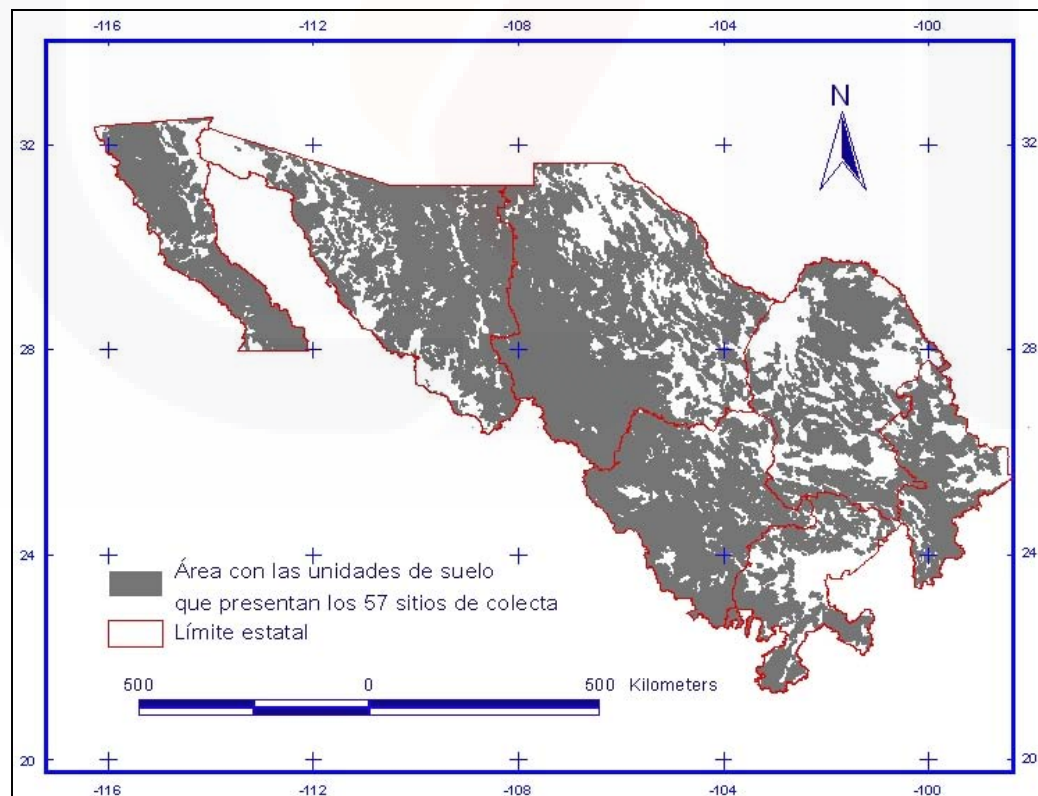


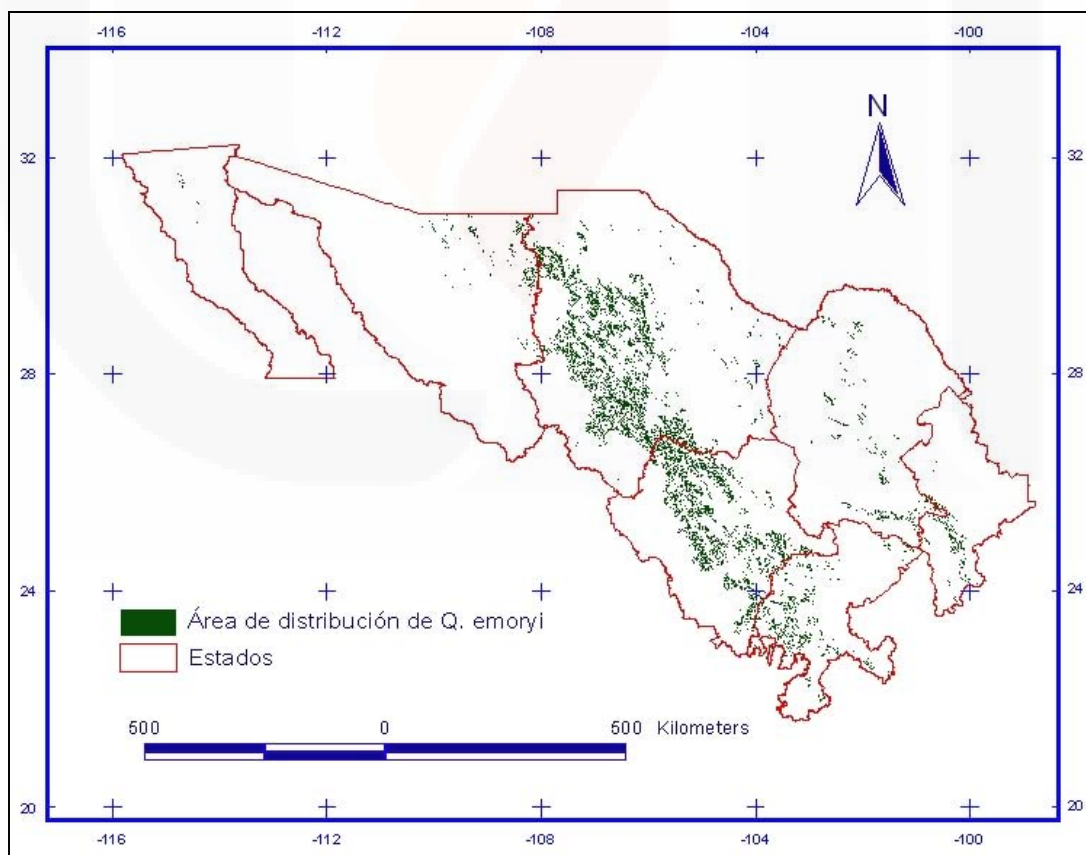
Figura 20. Área que comprende las unidades de suelo; litosol, cambisol eútrico, feozem háplico, luvisol crómico, rendzina, xerosol lúvico, planosol mólico, vertisol pélico y regosol eútrico, dentro del área de estudio.



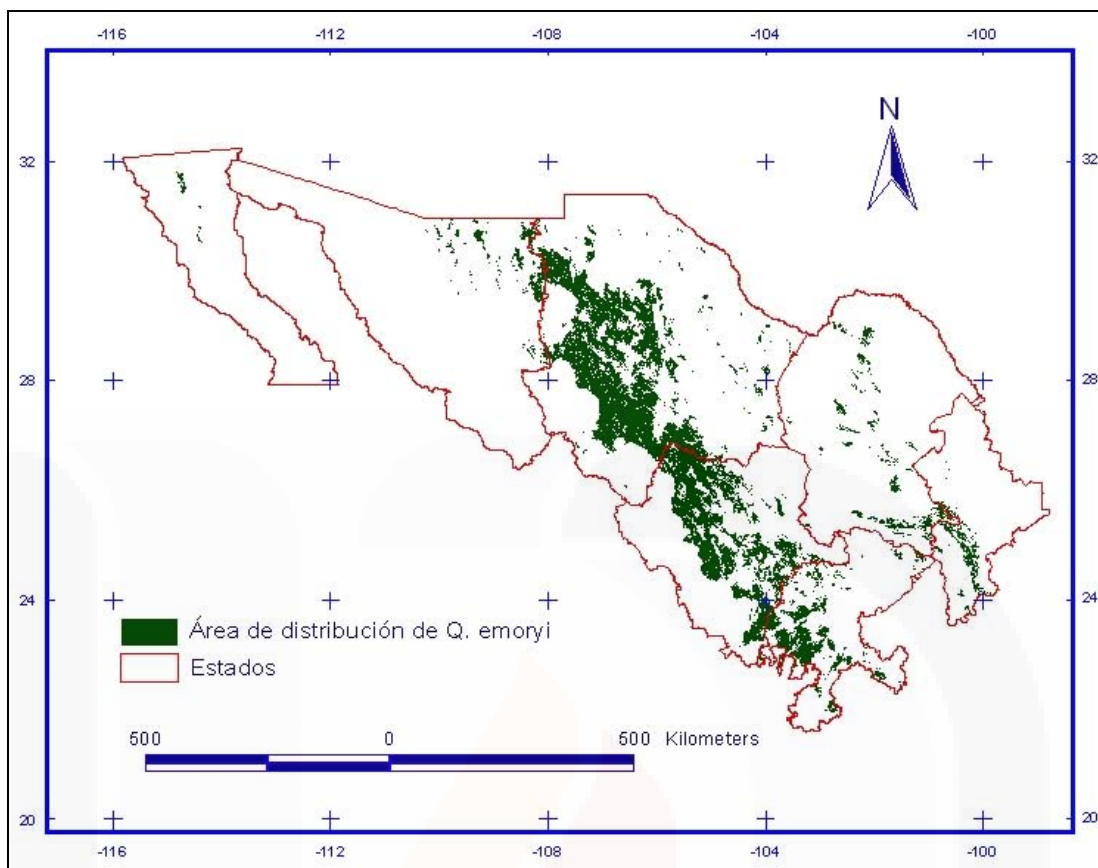
Por tratarse de una intersección hubo capas que por su tamaño o forma definieron los límites del modelo ya que cada capa agregada disminuye la superficie a menos que sea idéntica o mayor a la cual se le va a agregar, sólo si esto sucede la superficie se mantiene.

De acuerdo con las imágenes, la variable que más influencia tuvo sobre el modelo fue la altitud, por su menor número de píxeles y dejar fuera gran parte del área que comprenden Sonora y el desierto chihuahuense, definiendo la forma de la parte Norte y Este del modelo. La capa de la temperatura mínima de enero fue la que definió el modelo hacia el Sureste.

De los dos modelos que se obtuvieron; el que incluye la capa de orientación (Figura 21) redujo en casi 40% el número de píxeles con respecto al Modelo 57\_noorien (Figura 22), disminuyendo con ello su sensibilidad. Debido a lo anterior y a que los sitios de colecta se encontraron en laderas expuestas hacia todos los puntos cardinales y en lugares planos, se excluyó la variable orientación para los posteriores procesos.



**Figura 21. Modelo 57\_all, que incluye todas las variables (altitud, orientación, pendiente, temperatura mínima media de enero, temperatura media de junio, precipitación media anual, suelo y vegetación).**



**Figura 22. Modelo 57\_noorien. En este modelo no se tomó en cuenta la variable orientación.**

Ambos modelos comprenden áreas ubicadas principalmente a lo largo de la Sierra Madre Occidental y algunos manchones en la Sierra Madre Oriental, lo cual concuerda con lo que se conoce sobre la distribución de la especie, no así la inclusión en ambos, de extensas áreas dentro del Estado de Zacatecas que parecen continuarse aún más al Sur.

### **7.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES**

Debido a que el modelo es resultado de una intersección de imágenes, al no incluir en él las áreas con vegetación de matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule y agricultura de temporal, los sitios de colecta ubicados en estos tipos de vegetación, quedan fuera del modelo; sin embargo, sí se consideró la información brindada por dichos sitios en los intervalos para el resto

de las variables. Las áreas no representativas del hábitat de la especie no se incluyeron en la construcción del modelo con el objetivo de evitar incrementar errores en él debido al método de manejo de los datos, sin embargo, estos sitios brindan información valiosa sobre la especie pero ameritan un estudio aparte ya que pueden estar indicando áreas marginales denominadas por Zunino y Zullini (2003) como zonas de agotamiento o bien hallazgos casuales de la especie, de lugares favorables que le brinden ventajas evolutivas así como una fuerte relación con actividades antropogénicas las cuales influyen de una manera muy dinámica en el área de distribución.

## 8. VALIDACIÓN

### 8.1. MATERIALES Y MÉTODO

La validación consiste en comparar los resultados del modelo con un conjunto de observaciones o datos experimentales independientes para verificar si éste se ha desarrollado como lo esperado. En este caso, se hizo una validación a manera de prueba de diagnóstico del modelo para saber su grado de precisión y brindar las bases para el proceso de calibración.

Para ello, se realizaron pruebas para conocer la concordancia, validez, precisión y la probabilidad de predicción del modelo. Las estadísticas aplicadas fueron: índice de Kappa, precisión total, sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo.

El índice de Kappa mide la concordancia del modelo en comparación con datos comprobados. Es una medida de la concordancia cuando se cuenta con datos categóricos y se utiliza para conocer hasta qué punto los observadores coinciden en sus mediciones, en este caso un observador es el modelo y otro el conjunto de sitios conocidos.

La capacidad de clasificación del modelo se evalúa a través de la sensibilidad y especificidad. Sensibilidad es la probabilidad de que el modelo clasifique correctamente una presencia y especificidad es la probabilidad de que el modelo clasifique correctamente una ausencia.

La seguridad con que realiza la clasificación se evalúa a través del valor predictivo positivo y negativo. Valor predictivo positivo es la probabilidad de que esté presente la especie cuando cae en el área clasificada por el modelo como presencia. Valor predictivo negativo es la probabilidad de que no se encuentre la especie dentro del área clasificada por el modelo como ausencia.

Precisión total es la medida en que se realiza una correcta clasificación.

Las pruebas de concordancia, validez y seguridad deben valorarse en conjunto para tener una idea clara de la precisión del modelo.

Dichas pruebas se realizaron con base en una matriz de 2 x 2 comparando el modelo con un conjunto de sitios (par de coordenadas) tanto de presencia como de ausencia de la especie (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de 2 x 2 para conocer la precisión del modelo.

| Sitios con geo-referencia |           |                             |                             |           |
|---------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| Modelo<br>Obtenido        |           | Presencia                   | Ausencia                    | Total     |
|                           | Presencia | a<br>(Verdaderos positivos) | b<br>(Falsos positivos)     | a+b       |
|                           | Ausencia  | c<br>(Falsos negativos)     | d<br>(Verdaderos negativos) | c+d       |
|                           | Total     | a+c                         | b+d                         | n=a+b+c+d |

Índice de kappa 
$$\frac{(a+d/n)-((a+b) (a+c)+(c+d) (d+b))/n^2}{1- ((a+b) (a+c)+(c+d) (d+b))/n^2}$$

Precisión total 
$$a+d/n$$

Sensibilidad 
$$a/a+c$$

Especificidad 
$$d/b+d$$

Valor predictivo positivo 
$$a/a+b$$

Valor predictivo negativo 
$$d/d+c$$

El valor máximo para todas las pruebas es de 1 y sucede cuando no existe ningún falso positivo ni falso negativo.

Para valorar el índice de Kappa se utilizó la siguiente escala ampliamente utilizada y que se denomina de Landis y Koch por haberla propuesto ellos en Landis y Koch (1977):

| Valor de k  | Grado de concordancia |
|-------------|-----------------------|
| <0.00       | Nulo                  |
| 0.00 a 0.20 | Insignificante        |
| 0.21 a 0.40 | Mediano               |
| 0.41 a 0.60 | Moderado              |
| 0.61 a 0.80 | Sustancial            |
| 0.81 a 1.00 | Casi perfecto         |

#### 8.1.1. Obtención de Sitios de Presencia y de Ausencia

Los datos de presencia se obtuvieron de una base de datos con coordenadas de 80 colectas de la especie, pertenecientes a las colecciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Herbario INIF) y del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Rural-Durango (CIIDIR-Durango) así como los datos presentados por Passini (1982) (Cuadro 1 del Anexo C).

Para obtener sitios de ausencia de la especie, se tomó como base la información de sitios de colecta del género *Quercus* tanto del Herbario INEGI como del Herbario INIF. De ésta se obtuvieron las coordenadas de los sitios de colecta de *Quercus* en los siete estados de interés eliminando aquellos sitios cuyas coordenadas coincidieran con las de alguna colecta de *Q. emoryi*. Es decir, se obtuvo una relación de sitios de colecta de varias especies de *Quercus*, excepto de *Q. emoryi*. Aun cuando en tales sitios no se colectó *Q. emoryi*, no significa que no pueda estar presente, sin embargo, en el caso de la colección del INEGI, la especie no es

abundante o dominante ya que no se realizó una colecta de la misma. Todos estos sitios de colecta se encuentran dentro de las mismas regiones fisiográficas ocupadas por el modelo.

Posteriormente se descartaron los sitios de aquellas especies de las que existe al menos una colecta compartida con *Q. emoryi* de acuerdo con las colecciones del INEGI, INIFAP y Passini (1982); lo cual significó eliminar de la base de datos los sitios correspondientes a las especies: *Q. depressipes* Trel., *Q. rugosa* Née, *Q. grisea* Liebm., *Q. chihuahuensis* Trel., *Q. hypoxantha* Trel., *Q. greggii* (A. DC.) Trel., *Q. intricata* Trel., *Q. laeta* Liebm., *Q. hintoniorum* Nixon et C. H. Mull., *Q. mexicana* H. et B., *Q. arizonica* Sargent, *Q. sideroxyla* H. et B., *Q. coccolobifolia* Trel., *Q. fulva* Liebm. y *Q. hypoleuroides* Camus.

Asimismo, se eliminaron los sitios correspondientes a las especies *Q. crassifolia* H. et B. y *Q. durifolia* von Seemen por considerar que dichas especies pueden formar una asociación con *Q. emoryi*, de acuerdo con las observaciones en campo y a los resultados de la extracción de clases al sobreponer al modelo la capa preliminar de sitios, utilizando la herramienta “Accuracy assessment” dentro de la ventana “Classifier” del programa ERDAS.

Se obtuvo un total de 291 sitios (de ausencia), sin embargo, debido a que se contó con la información de 80 sitios de colecta de la especie (sitios de presencia), se seleccionaron al azar 80 de los 291 sitios de ausencia para realizar las seis mediciones de precisión (Cuadro 2 y Figura 1 del Anexo C).

### **8.1.2. Matriz de 2 x 2**

Para conocer el número de sitios que caen dentro de las clasificaciones del modelo, se utilizó la herramienta “Accuracy assessment” del programa ERDAS, con la cual automáticamente se obtienen los sitios que caen dentro y fuera del área clasificada como presencia, al proyectar sobre éste las coordenadas en formato de texto tanto de los sitios de presencia como de ausencia.



Debido a que hubo ligeros cambios en la forma y dimensión de algunas áreas en las imágenes de vegetación y suelo al ser transformadas de formato vectorial a raster y a que al realizar la validación se comparan áreas (del modelo) contra puntos (sitios de presencia y de ausencia), resultando en que entre los sitios de presencia y de ausencia haya áreas que definen posibles errores de inclusión y hacen que dos modelos diferentes en forma y dimensiones puedan tener los mismos valores de precisión; se midieron las distancias entre los sitios de presencia excluidos del modelo y éste y se consideraron como sitios de presencia “*sensu lato*” aquellos excluidos pero ubicados a menos de un kilómetro de distancia del modelo. El número de sitios que cayeron dentro del modelo, obtenidos directamente con dicha herramienta, se consideraron como sitios de presencia “*sensu stricto*”. Esto permitió darle un mayor valor en las estadísticas de precisión, al modelo con menos errores tanto de exclusión como de inclusión, sin descartar el análisis visual que requiere la detección de errores de este tipo.

#### **8.1.3. Verificación en campo del Modelo 57\_norien**

Se realizó una verificación del Modelo 57\_norien en los Estados de Durango y Zacatecas del 6 al 9 de diciembre del 2005, con el fin corroborar la colecta más al Sur (registro 3527 del Herbario INEGI) (Cuadro 3 del Anexo A) y la presencia de la especie en el Estado de Zacatecas, ya que sólo Rzedowski (1978) menciona la presencia de la especie en este Estado.

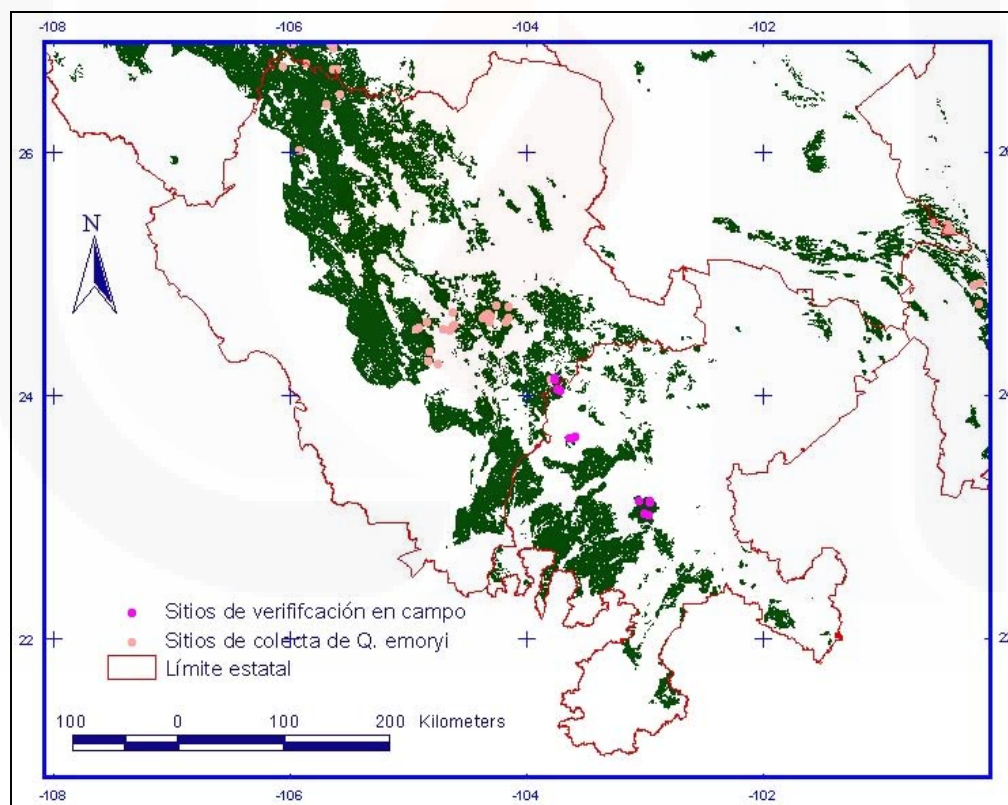
Se verificaron 15 sitios y se colectó material botánico dentro de un área comprendida en el límite Sur de Durango y Norte de Zacatecas (Figura 23), que el modelo clasificó como aquella en la que están presentes los intervalos para todas las variables consideradas en la construcción del modelo.

#### **8.1.4. Modelo Basado en 136 sitios de Colecta**

En un intento por conocer un modelo basado en un número mayor de sitios de colecta (bajo el supuesto de que dicho modelo contendría todos o casi todos los sitios de presencia

utilizados en la matriz de 2 x 2) y compararlo con el modelo construido con la base de datos del INEGI (57 sitios); se construyó otro modelo basado en los valores mínimos y máximos de cada variable, utilizando 150 sitios (57 sitios de la colección del INEGI y 93 sitios de las colecciones del INIFAP, CIIDIR-Dgo. y Passini (1982)).

En este caso se eliminaron de la base de datos, 14 sitios para no considerar de la carta de uso de suelo y vegetación, las áreas que indicaban una relación antropogénica (pastizal inducido, zona urbana y agricultura de temporal y de riego) puesto que la ubicación de tales sitios es cercana a bosques y la inclusión de dichas categorías incrementaba con mucho el área del modelo. Además, ya que el objetivo de este modelo fue el de referente para comparación, en las estadísticas de precisión aplicadas a este modelo se utilizaron como sitios de presencia los mismos 136 con los cuales se construyó para reducir el número de sitios excluidos del modelo.



**Figura 23.** Sitios de verificación en campo de la presencia de *Q. emoryi* en Durango y Zacatecas.

Se realizaron las seis pruebas estadísticas tanto al modelo basado en 57 sitios de colecta como al basado en 136.

## 8.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas para evaluar la concordancia, validez y probabilidad de predicción del modelo, deben analizarse en conjunto, ya que un valor alto únicamente de alguna de ellas no le confiere calidad al modelo. Por ejemplo, un valor de 1 ya sea en sensibilidad o en especificidad puede estar asociado a un gran número de falsos positivos o negativos respectivamente.

De igual manera, un valor predictivo negativo del 100% (correcta clasificación de ausencias) indica que no hay falsos negativos, sin embargo, puede estar asociado a un exceso de falsos positivos. Y un valor predictivo positivo del 100% aunque indica que no hay falsos positivos (correcta clasificación de presencias) puede estar asociado a un gran número de falsos negativos.

A mayor número de falsos positivos, disminuye la especificidad y el valor predictivo positivo. A mayor número de falsos negativos, disminuye la sensibilidad y el valor predictivo negativo.

Al disminuir los verdaderos positivos, disminuye la sensibilidad y el valor predictivo negativo. Al disminuir los verdaderos negativos, disminuye la especificidad y el valor predictivo positivo.

Por ello, una sensibilidad alta junto con una especificidad baja indica que el área del modelo es demasiado amplia y si bien incluye a todos los sitios de presencia también da cabida a un exceso de sitios de ausencia. O bien, una especificidad alta junto con una sensibilidad baja indica que el área del modelo es tan reducida que excluye tanto a los sitios de ausencia como de presencia.

El valor más alto del índice de Kappa se presenta cuando no hay falsos positivos ni negativos y significa la mayor concordancia entre las observaciones.

Los resultados de las seis pruebas estadísticas obtenidas en el Modelo basado en 57 sitios del Herbario INEGI y del Modelo basado en 136 sitios de la suma de colecciones, se presentan en los Cuadros 8 y 10 respectivamente. La distribución de sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi* en los modelos, se presenta en los Cuadros 7 y 9 así como en las Figuras 24 y 25.

Cuadro 7. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57\_noorien.

| SITIOS GEO-REFERIDOS                     |           |                          |                       |          |                          |                       |
|------------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
|                                          |           | Presencia                |                       | Ausencia | Total                    |                       |
| MODELO<br>57_noorien<br><br>(Base INEGI) |           | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |          | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |
|                                          | Presencia | 59                       | 63                    | 15       | 74                       | 78                    |
|                                          | Ausencia  | 21                       | 17                    | 65       | 86                       | 82                    |
|                                          | Total     | 80                       | 80                    | 80       | 160                      | 160                   |

Cuadro 8. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 57\_noorien.

|                 | ss    | sl    |
|-----------------|-------|-------|
| Kappa           | 0.550 | 0.600 |
| Precisión total | 0.775 | 0.800 |
| Sensibilidad    | 0.738 | 0.788 |
| Especificidad   | 0.813 | 0.813 |
| VP positivo     | 0.797 | 0.808 |
| VP negativo     | 0.756 | 0.793 |

Cuadro 9. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136\_noorien.

| SITIOS GEO-REFERIDOS                                                              |           |                          |                       |          |                          |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
|                                                                                   |           | Presencia                |                       | Ausencia | Total                    |                       |
| MODELO<br>136_noorien<br><br>(Base INEGI, INIFAP,<br>CIIDIR-Dgo. y Passini, 1982) |           | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |          | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |
|                                                                                   | Presencia | 131                      | 135                   | 66       | 197                      | 201                   |
|                                                                                   | Ausencia  | 5                        | 1                     | 70       | 75                       | 71                    |
|                                                                                   | Total     | 136                      | 136                   | 136      | 272                      | 272                   |

Cuadro 10. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 136\_noorien

|                        | <b>ss</b> | <b>sl</b> |
|------------------------|-----------|-----------|
| <b>Kappa</b>           | 0.478     | 0.507     |
| <b>Precisión total</b> | 0.739     | 0.754     |
| <b>Sensibilidad</b>    | 0.963     | 0.993     |
| <b>Especificidad</b>   | 0.515     | 0.515     |
| <b>VP positivo</b>     | 0.665     | 0.672     |
| <b>VP negativo</b>     | 0.933     | 0.986     |

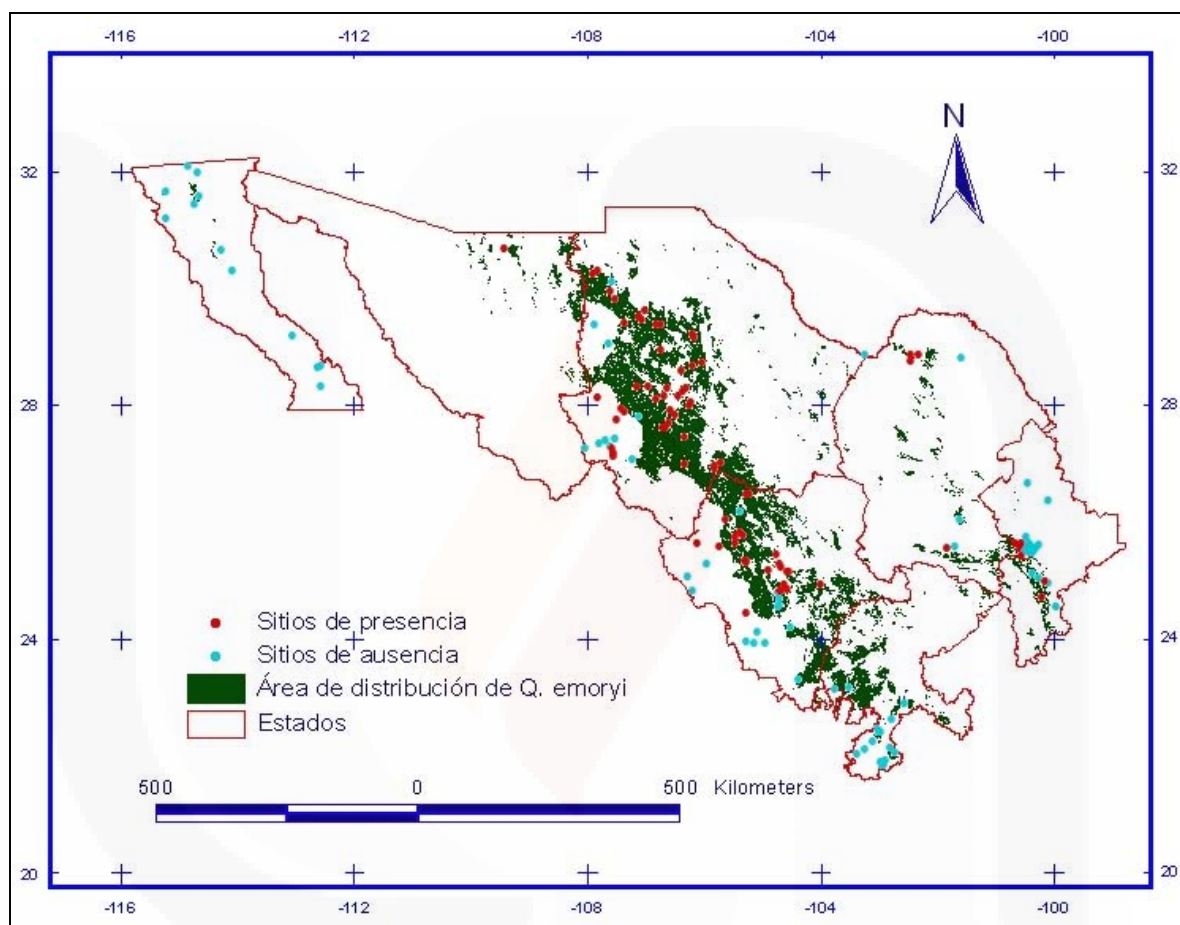
El valor de k obtenido para los dos modelos es moderado (0.4 a 0.6).

La probabilidad de que el modelo 57\_noorien clasifique correctamente una presencia (sensibilidad) es de 73% y de que clasifique correctamente una ausencia (especificidad) es de 81%. El 79% de los casos en los que el modelo clasificó una presencia, existe una colecta que la confirma, mientras que en el 75% de los casos en los que el modelo clasifica ausencias, hay sitios de ausencia que lo confirman. Con base en los resultados puede afirmarse que existe un equilibrio en las estadísticas de precisión porque no hay valores contrastantes entre ellas que indiquen dimensiones extremas del modelo, es decir, una superficie extensa o muy reducida. Sin embargo, de acuerdo con la Figura 24 y como se hizo notar en los resultados del capítulo "Construcción del Modelo", es posible que las áreas en el estado de Zacatecas sean errores de inclusión.

Los resultados con los sitios "*sensu lato*" como era de esperarse, aumentan los valores de las estadísticas de precisión, excepto en especificidad.

El área que comprende el modelo basado en 136 sitios (Fig. 25) es mayor a la del modelo basado en la colección del INEGI debido a que está conformado por intervalos más amplios de las variables, lo cual hace que incluya mayor número de sitios tanto de presencia como de ausencia y por lo tanto aunque su sensibilidad es alta (96%), contrasta con su especificidad (55%), disminuyendo esto último el valor del índice de Kappa. Estos valores indican que el modelo tiene una amplia extensión permitiendo que haya no sólo gran número de verdaderos sino también de falsos positivos, lo cual se aprecia claramente en la Figura 25. El 66% de los casos en

los que el modelo clasificó una presencia, existe una colecta que la confirma, mientras que en el 93% de los casos en los que el modelo clasifica ausencias, hay sitios de ausencia que lo confirman. Al tener una especificidad baja es poco selectivo para la especie, lo cual además de presentar gran número de errores de inclusión no lo hace representativo de su distribución.

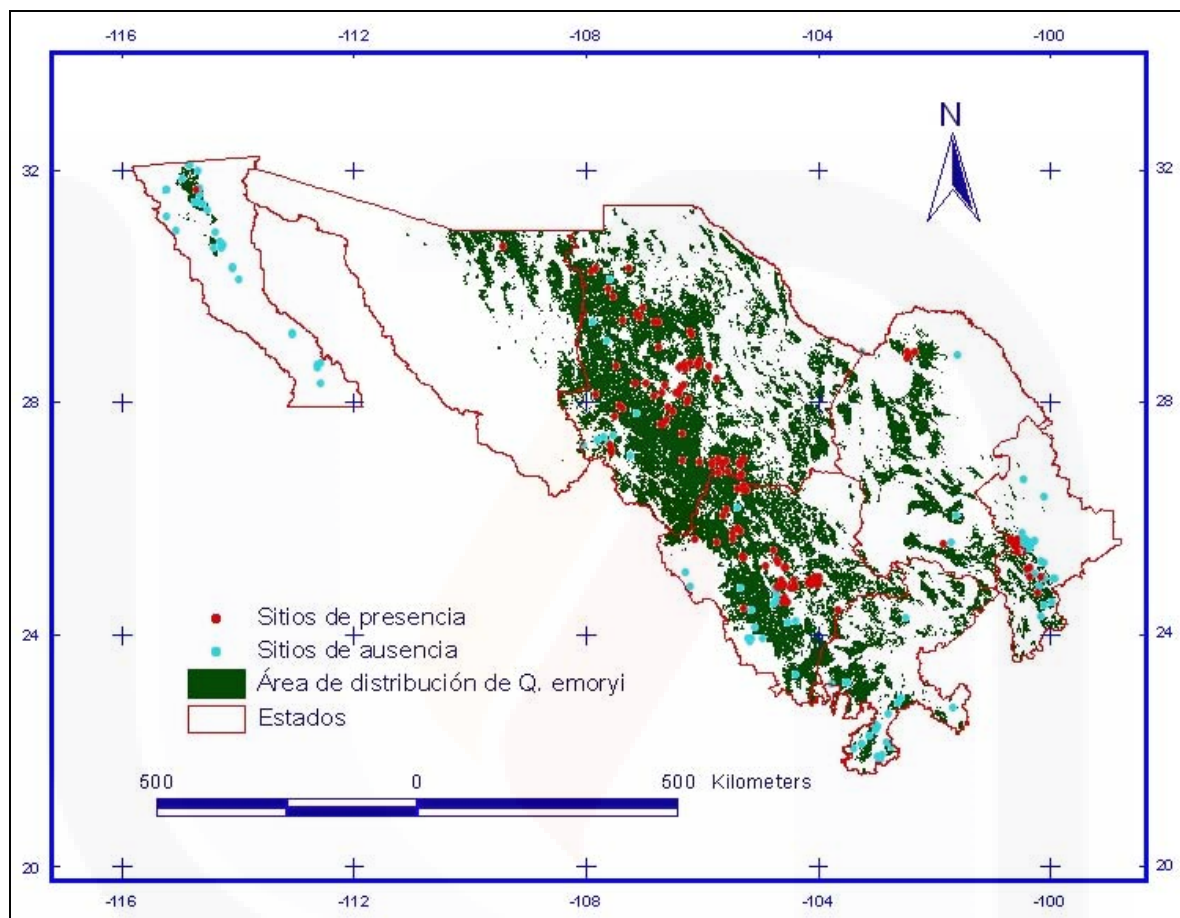


**Figura 24. Modelo 57\_noorien y sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.**

Llama la atención que el intervalo de temperatura mínima de enero casi fue el mismo con la colección del INEGI (57 sitios) que con la suma de colecciones (136 sitios). Entre los valores mínimo y máximo hay 14.75 a 14.84 °C (Cuadro 5 y Cuadro 4 del Anexo C); en cambio, entre los valores mínimo y máximo de temperatura media de junio hay 12.76 a 18.47 °C. En el caso de precipitación media anual, comparando ambos intervalos hay 466.17 a 906.59 mm, entre los valores mínimo y máximo. En el intervalo de altitud hay 1097 a 1636 m y en el de pendiente hay



66 a 76° entre los valores mínimo y máximo de ambos intervalos. De acuerdo con lo anterior puede inferirse que la especie muestra menos plasticidad con la temperatura mínima de enero que con el resto de las variables.



**Figura 25. Modelo 136\_noorien y sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.**

De los 80 sitios de presencia utilizados para las pruebas de concordancia y precisión del Modelo 57\_noorien (Figura 24), 21 quedan fuera de éste; sin embargo, cuatro sitios se encuentran a menos de un km de distancia del área comprendida por el modelo, por lo que pueden considerarse dentro de él. Los 17 sitios restantes presentan valores de precipitación, altitud, temperatura media, vegetación, suelo y pendiente, fuera de los intervalos utilizados. De éstos, son evidentes al proyectar los sitios de presencia sobre el modelo, ocho sitios que forman una franja hacia el Suroeste de Chihuahua y Noroeste de Durango. La mayoría de ellos se



encuentra entre 15 y 43 km de distancia de la zona de presencia del modelo, conformando una zona extensa de omisión en éste.

La distancia que hay entre estos sitios excluidos y el área de presencia del modelo, indican que la muestra utilizada (la colección de *Quercus emoryi* del Herbario INEGI) tiene un sesgo. La colección de *Quercus emoryi* del INEGI carece de colectas hacia la parte Oeste de Chihuahua; los sitios de esta zona están caracterizados por precipitaciones superiores a 700 mm anuales (el límite superior del intervalo de precipitación considerado para la construcción del modelo fue de 686 mm).

A menor distancia que los anteriores, también sobresalen tres sitios ubicados al Norte de Coahuila en el Municipio de Ocampo, que quedan excluidos del modelo; dos de ellos se encuentran a poco más de 6 km de distancia de éste.

El utilizar adecuada información botánica con una correcta geo-referencia y proveniente de diferentes fuentes, facilita el análisis visual. Dicho análisis permite la identificación de posibles errores de inclusión y de omisión en los modelos.

En los 15 sitios de verificación en campo, no se encontró *Q. emoryi*. Hubo áreas cercanas al sitio de colecta de la especie más al Sur en el Municipio de Cuencamé, Durango, que presentaron paisajes semejantes a éste, sin embargo fue imposible su acceso, por lo que se requiere una verificación en campo más intensa de la presencia de la especie en estas áreas.

También se revisó la colección de *Q. emoryi* del Herbario de la Universidad Autónoma de Zacatecas el 18 de enero del 2006 y no se encontró un ejemplar de la especie.

De acuerdo con las colectas utilizadas tanto para la construcción como para las pruebas de precisión del modelo y con base en la verificación de campo, en la revisión de material botánico del Herbario de la UAZ y en literatura, puede inferirse que el Modelo 57\_noorien presenta errores de inclusión, al Sur de Durango y en el Estado de Zacatecas.

Por lo anterior, fue necesaria la calibración del modelo, es decir, ajustar los intervalos de las variables de tal forma que el modelo incluya el mayor número posible de los sitios de presencia y el menor de errores de inclusión.

### **8.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES**

Aunque el valor del índice de Kappa de los Modelos57\_noorien y 136\_noorien los describe como moderadamente concordantes con la muestra utilizada para su validación, entre ellos hay diferencias en forma y dimensión. Esto se debe, como se mencionó en el capítulo anterior, a que para las pruebas de concordancia y precisión se utilizaron puntos (par de coordenadas), por lo que el espacio que existe entre éstos puede variar sin que esto altere el resultado de las pruebas en los modelos. Debido a ello una revisión de los resultados de las pruebas es insuficiente sin el análisis visual de la imagen.

A través de la validación se detectó la ausencia de colectas en una franja hacia el Oeste del Estado de Chihuahua en la colección del INEGI, por lo que con este tipo de pruebas puede conocerse la representatividad de una colección científica.

Dado que la validación hecha antes de la calibración a los modelos obtenidos tuvo como finalidad evaluar la precisión del modelo como base para su ajuste; una posterior validación con un conjunto mayor de datos independientes (como la que contiene el Herbario Nacional del Instituto de Biología) contribuiría con mucho a la comprensión de la relación de la especie no sólo con factores abióticos sino con otras especies del mismo género.

## 9. CALIBRACIÓN

### 9.1. MATERIALES Y MÉTODO

Richardson y Berish (2003) definen el proceso de calibración como un ajuste de los parámetros del modelo para mejorar su capacidad de predecir el conjunto de datos para la verificación.

#### 9.1.1. Errores de Omisión

Al calibrar el modelo se intentó conseguir que éste incluyera el mayor número posible de sitios de presencia y el menor de errores de inclusión. Los errores de omisión se cometen al considerar como ausentes, sitios de presencia de la especie (falsos negativos); y los errores de inclusión se cometen al considerar como presencia, sitios donde la especie está ausente (falsos positivos).

Con el objetivo de disminuir los errores de omisión, se verificaron los valores obtenidos de cada variable de los 17 sitios de presencia “*sensu lato*” que caen afuera del Modelo 57\_noorien (Cuadro 7 y Figura 24) para conocer las variables y los intervalos a modificar. De acuerdo con el Cuadro 7, son 21 sitios de presencia que no se encontraron dentro del área que el modelo clasifica como la intersección de todas las variables de los cuales, cuatro estuvieron a menos de un km de distancia de dicha área.

Dado que el modelo es una intersección de áreas en las cuales se cumplen los intervalos para cada variable, es suficiente que un sitio se encuentre fuera del intervalo de una sola variable, para que quede excluido del modelo.

De los 17 sitios, 11 presentan valores de precipitación media anual fuera del intervalo utilizado para esa variable. De los seis restantes; tres presentan valores fuera del intervalo para las

variables altitud y suelo; dos para las variables altitud y vegetación y uno solamente para la variable suelo (Cuadro 4 del Anexo C). Debido a que la modificación de los intervalos para dichas variables incrementa los errores de inclusión provocado principalmente por agregar al intervalo de suelo el tipo xerosol cálcico así como por ampliar el intervalo de altitud de 1650 a 2750 por el de 1262 a 2900 msnm; los intervalos de esas variables no se ajustaron. De igual manera, dado que la especie no es característica de bosque de oyamel ni de vegetación de galería que son los tipos en los que se encuentran dos de los sitios excluidos, no se hicieron ajustes en el intervalo de tipos de vegetación. Es decir, únicamente se ajustó el intervalo de la variable precipitación para dar cabida a 11 sitios que por su ubicación no sólo contribuían a la disminución de la precisión del modelo, también definían una forma irreal de éste.

El intervalo ajustado en precipitación estuvo basado en la muestra de 136 sitios de colecta de la especie y fue de 218 a 1125 mm (Cuadro 4 del Anexo C).

#### **9.1.2. Errores de Inclusión**

Para disminuir los errores de inclusión, fue necesario analizar cada capa correspondiente a una variable construida con base en los 136 sitios y realizar modificaciones en cada una de ellas para detectar sus efectos sobre el modelo. Esto debido a que las frecuencias de clase de la matriz con 57 sitios no revelan tan claramente como la de 136 sitios, una distribución normal para las variables altitud, temperatura mínima de enero, temperatura media de junio y precipitación (Cuadro 4 y Cuadro 11). Con la muestra más grande es fácilmente distinguir cuáles clases presentan mayores frecuencias y con base en ello hacer una selección de las mismas para reducir los errores de inclusión.

Del Cuadro 11 hay dos variables con datos que llaman la atención: la temperatura mínima de enero y la precipitación. La primera, porque es la única cuyos valores en las frecuencias son continuos (esto sucede también con la muestra de 57 sitios). La segunda, porque presenta varias clases continuas con frecuencia de cero, lo cual es más notorio cuando las clases son de 10 mm en lugar de 50 mm (Cuadro 12).

Cuadro 11. Frecuencias de clase de la matriz con 136 sitios de colecta de *Q. emoryi*.

| Altitud |       | Pendiente |       | T. mínima 01 |       | T. media 06 |       | Precipitación |       | Suelo             |       | Veg |       |
|---------|-------|-----------|-------|--------------|-------|-------------|-------|---------------|-------|-------------------|-------|-----|-------|
| Clase   | Frec. | Clase     | Frec. | Clase        | Frec. | Clase       | Frec. | Clase         | Frec. |                   | Frec. |     | Frec. |
| 1250    | 0     | 0         | 7     | -12          | 0     | 7           | 0     | 200           | 0     | Litosol           | 53    | PN  | 27    |
| 1300    | 1     | 5         | 39    | -11          | 2     | 8           | 1     | 250           | 4     | Feozem háplico    | 39    | BQ  | 27    |
| 1350    | 0     | 10        | 18    | -10          | 2     | 9           | 0     | 300           | 2     | Regosol eútrico   | 18    | BPQ | 24    |
| 1400    | 0     | 15        | 18    | -9           | 6     | 10          | 0     | 350           | 7     | Cambisol eútrico  | 6     | BQP | 21    |
| 1450    | 2     | 20        | 15    | -8           | 12    | 11          | 0     | 400           | 7     | Vertisol pélico   | 4     | BP  | 16    |
| 1500    | 0     | 25        | 10    | -7           | 11    | 12          | 2     | 450           | 27    | Rendzina          | 3     | BW  | 8     |
| 1550    | 0     | 30        | 6     | -6           | 21    | 13          | 3     | 500           | 28    | Xerosol lúvico    | 3     | ML  | 4     |
| 1600    | 2     | 35        | 6     | -5           | 14    | 14          | 2     | 550           | 22    | Cambisol vértico  | 2     | MDM | 1     |
| 1650    | 2     | 40        | 3     | -4           | 11    | 15          | 0     | 600           | 17    | Xerosol cálcico   | 2     | MC  | 3     |
| 1700    | 5     | 45        | 7     | -3           | 16    | 16          | 5     | 650           | 8     | Planosol mólico   | 2     | VG  | 1     |
| 1750    | 3     | 50        | 3     | -2           | 9     | 17          | 9     | 700           | 5     | Planosol eútrico  | 1     | BJ  | 1     |
| 1800    | 6     | 55        | 0     | -1           | 8     | 18          | 23    | 750           | 1     | Regosol calcárico | 1     | MDR | 2     |
| 1850    | 5     | 60        | 1     | 0            | 9     | 19          | 21    | 800           | 1     | Luvisol crómico   | 1     | BA  | 1     |
| 1900    | 8     | 65        | 1     | 1            | 8     | 20          | 20    | 850           | 4     | Xerosol háplico   | 1     |     |       |
| 1950    | 5     | 70        | 1     | 2            | 3     | 21          | 13    | 900           | 1     |                   |       |     |       |
| 2000    | 10    | 75        | 0     | 3            | 4     | 22          | 13    | 950           | 1     |                   |       |     |       |
| 2050    | 9     | 80        | 1     |              |       | 23          | 8     | 1000          | 0     |                   |       |     |       |
| 2100    | 10    |           |       |              |       | 24          | 9     | 1050          | 0     |                   |       |     |       |
| 2150    | 9     |           |       |              |       | 25          | 5     | 1100          | 0     |                   |       |     |       |
| 2200    | 11    |           |       |              |       | 26          | 2     | 1150          | 1     |                   |       |     |       |
| 2250    | 11    |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2300    | 9     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2350    | 9     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2400    | 7     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2450    | 7     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2500    | 1     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2550    | 2     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2600    | 0     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2650    | 0     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2700    | 0     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2750    | 1     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2800    | 0     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2850    | 0     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |
| 2900    | 1     |           |       |              |       |             |       |               |       |                   |       |     |       |

Cuadro 12. Frecuencias de clase (clases de 10 mm) de la variable precipitación para los 136 sitios de colecta de *Q. emoryi*.

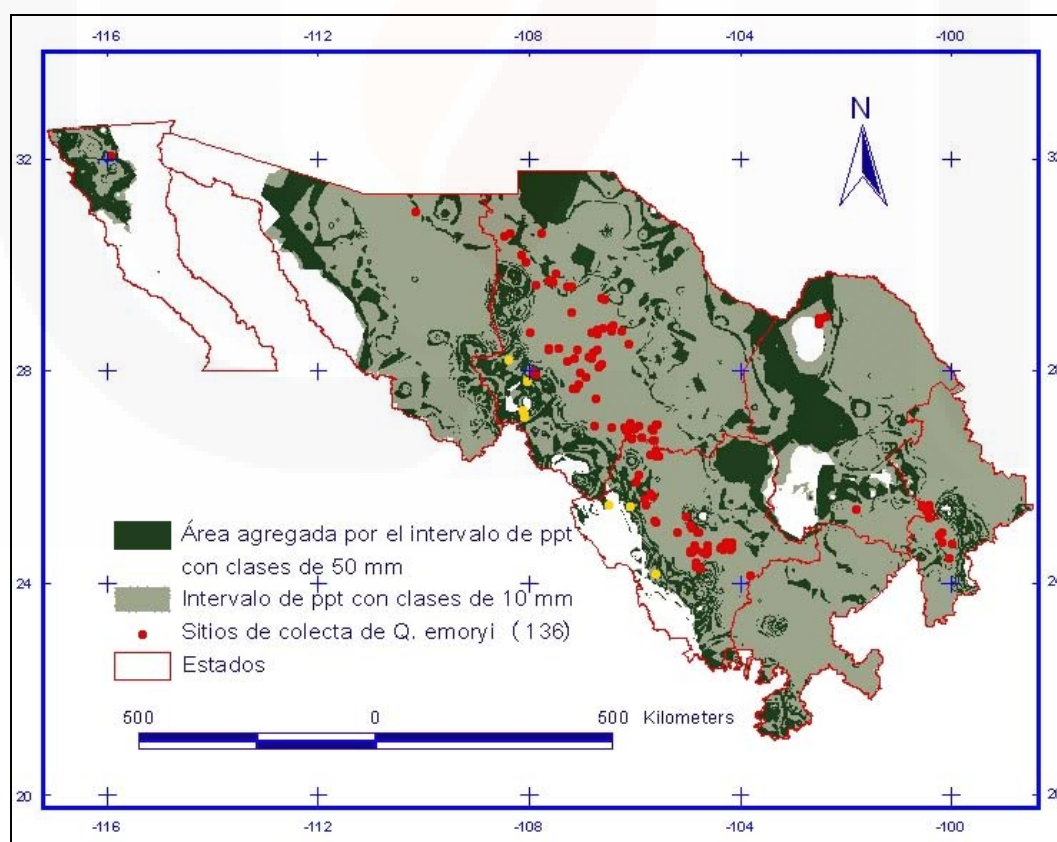
| Precipitación |            |  |       |            |  |       |            |
|---------------|------------|--|-------|------------|--|-------|------------|
| Clase         | Frecuencia |  | Clase | Frecuencia |  | Clase | Frecuencia |
| 210           | 0          |  | 520   | 4          |  | 830   | 0          |
| 220           | 3          |  | 530   | 1          |  | 840   | 1          |
| 230           | 1          |  | 540   | 7          |  | 850   | 0          |
| 240           | 0          |  | 550   | 6          |  | 860   | 0          |
| 250           | 0          |  | 560   | 2          |  | 870   | 0          |
| 260           | 0          |  | 570   | 7          |  | 880   | 0          |
| 270           | 0          |  | 580   | 5          |  | 890   | 0          |
| 280           | 0          |  | 590   | 2          |  | 900   | 1          |
| 290           | 1          |  | 600   | 1          |  | 910   | 0          |
| 300           | 1          |  | 610   | 0          |  | 920   | 0          |
| 310           | 1          |  | 620   | 1          |  | 930   | 0          |
| 320           | 0          |  | 630   | 5          |  | 940   | 1          |
| 330           | 4          |  | 640   | 0          |  | 950   | 0          |
| 340           | 1          |  | 650   | 2          |  | 960   | 0          |
| 350           | 1          |  | 660   | 0          |  | 970   | 0          |
| 360           | 2          |  | 670   | 0          |  | 980   | 0          |
| 370           | 0          |  | 680   | 3          |  | 990   | 0          |
| 380           | 2          |  | 690   | 1          |  | 1000  | 0          |
| 390           | 2          |  | 700   | 1          |  | 1010  | 0          |
| 400           | 1          |  | 710   | 0          |  | 1020  | 0          |
| 410           | 1          |  | 720   | 0          |  | 1030  | 0          |
| 420           | 9          |  | 730   | 0          |  | 1040  | 0          |
| 430           | 5          |  | 740   | 1          |  | 1050  | 0          |
| 440           | 9          |  | 750   | 0          |  | 1060  | 0          |
| 450           | 3          |  | 760   | 0          |  | 1070  | 0          |
| 460           | 8          |  | 770   | 0          |  | 1080  | 0          |
| 470           | 5          |  | 780   | 0          |  | 1090  | 0          |
| 480           | 7          |  | 790   | 0          |  | 1100  | 0          |
| 490           | 3          |  | 800   | 1          |  | 1110  | 0          |
| 500           | 5          |  | 810   | 1          |  | 1120  | 0          |
| 510           | 4          |  | 820   | 2          |  | 1130  | 1          |

Las frecuencias obtenidas en la precipitación pueden deberse al sesgo implícito en los datos, a la naturaleza de este parámetro o a la propia respuesta de la especie. Austin (1990, citado

en Austin, 2002) puso a prueba la hipótesis de que la respuesta de una especie ante un gradiente ambiental puede tener este tipo de saltos, y explica que los límites de la especie hacia los extremos estuvo determinada por tolerancias fisiológicas mientras que los límites internos estuvieron determinados por competencia.

La posibilidad de sesgo en los datos botánicos es reducida porque los sitios que se encuentran entre los conjuntos de clases con frecuencia cero, provienen de tres fuentes de información y la mayoría de dichos sitios forman una franja bien definida hacia la parte Oeste de Chihuahua y Durango (Figura 26), la cual coincide con precipitaciones mayores a 790 mm (Cuadro 12 y Cuadro 1 del Anexo C).

Por esta razón, para reducir errores de inclusión tanto en el modelo basado en 57 sitios como en el basado en 136, se ajustó el intervalo de precipitación utilizando clases de 10 mm y considerando únicamente las frecuencias mayores de cero basadas en la muestra de 136 sitios.

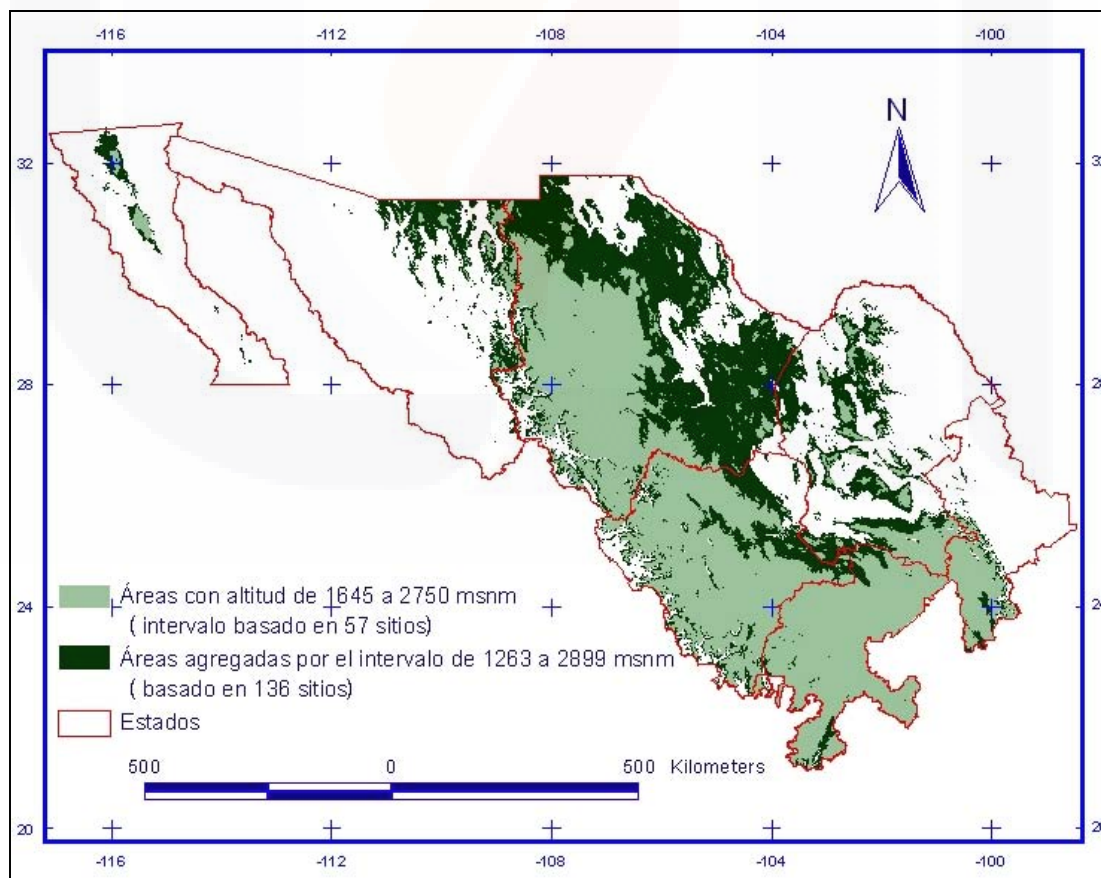


**Figura 26.** Sobreposición de imágenes con los intervalos de precipitación basados en 136 sitios de colecta y considerando únicamente las clases con frecuencia mayores a cero.



En la Figura 26 se presentan dos capas con la precipitación media anual, una considerando clases de 50 mm y otra con clases de 10 mm. El área en verde oscuro es la que agrega la capa con clases de 50 mm. Los puntos representan los sitios de colecta de la especie; los resaltados en amarillo corresponden a los sitios con precipitaciones mayores a 790 mm y provienen de tres colecciones científicas.

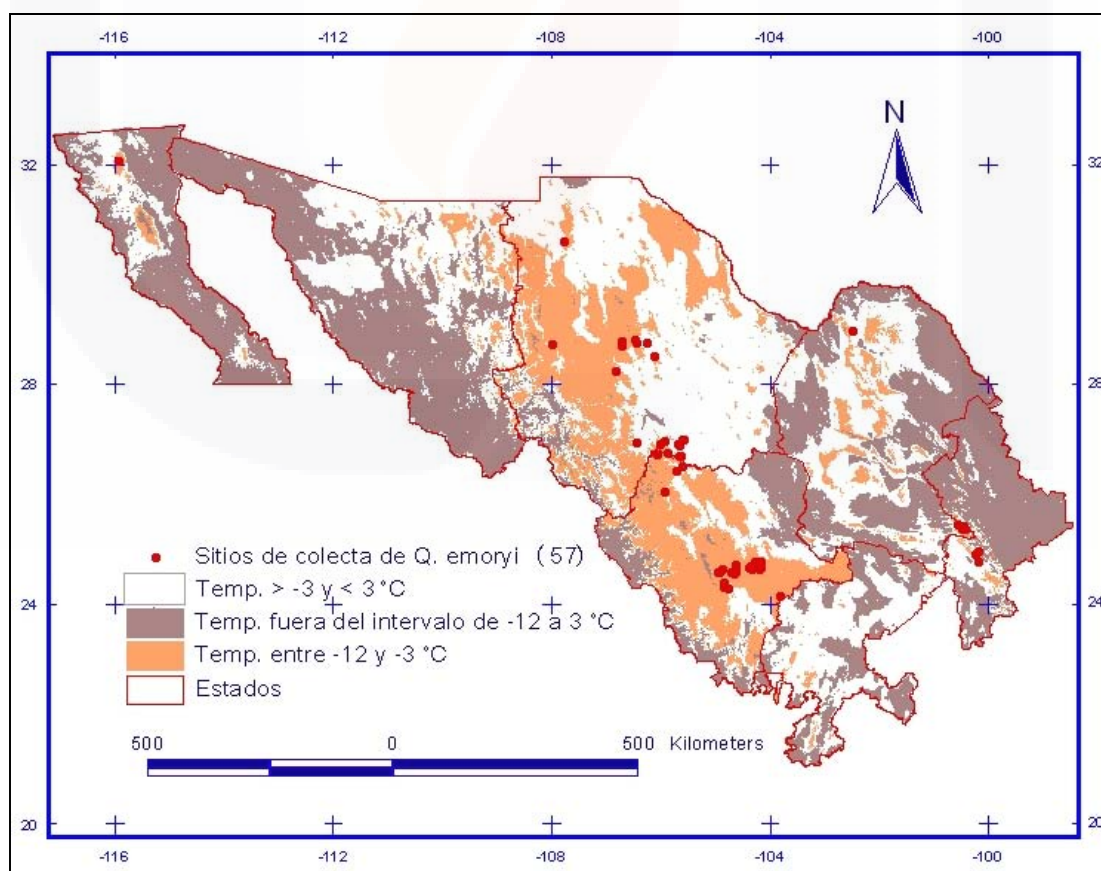
En el análisis de las capas con los intervalos de cada una de las variables, se detectó que las variables con más incidencia en la reducción de los errores de inclusión al recortar su intervalo, son altitud y temperatura mínima de enero (Figuras 27 y 28). El intervalo de altitud reducido en ambos extremos, disminuye errores de inclusión principalmente hacia el desierto chihuahuense, y el de temperatura mínima de enero, reducido en el extremo superior, disminuye errores de inclusión hacia el Sur de Durango. En la Figura 27, el área en verde oscuro es la que agrega la muestra más grande (136 sitios).



**Figura 27. Sobreposición de capas con el intervalo de altitud basado en 57 y en 136 sitios de colecta.**

En la Figura 28, el área en blanco es aquella que representa temperaturas entre  $-3$  y  $3^{\circ}\text{C}$ . El área que aparece en naranja es aquella que representa temperaturas entre  $-12$  y  $-3^{\circ}\text{C}$ . Los puntos rojos indican los sitios de colecta de la especie de acuerdo con la colección del Herbario INEGI.

Por lo tanto, se utilizó el intervalo de  $-12$  a  $-3^{\circ}\text{C}$ , ya que éste permitió la inclusión de las colectas tanto de Baja California como la del Municipio de Cuencamé, Durango; además de reducir errores de inclusión en la parte Sur del modelo, en donde de acuerdo con Spellenberg (2000) y las colecciones científicas utilizadas en este trabajo, no se han realizado colectas o no se ha encontrado la especie. Dichas colectas junto con las de la parte Norte de Coahuila, tienen relevancia por estar ubicadas ya sea en los límites Norte (para México) y Sur de la distribución de la especie o en hábitats con condiciones ambientales extremas, lo cual podría estar indicando la presencia de ecotipos.



**Figura 28.** Sobreposición de capas con intervalos de temperatura mínima de  $-12$  a  $3^{\circ}\text{C}$  y de  $-12$  a  $-3^{\circ}\text{C}$ .

En el modelo basado en 136 sitios, todos los intervalos se ajustaron excluyendo las clases con frecuencia de cero. Se utilizó un intervalo de 1650 a 2450 msnm en la capa de altitud debido a que el basado en 136 sitios, por ser un intervalo más amplio que el del modelo basado en 57 sitios, consta de mayor número de píxeles y en consecuencia, de errores de inclusión (Figura 27). Asimismo, se utilizaron los intervalos para todas las variables, reducidos a las clases con mayores frecuencias.

De esta manera se obtuvieron los modelos que se describen en el Cuadro 13 además del Modelo 57\_frecnocero\_ppt, basado en 57 sitios de colecta, intervalos de variables con frecuencias de clase mayores de cero y el intervalo de precipitación ampliado (218 a 1125 mm) y del Modelo 136\_frecnocero, basado en 136 sitios de colecta e intervalos de variables con frecuencias mayores de cero.

Cuadro 13. Modelos obtenidos para reducir los errores de inclusión.

| <b>Modelo</b>                 | <b>Basado en:</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 136_frec_altas                | 136 sitios de colecta e intervalos reducidos a las clases con las mayores frecuencias (clases en negritas del Cuadro 11).                                                                                                                                           |
| 57_frecnocero_pptc10          | 57 sitios de colecta, intervalos de variables con frecuencias de clase mayores de cero, el intervalo de precipitación con clases de 10 mm (Cuadro 12) y el intervalo de precipitación ampliado (218 a 1125 mm).                                                     |
| 136_frecnocero_pptc10         | 136 sitios de colecta, intervalos de variables con frecuencias de clase mayores de cero y el intervalo de precipitación con clases de 10 mm (Cuadros 11 y 12).                                                                                                      |
| 57_frecnocero_pptc10_tmín     | 57 sitios de colecta, intervalos de variables con frecuencias de clase mayores de cero, el intervalo de ppt. con clases de 10 mm, el intervalo de ppt. ampliado (218 a 1125 mm) y el intervalo de temp. mínima de enero reducido (-12 a -3°C).                      |
| 136_frecnocero_pptc10_tmínalt | 136 sitios de colecta, intervalos de variables con frecuencias de clase mayores de cero, el intervalo de precipitación con clases de 10 mm y los intervalos de altitud y de temperatura mínima de enero reducidos (1650 a 2450 msnm y -12 a -3°C, respectivamente). |

A cada modelo se le realizaron los seis cálculos de concordancia y precisión y se analizaron visualmente sus imágenes.

## 9.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calibración del modelo consiste en detectar los errores de omisión y de inclusión y realizar los ajustes en los intervalos de las variables para que sean incluyentes de sitios de presencia y excluyentes de sitios de ausencia. Para el primer fin, se aumentó el intervalo de las variables que están determinando la no inclusión de sitios de presencia y para el segundo se redujo el intervalo de las variables que están permitiendo la inclusión de áreas carentes de sitios de presencia.

El primer ajuste se realizó ampliando el intervalo de precipitación del Modelo 57\_noorien usando el de la muestra de 136 sitios (218 a 1125 mm.) y considerando en los intervalos de las variables, las clases con frecuencias mayores a cero, obteniéndose el Modelo 57\_frencocero\_ppt. Los resultados de las seis pruebas de concordancia y precisión se presentan en los Cuadros 14 y 15 y el modelo, en la Figura 29.

Cuadro 14. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57\_frencocero\_ppt.

| SITIOS GEO-REFERIDOS |           |                      |                   |          |                      |                   |
|----------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------|----------------------|-------------------|
|                      |           | Presencia            |                   | Ausencia | Total                |                   |
| Modelo               |           | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |          | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |
|                      | Presencia | 66                   | 73                | 14       | 80                   | 87                |
|                      | Ausencia  | 14                   | 7                 | 66       | 80                   | 73                |
|                      | Total     | 80                   | 80                | 80       | 160                  | 160               |

Cuadro 15. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 57\_frecnocero\_ppt.

|                        | <b>SS</b> | <b>SI</b> |
|------------------------|-----------|-----------|
| <b>Kappa</b>           | 0.65      | 0.738     |
| <b>Precisión total</b> | 0.825     | 0.869     |
| <b>Sensibilidad</b>    | 0.825     | 0.913     |
| <b>Especificidad</b>   | 0.825     | 0.825     |
| <b>VP positivo</b>     | 0.825     | 0.839     |
| <b>VP negativo</b>     | 0.825     | 0.904     |

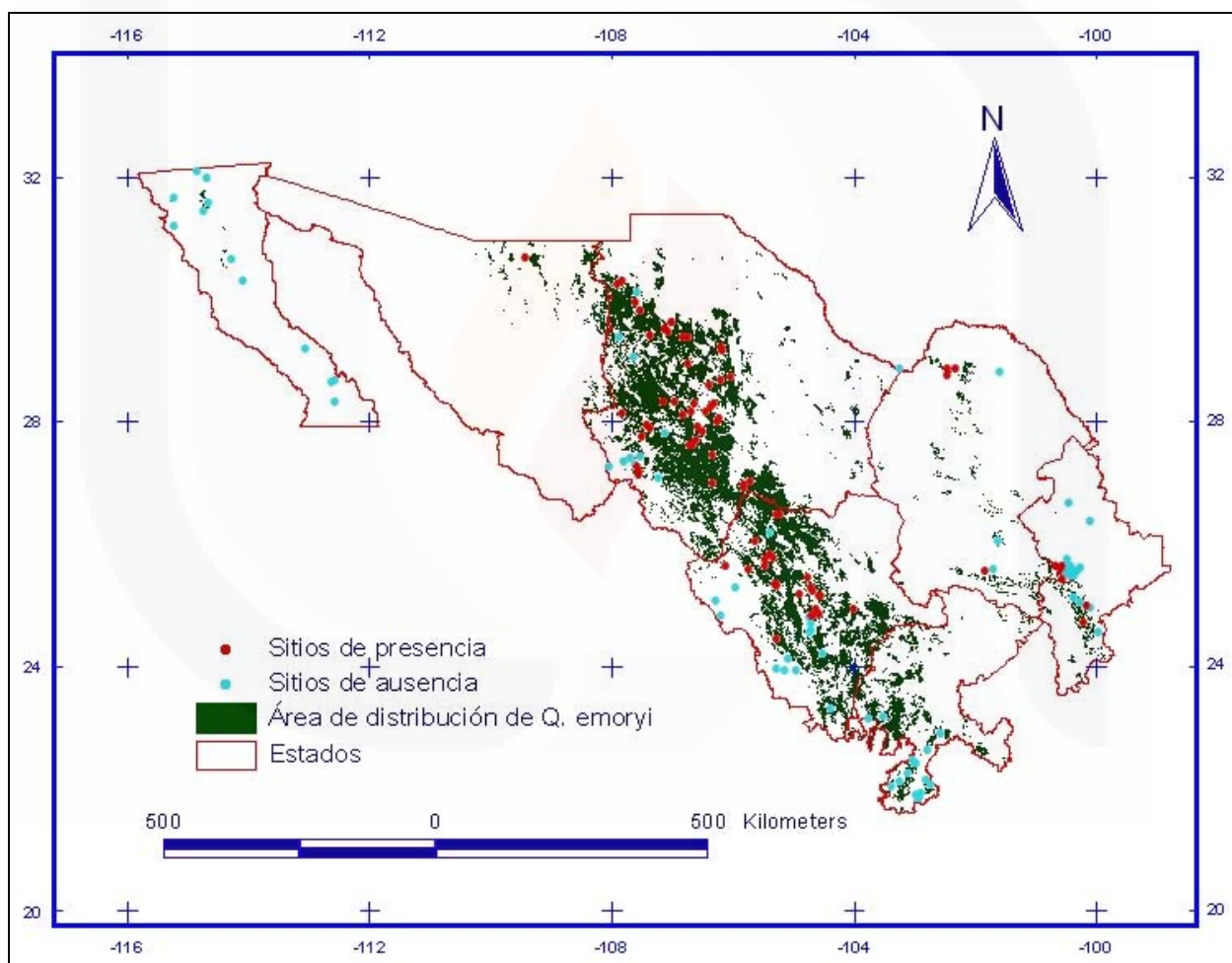


Figura 29. Modelo 57\_frecnocero\_ppt y los 80 sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.

En la Figura 29 puede apreciarse como los ajustes produjeron un aumento de la superficie con respecto al Modelo\_57\_noorien (Figura 24) disminuyendo principalmente los errores de omisión, lo cual a su vez aumentó los valores de todas las pruebas (Cuadro 8 y Cuadro 15).

Los resultados del primer ajuste al modelo basado en 136 sitios, que consistió en excluir de todos los intervalos de las variables las clases con frecuencia de cero, se presentan en los Cuadros 16 y 17 y el modelo obtenido que se denominó Modelo 136\_frecnocero se presenta en la Figura 30.

Cuadro 16. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136\_frecnocero.

| SITIOS GEO-REFERIDOS     |           |                          |                       |          |                          |                       |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
|                          |           | Presencia                |                       | Ausencia | Total                    |                       |
| Modelo<br>136_frecnocero |           | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |          | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |
|                          | Presencia | 133                      | 135                   | 40       | 173                      | 175                   |
|                          | Ausencia  | 3                        | 1                     | 96       | 99                       | 97                    |
|                          | Total     | 136                      | 136                   | 136      | 272                      | 272                   |

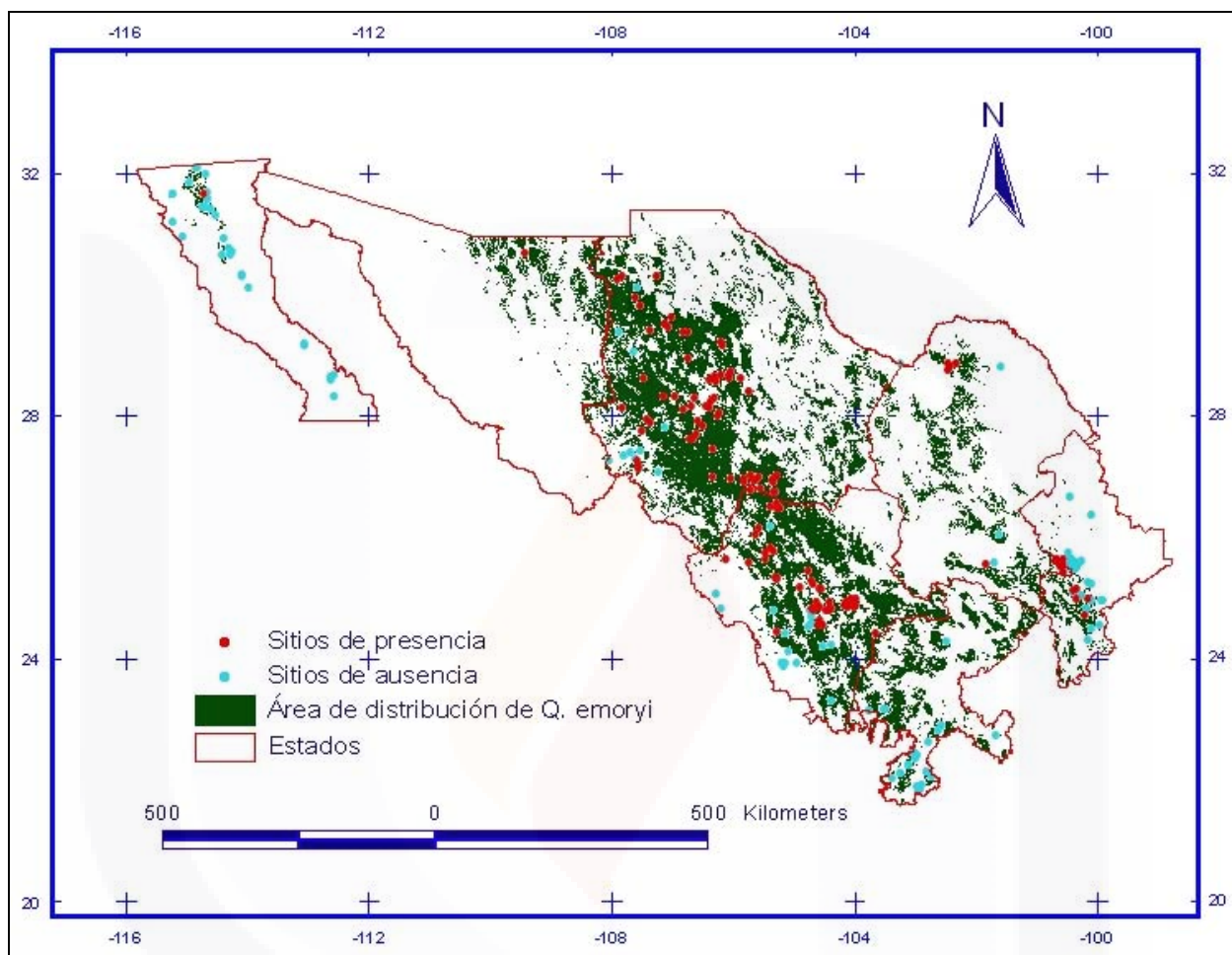
Cuadro 17. Resultados de las pruebas de concordancia, validez y probabilidad de precisión del Modelo 136\_frecnocero.

|                        | <i>ss</i> | <i>sl</i> |
|------------------------|-----------|-----------|
| <b>Kappa</b>           | 0.684     | 0.699     |
| <b>Precisión total</b> | 0.842     | 0.849     |
| <b>Sensibilidad</b>    | 0.978     | 0.993     |
| <b>Especificidad</b>   | 0.706     | 0.706     |
| <b>VP positivo</b>     | 0.769     | 0.771     |
| <b>VP negativo</b>     | 0.970     | 0.990     |

El ajuste incrementó el valor del índice de Kappa debido principalmente a un ligero aumento en los verdaderos negativos. Sin embargo, la diferencia entre sensibilidad y especificidad aunque menor que en el modelo no ajustado (Cuadro 10), continúa indicando que



éste abarca una extensa superficie, menor a la del Modelo\_136\_noorien; lo cual provoca que los falsos positivos sean numerosos, como se observa en la Figura 30.



**Figura 30. Modelo 136\_frencocero y los 136 sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.**

Tanto en el Modelo 57\_frencocero\_ppt como en el Modelo 136\_frencocero, los ajustes principalmente disminuyeron los errores de omisión pero mantuvieron los errores de inclusión.

Los modelos obtenidos del ajuste de intervalos para reducir los errores de inclusión a partir de estos dos modelos se presentan en las Figuras 31 a 34 y 36 y aparecen descritos en el Cuadro 13; los resultados de los cálculos de precisión y concordancia de estos modelos se presentan en los Cuadros 18 a 24.



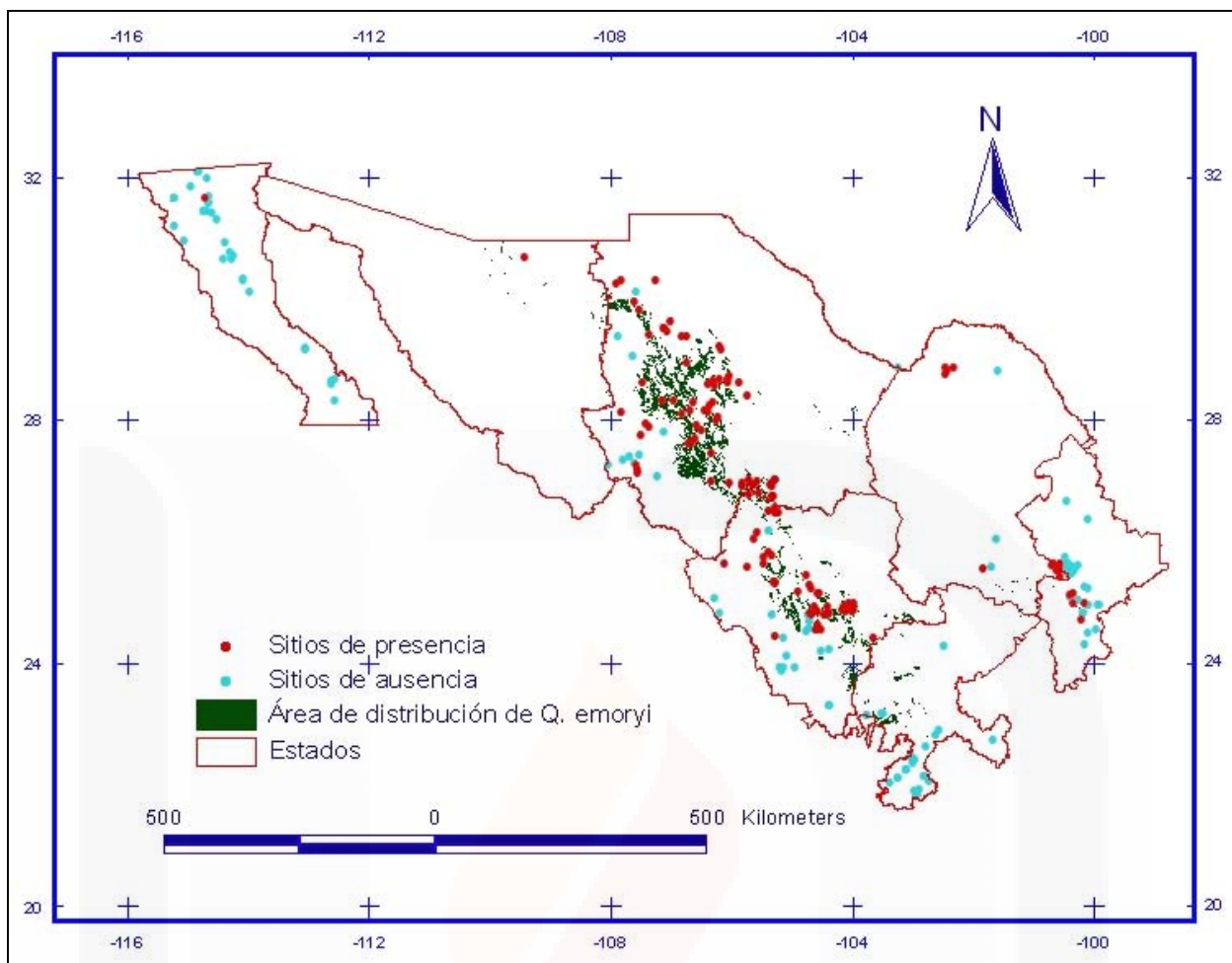


Figura 31. Modelo 136\_frec\_altas y los 136 sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.

Cuadro 18. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136\_frec\_altas.

| SITIOS GEO-REFERIDOS     |           |                          |                       |          |                          |                       |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
|                          |           | Presencia                |                       | Ausencia | Total                    |                       |
| Modelo<br>136_frec_altas |           | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |          | <i>sensu<br/>stricto</i> | <i>sensu<br/>lato</i> |
|                          | Presencia | 36                       | 59                    | 2        | 38                       | 61                    |
|                          | Ausencia  | 100                      | 77                    | 134      | 234                      | 211                   |
|                          | Total     | 136                      | 136                   | 136      | 272                      | 272                   |

En la Figura 31 es notable cómo el ajuste para obtener el Modelo 136\_frec\_altas, disminuyó la superficie quedando fuera de ella, gran número de sitios de colecta.

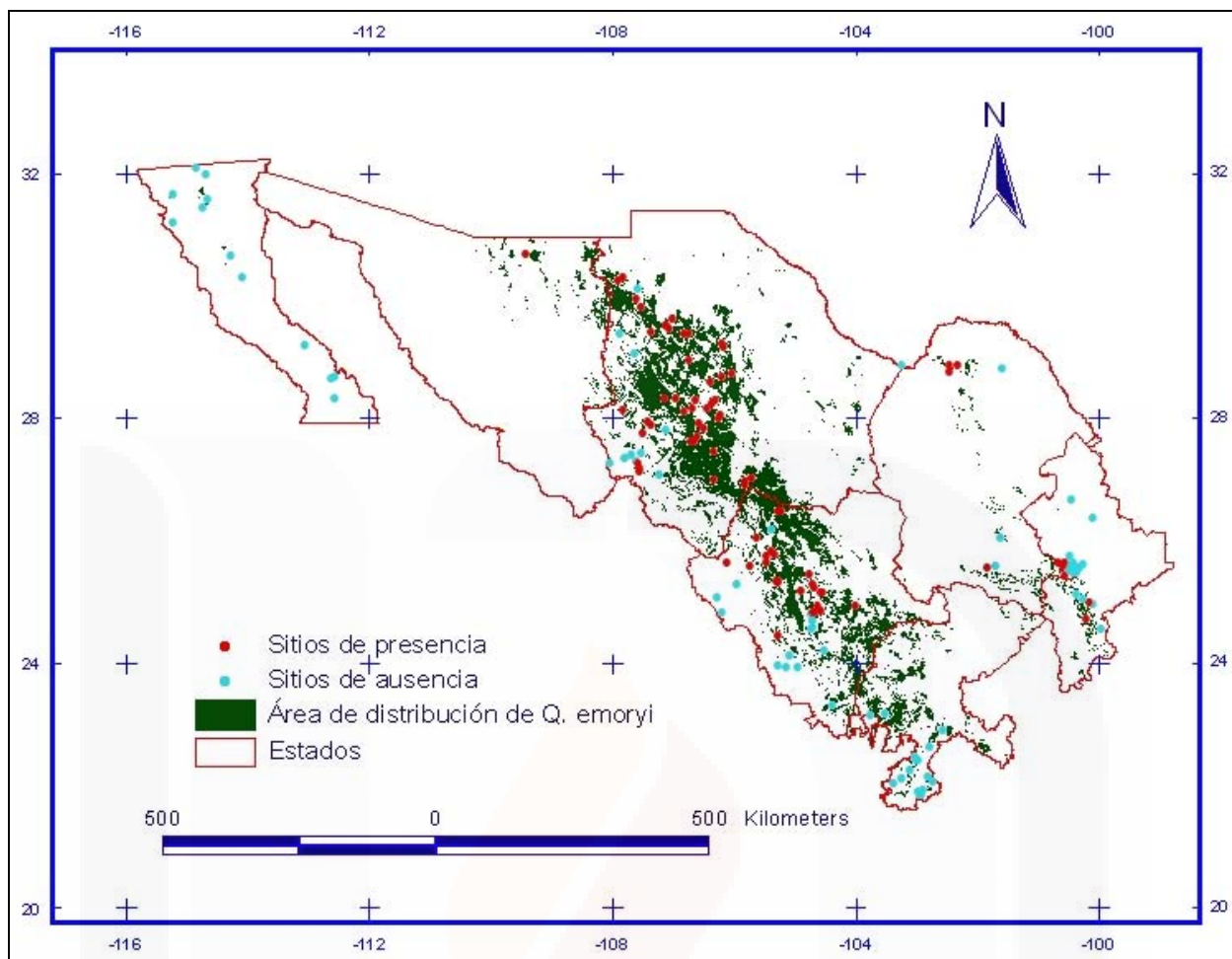


Figura 32. Modelo 57\_frencocero\_pptc10 y los 80 sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.

Cuadro 19. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57\_frencocero\_pptc10.

| SITIOS GEO-REFERIDOS |           |                      |                   |          |                      |                   |
|----------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------|----------------------|-------------------|
|                      |           | Presencia            |                   | Ausencia | Total                |                   |
| Modelo               |           | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |          | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |
|                      | Presencia | 65                   | 71                | 7        | 72                   | 78                |
|                      | Ausencia  | 15                   | 9                 | 73       | 88                   | 82                |
|                      | Total     | 80                   | 80                | 80       | 160                  | 160               |

Aunque no tan evidente como en el modelo anterior, en la Figura 32 es apreciable la disminución de la superficie del Modelo 57\_frecnocero\_pptc10 en comparación con el Modelo 57\_frecnocero\_ppt (Figura 30).

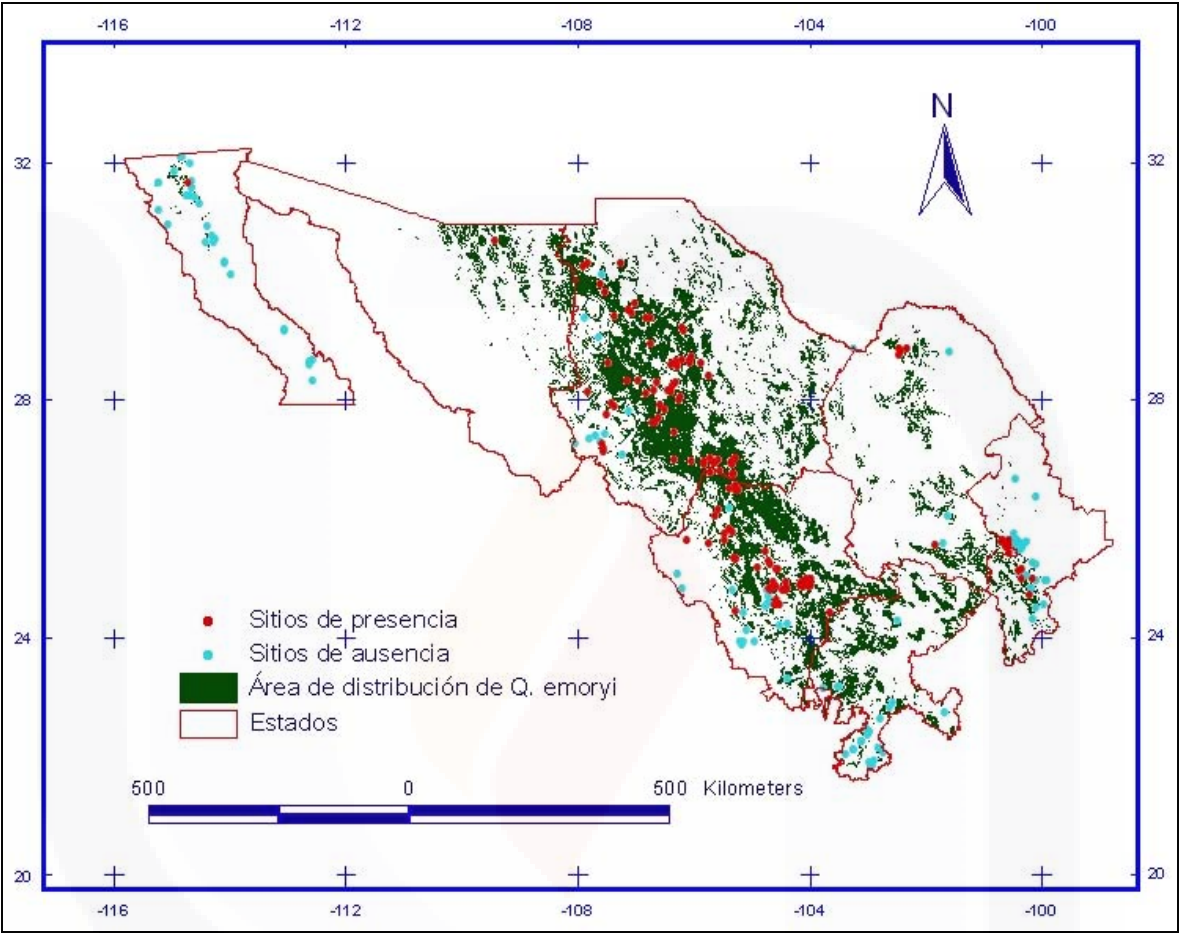
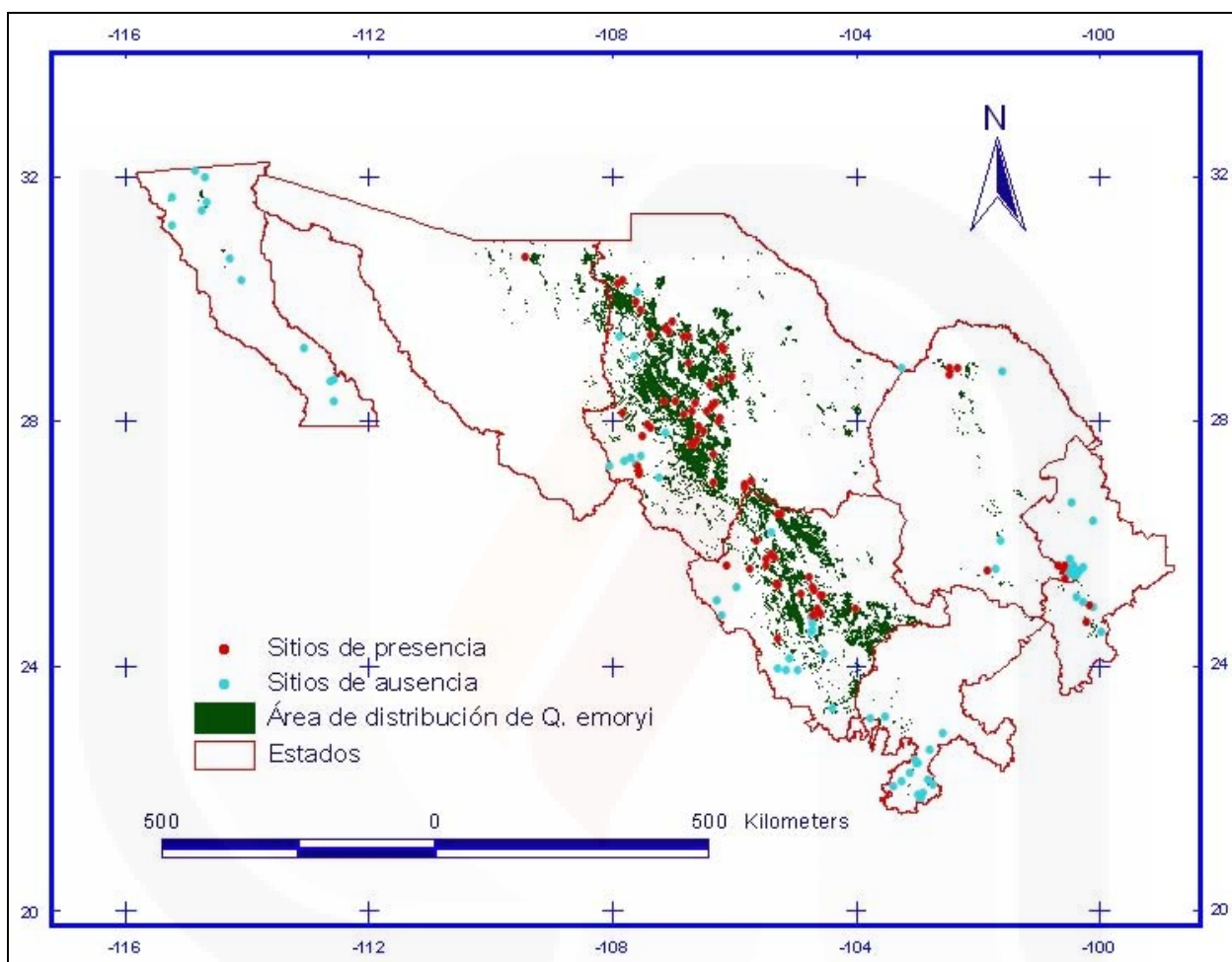


Figura 33. Modelo 136\_frecnocero\_pptc10 y los 136 sitios de presencia y de ausencia de la especie.

Cuadro 20. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136\_frecnocero\_pptc10

| SITIOS GEO-REFERIDOS                |           |                      |                   |          |                      |                   |
|-------------------------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------|----------------------|-------------------|
|                                     |           | Presencia            |                   | Ausencia | Total                |                   |
| Modelo<br><br>136_frecnocero_pptc10 |           | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |          | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |
|                                     | Presencia | 132                  | 135               | 20       | 152                  | 155               |
|                                     | Ausencia  | 4                    | 1                 | 116      | 120                  | 117               |
|                                     | Total     | 136                  | 136               | 136      | 272                  | 272               |

En la Figura 33 se aprecia la disminución de la superficie del Modelo 136\_frecnocero\_pptc10 con respecto al Modelo 136\_frecnocero, debido a que los intervalos de clase que se utilizaron para la precipitación fueron de 10 mm.



**Figura 34. Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín y los 80 sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.**

En la Figura 34 puede observarse que se eliminan errores de inclusión al ajustar el intervalo de temperatura en  $-12$  a  $-3$  °C, especialmente en la parte Sur del modelo en los Estados de Durango y Zacatecas, en donde la especie no ha sido colectada de acuerdo con las colecciones científicas utilizadas en este trabajo. Asimismo, que el modelo está casi perfectamente definido al Sur por el límite estatal entre Durango y Zacatecas, para lo cual podrían haber influido los datos

climáticos que se utilizaron, que para este Estado fueron los promedios mensuales que aparecen en la página de Internet: <http://smn.cna.gob.mx> y no los datos crudos del ERIC II.

Cuadro 21. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 57\_frencocero\_pptc10\_tmín

| SITIOS GEO-REFERIDOS |           |                      |                   |          |                      |                   |
|----------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------|----------------------|-------------------|
|                      |           | Presencia            |                   | Ausencia | Total                |                   |
| Modelo               |           | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |          | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |
|                      | Presencia | 52                   | 66                | 3        | 55                   | 69                |
|                      | Ausencia  | 28                   | 14                | 77       | 105                  | 91                |
|                      | Total     | 80                   | 80                | 80       | 160                  | 160               |

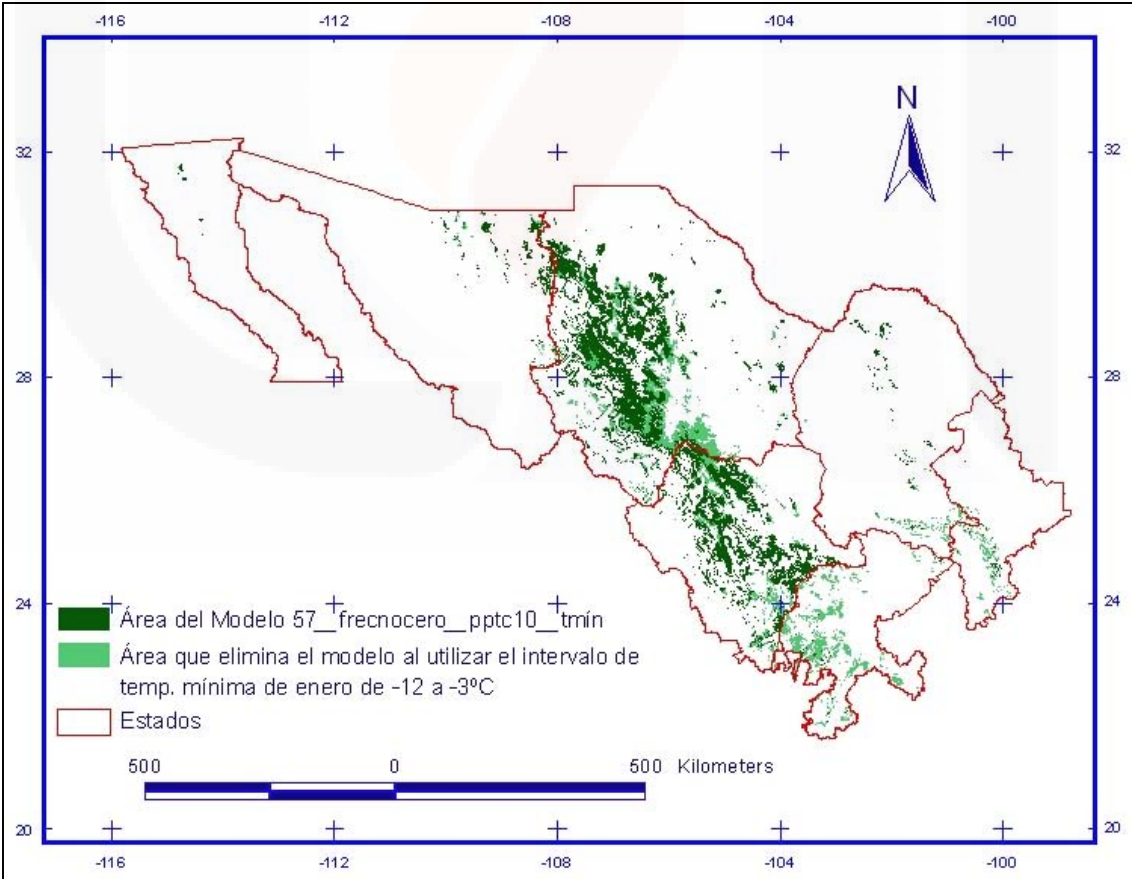
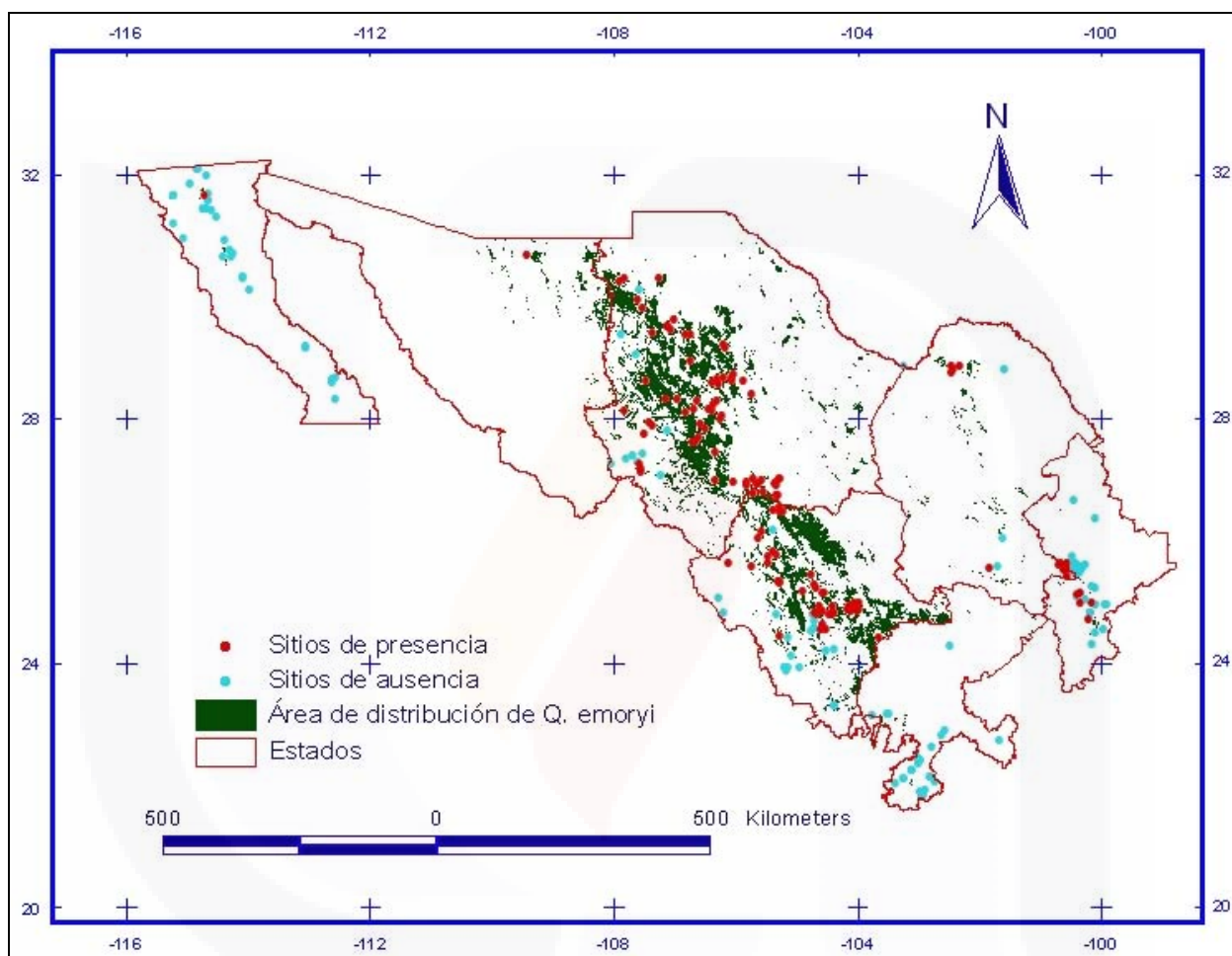


Figura 35. Sobreposición del Modelo 57\_frencocero\_pptc10 y del Modelo 57\_frencocero \_pptc10\_tmín.



El área de color verde claro en la Figura 35, representa aquellas áreas que fueron eliminadas del Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín por presentar temperaturas mayores de  $-3$  y menores a  $3$  °C, aún cuando estas estuvieron dentro de los intervalos para el resto de las variables.



**Figura 36. Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt y los 136 sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.**

En la Figura 36 puede observarse que se eliminan errores de inclusión hacia el Centro-Norte y Sur del modelo, en los estados de Chihuahua, Durango y Zacatecas, con respecto al Modelo 136\_frecnocero\_pptc10 (Figura 33).

Cuadro 22. Matriz de 2 x 2 para evaluar la concordancia y precisión del Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt.

| SITIOS GEO-REFERIDOS |           |                      |                   |          |                      |                   |
|----------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------|----------------------|-------------------|
|                      |           | Presencia            |                   | Ausencia | Total                |                   |
| Modelo               |           | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |          | <i>sensu stricto</i> | <i>sensu lato</i> |
|                      | Presencia | 89                   | 105               | 8        | 97                   | 113               |
|                      | Ausencia  | 47                   | 31                | 128      | 175                  | 159               |
|                      | Total     | 136                  | 136               | 136      | 272                  | 272               |

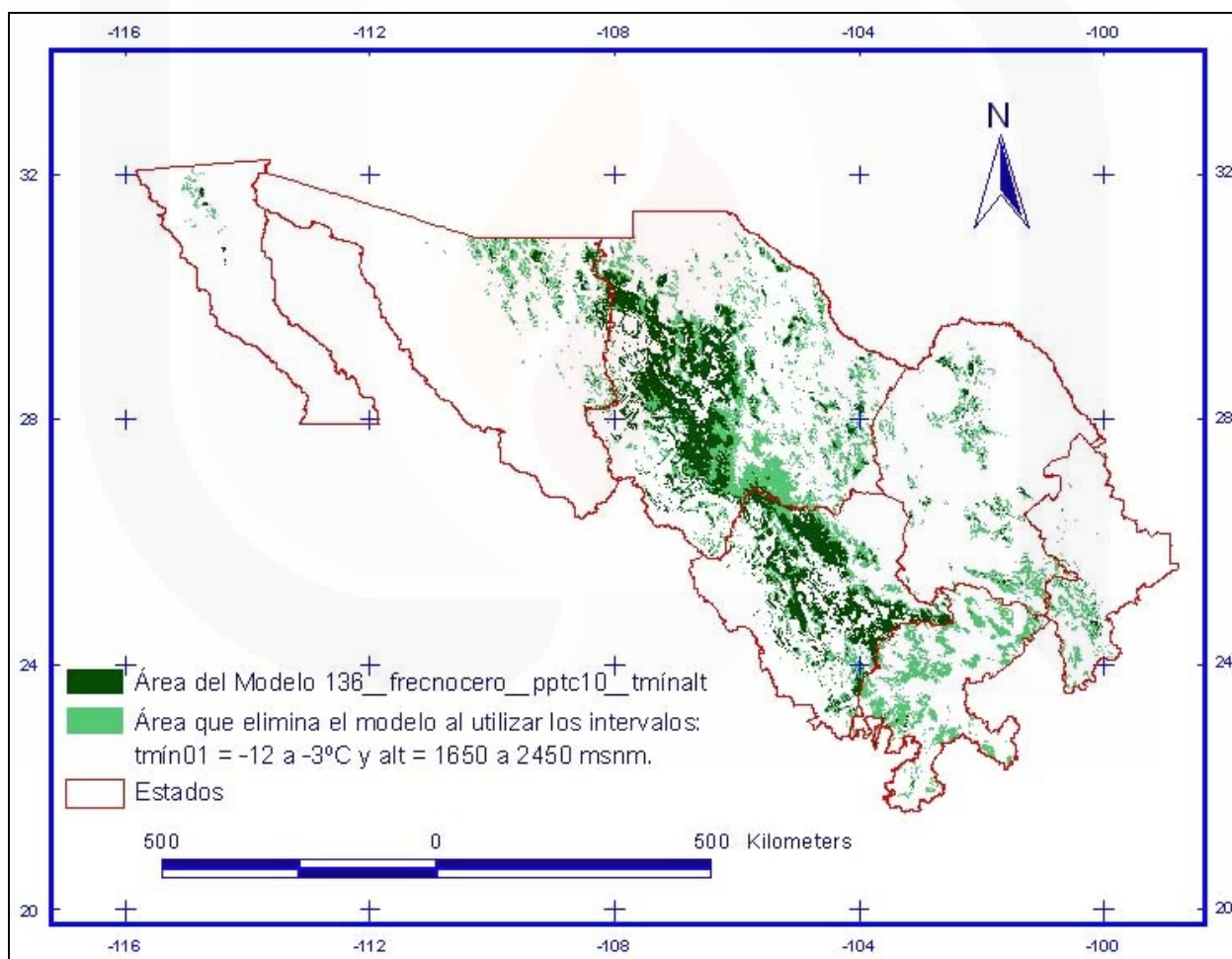


Figura 37. Sobreposición del Modelo 136\_frecnocero\_pptc10 y de Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt.



El área en color verde claro de la Figura 37 es aquella que se elimina del Modelo 136\_frecnocero\_pptc10 al utilizar como intervalo de altitud 1650 a 2450 msnm, así como de utilizar un intervalo de temperatura mínima de enero de  $-12$  a  $-3$  °C lo que da por resultado el Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt; es decir, el color verde claro representa aquellas áreas con altitudes entre 1263 a 1649 y entre 2451 a 2899 msnm y con temperaturas entre  $-3$  y  $3$  °C. El área eliminada debido al ajuste en altitud se encuentra principalmente en los Estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León; y el área eliminada debido al ajuste en temperatura mínima se encuentra principalmente en el Estado de Zacatecas y parte Sur de Chihuahua y Durango.

Los resultados de las pruebas de concordancia y precisión de los cinco modelos ajustados en sus intervalos para reducir los errores de inclusión, se presentan en los Cuadros 23 y 24.

Cuadro 23. Resultados de las pruebas de concordancia y precisión, “*sensu stricto*”.

| <b><i>Sensu stricto*</i></b> |                            |                                       |                                        |                                            |                                                |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                              | <b>Modelos</b>             |                                       |                                        |                                            |                                                |
|                              | <b>136_<br/>frec_altas</b> | <b>57_<br/>frecnocero_<br/>pptc10</b> | <b>136_<br/>frecnocero_<br/>pptc10</b> | <b>57_<br/>frecnocero_<br/>pptc10_tmín</b> | <b>136_<br/>frecnocero_<br/>pptc10_tmínalt</b> |
| <b>kappa</b>                 | 0.250                      | 0.725                                 | 0.816                                  | 0.613                                      | 0.596                                          |
|                              |                            |                                       |                                        |                                            |                                                |
| <b>Precisión total</b>       | 0.625                      | 0.863                                 | 0.908                                  | 0.806                                      | 0.798                                          |
| <b>Sensibilidad</b>          | 0.265                      | 0.813                                 | 0.971                                  | 0.650                                      | 0.654                                          |
| <b>Especificidad</b>         | 0.985                      | 0.913                                 | 0.846                                  | 0.963                                      | 0.941                                          |
| <b>VP positivo</b>           | 0.947                      | 0.903                                 | 0.863                                  | 0.945                                      | 0.918                                          |
| <b>VP negativo</b>           | 0.573                      | 0.830                                 | 0.966                                  | 0.733                                      | 0.731                                          |

\* Considerando el número de sitios de presencia que caen dentro del modelo, obtenidos directamente con la herramienta “Accuracy assesment” de ERDAS.

De acuerdo con los resultados que aparecen en los Cuadros 23 y 24, el modelo con los valores más elevados de las seis pruebas, fue el Modelo 136\_frecnocero\_pptc10; sin embargo la imagen del modelo (Fig. 33) mostró errores de inclusión en la mitad Este de Chihuahua y en Zacatecas.

Los valores altos en sensibilidad y especificidad de este modelo se debieron principalmente a que su amplia superficie permitió que hubiera un gran número de verdaderos positivos; asimismo, la distribución del género *Quercus* y de las colectas utilizadas, permitió que no hubiera falsos negativos en el área del desierto chihuahuense, aunque sí, errores de inclusión. Por lo tanto, aun cuando presentó los valores más altos en las pruebas, su forma y superficie no concordaron con la información que se conoce sobre la distribución geográfica de la especie.

Cuadro 24. Resultados de las pruebas de concordancia y precisión, “*sensu lato*”.

| <b><i>Sensu lato</i>*</b> |                            |                                       |                                        |                                            |                                                |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                           | <b>Modelos</b>             |                                       |                                        |                                            |                                                |
|                           | <b>136_<br/>frec_altas</b> | <b>57_<br/>frecnocero_<br/>pptc10</b> | <b>136_<br/>frecnocero_<br/>pptc10</b> | <b>57_<br/>frecnocero_<br/>pptc10_tmín</b> | <b>136_<br/>frecnocero_<br/>pptc10_tmínalt</b> |
| <b>kappa</b>              | 0.419                      | 0.800                                 | 0.838                                  | 0.788                                      | 0.713                                          |
|                           |                            |                                       |                                        |                                            |                                                |
| <b>Precisión total</b>    | 0.710                      | 0.900                                 | 0.919                                  | 0.894                                      | 0.857                                          |
| <b>Sensibilidad</b>       | 0.434                      | 0.888                                 | 0.993                                  | 0.825                                      | 0.772                                          |
| <b>Especificidad</b>      | 0.985                      | 0.913                                 | 0.846                                  | 0.963                                      | 0.941                                          |
| <b>VP positivo</b>        | 0.967                      | 0.910                                 | 0.865                                  | 0.957                                      | 0.929                                          |
| <b>VP negativo</b>        | 0.635                      | 0.890                                 | 0.991                                  | 0.846                                      | 0.805                                          |

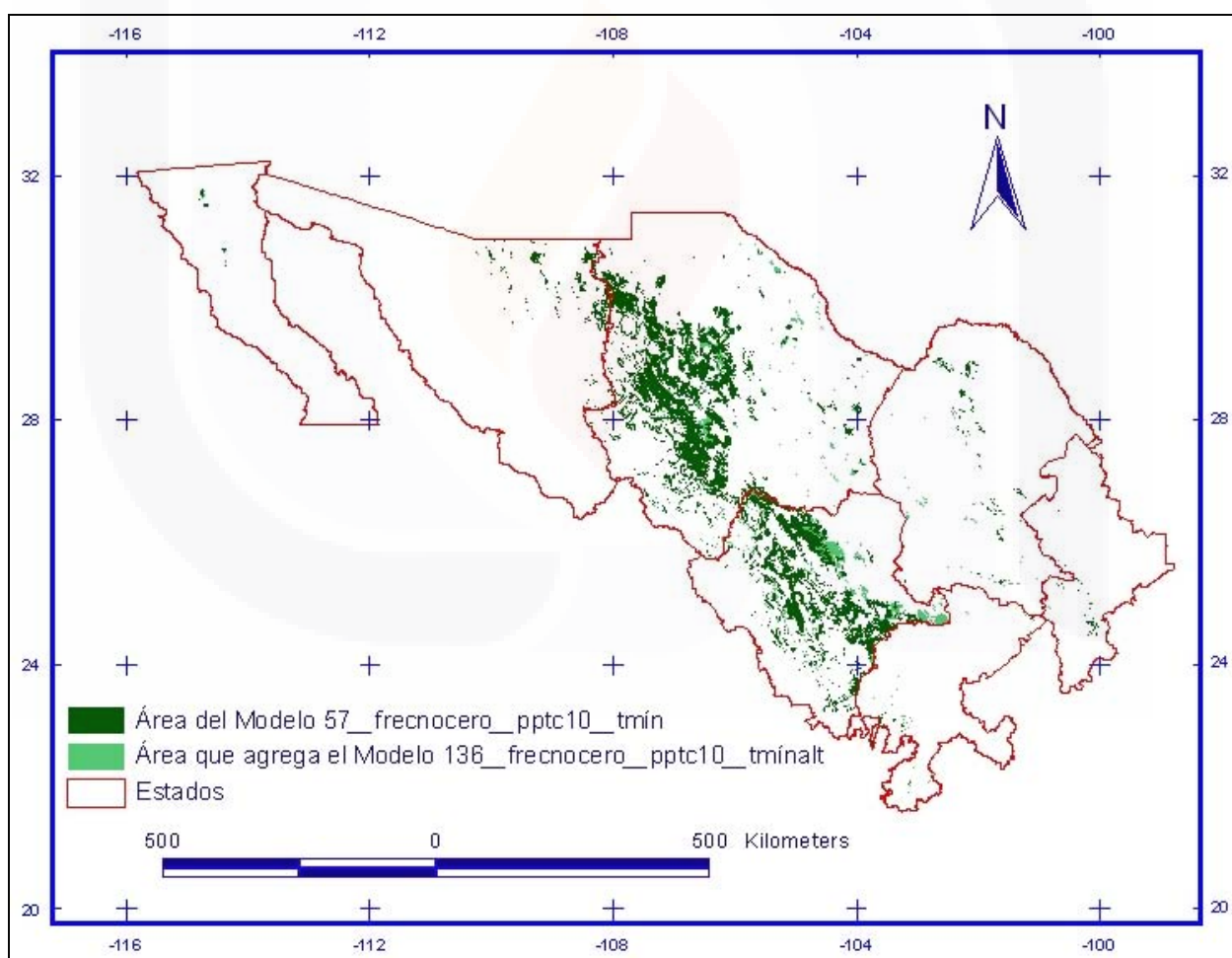
\* Considerando el número de sitios de presencia excluidos del modelo pero ubicados a menos de un kilómetro de distancia de éste.

El modelo que siguió en los valores más altos en las pruebas fue el 57\_frecnocero\_pptc10 (Fig. 32); sin embargo, incluyó áreas en el estado de Zacatecas que, como se explicó anteriormente, es probable que sean errores de inclusión.

El Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín (Fig. 34) fue semejante al anterior excepto por la reducción de errores de inclusión en los Estados de Durango y Zacatecas debido al ajuste en la capa de temperatura mínima, cuyo intervalo llega a -3 y no a 3 °C; que es dentro de la temperatura mínima de enero, la máxima registrada en los sitios de colecta de la especie. Las

diferencias en forma, superficie y resultados de las pruebas entre éste y el Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt, son reducidas. El área que comprenden estos dos modelos está casi enmarcada por la distribución de los 136 sitios de colecta de la especie utilizados en este trabajo, es decir que, aun cuando es de suponerse la presencia de errores tanto de omisión como de inclusión, las áreas que abarcan éstos no son fácilmente perceptibles (Figura 38).

En la Figura 38 puede observarse que los dos modelos son semejantes; la principal diferencia está representada por el área en color verde claro que corresponde al Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt ya que este abarca más superficie debido principalmente a que la capa de temperatura media de junio tiene un intervalo más amplio.



**Figura 38.** Sobreposición del Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín y del Modelo 136\_frecnocero\_pptc10\_tmínalt.

Debido a que el ajuste para obtener el Modelo 136\_frec\_altas (Fig. 31) se hizo utilizando las clases con las mayores frecuencias para todas las capas, este comprendió un área muy reducida. Su alta especificidad junto con su sensibilidad baja indica que el área del modelo es tan pequeña que excluyó gran parte tanto de los sitios de ausencia como de presencia. Por lo tanto, al presentar valores muy contrastantes en las pruebas y los valores más bajos en el índice de Kappa y sensibilidad, no se consideró como una representación cercana a la distribución geográfica de la especie.

Es por ello que, los modelos que mejor representaron la distribución geográfica de *Q. emoryi* aun cuando en los resultados de las pruebas no fueron los más altos, son los Modelos 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín y 136\_frecnoceros\_pptc10\_tmínalt; los cuales presentaron valores del índice de Kappa situados en la escala de Landis y Koch como concordancia “sustancial”. Sin embargo, el Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín, al ser verificado considerando los sitios que se encuentran a menos de 1 km de distancia de éste (*sensu lato*), presentó el valor más alto en el índice de Kappa, muy cercano a una concordancia casi perfecta, así como los valores más altos para el resto de las pruebas.

Los intervalos en cada una de las variables utilizadas en la construcción del Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín fueron los siguientes:

|                              |                                                                                                                                                      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Altitud:                     | 1650 a 2750 msnm                                                                                                                                     |
| Pendiente:                   | 0 a 66 grados                                                                                                                                        |
| Temp. mínima media de enero: | -12 a -3 °C                                                                                                                                          |
| Temp. media de junio:        | 11 a 25 °C                                                                                                                                           |
| Precipitación media anual:   | 218 a 1225 mm                                                                                                                                        |
| Suelo:                       | Litosol, cambisol eútrico, feozem háplico, luvisol crómico, rendzina, xerosol lúvico, planosol mólico, vertisol pélico y regosol eútrico             |
| Vegetación:                  | Bosque de pino, bosque de táscate, bosque de encino, pastizal natural, bosque de pino-encino, bosque bajo abierto, chaparral y bosque de encino-pino |

Lo anterior es una aproximación al nicho realizado de *Q. emoryi*, porque son los intervalos de las variables abióticas consideradas que mejor se ajustaron o describen lo que se conoce sobre la distribución geográfica de la especie en México.

Con fines ilustrativos y para ofrecer una idea más clara del área de distribución de *Q. emoryi*, se presenta en la Figura 39 el Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín sobrepuesto al mosaico de los siete Estados con las orientaciones. Aun de manera visual esta imagen brinda más información de la que brinda la Figura 8, de la cual derivó y que es un ejemplo de lo que comúnmente se emplea para describir la distribución geográfica de las especies al igual que el resaltar las entidades federativas donde se han realizado colectas.

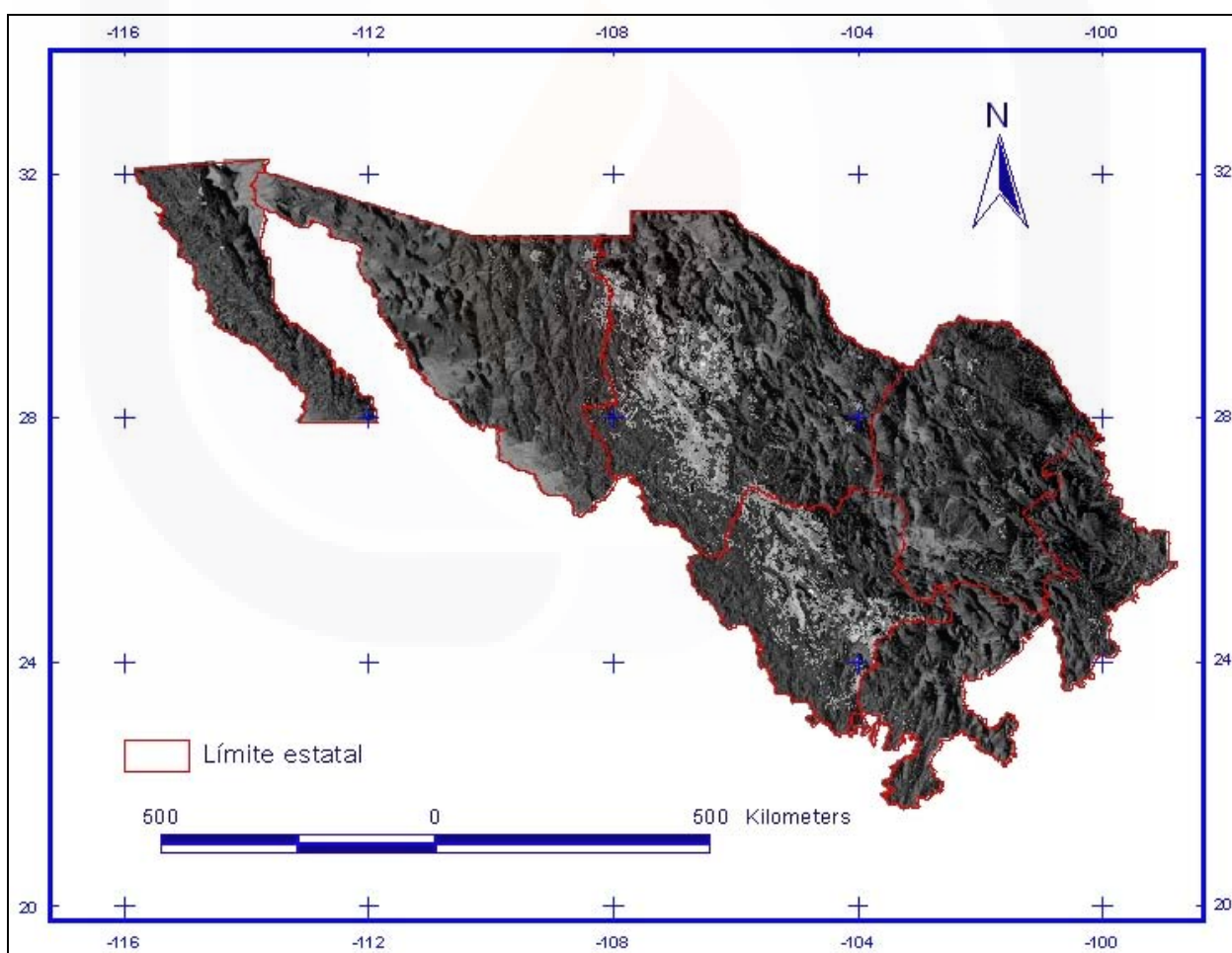


Figura 39. Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín sobre el mosaico con las orientaciones para los siete Estados.

### 9.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES

La altitud es la variable que le confirió especificidad al modelo. La temperatura mínima de enero es la variable limitante hacia el Sur de la distribución de la especie; los sitios de presencia se ajustan bien a temperaturas no mayores a  $-3^{\circ}\text{C}$ . La precipitación media anual es la variable limitante considerando la longitud.

Hacia el Oeste del país, el límite Sur del área de distribución de *Q. emoryi* básicamente coincide con el límite estatal entre Durango y Zacatecas. Con el análisis visual de las imágenes del intervalo de altitud, del mosaico con las orientaciones y del Modelo 57\_frecnocero\_pptc10\_tmín, puede detectarse que este límite no está influido por la altitud. Después de este límite (en el estado de Zacatecas), la altitud no es menor a la de las áreas que ocupa la especie un poco más al Norte, incluso presenta elevaciones mayores hasta en 750 m, de lo que se esperaría una disminución en las temperaturas. Amén de que los datos climáticos del Estado de Zacatecas utilizados en la interpolación tengan errores, es posible que sea la forma del relieve más que la altitud la que influya en el aumento de las temperaturas.

Una verificación en campo más extensa que la realizada en este trabajo y dirigida principalmente hacia los límites del modelo y áreas pequeñas muy fragmentadas, por ser estas vulnerables a su desaparición; brindaría información relevante sobre la capacidad de adaptación de la especie especialmente a cambios climáticos.

Se recomienda una verificación en las pequeñas áreas detectadas por el modelo en el Estado de Zacatecas entre Valparaíso, la Sierra Los Cardos y hacia la Sierra Los Huicholes; ya que en el herbario de la Universidad Autónoma de Zacatecas hay un ejemplar de *Q. eduardii* que fue identificado como *Q. emoryi* por su gran parecido, colectado en el Cerro de los Piñones, Municipio de Juchipila, Zacatecas. Asimismo una verificación en las áreas pequeñas ubicadas en la Sierra El Astillero, al Este de Concepción del Oro; por su cercanía con un sitio de presencia

ubicado en el Municipio de Arteaga, Coahuila . Ambas áreas se encuentran en el límite Sur de distribución de la especie y, además de tener una extensión reducida, están muy fragmentadas.





## 10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

### 10.1. MATERIALES Y MÉTODO

La sensibilidad es una fuente de variación de los modelos con cuyo análisis es posible conocer cómo la variación en los resultados puede ser proporcional al cambio en una o más variables.

Con el objetivo de detectar la sensibilidad con las variables involucradas en este estudio, es decir aquellas que tienen más influencia sobre el modelo, se realizaron las seis pruebas de concordancia a la intersección de una imagen correspondiente al intervalo de una variable (basado en la muestra de 136 sitios de colecta) con cada una de las imágenes restantes; conformando un conjunto de 21 imágenes (Cuadro 25). Se aplicó la prueba de diferencia entre medias a los promedios de todas las imágenes que incluyeron a una misma variable, en las seis pruebas de concordancia y precisión, con el objetivo de detectar diferencias significativas entre ellos. Las imágenes que contribuyeron más con la precisión del modelo, presentaron los promedios más altos. Se requirió además, del análisis visual de las imágenes.

Cuadro 25. Agrupación de pares de imágenes para evaluar la sensibilidad de las variables.

|                                       | Pendiente | Precipitación | Temperatura media de junio | Temperatura mínima de enero | Suelo | Vegetación |
|---------------------------------------|-----------|---------------|----------------------------|-----------------------------|-------|------------|
| Altitud con                           | x         | x             | x                          | x                           | x     | x          |
| Pendiente con                         |           | x             | x                          | x                           | x     | x          |
| Precipitación con                     |           |               | x                          | x                           | x     | x          |
| Temperatura media de junio con        |           |               |                            | x                           | x     | x          |
| Temperatura mínima media de enero con |           |               |                            |                             | x     | x          |
| Suelo con                             |           |               |                            |                             |       | x          |

## 10.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las seis pruebas de concordancia y precisión realizadas a las 21 imágenes, que resultaron de la intersección de un par de capas (de una variable con cada una de las capas restantes) se presentan en el Cuadro 26. Los promedios en cada prueba, de las imágenes que incluyeron a una misma variable aparecen en el Cuadro 27.

Hay que recordar que para la construcción del modelo, el intervalo de precipitación no fue reducido y está basado en la muestra más amplia (de 136 sitios de colecta), la capa de altitud tampoco se redujo pero está basada en la muestra de 57 sitios porque la de 136 introducía errores de inclusión y la de temperatura mínima de enero sí se redujo en el extremo superior en 6 grados.

Cuadro 26. Resultados de las pruebas de concordancia y precisión.

| <b>ALTITUD</b>   | <b>Pendiente</b> | <b>Precipitación</b> | <b>Tmed_06</b> | <b>Tmín_01</b> | <b>Suelo</b> | <b>Vegetación</b> |
|------------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|--------------|-------------------|
| Kappa            | 0.507            | 0.728                | 0.574          | 0.529          | 0.551        | 0.522             |
| Precisión total  | 0.754            | 0.864                | 0.787          | 0.765          | 0.776        | 0.761             |
| Sensibilidad     | 0.926            | 0.941                | 0.934          | 0.676          | 0.919        | 0.926             |
| Especificidad    | 0.581            | 0.787                | 0.640          | 0.853          | 0.632        | 0.596             |
| VP positivo      | 0.689            | 0.815                | 0.722          | 0.821          | 0.714        | 0.696             |
| VP negativo      | 0.888            | 0.930                | 0.906          | 0.725          | 0.887        | 0.890             |
| <b>PENDIENTE</b> |                  |                      |                |                |              |                   |
| Kappa            |                  | 0.529                | 0.316          | 0.382          | 0.132        | 0.169             |
| Precisión total  |                  | 0.765                | 0.658          | 0.691          | 0.566        | 0.585             |
| Sensibilidad     |                  | 0.978                | 0.956          | 0.699          | 0.949        | 0.971             |
| Especificidad    |                  | 0.551                | 0.360          | 0.684          | 0.184        | 0.199             |
| VP positivo      |                  | 0.686                | 0.599          | 0.688          | 0.538        | 0.548             |
| VP negativo      |                  | 0.962                | 0.891          | 0.694          | 0.781        | 0.871             |
| <b>PPT</b>       |                  |                      |                |                |              |                   |
| Kappa            |                  |                      | 0.669          | 0.515          | 0.574        | 0.596             |
| Precisión total  |                  |                      | 0.835          | 0.757          | 0.787        | 0.798             |
| Sensibilidad     |                  |                      | 0.971          | 0.699          | 0.963        | 0.985             |
| Especificidad    |                  |                      | 0.699          | 0.816          | 0.610        | 0.610             |
| VP positivo      |                  |                      | 0.763          | 0.792          | 0.712        | 0.717             |
| VP negativo      |                  |                      | 0.960          | 0.730          | 0.943        | 0.976             |

Continuación Cuadro 26.

| <b>TMED_06</b>  | <b>Pendiente</b> | <b>Precipitación</b> | <b>Tmed_06</b> | <b>Tmín_01</b> | <b>Suelo</b> | <b>Vegetación</b> |
|-----------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|--------------|-------------------|
| Kappa           |                  |                      |                | 0.485          | 0.353        | 0.360             |
| Precisión total |                  |                      |                | 0.743          | 0.676        | 0.680             |
| Sensibilidad    |                  |                      |                | 0.691          | 0.941        | 0.956             |
| Especificidad   |                  |                      |                | 0.794          | 0.412        | 0.404             |
| VP positivo     |                  |                      |                | 0.770          | 0.615        | 0.616             |
| VP negativo     |                  |                      |                | 0.720          | 0.875        | 0.902             |
| <b>TMIN_01</b>  |                  |                      |                |                |              |                   |
| Kappa           |                  |                      |                |                | 0.368        | 0.360             |
| Precisión total |                  |                      |                |                | 0.684        | 0.680             |
| Sensibilidad    |                  |                      |                |                | 0.676        | 0.691             |
| Especificidad   |                  |                      |                |                | 0.691        | 0.669             |
| VP positivo     |                  |                      |                |                | 0.687        | 0.676             |
| VP negativo     |                  |                      |                |                | 0.681        | 0.684             |
| <b>SUELO</b>    |                  |                      |                |                |              |                   |
| Kappa           |                  |                      |                |                |              | 0.176             |
| Precisión total |                  |                      |                |                |              | 0.588             |
| Sensibilidad    |                  |                      |                |                |              | 0.949             |
| Especificidad   |                  |                      |                |                |              | 0.228             |
| VP positivo     |                  |                      |                |                |              | 0.551             |
| VP negativo     |                  |                      |                |                |              | 0.816             |

Cuadro 27. Promedios en las pruebas de concordancia y precisión.

| <b>PROMEDIOS</b>       |            |                |                             |                              |                   |              |                  |
|------------------------|------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|------------------|
|                        | <b>Ppt</b> | <b>Altitud</b> | <b>Temperatura media 06</b> | <b>Temperatura mínima 01</b> | <b>Vegetación</b> | <b>Suelo</b> | <b>Pendiente</b> |
| <b>Kappa</b>           | 0.6017     | 0.5686         | 0.4596                      | 0.4400                       | 0.3640            | 0.3591       | 0.3395           |
| <b>Precisión total</b> | 0.8009     | 0.7843         | 0.7298                      | 0.7200                       | 0.6820            | 0.6795       | 0.6697           |
| <b>Sensibilidad</b>    | 0.9228     | 0.8873         | 0.9081                      | 0.6887                       | 0.9130            | 0.8995       | 0.9130           |
| <b>Especificidad</b>   | 0.6789     | 0.6814         | 0.5515                      | 0.7512                       | 0.4510            | 0.4596       | 0.4265           |
| <b>VP positivo</b>     | 0.7473     | 0.7429         | 0.6809                      | 0.7391                       | 0.6340            | 0.6362       | 0.6245           |
| <b>VP negativo</b>     | 0.9169     | 0.8710         | 0.8756                      | 0.7058                       | 0.8565            | 0.8305       | 0.8477           |

Las imágenes de las variables con el mayor índice de Kappa, son las que incluyen a la precipitación, le siguen la altitud, la temperatura media de junio, la temperatura mínima de enero, la vegetación, el suelo y la pendiente.

Las imágenes que presentan mayor sensibilidad son las que tienen una extensa área, como las de precipitación, vegetación y pendiente.

Las imágenes que presentan mayor especificidad son las de temperatura mínima, altitud y precipitación.

Los valores más altos tanto para sensibilidad como para especificidad corresponden a los promedios de las imágenes que incluyen precipitación.

Los resultados de la prueba estadística llamada diferencia entre medias, realizada a los promedios del índice de Kappa para cada variable, mostraron que entre el índice de Kappa de precipitación y las restantes, excepto el de altitud, hay diferencias significativas; así como entre el índice de Kappa de altitud y el de temperatura mínima de enero, vegetación, suelo y pendiente

Aun cuando la imagen de precipitación es, después de la pendiente, la de mayor número de píxeles; su especificidad es alta, lo cual es también evidente al provocar en los modelos un aumento en los verdaderos negativos y en consecuencia en el índice de Kappa, cuando se utilizan clases de 10 mm.

Todas las imágenes con intervalos que fueron reducidos, disminuyen su área; sin embargo cuando en la imagen de precipitación se utilizan las clases con las mayores frecuencias, su área se reduce tanto que asimismo la sensibilidad y la especificidad del modelo. De igual manera, si se excluyen varios datos extremos en las frecuencias de clase, no aparecen en el modelo áreas que corresponden a sitios de colecta importantes por ubicarse en zonas fuera del macizo de la Sierra Madre Occidental. Debido a esto, cualquier ajuste a la capa de precipitación basada en la muestra de 136 sitios, tiene efectos relevantes en el modelo.

Lo anterior llevó a considerar que la variable sensible es la precipitación, puesto que las reducciones del intervalo en cualquiera de los extremos, modifican seriamente al modelo, excluyendo sitios de relevancia ecológica; asimismo la reducción del intervalo considerando únicamente las clases más frecuentes, excluye muchos sitios tanto de presencia como de ausencia en las pruebas de concordancia. Además fue una de las imágenes que presentaron los valores más altos en el índice de Kappa, de sensibilidad y de especificidad, lo cual también la convierte en una variable imprescindible en el modelo.

Las capas con los valores más bajos del índice de Kappa fueron las que incluyeron a la variable pendiente. Esto se debe a que la capa de pendiente al tener un gran número de píxeles, su especificidad es baja. Al excluir esta variable cuando se obtuvo el Modelo\_57\_noorien, no se alteró el valor del índice de Kappa, es decir, que no tuvo influencia en el modelo. Si el modelo es una representación de la distribución geográfica de la especie y de acuerdo con Zunino y Zullini (2003), ésta es la fracción del espacio geográfico definida por las interacciones con la especie en cuestión compartiendo ambas un destino, es posible afirmar que no hay una respuesta de la especie a cambios en la variable pendiente.

Aun cuando las imágenes que incluyeron a la variable temperatura media de junio, presentan un índice de Kappa mayor que el de las que incluyeron a la temperatura mínima media de enero, también presentan una fuerte diferencia entre sensibilidad y especificidad

El valor más alto de especificidad correspondió a la temperatura mínima media de enero; aunque la comparación entre medias no muestra diferencias significativas entre ésta, la precipitación y la altitud. Esta alta especificidad la confiere al modelo.

La imagen con la intersección de precipitación y altitud, se ajusta bien a los sitios de presencia, pero contiene errores de inclusión al Sur del modelo. Agregar a ésta la imagen de la temperatura mínima de enero reducida en su intervalo, disminuye los errores de inclusión, con lo cual se define el límite Sur de la especie.

Las tres variables de más relevancia porque definen mejor la distribución de la especie al presentar valores más altos del índice de Kappa y menores diferencias entre sensibilidad y

especificidad, así como un mejor ajuste del área a los sitios de presencia, lo cual hace que, influyan más que otras en la forma y precisión del modelo son: precipitación, altitud y temperatura mínima de enero. En este caso tanto la precipitación como la altitud definen los límites Este y Oeste y la temperatura mínima media de enero el límite Sur. Aunque *Q. emoryi* es una especie boreal cuya distribución proviene desde Estados Unidos, la parte Norte del modelo que incluye un área pequeña de Baja California y de Sonora está definida por la altitud.

De acuerdo con los resultados tanto de la calibración como del análisis de sensibilidad, los sitios de colecta de la especie se presentan en un intervalo de temperatura mínima media de enero que va de -12 a 3 °C, pero se reduce a -12 a -3 °C cuando la latitud disminuye. Con base en esto, es posible que la temperatura mínima de enero sea para la especie un factor dominante puesto que los organismos pueden cambiar su distribución dependiendo de los valores de éste y escoger áreas específicas en su hábitat con un rango preferente de valores (-12 a -3 °C). Es decir que, dentro del conjunto de factores que afectan a una población hay intervalos que son favorables para los organismos, y un organismo preferirá un intervalo para determinado factor en función de los intervalos del resto de factores.

Existen dos factores, dentro de los incluidos en este trabajo, que podrían influir en la temperatura mínima de enero: la altitud y la latitud; sin embargo, la capa de altitud no presenta correspondencia con la de temperatura mínima de enero hacia la parte Sur del modelo. De lo cual puede inferirse que, aunque no se consideró como una variable, la latitud es un factor detonante de variación en la distribución de *Q. emoryi*, especie que responde a los valores del factor temperatura mínima de enero. Podemos decir entonces que la temperatura mínima de enero es un factor dominante puesto que fue la única variable con la cual hubo cambios en la distribución en función de la latitud y, de acuerdo con Gertseva, Gertsev y Ponomarev (2005), los organismos en una población pueden cambiar su distribución dependiendo de los valores del factor dominante pero no en respuesta a los valores de factores subdominantes.

Con base en lo anterior, puede inferirse que las variables dominantes son precipitación, altitud y temperatura mínima de enero y las subdominantes son temperatura media de junio, vegetación, suelo y pendiente.

### 10.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES

En el desplazamiento de las especies hacia los polos, la temperatura mínima es un factor de control, y los resultados del análisis de sensibilidad muestran que también lo es en el caso de la expansión de *Q. emoryi* hacia el Sur.

Probablemente la especie haya alcanzado a poblar áreas un poco más al Sur, en Zacatecas en donde el paisaje es semejante al que prevalece en la parte Sur de Durango con bosques bajos y abiertos, pero actualmente estas áreas están muy modificadas por la acción del hombre, principalmente por la minería que se estableció desde hace cientos de años. Sin embargo, en el modelo aparecen pequeñas áreas que siguen los límites de la Sierra Madre Occidental, en las cuales resultaría interesante realizar exploraciones en búsqueda de la especie.

No hay que descartar que los sitios de colecta con temperaturas entre -2 y 3 °C es posible que se encuentren en áreas de agotamiento o se trate de hallazgos casuales de la especie para ganar espacio y adquirir ventajas evolutivas.



## 11. ESCENARIOS DE CAMBIO

### 11.1. MATERIALES Y MÉTODO

De acuerdo con el tercer informe de evaluación sobre cambio climático (IPCC, 2001), las características del cambio climático más importantes para la vulnerabilidad y la adaptación (la primera definida en ese mismo documento como el grado en el que un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático); tienen que ver con la variabilidad y los extremos y no simplemente con las nuevas condiciones medias del clima, ya que un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos, podría tener un mayor impacto tanto en la sociedad como en los ecosistemas.

Atendiendo la recomendación hecha en noviembre de 1999 por el Grupo de Trabajo sobre Cambio Climático y la Organización Meteorológica Mundial, Frich *et al.* (2002), proponen 10 indicadores (ver Antecedentes) para monitorear cambios en extremos climáticos y hacer comparaciones dentro de regiones, entre regiones y análisis globales, la mayoría de los cuales sin embargo, son principalmente aplicables en países del Hemisferio Norte.

Con base en lo anterior, el presente trabajo estuvo basado únicamente en 4 de los 10 indicadores propuestos por Frich *et al.*, (2002), por considerar que los otros seis no pueden aplicarse a las condiciones climáticas de México sin una revisión cuidadosa, aun cuando para el autor sólo la longitud de la estación de crecimiento (GSL) y el índice de duración de la onda de calor (HWDI), tienen limitaciones de aplicación fuera de las latitudes medias y el número de días con temperaturas menores de 0 °C (Fd) en los trópicos.

Los indicadores utilizados, dos relacionados con la temperatura y dos relacionados con la precipitación, fueron los siguientes:

| Abreviatura                                             | Significado                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fd (del inglés frost days)                              | Número total de días en el año con temperaturas mínimas menores a 0 °C.                                                                        |
| ETR (del inglés intra-annual extreme temperature range) | Diferencia entre la temperatura más alta y la temperatura más baja, observadas durante el año.                                                 |
| R10                                                     | Número de días con precipitaciones mayores o iguales a 10 mm d <sup>-1</sup>                                                                   |
| SDII (del inglés simple daily intensity index)          | Índice de intensidad diaria simple.<br>Precipitación total anual/número de días con precipitaciones mayores o iguales a 1 mm d <sup>-1</sup> . |

Se utilizó la información de aquellas estaciones incluidas en el área que comprende el modelo y que tienen al menos 20 años continuos de datos, de las seleccionadas para realizar la interpolación de datos climáticos durante la caracterización de los sitios de colecta. En algunos casos los datos de las estaciones se complementaron con datos del ERIC III (IMTA, 2006). No se consideraron los años que tuvieron menos del 70% de datos diarios.

De todas las estaciones se obtuvieron las anomalías (diferencia con respecto a la media) de cada año para los indicadores arriba descritos, así como para la temperatura mínima media de enero, temperatura media de junio y precipitación media anual por ser éstas las variables climáticas utilizadas para la construcción del modelo.

Se realizó un análisis de regresión lineal simple a las anomalías de cada año para cada estación, con el objetivo de identificar aquellas estaciones que presentan una tendencia de cambio significativo en las variables climáticas. Dada la ecuación que define una línea en un espacio de dos dimensiones o dos variables,  $Y = a + bx$ :

$Y$  = Variable o indicador climático (variable dependiente).

$a$  = Constante.

$b$  = Coeficiente de regresión.

$x$  = Año de registro de datos climáticos (variable independiente).

## 11.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ubicación de las estaciones climáticas que cumplieron con las características requeridas para el análisis se muestra en la Figura 40.

En el Cuadro 28 aparecen las estaciones que presentaron una tendencia significativa en el análisis de regresión. La suma se refiere al número de indicadores y parámetros climáticos en los cuales se detectaron las tendencias. Se resaltan las estaciones con más de 50 años continuos de datos registrados. Los resultados del análisis de regresión aparecen en el Anexo D.

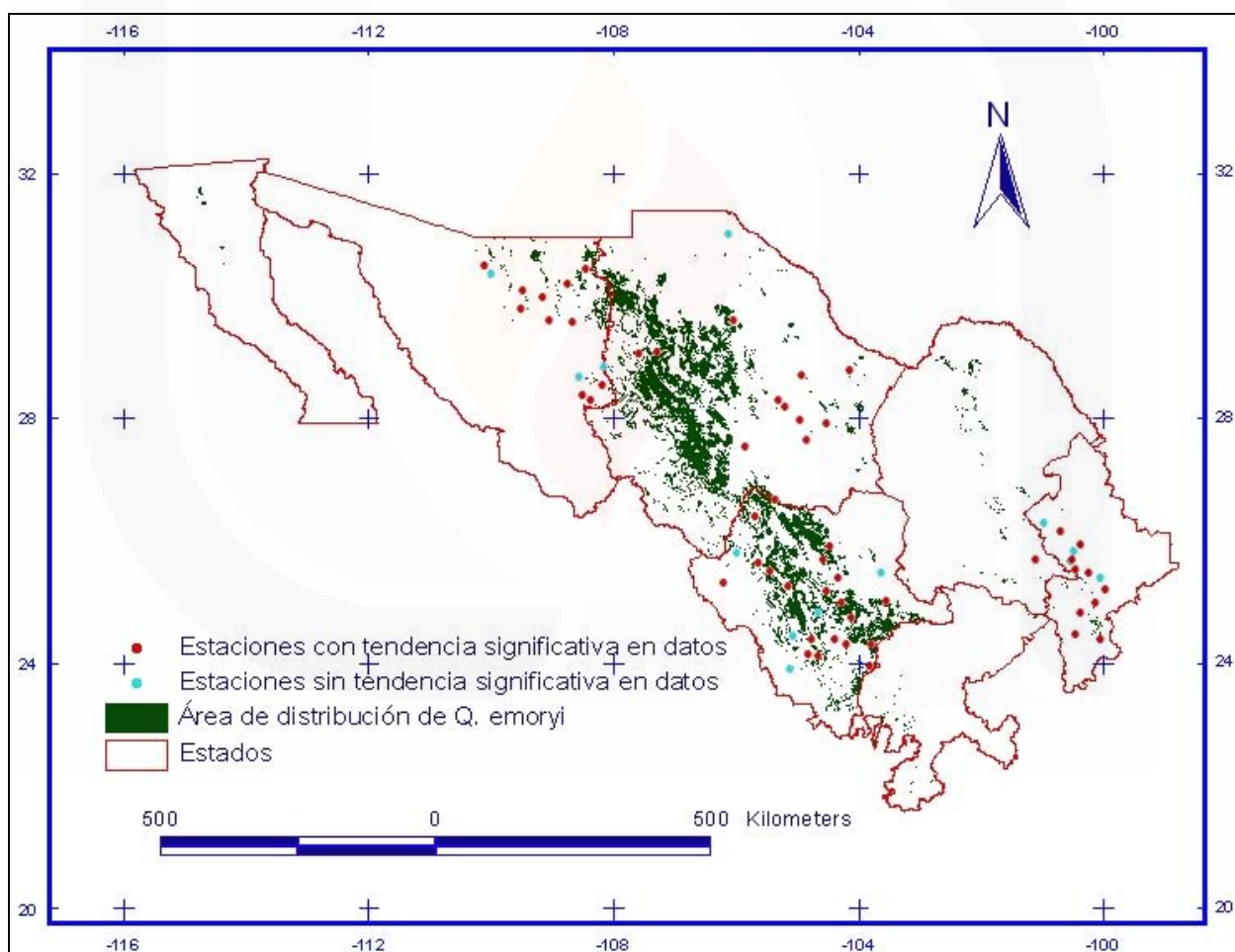


Figura 40. Estaciones climáticas seleccionadas para el análisis de regresión lineal simple.

En la Figura 40 pueden observarse amplias áreas ubicadas principalmente a lo largo de la Sierra Madre Occidental, en Chihuahua y Norte de Durango, así como en Coahuila; que carecen de estaciones climáticas con suficientes datos para realizar un análisis que pueda revelar alguna tendencia en las anomalías de indicadores climáticos extremos. También hay que considerar que la distancia entre las estaciones se incrementa por el relieve accidentado. Estas áreas carentes de estaciones pertenecen principalmente a lo que califica Challenger (1998) como la zona templada subhúmeda, de gran importancia por su riqueza biológica.

De las 67 estaciones que cumplieron con las características, en 53 se detectó una tendencia significativa en al menos uno de los indicadores o parámetros climáticos (Cuadro 28).

Cuadro 28. Resultados del análisis de regresión.

|    | Estación | Años continuos |    |    |   | Total años | Tmín01 | Tmed06 | Fd | ETR | Ppt | R10 | SDII | Suma |
|----|----------|----------------|----|----|---|------------|--------|--------|----|-----|-----|-----|------|------|
| 1  | 8057     | 25             |    |    |   | 25         |        |        |    | 1   |     |     |      | 1    |
| 2  | 8067     | 26             |    |    |   | 26         | 1      |        |    |     |     |     |      | 1    |
| 3  | 8098     | 25             |    |    |   | 25         |        |        | 1  |     |     |     |      | 1    |
| 4  | 8102     | 33             |    |    |   | 33         |        | 1      |    |     |     |     |      | 1    |
| 5  | 10006    | 2              | 27 | 7  | 4 | 40         |        |        |    |     |     |     | 1    | 1    |
| 6  | 10048    | 22             | 16 |    |   | 38         |        |        | 1  |     |     |     |      | 1    |
| 7  | 10061    | 23             | 14 |    |   | 37         |        |        |    |     | 1   |     |      | 1    |
| 8  | 10103    | 7              | 1  | 30 |   | 38         |        | 1      |    |     |     |     |      | 1    |
| 9  | 19027    | 49             | 3  |    |   | 52         |        |        | 1  |     |     |     |      | 1    |
| 10 | 19033    | 21             | 2  | 14 |   | 37         |        |        | 1  |     |     |     |      | 1    |
| 11 | 19038    | 36             | 1  |    |   | 37         |        |        | 1  |     |     |     |      | 1    |
| 12 | 19059    | 27             | 6  | 8  |   | 41         |        |        | 1  |     |     |     |      | 1    |
| 13 | 26069    | 5              | 57 |    |   | 62         |        |        |    |     | 1   |     |      | 1    |
| 14 | 26186    | 11             | 15 |    |   | 26         |        |        |    |     |     |     | 1    | 1    |
| 15 | 8157     | 33             |    |    |   | 33         | 1      | 1      |    |     |     |     |      | 2    |
| 16 | 10008    | 21             | 4  | 12 |   | 37         |        |        | 1  |     |     |     | 1    | 2    |
| 17 | 10017    | 20             |    |    |   | 20         |        |        |    |     | 1   | 1   |      | 2    |
| 18 | 10024    | 40             |    |    |   | 40         |        | 1      | 1  |     |     |     |      | 2    |
| 19 | 10047    | 40             |    |    |   | 40         |        |        | 1  | 1   |     |     |      | 2    |
| 20 | 10051    | 40             |    |    |   | 40         | 1      |        | 1  |     |     |     |      | 2    |
| 21 | 10081    | 34             |    |    |   | 34         |        | 1      |    |     |     | 1   |      | 2    |
| 22 | 10084    | 48             |    |    |   | 48         |        | 1      |    |     |     | 1   |      | 2    |

Continuación Cuadro 28.

|    | Estación | Años continuos |    |    |    | Total_años | Tmín01 | Tmed06 | Fd | ETR | Ppt | R10 | SDII | Suma |
|----|----------|----------------|----|----|----|------------|--------|--------|----|-----|-----|-----|------|------|
| 23 | 10129    | 26             |    |    |    | 26         | 1      |        | 1  |     |     |     |      | 2    |
| 24 | 19003    | 23             | 2  | 7  | 5  | 37         | 1      | 1      |    |     |     |     |      | 2    |
| 25 | 19045    | 28             | 16 |    |    | 44         |        |        | 1  | 1   |     |     |      | 2    |
| 26 | 26005    | 24             | 1  |    |    | 25         |        |        | 1  |     | 1   |     |      | 2    |
| 27 | 26006    | 18             | 16 | 3  |    | 37         |        |        | 1  |     |     | 1   |      | 2    |
| 28 | 26054    | 34             |    |    |    | 34         |        | 1      |    | 1   |     |     |      | 2    |
| 29 | 5032     | 66             |    |    |    | 66         | 1      |        | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 30 | 8019     | 29             |    |    |    | 29         | 1      |        | 1  |     | 1   |     |      | 3    |
| 31 | 8025     | 57             |    |    |    | 57         |        | 1      | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 32 | 8097     | 38             |    |    |    | 38         |        | 1      |    | 1   |     |     | 1    | 3    |
| 33 | 10012    | 50             |    |    |    | 50         | 1      |        | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 34 | 10021    | 45             | 16 |    |    | 61         | 1      |        | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 35 | 10027    | 25             | 17 |    |    | 42         |        |        |    |     | 1   | 1   | 1    | 3    |
| 36 | 10068    | 53             |    |    |    | 53         | 1      | 1      | 1  |     |     |     |      | 3    |
| 37 | 10100    | 63             |    |    |    | 63         |        |        | 1  | 1   | 1   |     |      | 3    |
| 38 | 19005    | 24             |    |    |    | 24         |        | 1      | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 39 | 19050    | 27             | 35 |    |    | 62         | 1      |        | 1  |     |     |     | 1    | 3    |
| 40 | 26008    | 6              | 36 |    |    | 42         | 1      |        | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 41 | 26023    | 22             | 9  | 2  |    | 33         |        | 1      | 1  | 1   |     |     |      | 3    |
| 42 | 26094    | 4              | 11 | 12 |    | 27         | 1      | 1      |    | 1   |     |     |      | 3    |
| 43 | 8008     | 26             |    |    |    | 26         | 1      | 1      | 1  | 1   |     |     |      | 4    |
| 44 | 10003    | 25             | 1  |    |    | 26         | 1      | 1      |    | 1   |     |     | 1    | 4    |
| 45 | 10023    | 40             |    |    |    | 40         | 1      | 1      | 1  | 1   |     |     |      | 4    |
| 46 | 10029    | 15             | 46 |    |    | 61         |        | 1      |    |     | 1   | 1   | 1    | 4    |
| 47 | 19004    | 23             |    |    |    | 23         | 1      | 1      | 1  | 1   |     |     |      | 4    |
| 48 | 19007    | 23             | 16 |    |    | 39         | 1      | 1      | 1  |     |     | 1   |      | 4    |
| 49 | 26045    | 58             |    |    |    | 58         | 1      | 1      | 1  |     |     |     | 1    | 4    |
| 50 | 26109    | 3              | 56 |    |    | 59         |        | 1      |    |     | 1   | 1   | 1    | 4    |
| 51 | 8135     | 20             | 5  |    |    | 25         | 1      | 1      | 1  | 1   |     |     | 1    | 5    |
| 52 | 26055    | 29             | 3  | 4  | 15 | 51         | 1      |        | 1  | 1   | 1   | 1   | 1    | 6    |
| 53 | 10098    | 58             |    |    |    | 58         | 1      | 1      | 1  | 1   | 1   | 1   | 1    | 7    |
|    | mín      | 2              | 1  | 2  | 4  | 20         | Total  |        |    |     |     |     |      |      |
|    | máx      | 66             | 57 | 30 | 15 | 66         | 22     | 24     | 33 | 21  | 11  | 10  | 13   | 134  |

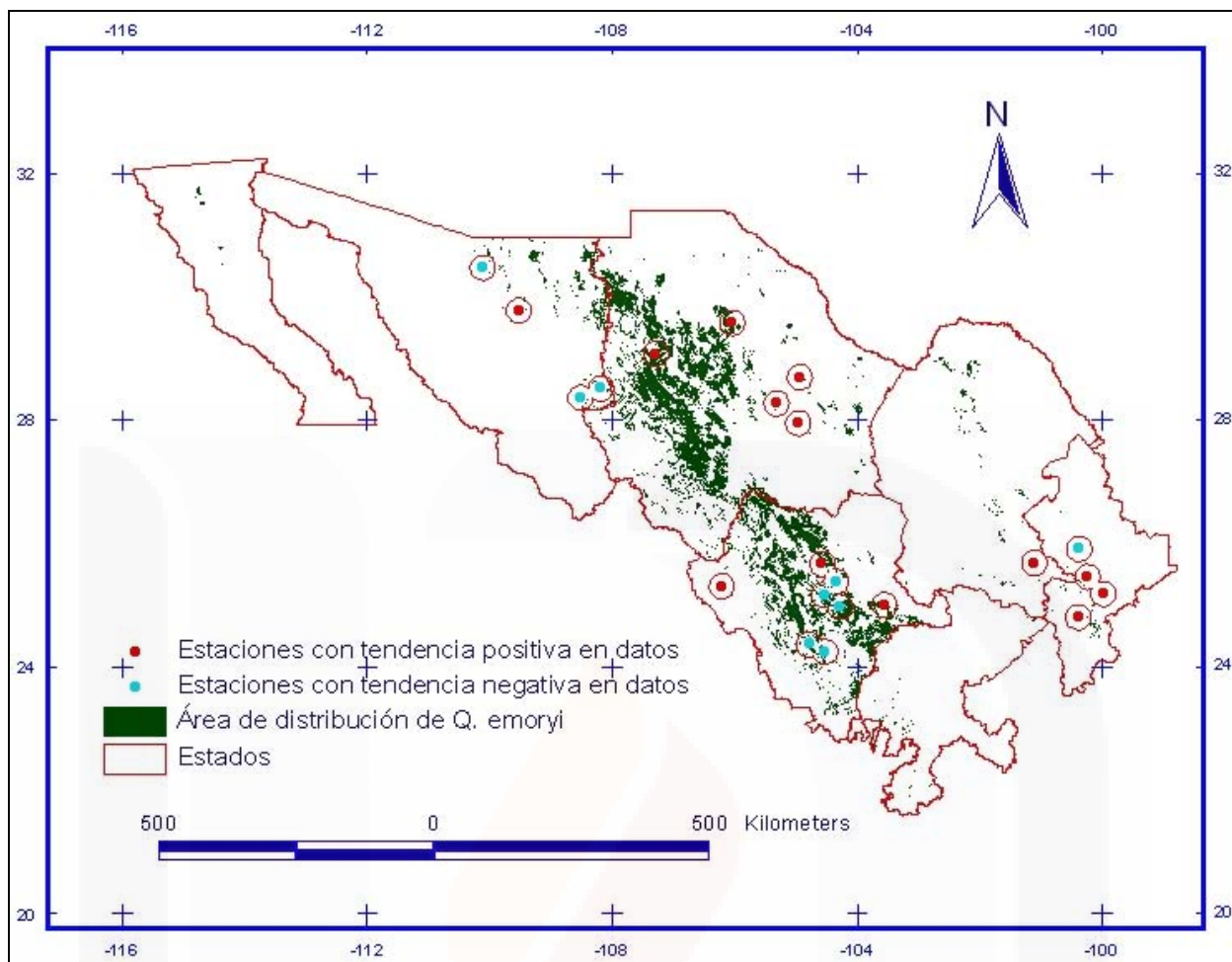
De las 53 estaciones que presentaron un patrón de cambio en alguno de los indicadores o parámetros climáticos, el 62% (33 de 53) correspondió al número de días con temperaturas menores a 0 °C, el 45% a temperatura media de junio, el 41.5% a temperatura mínima de enero, el 39.6% al rango de temperaturas extremas, el 24.5% al índice de intensidad diaria simple, el 20.7% a precipitación media anual y el 18.8% al número de días con precipitaciones mayores o iguales a 10 mm d<sup>-1</sup>.

Para facilitar la comparación de la información obtenida en el análisis de regresión, se presenta la ubicación de las estaciones y las tendencias que mostraron sus datos, en las Figuras 41 a 47. En ellas se presentan buffers de 25 km alrededor de las estaciones que presentaron una tendencia significativa en los datos de alguno de los indicadores climáticos, dado que fenómenos meteorológicos de pequeña escala suceden en menos de 100 km (World Meteorological Organization, 2003) y una visualización de dicha distancia da una idea del área de influencia de los fenómenos registrados. Sin embargo, hay que recordar que las distancias del buffer en el mapa no siempre corresponden a las de campo, puesto que estas se incrementan por el relieve accidentado; por ejemplo, en Nuevo León son trece elevaciones de la Sierra Madre Oriental las que atraviesan 50 km entre San Antonio de las Alazanas y Santa Catarina.

Son de llamar la atención las estaciones ubicadas en áreas cercanas a los límites de distribución ya que como afirma Woodward (1987), éstos son muy sensibles a los cambios climáticos y brindan información interesante acerca de cómo las especies se ajustan a los cambios cuando el límite es fijado por un umbral.

Un patrón de cambio positivo a través del tiempo, significa incremento respecto a la media histórica, mientras que un patrón de cambio negativo, significa una disminución.

De acuerdo con los resultados del análisis de sensibilidad, la temperatura mínima de enero podría ser un factor limitante para la distribución de la especie hacia el Sur; por lo tanto el hecho de que se hayan encontrado en el análisis de regresión tendencias significativas positivas en esta variable, sería un indicador de posible afectación a individuos de la especie ubicados en áreas cercanas a las estaciones cuyos registros dieron esos resultados. De éstas, sobresalen cinco estaciones de Durango por estar ubicadas hacia el límite Sur del modelo de distribución.



**Figura 41. Estaciones con tendencia significativa en los datos de temperatura mínima de enero.**

Al igual que en la temperatura mínima de enero, una tendencia positiva en el número de días con temperatura mínima menor a 0 °C (Fd) (Figura 42), podría contribuir a un detrimento de las poblaciones de *Q. emoryi*, ya que de acuerdo con los resultados de la calibración, el modelo que describe mejor la distribución de la especie, está comprendido en el rango de temperatura mínima de enero de -12 a -3 °C; temperaturas mayores a -3 °C agregan en el modelo áreas donde no se ha encontrado la especie.

Aunque incrementos en la frecuencia de temperaturas medias altas aumentan la probabilidad de establecimiento de especies vegetales (Kullman, 1979 citado en Woodward, 1987), la evaporación es mayor y en consecuencia la disponibilidad de agua puede ser un factor limitante en áreas que presentan una tendencia positiva en los datos de temperatura media de junio (Figura 43).



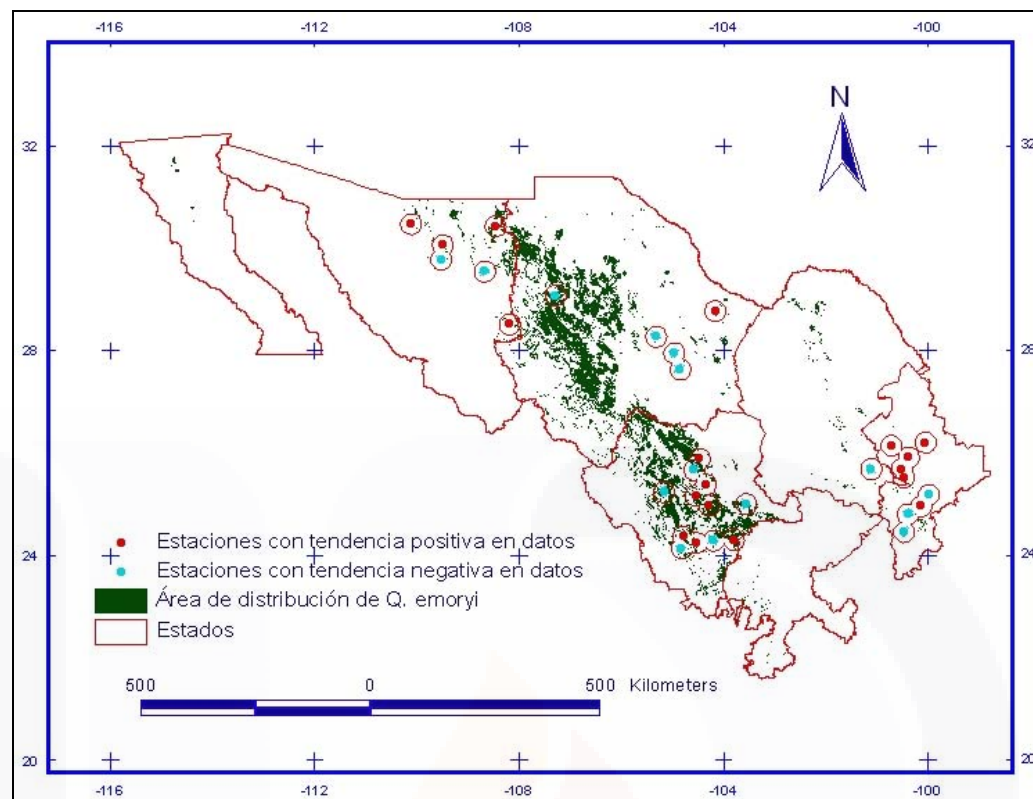


Figura 42. Estaciones con tendencia significativa en el número de días con temperatura menor a 0 °C.

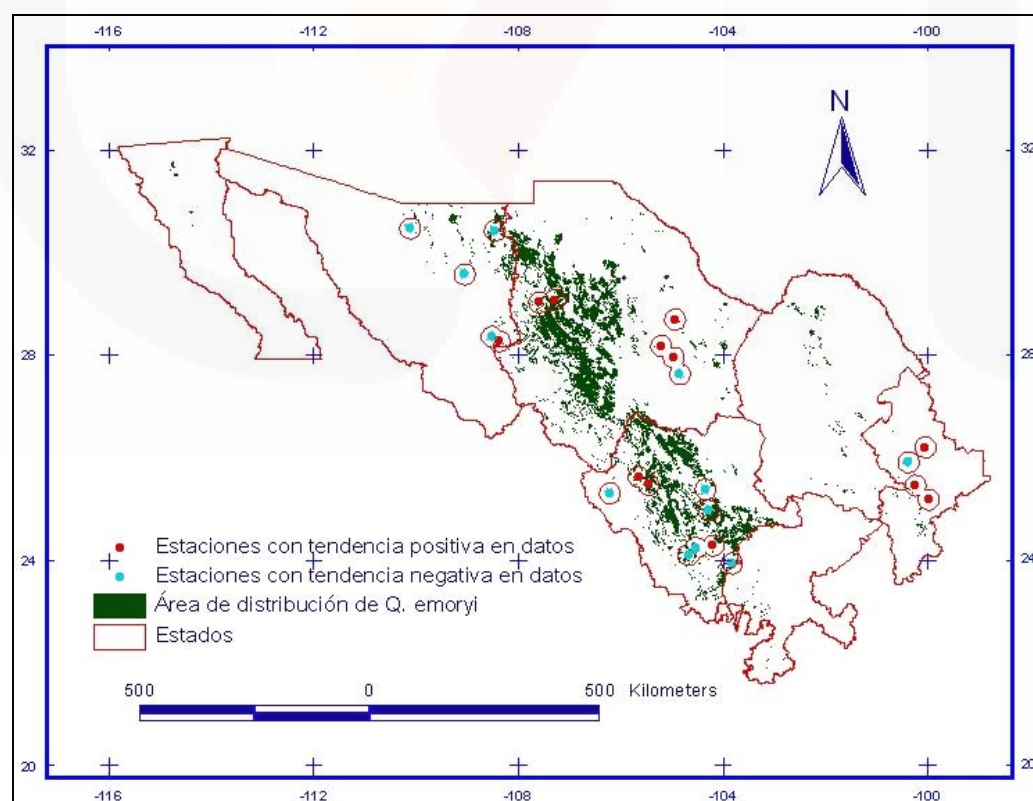
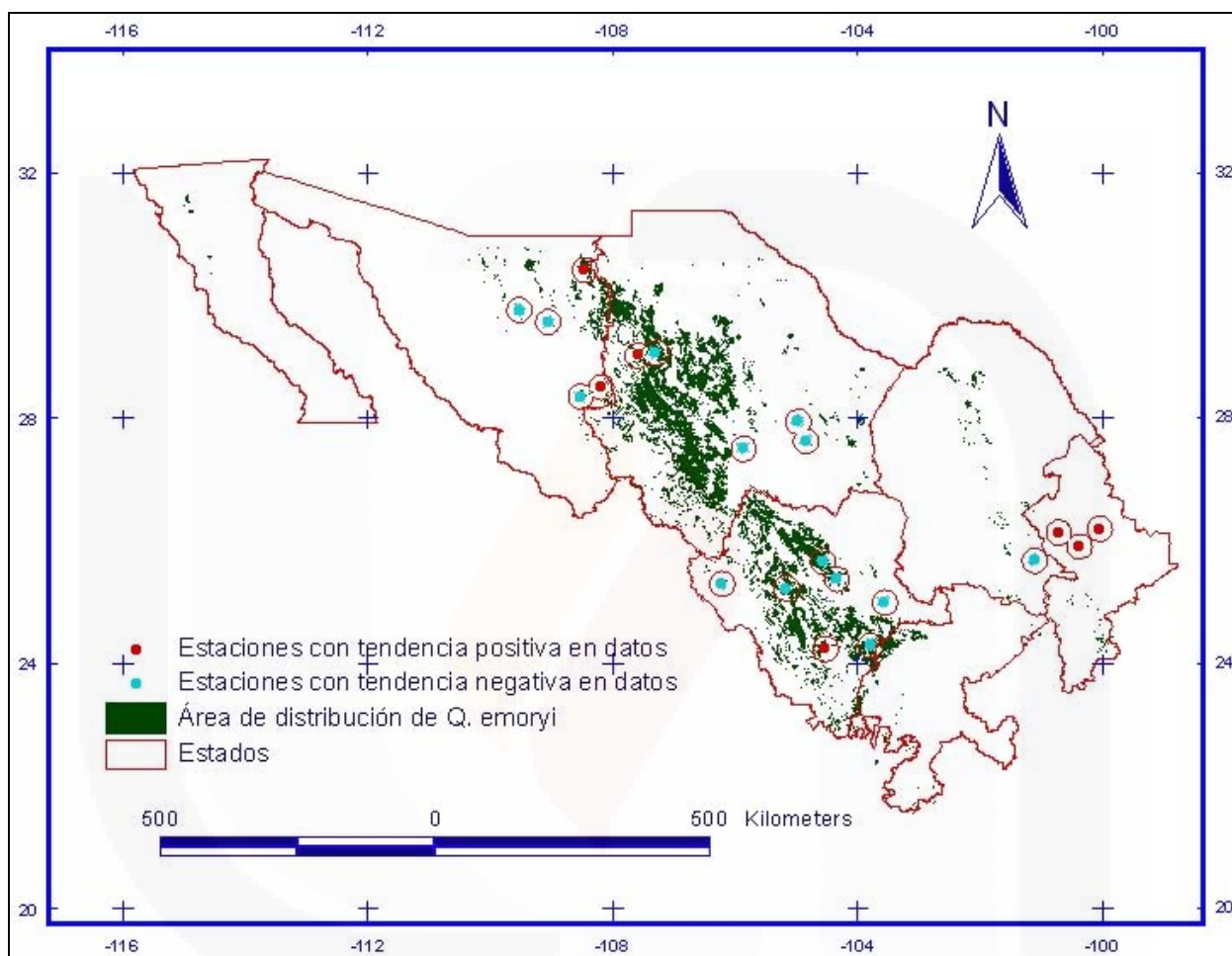


Figura 43. Estaciones con tendencia significativa en los datos de temperatura media de junio.

Un patrón de cambio negativo en el rango de temperaturas extremas (ETR) puede deberse a una disminución en las temperaturas máximas, a un aumento en las temperaturas mínimas o a ambas. Los dos últimos casos podrían implicar un riesgo para la especie en las áreas que presentan esta tendencia (Figura 44).



**Figura 44. Estaciones con tendencia significativa en el rango de temperaturas extremas.**

El modelo que presentó los valores más altos de precisión y concordancia tuvo un amplio intervalo de precipitación (218 a 1225 mm), sin embargo al ser la precipitación media anual una variable sensible, si ésta disminuye hacia la parte Oeste del modelo, es posible cierta afectación a las poblaciones de *Q. emoryi* en esta área, ya que en ella la especie está presente en precipitaciones mayores a 790 mm. Dentro de dicha área están ubicadas dos estaciones de Sonora que presentaron tendencia negativa en dicho parámetro (Figura 45).

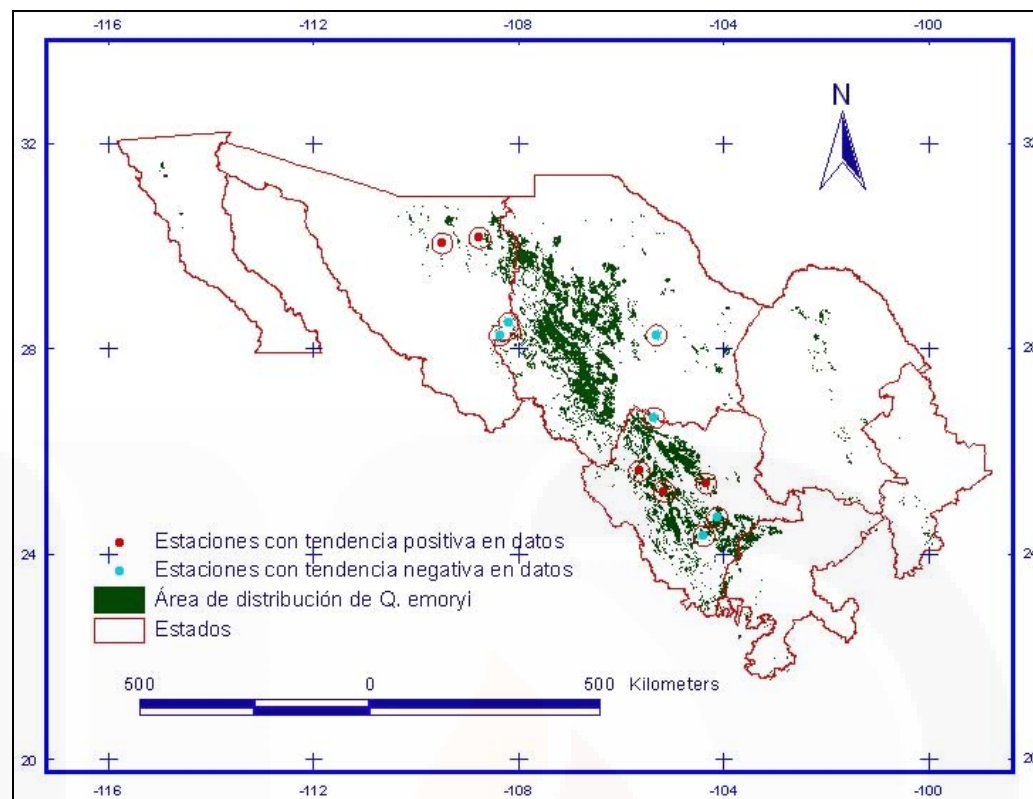


Figura 45. Estaciones con tendencia significativa en los datos de precipitación.

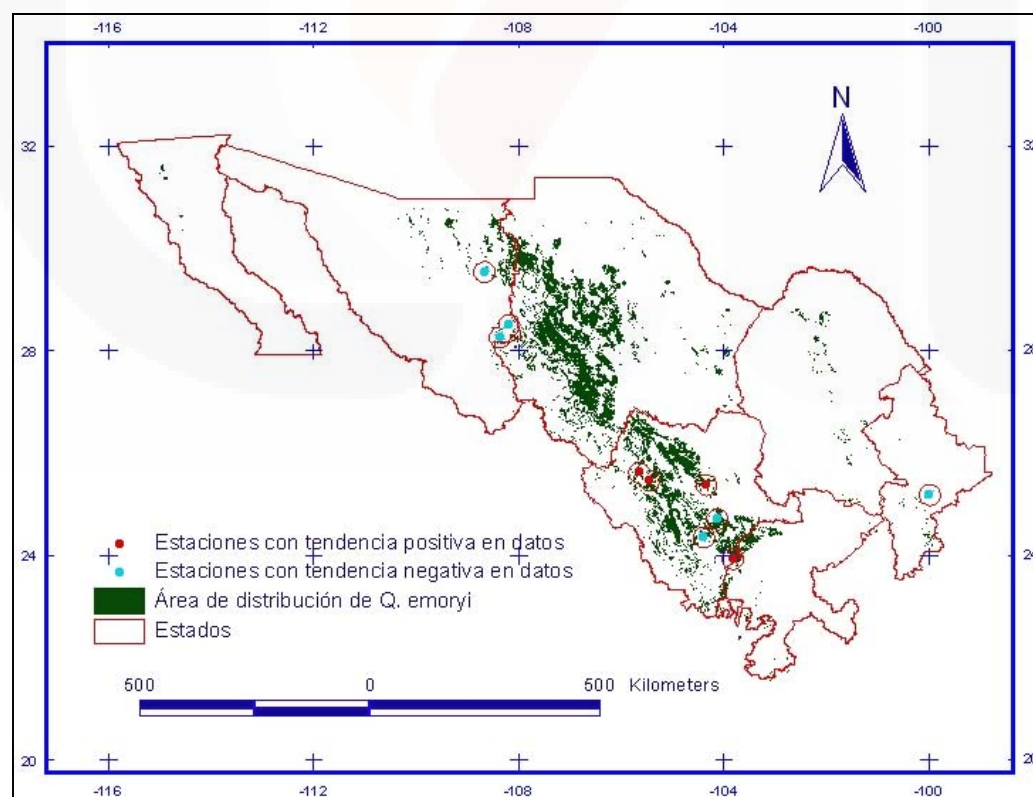
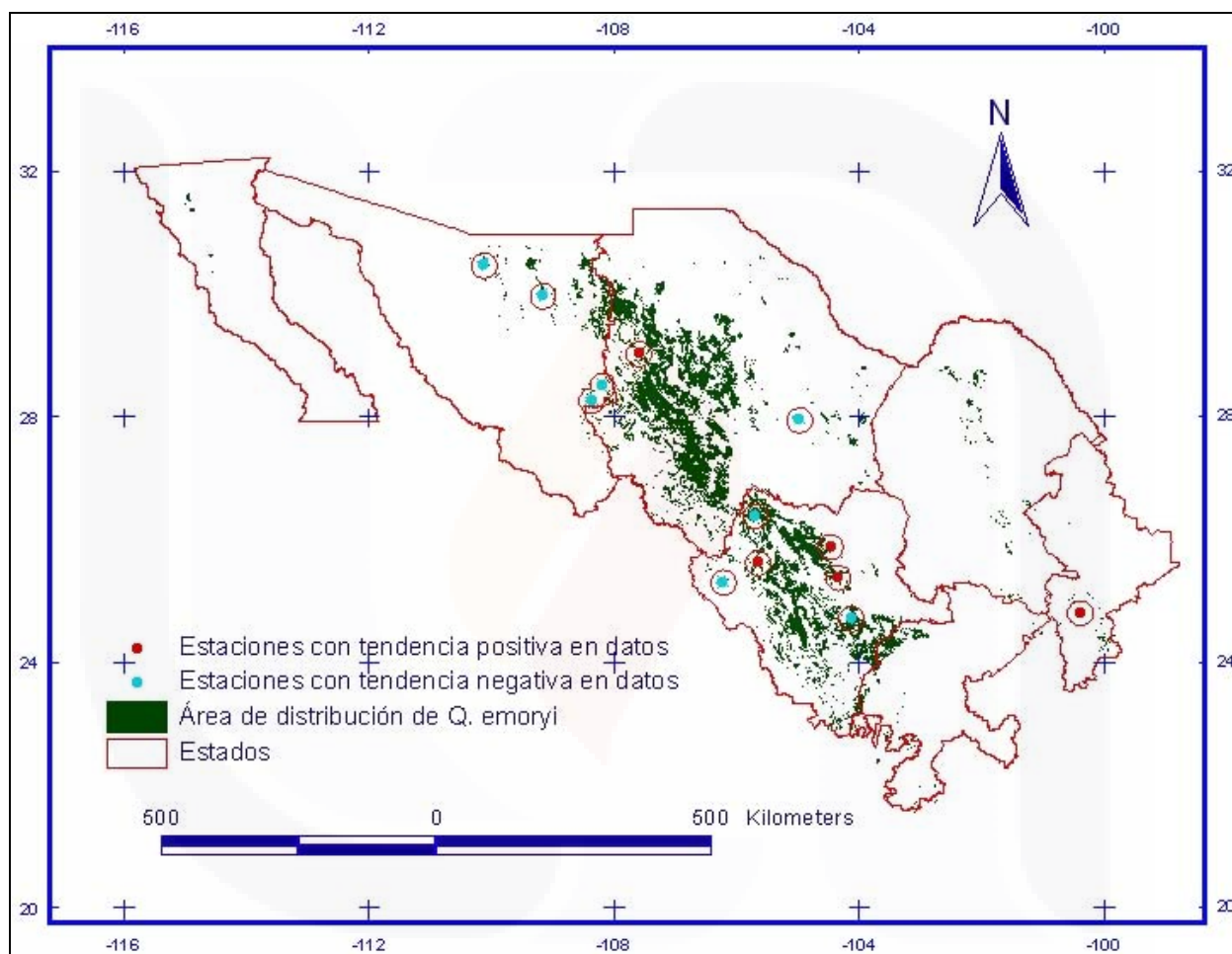


Figura 46. Estaciones con tendencia significativa en el número de días con ppt mayor o igual a 10 mm.

El índice de intensidad diaria de precipitación (SDII) (Figura 47), fue el indicador con el que hubo mayor número de estaciones con tendencia negativa, seguido por el número de días con precipitación mayor o igual a 10 mm (R10) (Figura 46). Es decir que, en las estaciones que mostraron tendencia negativa en estos indicadores, la cantidad de lluvia se está presentando en menor número de días o en menor cantidad.

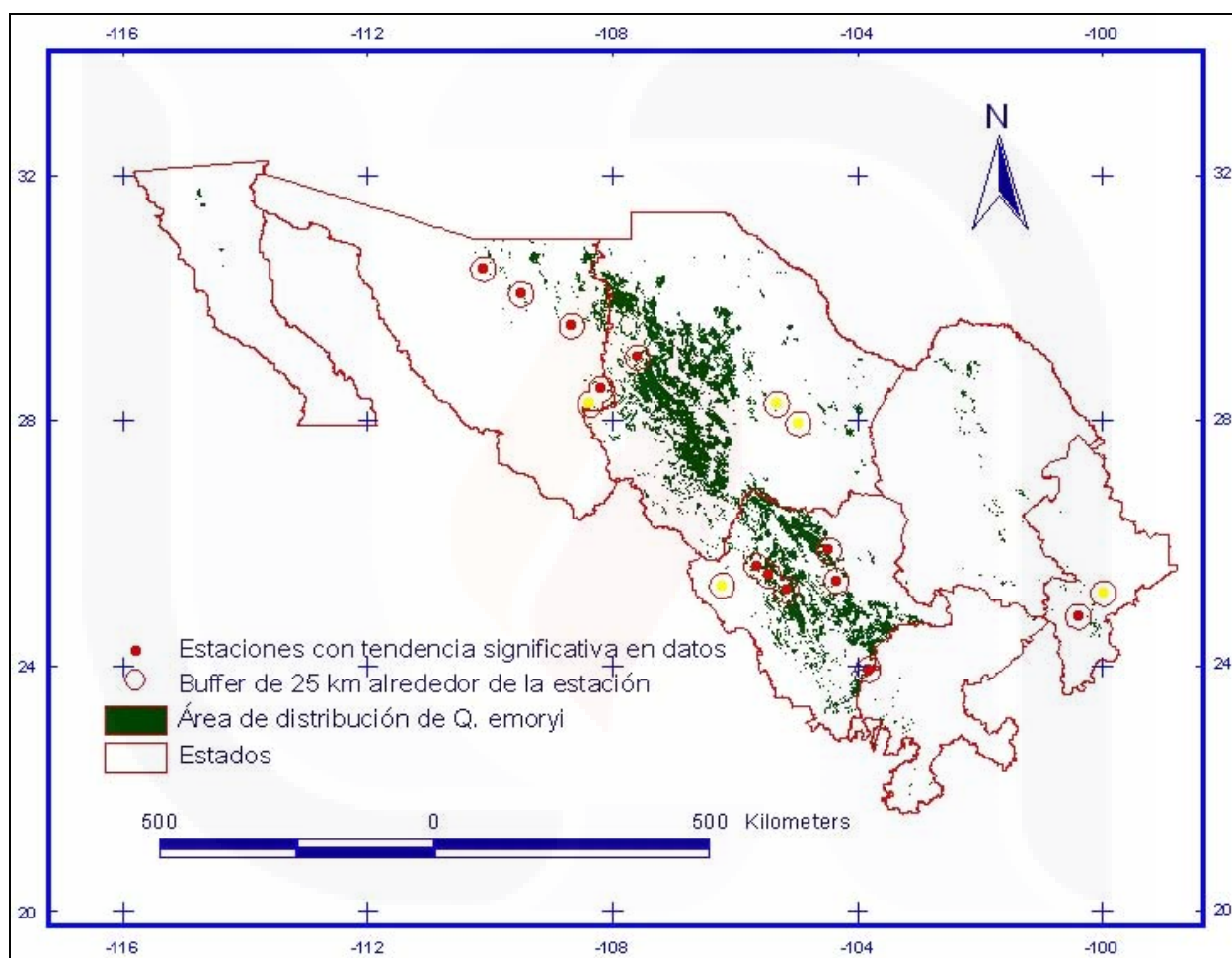


**Figura 47. Estaciones con tendencia significativa en el índice de intensidad diaria de precipitación**

Aquellas áreas del modelo cercanas a estaciones que presentaron tendencia positiva en las temperaturas, especialmente la temperatura media de junio, así como tendencia negativa en el rango de temperaturas extremas (ETR) junto con tendencia negativa en alguno de los indicadores relacionados con la precipitación, representan alto riesgo para la disponibilidad de agua en el suelo. Para las poblaciones de *Q. emoryi*, son de riesgo porque también en ellas pueden



conjugarse factores que de acuerdo con el análisis de sensibilidad limitan la presencia de la especie, como son las temperaturas mayores de 0 °C y precipitaciones menores especialmente en la parte Oeste de la Sierra Madre Occidental. Las estaciones que presentaron tanto tendencias positivas en indicadores relacionados con la temperatura como tendencias negativas en indicadores relacionados con la precipitación (Anexo D), aparecen resaltadas con amarillo en la Figura 48.



**Figura 48. Estaciones con tendencia significativa en las anomalías relacionadas tanto con temperatura como con precipitación (en amarillo con tendencia positiva en temperatura y negativa en precipitación) .**

El traslape de buffers, creados con las estaciones que presentan tendencias significativas relacionadas con diferentes parámetros, puede indicar errores en los datos de alguna de las estaciones involucradas. Por lo cual es conveniente considerar una posterior revisión cuidadosa de los datos climáticos de las estaciones involucradas y tomar con precaución los resultados.

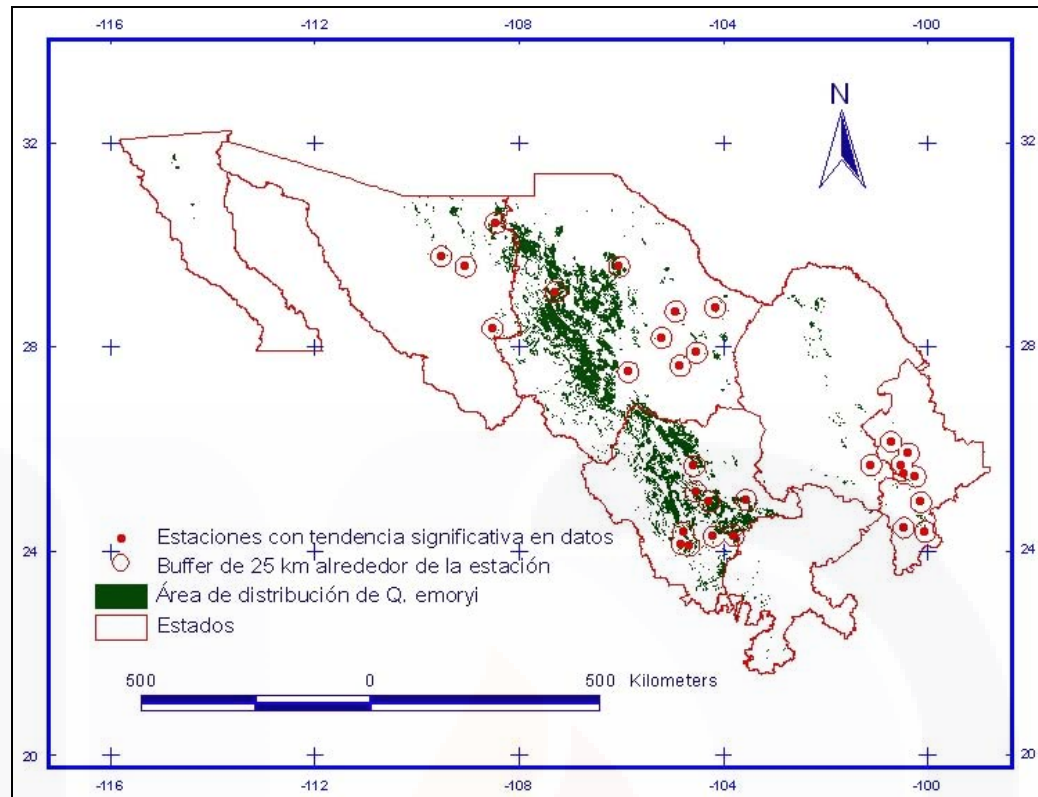


Figura 49. Estaciones con tendencias significativas en las anomalías relacionadas con la temperatura.

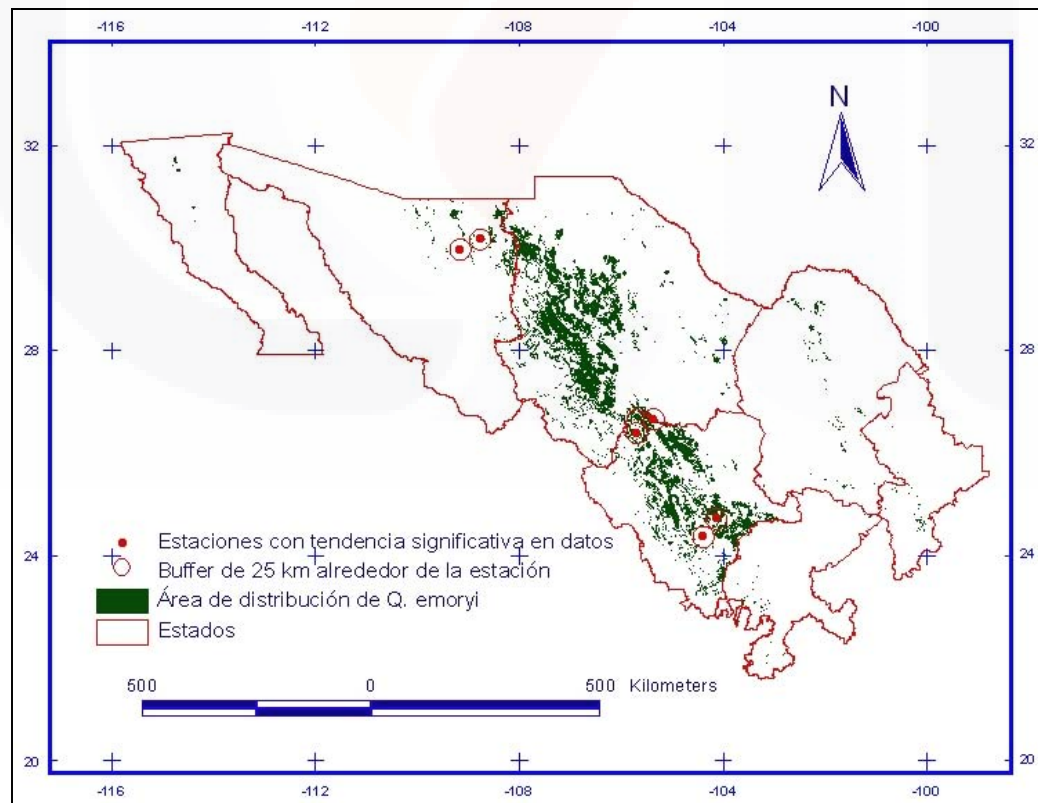


Figura 50. Estaciones con tendencias significativas en las anomalías relacionadas con la precipitación.

De las estaciones que presentaron una tendencia significativa en alguno de los indicadores o parámetros climáticos, alrededor del 50% mostraron un patrón de cambio negativo. En la temperatura mínima de enero, fue el 39.13% (9 de 23); en la temperatura media de junio, el 50% (11 de 22); en el número de días con temperatura mínima menor a 0 °C, el 45.45% (15 de 33); en el rango de temperaturas extremas, el 57% (12 de 21); en la precipitación media anual, el 54.54% (6 de 11); en el número de días con precipitación mayor o igual a 10 mm, el 60% (6 de 10) y en el índice de intensidad diaria de precipitación, el 61.53% (8 de 13) (Anexo D).

De los resultados puede afirmarse que; sí fue posible detectar tendencias significativas en los datos aún cuando éstos no existan para algunos años, así como detectar cambios con los indicadores utilizados; sin embargo, fueron pocas las estaciones que presentaron tendencias significativas en los indicadores relacionados con la precipitación (Figura 50). Sería conveniente en estudios posteriores uniformizar los datos, por ejemplo, que para todas las estaciones los datos usados comprendan el mismo período y tratar de incluir más estaciones en el estudio así como utilizar más indicadores que permitan evidenciar un cambio en el clima para las condiciones de México.

### **11.3. CONCLUSIONES PRELIMINARES**

Aún cuando se carece de suficiente información sobre la situación climática en áreas extensas consideradas en el modelo de distribución de *Q. emoryi*, asociar éste con los resultados del análisis de regresión de indicadores de eventos extremos y de algunos parámetros climáticos, contribuye a la detección de áreas vulnerables por ser hábitats fragmentados y en los cuales se han detectado patrones de cambio en indicadores climáticos. Asimismo, evidencia sobretodo las necesidades de información climática para comprender la relación entre clima y especies vegetales para la preservación de la biodiversidad.

Las áreas de distribución fragmentadas son más sensibles a las modificaciones ambientales y más cuando esta fragmentación se debe a la acción del ser humano, por lo que el riesgo de extinción de las especies en ellas es alto.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Sería conveniente realizar estudios ecofisiológicos en áreas cercanas a las estaciones cuyos datos mostraron una tendencia significativa, especialmente positiva en el caso de las temperaturas y negativa en el caso del rango de temperaturas extremas y de indicadores relacionados con la precipitación.



## 12. CONCLUSIONES GENERALES

Con base en la información de clima, relieve, suelo y vegetación de sitios de colecta con georeferencia, en el método utilizado y en los resultados de todo el proceso de obtención de un modelo de la distribución geográfica de *Q. emoryi* en México, se establecen las siguientes conclusiones:

Temperatura mínima de enero, temperatura media de junio, precipitación media anual, unidad de suelo, tipo de vegetación, altitud y pendiente; son variables que permiten describir la distribución geográfica de *Q. emoryi* en México, a través de la caracterización de sitios de colecta. A partir de esta, también es posible detectar tendencias de *Q. emoryi* en el espacio geográfico en función de las variables temperatura mínima de enero, precipitación y altitud.

El área que denominamos modelo de distribución geográfica de *Q. emoryi*, es una representación de la intersección de las imágenes correspondientes a los intervalos (resultantes de la caracterización de sitios de colecta) de cada una de las siete variables abióticas utilizadas, pero puede interpretarse esta área como aquella en la que: está presente la especie, pueden estar presentes especies muy cercanas, están las condiciones ambientales para la especie pero no la ha ocupado o bien están las condiciones para que esté presente la especie pero ya no existe ahí. Por lo tanto, la aproximación al nicho realizado de *Q. emoryi* y la representación de su distribución geográfica a través de modelación espacial puede servir como apoyo para estudios sobre la especie, de tolerancia fisiológica, biogeografía, reproducción, taxonomía, reintroducción, reforestación y diseño de corredores para conservación.

La reforestación junto con la conservación son dos opciones para reducir las emisiones de carbono; sin embargo, las actividades para reducir la deforestación en los países en desarrollo no forman parte de los acuerdos del Protocolo de Kyoto. Las posibles políticas a implementarse bajo éste y la Convención de Cambio Climático para reducir las emisiones causadas por la deforestación, fueron discutidas el 1º de febrero del 2007 y se analizarán a fin de año por las Partes de la Convención.

La reforestación tradicionalmente se ha concentrado en las plantaciones de coníferas, sin embargo la diversidad y plasticidad del género *Quercus* lo convierten en una importante opción para este fin, para el cual es necesario contar con información acerca de las especies y sus requerimientos ambientales, sobre todo ahora que vivimos una carrera contra el tiempo para mitigar los efectos del cambio climático global.



### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Austin, M. P. 2002. *Spatial Prediction of Species Distribution: an Interface between Ecological Theory and Statistical Modelling*. Ecological Modelling 157, 101-118
- Avendaño, S. y M. C., Sánchez. 1999. *Especies de Uso Energético en México*. Textos Universitarios. Universidad Veracruzana. México. p. 58.
- Banda, R. 1974. *Contribución al Conocimiento de los Encinos del estado de Nuevo León*. Tesis de licenciatura. UANL. p. 55.
- Bello, M. A. y J. N. Labat. 1987. *Los Encinos (Quercus) del Estado de Michoacán, México*. Centre D'Etudes Mexicaines et Centramericaines en coedición con SARH, INIFAP. p. 97.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado Presente y Futuro*. CONABIO. UNAM. Agrupación Sierra Madre, S. C. México. p. 847.
- De la Cerda, M. 1999. *Encinos de Aguascalientes*. 2a. ed. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. p. 88.
- Encina, J. M. 1996. *Distribución y aspectos ecológicos del género Quercus L. (FAGACEAE) en el estado de Coahuila, México*. Tesis de licenciatura. UAAN, Saltillo, Coahuila.
- Felger, R., M. Johnson and M. Wilson. 2001. *The Trees of Sonora, Mexico*. Oxford University Press. pp 211-226.
- Fernández, R., C. Orozco, M. L. Arreguín, M. Yépez, B. Rodríguez y G. Cabrera. 1997. *Introducción a la Flora del Estado de Querétaro*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. IPN. UACH. México. pp. 186-195.
- Flores, O. 1998. *Herpetofauna de México: distribución y endemismo*. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (Compiladores). *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología. UNAM. México. pp. 251-278.
- Frich P., L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank and T. Peterson. 2002. *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*. Climate Research 19:193-212.
- Gertseva, V., V. Gertsev and N. Y. Ponomarev. 2005. *Integrative Model of a Population Distribution in a Habitat*. Ecological Modelling Internet: [www.elsevier.com/locate/ecolmodel](http://www.elsevier.com/locate/ecolmodel). Fecha de consulta: 11/oct/2005.
- González, L. M. 1986. *Contribución al Conocimiento del Género Quercus (Fagaceae) en el Estado de Jalisco*. Instituto de Botánica. Universidad de Guadalajara. p 240.

Granados, D. y G. F. López. 1996. *Agroecología*. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 420.

Guisan, A. and N. E. Zimmermann. 2000. *Predictive habitat distribution models in ecology*. Ecological Modelling 135:149-152.

Harlan, J.R. 1971. *Agricultural origins: Centers and noncenters*. Science 174:468-474.

Harwell, M. and J. Gentile. 2003. *Overcoming Barriers to the USE of Models in Environmental Decision Making*. En: Dale, V. H. (Ed.) *Ecological Modeling for Resource Management*. Springer. New York. pp. 89-108.

Hohler, D., T. Ashwood, J. Richardson, L. Olsen, N. Hendrix and A. Williams. 2003. *Effective Modelling for Use in Management Decisions: Data Issues*. En: Dale, V. H. (Ed.) *Ecological Modeling for Resource Management*. Springer. New York. pp. 180-208.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. 2000a. *Carta Edafológica 1: 250 000*. Disco compacto.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. 2000b. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación 1: 250 000*. Disco compacto.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. 2002c. *Modelo Digital de Elevación 1: 250 000*.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. 2003. *Sistema de Consulta Herbario INEGI*. Versión 2.0. Disco compacto.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. 2000. *Extractor Rápido de Información Climática II*. ERIC II. México. Disco compacto.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. 2006. *Extractor Rápido de Información Climática III*. ERIC III. México. Disco compacto.

Instituto Nacional de Ecología. INE. 2006. *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. p. 211.

Landis, J. and G. Koch. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics, Vol. 33, No. 1, pp. 159-174.

Legendre, P. and L. Legendre. 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier Science. 2nd. ed. The Netherlands. pp. 3-4.

Maciel, L. H., L. M. Macías y C. A. Jiménez. 2005. *Potencial Productivo de Especies Vegetales en Aguascalientes*. Folleto Técnico Núm. 27. Campo Experimental Pabellón. CIR Norte Centro. INIFAP. México. p. 109.

Martínez, M. 1954. *Los Encinos del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Dirección de Agricultura y Ganadería. p. 86.

Martínez, M. 1965. *Los Encinos de México XIII*. Ibid. 36 (1-2):119-140.

Martínez, M. 1966. *Los Encinos de México XIV*. Ibid. 37 (1-2): 81-95.

Martínez, M. 1974. *Los Encinos de México XV*. Ibid. 45 (1): 21-56.

Martínez, M. 1977. *Los Encinos de México*. Anales del Instituto de Biología. Comisión Forestal de Michoacán. Serie Técnica No. 8. p. 230.

Masera, O. 2002. *Bosques y Cambio Climático en América Latina: Análisis y Perspectivas*. En: Leff, E., E. Ezcurra, I. Pisanty y P. Romero (Comp.) *La Transición hacia el Desarrollo Sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Autónoma Metropolitana. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México. p. 578.

Maxwell, T., J. Berkson, T. Schoennagel, K. Poiani and R. Costanza. 2003. *Educational Investments in Environmental Science and Management*. En: Dale, V. H. (Ed.) *Ecological Modeling for Resource Management*. Springer. New York. pp. 263-285.

McVaugh, R. 1974. *Flora Novo-Galiciana*. Contributions from the University of Michigan Herbarium. 12(1):3, pp. 1-93.

Muller, C. H. 1942. *The Central American Species of Quercus*. Miscellaneous Publication No. 477. United States Department of Agriculture. p. 216.

Muller, C. H. 1951. *The oaks of Texas*. Texas Research Foundation. 1(3). Renner, Texas. pp. 21-323.

Nixon, K. C. 1998. *El Género Quercus en México*. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (Compiladores). *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología. UNAM. México. pp. 435-447.

Nixon, K. C. 2003. *Fagaceae*. En: Flora of North America. <http://flora.huh.harvard.edu>. Fecha de consulta: 21/ago/2003.

Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. IPCC. 2001. *Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático 2001. Impactos Adaptación y Vulnerabilidad*. Organización Meteorológica Mundial y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. p 93.

Passini, M. F. 1982. *Les Forêts de Pinus cembroides au Mexique*. Mision Archéologique et Ethnologique Française au Mexique. Etudes Mésoaméricaines II-5. Editions Recherche sur les civilisations. Paris. p. 373.

Richardson, J. and C. Berish. 2003. *Data and Information Issues in Modeling for Resource Management Decision Making: Communication is the Key*. En: Dale, V. H. (Ed.) *Ecological Modeling for Resource Management*. Springer. New York. pp. 167-179.

Romero, S. 1993. *El género Quercus (Fagaceae) en el Estado de México*. Tesis de maestría. UNAM. p. 151.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, S. A. México. pp. 432

Rzedowski, J. 1998. *Diversidad y Orígenes de la Flora Fanerogámica de México*. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (Compiladores). *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología. UNAM. México. pp. 129-145.

Sarukhán, J. 2006. Conferencia: *Cambio Climático ¿Qué pasa con la biodiversidad?* En: Simposio sobre Prioridades de Investigación en Cambio Climático. México, D. F.

Spellenberg, R. 2000. *Oaks of La Frontera*. En: Webster, G and C. J. Bahre (Eds.) *Changing Plant Life of La Frontera. Observations of Vegetation in the U. S./Mexico Borderlands*. University of New Mexico Press. Albuquerque. pp. 176-186, 195-211

Suárez, A. y D. Dokken (Eds.) 2002. *Documento Técnico V del IPCC. Cambio Climático y Biodiversidad*. IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. p. 85.

Toledo, V. M., P. Alarcón y L. Barón. 2002. *La Modernización Rural de México, un Análisis Socioecológico*. SEMARNAT/INE/UNAM. México, D. F. pp. 130.

Torres, J. M. y A. Guevara. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. Instituto Nacional de Ecología.

Trelease, W. 1924. *The American Oaks*. Memories of the National Academy of Sciences 20. Washington. p. 255, pl. 256-420.

Vázquez, M. L. 1992. *El género Quercus (Fagaceae) en el Estado de Puebla, México*. Tesis de licenciatura. UNAM. p. 246.

Velásquez, A., J. F. Mas y J. L. Palacio. 2002. *Análisis del Cambio de Uso del Suelo*. Instituto Nacional de Ecología e Instituto de Geografía, UNAM. p. 95.

Wiggins, I. L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press. Stanford, California. pp. 135-137.

Woodward, F. I. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press. Cambridge. p. 174.

World Meteorological Organization. 2003. Manual on the Global Observing System. Global Aspects. Vol. I (Annex V to the WMO Technical Regulations). WMO No. 544. <http://www.wmo.ch>. Fecha de consulta: 03/mar/2007.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Zavala, F. 1998. *Observaciones sobre la Distribución de Encinos en México*. Polibotánica 8:47-64. México.

Zunino, M. y A. Zullini. 2003. *Biogeografía. La Dimensión Espacial de la Evolución*. Fondo de Cultura Económica. México. p. 359.

Nota: Las siguientes son obras consultadas en las que se mencionan los Estados en donde se localizan algunas especies del género *Quercus*; no se incluyen en la relación anterior porque los Estados mencionados en dichas obras están incluidos en las que se presentan en el Cuadro 2 del Anexo A.

Espinosa, J. 2001. *Fagaceae*. En: Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski (Eds. y autores principales) *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, Centro Regional Bajío. CONABIO. Pátzcuaro, Michoacán. pp. 81-91.

Martínez, M. 1955. *Los Encinos de México VI*. Anales del Instituto de Biología 26 (2): 245-281.

Munz, P. and D. Keck. 1970. *A California Flora*. University of California Press. Los Angeles, California. pp. 902-907.

Shreve, F. and I. L. Wiggins. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Vol. 1. Stanford University Press. Stanford, California. pp. 390-393.

Valdéz, V. y M. L. Aguilar. 1983. *El Género Quercus en las Unidades Fisonómico-Florísticas de Municipio de Santiago, Nuevo León*. SARH. Subsecretaría Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México.

Zavala, F. 1995. *Encinos Hidalguenses*. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. p. 133.

Zavala, F. 1995. *Encinos y Robles. Notas Fitogeográficas*. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 44.

## ANEXO A

### INFORMACIÓN BASE PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIE Y SITIOS DE COLECTA UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Cuadro 1. Resultados de la revisión del género *Quercus* en el Herbario INEGI, que sirvieron en la construcción de la matriz para la selección de la especie

| ESPECIE        | GEO-REF | NOGEO-REF | EJEMPLARES | NÚM. DE EDOS.<br>(de los ejemplares) |
|----------------|---------|-----------|------------|--------------------------------------|
| acatenangensis | 1       | 0         | 1          | 2                                    |
| acutifolia     | 9       | 4         | 13         | 10                                   |
| affinis        | 4       | 5         | 9          | 10                                   |
| albocincta     | 1       | 0         | 1          | 4                                    |
| aristata       | 7       | 3         | 10         | 7                                    |
| arizonica      | 11      | 1         | 12         | 5                                    |
| brandegei      | 1       | 0         | 1          | 1                                    |
| candicans      | 15      | 8         | 23         | 20                                   |
| castanea       | 30      | 31        | 61         | 22                                   |
| coccolobifolia | 5       | 1         | 6          | 10                                   |
| conspersa      | 10      | 5         | 15         | 7                                    |
| corrugata      | 3       | 0         | 3          | 4                                    |
| crassifolia    | 38      | 10        | 48         | 17                                   |
| crassipes      | 15      | 5         | 20         | 13                                   |
| cupreata       | 1       | 1         | 2          | 1                                    |
| chihuahuensis  | 30      | 0         | 30         | 10                                   |
| depressipes    | 27      | 2         | 29         | 4                                    |
| deserticola    | 3       | 3         | 6          | 8                                    |
| devia          | 1       | 0         | 1          | 1                                    |
| durifolia      | 18      | 3         | 21         | 6                                    |
| dysophylla     | 2       | 0         | 2          | 11                                   |
| eduardii       | 26      | 6         | 32         | 10                                   |
| alliptica      | 15      | 6         | 21         | 8                                    |
| emoryi         | 57      | 6         | 63         | 5                                    |
| eugeniaefolia  | 3       | 0         | 3          | 5                                    |
| excelsa        | 6       | 1         | 7          | 2                                    |
| frutex         | 1       | 2         | 3          | 8                                    |
| fusiformis     | 3       | 4         | 7          | 3                                    |
| germana        | 4       | 0         | 4          | 7                                    |
| glabrescens    | 3       | 1         | 4          | 9                                    |
| glaucescens    | 4       | 2         | 6          | 7                                    |
| glaucoides     | 9       | 2         | 11         | 14                                   |
| gravesii       | 4       | 0         | 4          | 1                                    |
| greggii        | 10      | 0         | 10         | 7                                    |
| grisea         | 24      | 7         | 31         | 10                                   |

Continuación Cuadro 1

| ESPECIE       | GEO-REF | NOGEO-REF | EJEMPLARES | NÚM. DE EDOS.<br>(de los ejemplares) |
|---------------|---------|-----------|------------|--------------------------------------|
| hintoniorum   | 3       | 1         | 4          | 1                                    |
| hypoleucoides | 2       | 1         | 3          | 4                                    |
| hypoxantha    | 4       | 0         | 4          | 2                                    |
| intricata     | 11      | 1         | 12         | 5                                    |
| invaginata    | 1       | 1         | 2          | 1                                    |
| laeta         | 23      | 16        | 39         | 15                                   |
| laurina       | 24      | 18        | 42         | 18                                   |
| magnoliifolia | 42      | 7         | 49         | 13                                   |
| martinezii    | 4       | 3         | 7          | 2                                    |
| mexicana      | 11      | 6         | 17         | 17                                   |
| microphylla   | 8       | 5         | 13         | 12                                   |
| oblongifolia  | 2       | 1         | 3          | 6                                    |
| obtusata      | 38      | 13        | 51         | 13                                   |
| oleoides      | 12      | 3         | 15         | 8                                    |
| peduncularis  | 8       | 0         | 8          | 9                                    |
| polymorpha    | 26      | 8         | 34         | 7                                    |
| potosina      | 13      | 1         | 14         | 8                                    |
| praeco        | 1       | 0         | 1          | 3                                    |
| praineana     | 2       | 1         | 3          | 3                                    |
| pringlei      | 1       | 1         | 2          | 4                                    |
| repanda       | 2       | 1         | 3          | 7                                    |
| resinosa      | 18      | 3         | 21         | 8                                    |
| rugosa        | 25      | 16        | 41         | 22                                   |
| rysophylla    | 6       | 2         | 8          | 4                                    |
| salicifolia   | 11      | 2         | 13         | 10                                   |
| sapotaefolia  | 1       | 1         | 2          | 3                                    |
| sartorii      | 6       | 0         | 6          | 9                                    |
| scytophylla   | 13      | 9         | 22         | 10                                   |
| sebifera      | 3       | 1         | 4          | 3                                    |
| sideroxyla    | 22      | 1         | 23         | 17                                   |
| sillae        | 2       | 0         | 2          | 1                                    |
| sinuata       | 1       | 0         | 1          | 2                                    |
| urbanii       | 3       | 2         | 5          | 8                                    |
| uxoris        | 3       | 1         | 4          | 5                                    |
| viminea       | 5       | 0         | 5          | 7                                    |
|               |         |           |            |                                      |
| TOTAL         | 758     | 245       |            |                                      |

Cuadro 2. Estados en los que se localizan las 70 especies de encino (ordenadas de manera decreciente conforme al valor de importancia).

| ESPECIE        | IMPORTANCIA | NÚM. DE EDOS. | ESTADOS EN LOS QUE EXISTEN COLECTAS DE LA ESPECIE                                                                                                                                                                                           |
|----------------|-------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| emoryi         | 30.9867     | 5             | Chih, Son, Coah, Dgo (Spellenberg, 2000); NL (Banda, 1974)                                                                                                                                                                                  |
| magnoliifolia  | 27.8051     | 13            | Sin, Nay, Jal, Col, Mich, Gro, Méx, Oax (McVaugh, 1974) +Ags, SLP, Mor (Martínez, 1977) +Chis, Pue, - Ags -Col (Vázquez, 1992)                                                                                                              |
| crassifolia    | 26.3958     | 17            | Chis, Chih, DF, Dgo, Méx, Gto, Gro, Hgo, Jal, Mich, Oax, SLP; Sin, Tlax, Ver, Pue (Vázquez, 1992); Ags (De la Cerda, 1999)                                                                                                                  |
| obtusata       | 25.8840     | 13            | Zac, Nay, Jal, Mich, Méx, Mor, SLP, Gto, Hgo, Pue (McVaugh, 1974)+ DF, Oax (Bello, 1987); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997)                                                                                                              |
| polymorpha     | 25.3674     | 7             | Pue, Chis, Hgo, SLP, Ver (Vázquez, 1992); NL (Banda, 1974); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997)                                                                                                                                            |
| greggii        | 25.3275     | 7             | Coah, NL, Tam, Dgo, Hgo, SLP, Pue (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                                                           |
| resinosa       | 24.8319     | 8             | Dgo, Zac, Ags, Jal, Mich, Gto, SLP (McVaugh, 1974) + Nay (Bello, 1987)                                                                                                                                                                      |
| chihuahuensis  | 24.8304     | 10            | Son, Chih, Dgo, Sin, Zac, Ags, Jal, Nay (McVaugh, 1974) + SLP (Spellenberg, 2000); NL (Banda, 1974)                                                                                                                                         |
| peduncularis   | 24.8007     | 9             | Pue, Col, Chis, Méx, Gro, Jal, Mich, Oax, Ver (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                                               |
| acatenangensis | 24.2487     | 2             | Chis, Oax 11; Chis (Muller, 1951)                                                                                                                                                                                                           |
| eduardii       | 24.1548     | 10            | Dgo, Zac, Nay, Jal, Ags, Gto, Qro, SLP (McVaugh, 1974) +Hgo, Tam (Martínez, 1965)                                                                                                                                                           |
| corrugata      | 24.1207     | 4             | Hgo, Pue, Ver (Vázquez, 1992); Chis (Muller, 1942)                                                                                                                                                                                          |
| castanea       | 23.8748     | 22            | Son, Sin, Dgo, Nay, Jal, Mich, Gto, SLP, Hgo, Mor, Méx, DF, Pue, Gro, Oax, Ver (McVaugh, 1974) + Col (González L. M., 1986) + Chis, Tlax (Bello, 1987) + Zac (Vázquez, 1992); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997); Ags (De la Cerda, 1999) |
| crassipes      | 23.8423     | 13            | Jal, Mich, Gto, Qro, Mor, Méx, DF, Hgo, Tlax, Pue, Col, Chis, Oax (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                           |
| germana        | 23.7293     | 7             | Pue, Chis, Hgo, SLP, Tam, Ver (Vázquez, 1992); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997)                                                                                                                                                         |
| grisea         | 23.6721     | 10            | Coah, Chih, Dgo, Zac, Jal, SLP, Gto, NL (González, 1986); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997); Ags (De la Cerda, 1999)                                                                                                                     |
| oleoides       | 23.6623     | 8             | Pue, Cam, Chis, Oax, SLP, Tab, Tam, Ver (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                                                     |
| salicifolia    | 23.5971     | 10            | Jal, Mich, Gro, Ver, Oax, Chis (McVaugh, 1974); Gro, Jal, Méx, Mich, SLP (Martínez, 1974); Jal, Col, Gro, Oax, Chis (González, 1986)                                                                                                        |
| sideroxyla     | 23.5518     | 17            | Gto, Hgo, Méx, Mich, Pue, Qro, SLP 11; Chih, Dgo, Zac, Jal, Ags, Gto, SLP, Coah, Tam, NL (González, 1986); Son (Felger <i>et al.</i> , 2001)                                                                                                |
| alliptica      | 23.4034     | 8             | Sin, Nay, Jal, Mich, Gro, Méx, Oax, Ver (McVaugh, 1974)                                                                                                                                                                                     |
| durifolia      | 23.1593     | 6             | Son, Dgo, Chih, Coah, NL 20; Chih. Son. Sin. Dgo (Spellenberg, 2000)                                                                                                                                                                        |
| rysophylla     | 23.1192     | 4             | NL, Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997); NL, SLP, Tam (Martínez, 1974)                                                                                                                                                                     |
| depressipes    | 23.0233     | 4             | Chih, Dgo, Zac, Jal (McVaugh, 1974)                                                                                                                                                                                                         |
| eugeniaefolia  | 22.9570     | 5             | Hgo, Pue, Oax, SLP, Ver (Martínez, 1974)                                                                                                                                                                                                    |
| albocincta     | 22.9213     | 4             | Son, Chih, Sin, BCS (Felger <i>et al.</i> , 2001)                                                                                                                                                                                           |
| dysophylla     | 22.8751     | 11            | Mich, Hgo, Méx, Pue, SLP, Ver (Banda, 1974) + Gto, DF, Tlax (Vázquez, 1992); Hgo, Méx, NL, SLP, Ver 11                                                                                                                                      |
| potosina       | 22.8483     | 8             | Chih, Dgo, Zac, Ags, Jal, Gto, SLP (McVaugh, 1974); Coah (Encina, 1996)                                                                                                                                                                     |
| viminea        | 22.8290     | 7             | Son, Chih, Sin, Dgo, Nay, Jal (McVaugh, 1974) + SLP (Martínez, 1965)                                                                                                                                                                        |
| gravesii       | 22.7113     | 1             | Coah (Muller, 1951)                                                                                                                                                                                                                         |
| sartorii       | 22.6013     | 9             | Pue, Chis, Hgo, NL. Oax, SLP, Tam, Ver (Vázquez, 1992); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997)                                                                                                                                                |
| uxoris         | 22.5567     | 5             | Mich, Col, Gro, Jal (Bello, 1987); Ags (De la Cerda, 1999)                                                                                                                                                                                  |
| hypoxantha     | 22.5478     | 2             | Coah (Encina, 1996); NL (Banda, 1974)                                                                                                                                                                                                       |
| sillae         | 22.5119     | 1             | NL (Trelease, 1924)                                                                                                                                                                                                                         |
| conspersa      | 22.4927     | 7             | Jal, Mich, Méx, Gro, Oax, Ver, Chis (McVaugh, 1974)                                                                                                                                                                                         |
| glaucoides     | 22.4631     | 14            | Jal, Mich, Gro, Gto, Méx, Hgo, Pue, Oax, NL, Tam (González, 1986) + Coah, DF, Mor, Qro (Vázquez, 1992)                                                                                                                                      |
| excelsa        | 22.4183     | 2             | Jal, Ver (McVaugh, 1974)                                                                                                                                                                                                                    |

Continuación Cuadro 2.

| ESPECIE        | IMPORTANCIA | NÚM. DE EDOS. | ESTADOS EN LOS QUE EXISTEN COLECTAS DE LA ESPECIE                                                                                                                                                                                            |
|----------------|-------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| brandegei      | 22.4122     | 1             | BCS (Wiggins, 1980)                                                                                                                                                                                                                          |
| devia          | 22.4122     | 1             | BCS (Wiggins, 1980)                                                                                                                                                                                                                          |
| sinuata        | 22.2487     | 2             | Coah (Encino, 19; NL (Trelease, 1924)                                                                                                                                                                                                        |
| praeco         | 22.0850     | 3             | Nay, Jal, Zac (González L. M., 1986)                                                                                                                                                                                                         |
| rugosa         | 22.0603     | 22            | Coah, Chih, Dgo, Zac, Jal, Ags, Mich, Gto, Méx, DF, Hgo, Pue, Ver (McVaugh, 1974) + Son, BCS (Felger <i>et al.</i> , 2001) + Chis, Mor, Oax (Vázquez, 1992) + Col, SLP (Bello, 1987); NL (Banda, 1974); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997) |
| candicans      | 22.0173     | 20            | Dgo, Nay, Sin, Jal, Gto, Mich, Mor, Méx, Gro, Oax, Ver, Hgo, Chis (McVaugh, 1974) + Col, Pue, SLP, Son (Bello, 1987); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997) + Tlax, DF (Vázquez, 1992)                                                        |
| glabrescens    | 21.9019     | 9             | Pue, DF, Méx, Hgo, Mich, Oax, SLP, Tlax, Ver (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                                                 |
| laeta          | 21.8067     | 15            | Dgo, Sin, Zac, Ags, Nay, Jal, Gto, Mich, Hgo, SLP, NL, Coah (McVaugh, 1974) + DF, Pue (Bello, 1987) + Mor (Vázquez, 1992)                                                                                                                    |
| martinezii     | 21.5612     | 2             | Jal, Mich (McVaugh, 1974)                                                                                                                                                                                                                    |
| laurina        | 21.4315     | 18            | Jal, Mich, Gto, Hgo, Pue, Méx, Oax Chis, DF, Gro, Mor, Qro, Tlax, Ver, Zac (Vázquez, 1992) + NL, SLP - Chis, Qro, Tlax (Martínez, 1974); Ags (De la Cerda, 1999)                                                                             |
| aristata       | 21.3275     | 7             | Sin, Nay, Jal, Gto, Gro (González L. M., 1986); Ags (De la Cerda, 1999); Méx (Martínez, 1954)                                                                                                                                                |
| acutifolia     | 21.0586     | 10            | Jal, Mich, Méx, Gro, Oax (McVaugh, 1974); Gro, Hgo, Jal, Méx, Mich, Oax, Pue, SLP, Tam, Ver (Vázquez, 1992)                                                                                                                                  |
| arizonica      | 21.0210     | 5             | Son, Chih, Dgo, Coah, BCS (Felger <i>et al.</i> , 2001)                                                                                                                                                                                      |
| intricata      | 21.0210     | 5             | Chih, Coah, Dgo, Zac (Spellenberg, 2000); Coah, NL, Dgo, Zac (Nixon, 2003)                                                                                                                                                                   |
| praineana      | 20.9511     | 3             | Sin, Nay, Jal (McVaugh, 1974)                                                                                                                                                                                                                |
| scytophylla    | 20.9419     | 10            | Son, Chih, Dgo, Sin, Jal, Mich, Méx, Gro, Oax (McVaugh, 1974) + Chis (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                         |
| mexicana       | 20.8590     | 17            | DF, Gto, Hgo, Jal, Méx, Pue, Mich, Nay, Sin, Qro, SLP, Tlax (Martínez, 1974; Pue, Chis, Méx, DF, Gto, Hgo, NL, Qro, SLP, Tlax, Ver (Vázquez, 1992) + Tam - Chis (Romero, 1993); Coah (Encina, 1996)                                          |
| coccolobifolia | 20.7709     | 10            | Son, Chih, Dgo, Sin, Ags, Gto, Jal, SLP (McVaugh, 1974) + Nay, NL (González L. M., 1986)                                                                                                                                                     |
| glaucescens    | 20.5954     | 7             | Sin, Nay, Jal, Mich, Gro, Oax, Ver (González L. M., 1986)                                                                                                                                                                                    |
| oblongifolia   | 20.3648     | 6             | BCS, Son, Chih, Coah (Nixon, 20; Chih, Son, Coah, Dgo, BC (Spellenberg, 2000)                                                                                                                                                                |
| hintoniorum    | 20.2113     | 1             | Coah (Encina, 1996)                                                                                                                                                                                                                          |
| sebifera       | 19.8841     | 3             | Pue, Chis, Oax (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                                                                               |
| hypoleuroides  | 19.7874     | 4             | Son, Dgo, Chih (Felger <i>et al.</i> , 2001); Coah (Encina, 1996)                                                                                                                                                                            |
| urbanii        | 19.6653     | 8             | Son, Dgo, Zac, Jal, Nay, Méx, Gro (McVaugh, 1974); Gro, Nay, Sin (Martínez, 1966)                                                                                                                                                            |
| sapotaefolia   | 19.1847     | 3             | Oax, Chis, Ver (Martínez, 1974)                                                                                                                                                                                                              |
| deserticola    | 18.7650     | 8             | Jal, Mich, Gto, Qro, Hgo (McVaugh, 1974) + DF (Banda, 1974) + Méx, Pue (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                       |
| repanda        | 18.2963     | 7             | Pue, Tam, Hgo, Ver (Vázquez, 1992); Hgo, Gto, SLP (Martínez, 1977); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997)                                                                                                                                     |
| affinis        | 18.1812     | 10            | DF, Gto, Hgo, Méx, NL, Pue, SLP, Ver (Martínez, 1974); Gto, Hgo, Qro, SLP, Tam, Ver (Vázquez, 1992)                                                                                                                                          |
| pringlei       | 18.0210     | 4             | Coah, NL, Zac (Martínez, 1977); Qro (Fernández <i>et al.</i> , 1997)                                                                                                                                                                         |
| microphylla    | 17.9620     | 12            | Pue, Ags, Coah, Chih, Dgo, Hgo, Jal, NL, Qro, SLP, Tam (Vázquez, 1992); Dgo, Jal, Gto, SLP (McVaugh, 1974)                                                                                                                                   |
| cupreata       | 17.5119     | 1             | NL (Banda, 1974)                                                                                                                                                                                                                             |
| fusiformis     | 16.9689     | 3             | Coah, NL, Tam (Nixon, 2003)                                                                                                                                                                                                                  |
| invaginata     | 16.5119     | 1             | Coah (Encina, 1996)                                                                                                                                                                                                                          |
| frutex         | 15.7992     | 8             | Méx, DF, Hgo, Tlax (González, 1986) + Mich, Oax, SLP, Ver (Vázquez, 1992)                                                                                                                                                                    |

Cuadro 3. Sitios de colecta de *Quercus emoryi* registrados en la colección del Herbario INEGI hasta el 2004.

| NÚM | REGISTRO | LATITUD | LONGITUD  | ESTADO | MUNICIPIO <sup>13</sup> | FECHA DE COLECTA |
|-----|----------|---------|-----------|--------|-------------------------|------------------|
| 1   | 8966     | 25.3506 | -100.4478 | NL     | SANTIAGO                | 24/05/1996       |
| 2   | 13925    | 28.2108 | -106.8028 | CHIH   | CUSHUIRIACHI            | 19/03/1996       |
| 3   | 2646     | 24.5592 | -104.8983 | DGO    | CANATLÁN                | 26/08/1977       |
| 4   | 5446     | 24.6550 | -104.2900 | DGO    | PÁNUCO DE CORONADO      | 23/07/1977       |
| 5   | 5444     | 24.6575 | -104.3314 | DGO    | PÁNUCO DE CORONADO      | 05/09/1977       |
| 6   | 5677     | 24.7361 | -104.1458 | DGO    | GUADALUPE VICTORIA      | 09/09/1977       |
| 7   | 13941    | 28.7403 | -106.4236 | CHIH   |                         | 28/06/1996       |
| 8   | 5464     | 24.6011 | -104.1686 | DGO    | GUADALUPE VICTORIA      | 04/09/1982       |
| 9   | 2874     | 24.2625 | -104.7422 | DGO    | DURANGO                 | 31/08/1977       |
| 10  | 13903    | 28.6722 | -106.6819 | CHIH   |                         | 26/03/1996       |
| 11  | 888      | 24.9300 | -100.1481 | NL     | GALEANA                 | 08/10/1976       |
| 12  | 13898    | 28.7247 | -107.9736 | CHIH   |                         | 24/03/1996       |
| 13  | 5574     | 24.6764 | -104.3169 | DGO    | GUADALUPE VICTORIA      | 05/09/1977       |
| 14  | 6343     | 25.4128 | -100.4253 | NL     | SANTIAGO                | 02/12/1976       |
| 15  | 9802     | 26.7119 | -106.0481 | DGO    | OCAMPO                  | 28/07/1986       |
| 16  | 13945    | 28.5000 | -106.0903 | CHIH   |                         | 29/06/1996       |
| 17  | 5443     | 24.7450 | -104.2442 | DGO    | GUADALUPE VICTORIA      | 04/09/1977       |
| 18  | 2751     | 24.6028 | -104.8336 | DGO    | CANATLÁN                | 01/09/1977       |
| 19  | 859      | 26.9050 | -105.6308 | CHIH   | HIDALGO DEL PARRAL      | 08/09/1976       |
| 20  | 2647     | 24.5497 | -104.9239 | DGO    | CANATLÁN                | 28/08/1977       |
| 21  | 13939    | 28.7319 | -106.2389 | CHIH   |                         | 28/06/1996       |
| 22  | 11423    | 26.9831 | -105.5589 | CHIH   | HIDALGO DEL PARRAL      | 15/11/1988       |
| 23  | 10449    | 26.9828 | -105.5719 | CHIH   | HIDALGO DEL PARRAL      | 17/11/1988       |
| 24  | 10486    | 26.6836 | -105.6269 | CHIH   | MATAMOROS               | 25/11/1988       |
| 25  | 13334    | 26.6836 | -105.5964 | CHIH   | MATAMOROS               | 15/11/1988       |
| 26  | 11682    | 25.3497 | -100.3936 | NL     | SANTIAGO                | 24/05/1996       |
| 27  | 13904    | 28.7875 | -106.4472 | CHIH   |                         | 27/03/1996       |
| 28  | 13966    | 24.2825 | -104.8175 | DGO    |                         | 27/03/1996       |
| 29  | 3527     | 24.1281 | -103.7800 | DGO    | CUENCAMÉ                | 17/07/1977       |
| 30  | 9337     | 26.9178 | -106.4022 | CHIH   | BALLEZA                 | 04/08/1986       |
| 31  | 8628     | 28.9472 | -102.4481 | COAH   | MÚZQUIZ                 | 02/07/1981       |
| 32  | 13892    | 28.7714 | -106.6889 | CHIH   |                         | 27/03/1996       |
| 33  | 2872     | 24.3650 | -104.8042 | DGO    | CANATLÁN                | 30/08/1977       |
| 34  | 11426    | 26.9564 | -105.8892 | CHIH   | SAN FRANCISCO DEL ORO   | 15/11/1988       |
| 35  | 887      | 24.7575 | -100.1564 | NL     | GALEANA                 | 08/10/1976       |
| 36  | 5575     | 24.6406 | -104.1369 | DGO    | PEÑÓN BLANCO            | 22/08/1977       |
| 37  | 3141     | 24.5489 | -104.6911 | DGO    | CANATLÁN                | 28/08/1977       |
| 38  | 5447     | 24.6050 | -104.3006 | DGO    | GUADALUPE VICTORIA      | 23/07/1977       |
| 39  | 6937     | 26.8583 | -105.6311 | CHIH   | MATAMOROS               | 08/09/1976       |
| 40  | 2873     | 24.2781 | -104.8183 | DGO    | CANATLÁN                | 31/08/1977       |
| 41  | 9143     | 25.4128 | -100.4264 | NL     | SANTIAGO                | 21/05/1996       |
| 42  | 5676     | 24.5764 | -104.5997 | DGO    | CANATLÁN                | 15/08/1977       |

<sup>13</sup> La información que se presenta es parte de la que contienen las etiquetas de los ejemplares por lo que no aparecen los nombres de los municipios para todos los sitios de colecta.

Continuación Cuadro 3.

| NÚM | REGISTRO | LATITUD | LONGITUD  | ESTADO | MUNICIPIO             | FECHA DE COLECTA |
|-----|----------|---------|-----------|--------|-----------------------|------------------|
| 43  | 5675     | 24.5642 | -104.6086 | DGO    | CANATLÁN              | 15/07/1977       |
| 44  | 10217    | 24.6333 | -104.3572 | DGO    | PÁNUCO DE CORONADO    | 15/08/1977       |
| 45  | 5576     | 24.5372 | -104.6314 | DGO    | CANATLÁN              | 15/08/1977       |
| 46  | 10605    | 24.6886 | -104.6083 | DGO    | CANATLÁN              | 15/08/1977       |
| 47  | 10488    | 26.7342 | -105.8583 | CHIH   | SANTA BÁRBARA         | 14/11/1988       |
| 48  | 10460    | 26.8950 | -105.6544 | CHIH   | HIDALGO DEL PARRAL    | 15/11/1988       |
| 49  | 12168    | 24.8981 | -100.2086 | NL     | GALEANA               | 24/05/1995       |
| 50  | 14132    | 25.4172 | -100.5339 | NL     | SANTIAGO              | 30/06/1996       |
| 51  | 11442    | 26.4794 | -105.5686 | DGO    | OCAMPO                | 15/11/1988       |
| 52  | 11428    | 26.8972 | -105.9681 | CHIH   | SAN FRANCISCO DEL ORO | 15/11/1988       |
| 53  | 10500    | 26.8972 | -105.9792 | CHIH   | SAN FRANCISCO DEL ORO | 17/11/1988       |
| 54  | 11387    | 32.0494 | -115.9158 | BC     | ENSENADA              | 01/11/1994       |
| 55  | 11456    | 26.0217 | -105.9119 | DGO    |                       | 15/11/1988       |
| 56  | 3261     | 30.5831 | -107.7514 | CHIH   | NUEVO CASAS GRANDES   | 22/08/1979       |
| 57  | 11444    | 26.4022 | -105.6792 | DGO    | SAN BERNARDO          | 15/11/1988       |



## ANEXO B

### METADATOS

#### ESPECIFICACIONES DE LA PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

|                                              |                       |
|----------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Esferoide</b>                             | Clarke 1866           |
| <b>Datum</b>                                 | NAD27                 |
| <b>Latitud del primer paralelo estándar</b>  | 17:30:00.000000 N     |
| <b>Latitud del segundo paralelo estándar</b> | 29:30:00.000000 N     |
| <b>Longitud del meridiano central</b>        | 102:00:00.000000 W    |
| <b>Latitud del origen de la proyección</b>   | 12:00:00.000000 N     |
| <b>Falso este al meridiano central</b>       | 2500000.000000 metros |
| <b>Falso norte al origen</b>                 | 0.000000 metros       |

#### MODELOS DE ELEVACIÓN

|             | <b>Ancho</b> | <b>Alto</b> |
|-------------|--------------|-------------|
| <b>BC</b>   | 5238         | 5669        |
| <b>Son</b>  | 7962         | 7444        |
| <b>Chih</b> | 6937         | 7477        |
| <b>Dgo</b>  | 5691         | 5405        |
| <b>Coah</b> | 4946         | 6414        |
| <b>N.L.</b> | 3345         | 5566        |
| <b>Zac</b>  | 4307         | 4905        |

|             | <b>X máx.</b>        | <b>X mín.</b>        | <b>Y máx.</b>       | <b>Y mín.</b>       |
|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| <b>BC</b>   | -112.764431570904260 | -117.124964460163210 | 32.7186729934674790 | 27.9992724938837970 |
| <b>Son</b>  | -108.4238707112436   | -115.05251350891221  | 32.4943018828395370 | 26.2969663291342930 |
| <b>Chih</b> | -103.2991437747983   | -109.07433111867840  | 31.7854630035306340 | 25.5606503474107320 |
| <b>Dgo</b>  | -102.4717134296739   | -107.20943199753410  | 26.8443838147041090 | 22.3448001344376660 |
| <b>Coah</b> | -99.83338263915089   | -103.95078480401351  | 29.8809457954007590 | 24.5412288928195750 |
| <b>N.L.</b> | -98.42183617431740   | -101.20618255233572  | 27.79858294070360   | 23.1649443062323250 |
| <b>Zac</b>  | -100.7427196811602   | -104.32806522653910  | 25.1247786027515550 | 21.041514656040480  |

Para todas las imágenes los siguientes datos son los mismos:

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| <b>Tipo de imagen</b>  | Continua             |
| <b>Tipo de datos</b>   | Signed 16-bit        |
| <b>Tamaño de píxel</b> | 0.00083263946711074  |
| <b>Unidades</b>        | Grados               |
| <b>Proyección</b>      | Geográfica (Lat/Lon) |
| <b>Esferoide</b>       | Clarke 1866          |
| <b>Datum</b>           | NAD27                |

## MOSAICOS

|                        | <b>MDE</b>           | <b>Orientación</b>   | <b>Pendiente</b>     |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Ancho</b>           | 22464                | 22464                | 24614                |
| <b>Alto</b>            | 14026                | 14026                | 15727                |
| <b>Tipo de imagen</b>  | Continua             | Continua             | Continua             |
| <b>Tipo de datos</b>   | Signed 16-bit        | Unsigned 16-bit      | Unsigned 8-bit       |
| <b>Tamaño de píxel</b> | 0.00083263946711074  | 0.00083263946711074  | 0.00083263946711074  |
| <b>X máx.</b>          | -98.4213841104546390 | -98.4213841104546390 | -98.0598180716158230 |
| <b>X mín.</b>          | -117.124964460163210 | -117.124964460163210 | -118.553573275612460 |
| <b>Y máx.</b>          | 32.7186729934674790  | 32.7186729934674790  | 33.3914809095524770  |
| <b>Y mín.</b>          | 21.0409044672393360  | 21.0409044672393360  | 20.2973926497689660  |
| <b>Unidades</b>        | Grados               | Grados               | Grados               |
| <b>Proyección</b>      | Geográfica (Lat/Lon) | Geográfica (Lat/Lon) | Geográfica (Lat/Lon) |
| <b>Esferoide</b>       | Clarke 1866          | Clarke 1866          | Clarke 1866          |
| <b>Datum</b>           | NAD27                | NAD27                | NAD27                |

|                        | <b>Imágenes con variables climáticas</b> | <b>Img raster con selección de unidades de suelo</b> | <b>Img raster con selección de tipos de vegetación</b> |
|------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Ancho</b>           | 22464                                    | 1729                                                 | 1729                                                   |
| <b>Alto</b>            | 14026                                    | 1080                                                 | 1080                                                   |
| <b>Tipo de imagen</b>  | Continua                                 | Temática                                             | Temática                                               |
| <b>Tipo de datos</b>   | Float                                    | Unsigned 16-bit                                      | Unsigned 32-bit                                        |
| <b>Tamaño de píxel</b> | 0.00083263946711074                      | 0.01082431307243962                                  | 0.01082431307243962                                    |
| <b>X máx.</b>          | -98.4213841104546820                     | -98.4205514709875470                                 | -98.4205514709875470                                   |
| <b>X mín.</b>          | -117.124964460163230                     | -117.124964460163210                                 | -117.124964460163210                                   |
| <b>Y máx.</b>          | 32.7186729934674860                      | 32.7186729934674930                                  | 32.7186729934674930                                    |
| <b>Y mín.</b>          | 21.04090446723933580                     | 21.0392391883051420                                  | 21.0392391883051420                                    |
| <b>Unidades</b>        | Grados                                   | Grados                                               | Grados                                                 |
| <b>Proyección</b>      | Geográfica (Lat/Lon)                     | Geográfica (Lat/Lon)                                 | Geográfica (Lat/Lon)                                   |
| <b>Esferoide</b>       | Clarke 1866                              | Clarke 1866                                          | Clarke 1866                                            |
| <b>Datum</b>           | NAD27                                    | NAD27                                                | NAD27                                                  |

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE *Quercus emoryi*

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| <b>Ancho</b>           | 24614                |
| <b>Alto</b>            | 15727                |
| <b>Tipo de imagen</b>  | Continua             |
| <b>Tipo de datos</b>   | Unsigned 8-bit       |
| <b>Tamaño de píxel</b> | 0.00083263946711074  |
| <b>X máx.</b>          | -98.0598180716158230 |
| <b>X mín.</b>          | -118.553573275612460 |
| <b>Y máx.</b>          | 33.3914809095524770  |
| <b>Y mín.</b>          | 20.297392649768980   |
| <b>Unidades</b>        | Grados               |
| <b>Proyección</b>      | Geográfica (Lat/Lon) |
| <b>Esferoide</b>       | Clarke 1866          |
| <b>Datum</b>           | NAD27                |

## ANEXO C

### DATOS DE LOS SITIOS UTILIZADOS PARA VALIDAR LOS MODELOS

Cuadro 1. Sitios de presencia utilizados para validar los modelos. Los primeros 80 son sitios diferentes a los usados en la construcción del modelo.

| Id | Fuente     | Latitud | Longitud  | Altitud | Pend. | Orientación | Tmín<br>01 | Tmed<br>06 | Ppt     | Suelo            | Veg. |
|----|------------|---------|-----------|---------|-------|-------------|------------|------------|---------|------------------|------|
| 1  | IINIF      | 24.7333 | -99.9500  | 1833    | 24    | 196 S       | 0.360      | 17.575     | 573.420 | Litosol          | MDR  |
| 2  | IINIF      | 24.9500 | -105.1667 | 2082    | 1     | 45 NE       | -6.690     | 19.670     | 487.350 | Feozem háplico   | PN   |
| 3  | IINIF      | 25.1167 | -105.5833 | 2444    | 50    | 81 E        | -8.080     | 16.520     | 536.220 | Regosol eútrico  | ML   |
| 4  | IINIF      | 25.2167 | -100.3833 | 2899    | 10    | 336 NW      | -7.740     | 7.425      | 505.920 | Litosol          | BA   |
| 5  | IINIF      | 25.3667 | -101.7833 | 1729    | 19    | 208 SW      | 2.550      | 20.735     | 330.780 | Litosol          | MDR  |
| 6  | IINIF      | 25.4167 | -106.0667 | 2432    | 6     | 152 SE      | -7.040     | 18.020     | 819.510 | Regosol eútrico  | BP   |
| 7  | IINIF      | 25.4167 | -100.4333 | 2110    | 29    | 79 E        | -0.010     | 16.035     | 478.820 | Litosol          | ML   |
| 8  | IINIF      | 25.4500 | -100.5167 | 2535    | 28    | 185 S       | -4.090     | 11.940     | 429.010 | Litosol          | BP   |
| 9  | IINIF      | 27.4667 | -106.7167 | 1683    | 2     | 214 SW      | -1.080     | 24.005     | 435.960 | Cambisol eútrico | PN   |
| 10 | IINIF      | 28.1833 | -108.3667 | 1903    | 42    | 320 NW      | -6.330     | 17.485     | 812.450 | Feozem háplico   | BQP  |
| 11 | IINIF      | 29.1000 | -107.1667 | 2102    | 1     | 209 SW      | -3.900     | 19.930     | 411.550 | Regosol eútrico  | BQP  |
| 12 | IINIF      | 29.8333 | -107.4667 | 1555    | 0     | 288 W       | 0.360      | 23.515     | 280.860 | Feozem háplico   | VG   |
| 13 | IINIF      | 30.9833 | -110.1333 | 1449    | 4     | 249 W       | 2.140      | 25.160     | 386.090 | Planosol eútrico | PN   |
| 14 | Passini    | 25.4500 | -100.3833 | 2313    | 58    | 201 S       | -1.050     | 15.385     | 537.320 | Litosol          | BQ   |
| 15 | Passini    | 29.6556 | -107.5361 | 1898    | 1     | 123 SE      | -3.300     | 21.110     | 345.330 | Feozem háplico   | PN   |
| 16 | Passini    | 29.6028 | -107.8639 | 2203    | 3     | 346 N       | -5.950     | 17.765     | 548.540 | Feozem háplico   | BPQ  |
| 17 | Passini    | 28.7097 | -106.7875 | 2233    | 21    | 165 S       | -8.120     | 17.605     | 409.750 | Feozem háplico   | BQP  |
| 18 | Passini    | 29.7000 | -107.6000 | 2388    | 36    | 9 N         | -9.070     | 15.310     | 327.610 | Feozem háplico   | BQP  |
| 19 | Passini    | 29.7028 | -107.6000 | 2299    | 0     | 48 NE       | -8.090     | 16.275     | 327.120 | Feozem háplico   | BQP  |
| 20 | Passini    | 28.8528 | -106.3958 | 1699    | 0     | 63 NE       | -1.690     | 23.170     | 416.480 | Litosol          | PN   |
| 21 | Passini    | 28.4194 | -107.6222 | 2314    | 30    | 339 N       | -7.040     | 17.685     | 462.265 | Feozem háplico   | BPQ  |
| 22 | Passini    | 28.4028 | -107.4167 | 2156    | 3     | 229 SW      | -5.760     | 19.565     | 462.495 | Feozem háplico   | BQP  |
| 23 | Passini    | 28.3861 | -107.0694 | 2360    | 12    | 305 NW      | -7.190     | 17.020     | 447.900 | Cambisol vértico | BQP  |
| 24 | Passini    | 26.9500 | -106.7444 | 2191    | 22    | 266 W       | -2.980     | 19.630     | 559.770 | Vertisol pélico  | BP   |
| 25 | Passini    | 25.1472 | -105.5917 | 2273    | 30    | 105 E       | -6.250     | 18.390     | 538.120 | Regosol eútrico  | BPQ  |
| 26 | Passini    | 25.1417 | -105.5806 | 2195    | 5     | 322 NW      | -5.410     | 19.245     | 536.050 | Regosol eútrico  | BPQ  |
| 27 | Passini    | 24.1528 | -105.5639 | 2447    | 20    | 310 NW      | -9.160     | 16.320     | 791.180 | Cambisol eútrico | BP   |
| 28 | Passini    | 25.4528 | -105.7750 | 2029    | 15    | 231 SW      | -3.160     | 21.840     | 621.010 | Feozem háplico   | BPQ  |
| 29 | Passini    | 25.5722 | -105.7889 | 2285    | 13    | 58 NE       | -6.070     | 18.885     | 629.490 | Feozem háplico   | BPQ  |
| 30 | Passini    | 24.4597 | -100.0200 | 2485    | 22    | 53 NE       | -4.510     | 12.335     | 374.240 | Litosol          | BP   |
| 31 | CIIDIR_Dgo | 24.5822 | -104.9139 | 2135    | 20    | 122 SE      | -5.860     | 20.015     | 592.670 | Litosol          | BP   |
| 32 | CIIDIR_Dgo | 24.5825 | -104.9319 | 2274    | 41    | 205 SW      | -7.420     | 18.425     | 578.800 | Litosol          | BP   |
| 33 | CIIDIR_Dgo | 24.6000 | -104.8103 | 1999    | 15    | 52 NE       | -4.970     | 20.720     | 561.460 | Feozem háplico   | PN   |
| 34 | CIIDIR_Dgo | 24.6814 | -104.8525 | 2079    | 1     | 71 E        | -6.510     | 19.945     | 544.010 | Feozem háplico   | PN   |
| 35 | CIIDIR_Dgo | 25.9000 | -105.9500 | 2233    | 24    | 302 NW      | -5.490     | 19.345     | 622.890 | Litosol          | BPQ  |
| 36 | CIIDIR_Dgo | 25.0667 | -104.9333 | 2194    | 3     | 68 E        | -8.360     | 18.810     | 699.810 | Litosol          | BQP  |

Continuación Cuadro 1.

| Id | Fuente     | Latitud | Longitud  | Altitud | Pend. | Orientación |    | Tmín<br>01 | Tmed<br>06 | Ppt      | Suelo             | Veg. |
|----|------------|---------|-----------|---------|-------|-------------|----|------------|------------|----------|-------------------|------|
| 37 | CIIDIR_Dgo | 24.9333 | -104.7667 | 2104    | 9     | 355         | N  | -7.400     | 19.390     | 644.800  | Litosol           | BW   |
| 38 | CIIDIR_Dgo | 25.0075 | -104.9014 | 2236    | 25    | 163         | S  | -8.840     | 18.215     | 678.670  | Litosol           | PN   |
| 39 | CIIDIR_Dgo | 24.9306 | -104.7858 | 2296    | 12    | 26          | NE | -9.530     | 17.280     | 649.250  | Litosol           | ML   |
| 40 | CIIDIR_Dgo | 26.3775 | -105.5608 | 1831    | 3     | 248         | W  | -2.620     | 23.455     | 538.410  | Litosol           | BQ   |
| 41 | CIIDIR_Dgo | 26.3775 | -105.5108 | 1895    | 14    | 152         | SE | -3.390     | 22.910     | 535.720  | Litosol           | BW   |
| 42 | CIIDIR_Dgo | 25.6775 | -105.6775 | 2265    | 22    | 307         | NW | -6.200     | 18.900     | 616.930  | Feozem háplico    | BQP  |
| 43 | CIIDIR_Dgo | 24.6883 | -104.1592 | 1995    | 10    | 340         | N  | -6.790     | 19.840     | 496.690  | Litosol           | PN   |
| 44 | CIIDIR_Dgo | 25.6167 | -105.6167 | 2291    | 2     | 265         | W  | -6.670     | 18.370     | 626.050  | Feozem háplico    | BPQ  |
| 45 | CIIDIR_Dgo | 25.4500 | -106.4833 | 1775    | 76    | 183         | S  | 1.030      | 21.685     | 1124.760 | Litosol           | BPQ  |
| 46 | CIIDIR_Dgo | 26.9167 | -106.1667 | 1955    | 33    | 287         | W  | -1.620     | 22.170     | 423.850  | Regosol eútrico   | BQ   |
| 47 | CIIDIR_Dgo | 25.2500 | -105.0000 | 2013    | 4     | 90          | E  | -6.300     | 20.870     | 731.090  | Feozem háplico    | BW   |
| 48 | CIIDIR_Dgo | 29.0000 | -102.3333 | 1263    | 1     | 0           | N  | 0.990      | 25.440     | 220.600  | Xerosol cálcico   | PN   |
| 49 | CIIDIR_Dgo | 28.3914 | -107.6137 | 2365    | 8     | 169         | S  | -7.100     | 17.640     | 452.930  | Feozem háplico    | BPQ  |
| 50 | CIIDIR_Dgo | 28.3814 | -106.6939 | 1969    | 5     | 191         | S  | -2.950     | 20.900     | 414.750  | Feozem háplico    | BQP  |
| 51 | CIIDIR_Dgo | 26.8667 | -106.1500 | 1989    | 6     | 284         | W  | -2.070     | 21.495     | 459.440  | Regosol eútrico   | BQ   |
| 52 | CIIDIR_Dgo | 28.8833 | -102.4667 | 1410    | 4     | 156         | SE | -0.640     | 23.985     | 218.170  | Xerosol cálcico   | PN   |
| 53 | Chihuahua  | 30.5792 | -108.3542 | 1799    | 2     | 167         | S  | -4.440     | 20.530     | 328.060  | Litosol           | BQ   |
| 54 | Chihuahua  | 30.5303 | -108.4556 | 1632    | 17    | 289         | W  | -2.620     | 22.320     | 326.550  | Planosol mólico   | BQ   |
| 55 | Chihuahua  | 30.1822 | -108.1264 | 1923    | 17    | 107         | E  | -5.130     | 19.700     | 443.920  | Feozem háplico    | BQ   |
| 56 | Chihuahua  | 30.0462 | -108.0383 | 1589    | 0     | 14          | N  | -0.800     | 23.585     | 472.160  | Rendzina          | PN   |
| 57 | Chihuahua  | 29.5803 | -107.2705 | 2344    | 44    | 316         | NW | -8.290     | 17.425     | 350.900  | Feozem háplico    | BPQ  |
| 58 | Chihuahua  | 29.5703 | -107.1889 | 2178    | 3     | 79          | E  | -6.420     | 19.030     | 354.290  | Xerosol háplico   | BW   |
| 59 | Chihuahua  | 29.3750 | -106.5919 | 2001    | 0     | 63          | NE | -5.990     | 19.375     | 413.480  | Litosol           | BW   |
| 60 | Chihuahua  | 29.3314 | -106.5389 | 2175    | 25    | 8           | N  | -7.940     | 17.260     | 379.660  | Litosol           | BQP  |
| 61 | Chihuahua  | 28.9875 | -102.4689 | 1951    | 11    | 123         | SE | -6.620     | 17.930     | 219.310  | Regosol calcárico | BQP  |
| 62 | Chihuahua  | 28.7887 | -106.5705 | 2301    | 2     | 168         | S  | -8.210     | 16.415     | 430.650  | Litosol           | BQP  |
| 63 | Chihuahua  | 28.3308 | -106.7586 | 2092    | 4     | 158         | S  | -4.050     | 19.565     | 419.050  | Cambisol eútrico  | BQ   |
| 64 | Chihuahua  | 28.2297 | -107.1122 | 2300    | 2     | 270         | W  | -6.640     | 17.950     | 482.600  | Feozem háplico    | BQP  |
| 65 | Chihuahua  | 28.2375 | -106.8572 | 2204    | 3     | 308         | NW | -5.400     | 18.235     | 419.810  | Regosol eútrico   | BQP  |
| 66 | Chihuahua  | 28.1794 | -107.2636 | 2302    | 2     | 132         | SE | -6.090     | 18.760     | 513.120  | Feozem háplico    | BQP  |
| 67 | Chihuahua  | 28.1094 | -106.5972 | 1878    | 14    | 8           | N  | -3.100     | 21.345     | 428.280  | Cambisol eútrico  | BQ   |
| 68 | Chihuahua  | 28.0628 | -106.6467 | 2109    | 16    | 169         | S  | -5.730     | 18.685     | 438.070  | Cambisol eútrico  | BQ   |
| 69 | Chihuahua  | 27.9758 | -107.9178 | 2385    | 4     | 180         | S  | -4.230     | 18.595     | 678.350  | Regosol eútrico   | BP   |
| 70 | Chihuahua  | 27.9325 | -107.8650 | 2397    | 6     | 225         | SW | -4.350     | 18.315     | 677.130  | Regosol eútrico   | BP   |
| 71 | Chihuahua  | 27.9617 | -106.9997 | 2198    | 1     | 0           | N  | -6.470     | 17.995     | 492.600  | Regosol eútrico   | BQP  |
| 72 | Chihuahua  | 27.8744 | -106.8944 | 2190    | 43    | 128         | SE | -6.760     | 17.755     | 464.000  | Cambisol vértico  | BQ   |
| 73 | Chihuahua  | 27.7914 | -108.0111 | 2006    | 38    | 327         | NW | 2.950      | 24.860     | 839.300  | Regosol eútrico   | BPQ  |
| 74 | Chihuahua  | 27.7343 | -107.0416 | 2122    | 8     | 251         | W  | -5.760     | 18.770     | 492.930  | Feozem háplico    | BQ   |
| 75 | Chihuahua  | 27.6403 | -107.1394 | 2011    | 33    | 133         | SE | -3.510     | 20.375     | 544.690  | Regosol eútrico   | BQ   |
| 76 | Chihuahua  | 27.6419 | -107.0889 | 1932    | 49    | 265         | W  | -3.560     | 20.985     | 494.920  | Regosol eútrico   | BQ   |
| 77 | Chihuahua  | 27.2450 | -108.0869 | 1897    | 15    | 268         | W  | 0.500      | 21.820     | 931.600  | Feozem háplico    | BQP  |
| 78 | Chihuahua  | 27.1544 | -108.0825 | 1786    | 61    | 50          | NE | -0.350     | 21.285     | 890.190  | Litosol           | BPQ  |
| 79 | Chihuahua  | 27.1092 | -108.0806 | 2053    | 32    | 184         | S  | -4.920     | 17.165     | 808.030  | Litosol           | BPQ  |
| 80 | Chihuahua  | 26.9918 | -106.0518 | 1892    | 10    | 277         | W  | -1.370     | 22.225     | 426.910  | Regosol eútrico   | BQP  |
| 81 | INEGI      | 25.3506 | -100.4478 | 2310    | 49    | 8           | N  | -1.450     | 13.955     | 485.520  | Litosol           | BP   |
| 82 | INEGI      | 28.2108 | -106.8028 | 1984    | 17    | 49          | NE | -3.130     | 20.630     | 418.880  | Cambisol eútrico  | BJ   |
| 83 | INEGI      | 24.5592 | -104.8983 | 2224    | 45    | 165         | S  | -6.710     | 19.005     | 584.030  | Litosol           | BP   |
| 84 | INEGI      | 24.6550 | -104.2900 | 2319    | 35    | 30          | NE | -10.270    | 17.015     | 512.700  | Litosol           | BQ   |
| 85 | INEGI      | 24.6575 | -104.3314 | 2203    | 1     | 202         | S  | -8.960     | 18.475     | 515.580  | Litosol           | PN   |
| 86 | INEGI      | 24.7361 | -104.1458 | 2100    | 11    | 46          | NE | -7.890     | 18.530     | 457.180  | Litosol           | PN   |

Continuación Cuadro 1.

| Id  | Fuente | Latitud | Longitud  | Altitud | Pend. | Orientación | T <sub>mín</sub><br>01 | T <sub>med</sub><br>06 | Ppt     | Suelo           | Veg. |
|-----|--------|---------|-----------|---------|-------|-------------|------------------------|------------------------|---------|-----------------|------|
| 87  | INEGI  | 28.7403 | -106.4236 | 2200    | 13    | 299 NW      | -5.600                 | 18.800                 | 442.490 | Litosol         | BPQ  |
| 88  | INEGI  | 24.6011 | -104.1686 | 2206    | 5     | 88 E        | -9.360                 | 17.565                 | 505.110 | Litosol         | PN   |
| 89  | INEGI  | 24.2625 | -104.7422 | 1978    | 5     | 8 N         | -3.185                 | 20.605                 | 685.250 | Feozem háplico  | BQ   |
| 90  | INEGI  | 28.6722 | -106.6819 | 2212    | 3     | 220 SW      | -6.750                 | 17.920                 | 424.620 | Feozem háplico  | BQ   |
| 91  | INEGI  | 24.9300 | -100.1481 | 1797    | 2     | 86 E        | 2.860                  | 19.170                 | 412.520 | Litosol         | MDM  |
| 92  | INEGI  | 28.7247 | -107.9736 | 1852    | 19    | 245 SW      | -4.690                 | 21.665                 | 466.400 | Luvisol crómico | BQ   |
| 93  | INEGI  | 24.6764 | -104.3169 | 2189    | 17    | 22 N        | -8.830                 | 18.585                 | 513.400 | Litosol         | PN   |
| 94  | INEGI  | 25.4128 | -100.4253 | 1996    | 8     | 33 NE       | 1.440                  | 17.530                 | 479.970 | Litosol         | BPQ  |
| 95  | INEGI  | 26.7119 | -106.0481 | 2310    | 3     | 71 E        | -6.550                 | 17.725                 | 543.590 | Litosol         | BQP  |
| 96  | INEGI  | 28.5000 | -106.0903 | 2201    | 19    | 119 SE      | -5.720                 | 18.445                 | 387.860 | Litosol         | BW   |
| 97  | INEGI  | 24.7450 | -104.2442 | 2085    | 20    | 355 N       | -7.700                 | 19.385                 | 502.930 | Litosol         | BQ   |
| 98  | INEGI  | 26.9050 | -105.6308 | 1862    | 6     | 358 N       | -0.800                 | 22.650                 | 477.700 | Feozem háplico  | PN   |
| 99  | INEGI  | 24.5497 | -104.9239 | 2430    | 45    | 336 NW      | -8.980                 | 16.735                 | 569.360 | Litosol         | BP   |
| 100 | INEGI  | 28.7319 | -106.2389 | 2001    | 17    | 181 S       | -3.420                 | 21.345                 | 397.380 | Litosol         | BQ   |
| 101 | INEGI  | 26.9831 | -105.5589 | 1672    | 1     | 38 NE       | 0.660                  | 24.165                 | 454.460 | Rendzina        | PN   |
| 102 | INEGI  | 26.9828 | -105.5719 | 1692    | 6     | 70 E        | 0.570                  | 24.080                 | 457.340 | Rendzina        | PN   |
| 103 | INEGI  | 26.6836 | -105.6269 | 1817    | 3     | 105 E       | -0.840                 | 22.985                 | 454.050 | Xerosol lúvico  | BQ   |
| 104 | INEGI  | 26.6836 | -105.5964 | 1813    | 2     | 105 E       | -0.790                 | 23.055                 | 454.180 | Xerosol lúvico  | PN   |
| 105 | INEGI  | 25.3497 | -100.3936 | 2109    | 17    | 11 N        | 0.140                  | 15.825                 | 583.410 | Litosol         | BPQ  |
| 106 | INEGI  | 28.7875 | -106.4472 | 2068    | 27    | 84 E        | -5.210                 | 19.145                 | 438.420 | Litosol         | BPQ  |
| 107 | INEGI  | 24.2825 | -104.8175 | 2303    | 33    | 346 N       | -6.870                 | 17.675                 | 573.030 | Feozem háplico  | BPQ  |
| 108 | INEGI  | 24.1281 | -103.7800 | 2404    | 3     | 16 N        | -10.980                | 15.688                 | 503.370 | Litosol         | BP   |
| 109 | INEGI  | 26.9178 | -106.4022 | 1750    | 25    | 58 NE       | 0.830                  | 24.670                 | 469.940 | Feozem háplico  | BW   |
| 110 | INEGI  | 28.9472 | -102.4481 | 1703    | 15    | 29 NE       | -3.880                 | 20.685                 | 219.080 | Planosol mólico | BQP  |
| 111 | INEGI  | 28.7714 | -106.6889 | 2397    | 11    | 235 SW      | -9.160                 | 15.655                 | 434.970 | Feozem háplico  | BPQ  |
| 112 | INEGI  | 24.3650 | -104.8042 | 1996    | 0     | 104 E       | -3.610                 | 21.095                 | 577.400 | Feozem háplico  | BQ   |
| 113 | INEGI  | 26.9564 | -105.8892 | 1796    | 2     | 354 N       | -0.170                 | 23.185                 | 437.920 | Vertisol pélico | PN   |
| 114 | INEGI  | 24.7575 | -100.1564 | 2200    | 1     | 308 NW      | -1.350                 | 16.145                 | 418.250 | Litosol         | ML   |
| 115 | INEGI  | 24.6406 | -104.1369 | 2132    | 10    | 329 NW      | -8.430                 | 18.275                 | 497.180 | Litosol         | PN   |
| 116 | INEGI  | 24.5489 | -104.6911 | 1939    | 0     | 361 PLANO   | -4.100                 | 21.370                 | 561.700 | Vertisol pélico | PN   |
| 117 | INEGI  | 24.6050 | -104.3006 | 2405    | 16    | 352 N       | -11.180                | 16.175                 | 538.790 | Litosol         | BQ   |
| 118 | INEGI  | 26.8583 | -105.6311 | 1829    | 12    | 128 SE      | -0.640                 | 22.885                 | 473.100 | Feozem háplico  | BQ   |
| 119 | INEGI  | 24.2781 | -104.8183 | 2269    | 66    | 185 S       | -6.490                 | 18.055                 | 573.480 | Feozem háplico  | BQ   |
| 120 | INEGI  | 25.4128 | -100.4264 | 2004    | 8     | 24 NE       | 1.340                  | 17.425                 | 479.860 | Litosol         | BPQ  |
| 121 | INEGI  | 24.5764 | -104.5997 | 2244    | 44    | 359 N       | -8.100                 | 17.865                 | 561.790 | Feozem háplico  | MC   |
| 122 | INEGI  | 24.5642 | -104.6086 | 2381    | 12    | 330 NW      | -9.530                 | 16.365                 | 561.940 | Feozem háplico  | BQ   |
| 123 | INEGI  | 24.6333 | -104.3572 | 2093    | 33    | 28 NE       | -7.660                 | 19.760                 | 541.060 | Litosol         | MC   |
| 124 | INEGI  | 24.5372 | -104.6314 | 2088    | 13    | 1 N         | -6.080                 | 19.675                 | 561.720 | Vertisol pélico | MC   |
| 125 | INEGI  | 24.6886 | -104.6083 | 2010    | 10    | 34 NE       | -5.890                 | 20.165                 | 561.850 | Feozem háplico  | PN   |
| 126 | INEGI  | 26.7342 | -105.8583 | 2747    | 17    | 224 SW      | -11.890                | 12.615                 | 547.470 | Litosol         | BPQ  |
| 127 | INEGI  | 26.8950 | -105.6544 | 1916    | 21    | 328 NW      | -1.380                 | 22.080                 | 479.980 | Feozem háplico  | BQ   |
| 128 | INEGI  | 24.8981 | -100.2086 | 2417    | 30    | 32 NE       | -2.250                 | 13.345                 | 436.330 | Litosol         | BP   |
| 129 | INEGI  | 25.4172 | -100.5339 | 2542    | 36    | 9 N         | -2.990                 | 12.725                 | 451.530 | Litosol         | BP   |
| 130 | INEGI  | 26.4794 | -105.5686 | 1798    | 3     | 233 SW      | -2.250                 | 23.515                 | 525.070 | Feozem háplico  | PN   |
| 131 | INEGI  | 26.8972 | -105.9681 | 2110    | 11    | 305 NW      | -3.670                 | 19.750                 | 433.420 | Regosol eútrico | BPQ  |
| 132 | INEGI  | 26.8972 | -105.9792 | 2085    | 8     | 57 NE       | -3.390                 | 20.035                 | 432.670 | Regosol eútrico | BPQ  |
| 133 | INEGI  | 32.0494 | -115.9158 | 1650    | 7     | 95 E        | -4.080                 | 11.910                 | 301.250 | Regosol eútrico | BP   |
| 134 | INEGI  | 26.0217 | -105.9119 | 2037    | 12    | 88 E        | -3.430                 | 21.330                 | 628.320 | Litosol         | BW   |
| 135 | INEGI  | 30.5831 | -107.7514 | 1700    | 8     | 347 N       | -3.940                 | 21.425                 | 297.850 | Litosol         | PN   |
| 136 | INEGI  | 26.4022 | -105.6792 | 1855    | 3     | 185 S       | -2.060                 | 23.010                 | 553.280 | Xerosol lúvico  | PN   |

Cuadro 2. Ochenta sitios de ausencia utilizados para validar los modelos.

|    | Registro | Especie       | Fuente | Latitud | Longitud  | Estado |
|----|----------|---------------|--------|---------|-----------|--------|
| 1  | 12056    | acutifolia    | INEGI  | 25.3694 | -100.2075 | NL     |
| 2  | 8695     | albocincta    | INEGI  | 27.2536 | -108.6019 | Chih   |
| 3  | 10647    | castanea      | INEGI  | 21.6217 | -102.8586 | Zac    |
| 4  | 5940     | cupreata      | INEGI  | 25.3244 | -100.1933 | NL     |
| 5  | 14765    | eduardii      | INEGI  | 22.7106 | -103.8908 | Zac    |
| 6  | 12371    | eduardii      | INEGI  | 23.8833 | -104.7500 | Dgo    |
| 7  | 2752     | eduardii      | INEGI  | 24.5606 | -104.9439 | Dgo    |
| 8  | 16495    | elliptica     | INEGI  | 25.2786 | -100.2311 | NL     |
| 9  | 12025    | fusiformis    | INEGI  | 26.2767 | -99.9014  | NL     |
| 10 | 4486     | gravesii      | INEGI  | 25.4244 | -100.3658 | NL     |
| 11 | 6021     | gravesii      | INEGI  | 26.5872 | -100.2853 | NL     |
| 12 | 14006    | laurina       | INEGI  | 25.2978 | -100.2406 | NL     |
| 13 | 14488    | magnoliifolia | INEGI  | 24.5753 | -106.5733 | Dgo    |
| 14 | 6945     | microphylla   | INEGI  | 24.2847 | -104.9772 | Dgo    |
| 15 | 2652     | microphylla   | INEGI  | 24.5381 | -104.9614 | Dgo    |
| 16 | 910      | microphylla   | INEGI  | 24.9058 | -100.1972 | NL     |
| 17 | 8701     | oblongifolia  | INEGI  | 27.4017 | -108.2078 | Chih   |
| 18 | 16791    | obtusata      | INEGI  | 21.7508 | -103.1819 | Zac    |
| 19 | 5964     | polymorpha    | INEGI  | 25.3289 | -100.1442 | NL     |
| 20 | 5961     | polymorpha    | INEGI  | 25.4206 | -100.0753 | NL     |
| 21 | 14863    | potosina      | INEGI  | 22.4467 | -102.6064 | Zac    |
| 22 | 2536     | potosina      | INEGI  | 24.2969 | -104.9575 | Dgo    |
| 23 | 2537     | potosina      | INEGI  | 24.4097 | -104.9503 | Dgo    |
| 24 | 16836    | resinosa      | INEGI  | 21.2972 | -102.9833 | Zac    |
| 25 | 12383    | resinosa      | INEGI  | 21.5000 | -103.4833 | Zac    |
| 26 | 14104    | rysophylla    | INEGI  | 25.3594 | -100.1483 | NL     |
| 27 | 5972     | rysophylla    | INEGI  | 25.4544 | -100.2350 | NL     |
| 28 | 11450    | scytophylla   | INEGI  | 26.0467 | -105.6961 | Dgo    |
| 29 | 16498    | sillae        | INEGI  | 25.3589 | -100.1278 | NL     |
| 30 | 12233    | viminea       | INEGI  | 24.8333 | -106.6667 | Dgo    |
| 31 | 8704     | viminea       | INEGI  | 27.3364 | -108.3344 | Chih   |
| 32 | 6949     | affinis       | INIF   | 25.3500 | -100.3500 | NL     |
| 33 | 39770    | agrifolia     | SD     | 31.5667 | -116.4833 | BC     |
| 34 | 44238    | canbyi        | INIF   | 25.3833 | -100.2500 | NL     |
| 35 | 21761    | canbyi        | ENCB   | 24.8167 | -100.0667 | NL     |
| 36 | 47289    | canbyi        | ND     | 24.7167 | -99.9000  | NL     |
| 37 | 42462    | candicans     | ENCB   | 23.6000 | -105.4167 | Dgo    |
| 38 | 42318    | candicans     | INIF   | 23.5833 | -105.2167 | Dgo    |
| 39 | 48005    | castanea      | INIF   | 21.9333 | -103.0833 | Zac    |
| 40 | 44774    | castanea      | INIF   | 21.3000 | -103.0167 | Zac    |
| 41 | 44776    | castanea      | INIF   | 21.4000 | -102.9500 | Zac    |
| 42 | 25498    | chrysolepis   | INIF   | 30.9667 | -115.4500 | BC     |
| 43 | 3056     | chrysolepis   | SD     | 30.5833 | -115.2333 | BC     |
| 44 | 21728    | cupreata      | INIF   | 24.2667 | -99.7500  | NL     |
| 45 | 44784    | deserticola   | INIF   | 21.3667 | -103.0333 | Zac    |
| 46 | 47042    | deserticola   | INIF   | 22.1667 | -102.8333 | Zac    |
| 47 | 38603    | dumosa        | CHAP   | 32.5333 | -116.0667 | BC     |
| 48 | 24590    | dumosa        | SD     | 32.4167 | -115.8833 | BC     |
| 49 | 21732    | fusiformis    | INIF   | 25.5667 | -100.3000 | NL     |
| 50 | 30197    | gentryi       | NY     | 22.7667 | -103.6500 | Zac    |
| 51 | 8939     | gravesii      | INIF   | 25.9167 | -101.5500 | Coah   |
| 52 | 8550     | hartwegi      | INIF   | 29.0000 | -103.3333 | Coah   |
| 53 | 1101     | laceyi        | NMC    | 28.9333 | -101.5333 | Coah   |
| 54 | 55083    | magnoliifolia | CHAP   | 23.7833 | -105.3667 | Dgo    |



Continuación Cuadro 2.

|    | Registro | Especie       | Fuente | Latitud | Longitud  | Estado |
|----|----------|---------------|--------|---------|-----------|--------|
| 55 | 25499    | palmeri       | INIF   | 31.8167 | -115.9500 | BC     |
| 56 | 15946    | palmeri       | INIF   | 31.9833 | -115.8500 | BC     |
| 57 | 41056    | peninsularis  | NY     | 29.3667 | -114.1000 | BC     |
| 58 | 9261     | peninsularis  | SD     | 28.7833 | -113.5667 | BC     |
| 59 | 48007    | praeco        | INIF   | 21.5500 | -102.7833 | Zac    |
| 60 | 54352    | reticulata    | INIF   | 21.9167 | -103.0833 | Zac    |
| 61 | 44272    | rysophylla    | INIF   | 25.3667 | -100.2333 | NL     |
| 62 | 47047    | salicifolia   | INIF   | 21.9833 | -103.1000 | Zac    |
| 63 | 44274    | sartorii      | INIF   | 25.4000 | -100.2167 | NL     |
| 64 | 38432    | scytophylla   | INIF   | 29.2000 | -108.1500 | Chih   |
| 65 | 48596    | splendens     | INIF   | 21.5833 | -103.3500 | Zac    |
| 66 | 14365    | tomentella    | SD     | 29.1000 | -118.2833 | BC     |
| 67 | 44800    | tomentella    | INIF   | 28.3667 | -115.2667 | BC     |
| 68 | 38092    | toumeyi       | INIF   | 30.3667 | -108.0833 | Chih   |
| 69 | 45450    | tuberculata   | MEXU   | 27.0500 | -107.7167 | Chih   |
| 70 | 45169    | tuberculata   | INIF   | 27.8333 | -107.5833 | Chih   |
| 71 | 8462     | turbinella    | SD     | 28.7500 | -113.6167 | BC     |
| 72 | 18712    | turbinella    | SD     | 28.4000 | -113.5833 | BC     |
| 73 | 25386    | urbanii       | INIF   | 29.5667 | -108.4167 | Chih   |
| 74 | 35124    | urbanii       | INIF   | 22.9167 | -104.6000 | Dgo    |
| 75 | 42386    | wislizeni     | SD     | 32.0500 | -116.5000 | BC     |
| 76 | 45328    | obtusata      | INIF   | 25.0667 | -106.3167 | Dgo    |
| 77 | 44265    | polymorpha    | INIF   | 25.4167 | -101.6500 | NL     |
| 78 | 44802    | resinosa      | INIF   | 21.9167 | -103.0500 | Zac    |
| 79 | 5974     | acutifolia    | INEGI  | 25.2692 | -100.1725 | NL     |
| 80 | 35514    | magnoliifolia | INIF   | 23.6167 | -105.5833 | Dgo    |

Cuadro 3. Ciento treintaseis sitios de ausencia utilizados para validar los modelos.

|    | Registro | Especie       | Fuente        | Latitud | Longitud  | Estado |
|----|----------|---------------|---------------|---------|-----------|--------|
| 1  | 12056    | acutifolia    | INEGI         | 25.3694 | -100.2075 | NL     |
| 2  | 8695     | albocincta    | INEGI         | 27.2536 | -108.6019 | Chih   |
| 3  | 10647    | castanea      | INEGI         | 21.6217 | -102.8586 | Zac    |
| 4  | 5940     | cupreata      | INEGI         | 25.3244 | -100.1933 | NL     |
| 5  | 16785    | eduardii      | INEGI         | 21.7508 | -103.1819 | Zac    |
| 6  | 16769    | eduardii      | INEGI         | 21.9253 | -103.0594 | Zac    |
| 7  | 14765    | eduardii      | INEGI         | 22.7106 | -103.8908 | Zac    |
| 8  | 12371    | eduardii      | INEGI         | 23.8833 | -104.7500 | Dgo    |
| 9  | 2752     | eduardii      | INEGI         | 24.5606 | -104.9439 | Dgo    |
| 10 | 16495    | elliptica     | INEGI         | 25.2786 | -100.2311 | NL     |
| 11 | 12025    | fusiformis    | INEGI         | 26.2767 | -99.9014  | NL     |
| 12 | 4486     | gravesii      | INEGI         | 25.4244 | -100.3658 | NL     |
| 13 | 6021     | gravesii      | INEGI         | 26.5872 | -100.2853 | NL     |
| 14 | 14006    | laurina       | INEGI         | 25.2978 | -100.2406 | NL     |
| 15 | 14488    | magnoliifolia | INEGI         | 24.5753 | -106.5733 | Dgo    |
| 16 | 12396    | microphylla   | INEGI         | 23.9833 | -102.5167 | Zac    |
| 17 | 6945     | microphylla   | INEGI         | 24.2847 | -104.9772 | Dgo    |
| 18 | 2652     | microphylla   | INEGI         | 24.5381 | -104.9614 | Dgo    |
| 19 | 910      | microphylla   | INEGI         | 24.9058 | -100.1972 | NL     |
| 20 | 8701     | oblongifolia  | INEGI         | 27.4017 | -108.2078 | Chih   |
| 21 | 10642    | obtusata      | INEGI         | 21.6217 | -102.8586 | Zac    |
| 22 | 16791    | obtusata      | INEGI         | 21.7508 | -103.1819 | Zac    |
| 23 | 2764     | polymorpha    | INEGI         | 24.7197 | -99.7158  | NL     |
| 24 | 4141     | polymorpha    | INEGI         | 25.0250 | -99.8867  | NL     |
| 25 | 4100     | polymorpha    | INEGI         | 25.0461 | -99.9622  | NL     |
| 26 | 5965     | polymorpha    | INEGI         | 25.3192 | -100.1447 | NL     |
| 27 | 5964     | polymorpha    | INEGI         | 25.3289 | -100.1442 | NL     |
| 28 | 5961     | polymorpha    | INEGI         | 25.4206 | -100.0753 | NL     |
| 29 | 5963     | polymorpha    | INEGI         | 25.4544 | -100.2350 | NL     |
| 30 | 14863    | potosina      | INEGI         | 22.4467 | -102.6064 | Zac    |
| 31 | 2536     | potosina      | INEGI         | 24.2969 | -104.9575 | Dgo    |
| 32 | 2537     | potosina      | INEGI         | 24.4097 | -104.9503 | Dgo    |
| 33 | 16836    | resinosa      | INEGI         | 21.2972 | -102.9833 | Zac    |
| 34 | 12383    | resinosa      | INEGI         | 21.5000 | -103.4833 | Zac    |
| 35 | 14763    | resinosa      | INEGI         | 22.7106 | -103.8908 | Zac    |
| 36 | 14104    | rysophylla    | INEGI         | 25.3594 | -100.1483 | NL     |
| 37 | 5972     | rysophylla    | INEGI         | 25.4544 | -100.2350 | NL     |
| 38 | 11450    | scytophylla   | INEGI         | 26.0467 | -105.6961 | Dgo    |
| 39 | 16498    | sillae        | INEGI         | 25.3589 | -100.1278 | NL     |
| 40 | 12233    | viminea       | INEGI         | 24.8333 | -106.6667 | Dgo    |
| 41 | 8704     | viminea       | INEGI         | 27.3364 | -108.3344 | Chih   |
| 42 | 6949     | affinis       | INIF          | 25.3500 | -100.3500 | NL     |
| 43 | 39770    | agrifolia     | SD            | 31.5667 | -116.4833 | BC     |
| 44 | 44238    | canbyi        | INIF          | 25.3833 | -100.2500 | NL     |
| 45 | 21761    | canbyi        | ENCB          | 24.8167 | -100.0667 | NL     |
| 46 | 47289    | canbyi        | No disponible | 24.7167 | -99.9000  | NL     |
| 47 | 22684    | candicans     | INIF          | 24.5333 | -105.6167 | Dgo    |
| 48 | 43150    | candicans     | INIF          | 23.5833 | -105.4667 | Dgo    |

Continuación Cuadro 3.

|    | Registro | Especie       | Fuente | Latitud | Longitud  | Estado |
|----|----------|---------------|--------|---------|-----------|--------|
| 49 | 42462    | candicans     | ENCB   | 23.6000 | -105.4167 | Dgo    |
| 50 | 42318    | candicans     | INIF   | 23.5833 | -105.2167 | Dgo    |
| 51 | 48002    | castanea      | INIF   | 22.7667 | -103.6167 | Zac    |
| 52 | 48005    | castanea      | INIF   | 21.9333 | -103.0833 | Zac    |
| 53 | 44774    | castanea      | INIF   | 21.3000 | -103.0167 | Zac    |
| 54 | 44776    | castanea      | INIF   | 21.4000 | -102.9500 | Zac    |
| 55 | 22699    | chrysolepis   | SD     | 32.0500 | -116.5000 | BC     |
| 56 | 32744    | chrysolepis   | SD     | 32.1000 | -115.8500 | BC     |
| 57 | 39772    | chrysolepis   | SD     | 31.6833 | -115.7167 | BC     |
| 58 | 45302    | chrysolepis   | SD     | 31.0833 | -115.4833 | BC     |
| 59 | 25498    | chrysolepis   | INIF   | 30.9667 | -115.4500 | BC     |
| 60 | 3056     | chrysolepis   | SD     | 30.5833 | -115.2333 | BC     |
| 61 | 21728    | cupreata      | INIF   | 24.2667 | -99.7500  | NL     |
| 62 | 44784    | deserticola   | INIF   | 21.3667 | -103.0333 | Zac    |
| 63 | 47042    | deserticola   | INIF   | 22.1667 | -102.8333 | Zac    |
| 64 | 18079    | dumosa        | SD     | 31.3000 | -116.3167 | BC     |
| 65 | 38603    | dumosa        | CHAP   | 32.5333 | -116.0667 | BC     |
| 66 | 24590    | dumosa        | SD     | 32.4167 | -115.8833 | BC     |
| 67 | 43155    | eduardii      | INIF   | 23.5833 | -105.4833 | Dgo    |
| 68 | 43489    | eduardii      | ENCB   | 23.5333 | -105.4500 | Dgo    |
| 69 | 31174    | eduardii      | ENCB   | 24.1333 | -105.4333 | Dgo    |
| 70 | 45311    | eduardii      | INIF   | 23.9167 | -104.6000 | Dgo    |
| 71 | 29700    | eduardii      | INIF   | 21.8667 | -103.0667 | Zac    |
| 72 | 38685    | eduardii      | INIF   | 22.3667 | -102.6500 | Zac    |
| 73 | 21739    | flocculenta   | INIF   | 24.8667 | -100.2167 | NL     |
| 74 | 21732    | fusiformis    | INIF   | 25.5667 | -100.3000 | NL     |
| 75 | 30197    | gentryi       | NY     | 22.7667 | -103.6500 | Zac    |
| 76 | 8939     | gravesii      | INIF   | 25.9167 | -101.5500 | Coah   |
| 77 | 8550     | hartwegi      | INIF   | 29.0000 | -103.3333 | Coah   |
| 78 | 1101     | laceyi        | NMC    | 28.9333 | -101.5333 | Coah   |
| 79 | 21723    | laceyi        | INIF   | 24.5833 | -99.9833  | NL     |
| 80 | 55083    | magnoliifolia | CHAP   | 23.7833 | -105.3667 | Dgo    |
| 81 | 50967    | microphylla   | ENCB   | 24.2333 | -105.0167 | Dgo    |
| 82 | 45162    | microphylla   | INIF   | 21.9833 | -103.1000 | Zac    |
| 83 | 21738    | microphylla   | INIF   | 24.8667 | -100.2167 | NL     |
| 84 | 21734    | muellenbergii | INIF   | 24.5833 | -99.9833  | NL     |
| 85 | 16795    | palmeri       | INIF   | 32.5500 | -116.0500 | BC     |
| 86 | 25499    | palmeri       | INIF   | 31.8167 | -115.9500 | BC     |
| 87 | 15946    | palmeri       | INIF   | 31.9833 | -115.8500 | BC     |
| 88 | 25495    | peninsularis  | INIF   | 31.8167 | -115.9500 | BC     |
| 89 | 38077    | peninsularis  | INIF   | 31.8167 | -115.8833 | BC     |
| 90 | 14493    | peninsularis  | SD     | 31.7833 | -115.8000 | BC     |
| 91 | 54634    | peninsularis  | SD     | 31.2667 | -115.5500 | BC     |
| 92 | 42385    | peninsularis  | SD     | 31.0333 | -115.4000 | BC     |
| 93 | 3055     | peninsularis  | SD     | 30.6000 | -115.2333 | BC     |
| 94 | 41056    | peninsularis  | NY     | 29.3667 | -114.1000 | BC     |
| 95 | 9261     | peninsularis  | SD     | 28.7833 | -113.5667 | BC     |
| 96 | 44265    | polymorpha    | INIF   | 25.4167 | -101.6500 | NL     |

Continuación Cuadro 3.

|     | Registro | Especie       | Fuente        | Latitud | Longitud  | Estado |
|-----|----------|---------------|---------------|---------|-----------|--------|
| 97  | 44269    | polymorpha    | INIF          | 25.3333 | -100.2167 | NL     |
| 98  | 44263    | polymorpha    | INIF          | 25.4167 | -100.1500 | NL     |
| 99  | 52123    | polymorpha    | NY            | 24.7167 | -99.9000  | NL     |
| 100 | 47291    | polymorpha    | No disponible | 24.7167 | -99.6833  | NL     |
| 101 | 48901    | potosina      | INIF          | 21.5833 | -103.3500 | Zac    |
| 102 | 44801    | potosina      | INIF          | 21.9167 | -103.0500 | Zac    |
| 103 | 44799    | potosina      | INIF          | 21.3000 | -103.0167 | Zac    |
| 104 | 25395    | potosina      | INIF          | 22.2833 | -101.6167 | Zac    |
| 105 | 48007    | praeco        | INIF          | 21.5500 | -102.7833 | Zac    |
| 106 | 31077    | prinopsis     | INIF          | 24.5833 | -99.9833  | NL     |
| 107 | 35123    | resinosa      | INIF          | 22.9167 | -104.6000 | Dgo    |
| 108 | 44802    | resinosa      | INIF          | 21.9167 | -103.0500 | Zac    |
| 109 | 54352    | reticulata    | INIF          | 21.9167 | -103.0833 | Zac    |
| 110 | 29511    | rhodophlebia  | INIF          | 21.9833 | -103.1000 | Zac    |
| 111 | 44272    | rysophylla    | INIF          | 25.3667 | -100.2333 | NL     |
| 112 | 47047    | salicifolia   | INIF          | 21.9833 | -103.1000 | Zac    |
| 113 | 44274    | sartorii      | INIF          | 25.4000 | -100.2167 | NL     |
| 114 | 38432    | scytophylla   | INIF          | 29.2000 | -108.1500 | Chih   |
| 115 | 23002    | sinvata       | INIF          | 24.0000 | -99.9500  | NL     |
| 116 | 48596    | splendens     | INIF          | 21.5833 | -103.3500 | Zac    |
| 117 | 52124    | substenocarpa | NY            | 24.2167 | -99.8833  | NL     |
| 118 | 14365    | tomentella    | SD            | 29.1000 | -118.2833 | BC     |
| 119 | 44800    | tomentella    | INIF          | 28.3667 | -115.2667 | BC     |
| 120 | 38092    | toumeyi       | INIF          | 30.3667 | -108.0833 | Chih   |
| 121 | 45450    | tuberculata   | MEXU          | 27.0500 | -107.7167 | Chih   |
| 122 | 45169    | tuberculata   | INIF          | 27.8333 | -107.5833 | Chih   |
| 123 | 24605    | turbinella    | SD            | 32.2667 | -116.1833 | BC     |
| 124 | 15631    | turbinella    | INIF          | 31.9833 | -115.8500 | BC     |
| 125 | 24081    | turbinella    | SD            | 30.9500 | -115.6000 | BC     |
| 126 | 32774    | turbinella    | SD            | 30.3667 | -115.1167 | BC     |
| 127 | 3441     | turbinella    | SD            | 29.3167 | -114.1167 | BC     |
| 128 | 6602     | turbinella    | SD            | 28.7167 | -113.6333 | BC     |
| 129 | 8462     | turbinella    | SD            | 28.7500 | -113.6167 | BC     |
| 130 | 18712    | turbinella    | SD            | 28.4000 | -113.5833 | BC     |
| 131 | 25386    | urbanii       | INIF          | 29.5667 | -108.4167 | Chih   |
| 132 | 35124    | urbanii       | INIF          | 22.9167 | -104.6000 | Dgo    |
| 133 | 42386    | wislizeni     | SD            | 32.0500 | -116.5000 | BC     |
| 134 | 5974     | acutifolia    | INEGI         | 25.2692 | -100.1725 | NL     |
| 135 | 4482     | affinis       | INEGI         | 25.3478 | -100.3428 | NL     |
| 136 | 16792    | castanea      | INEGI         | 21.7508 | -103.1819 | Zac    |

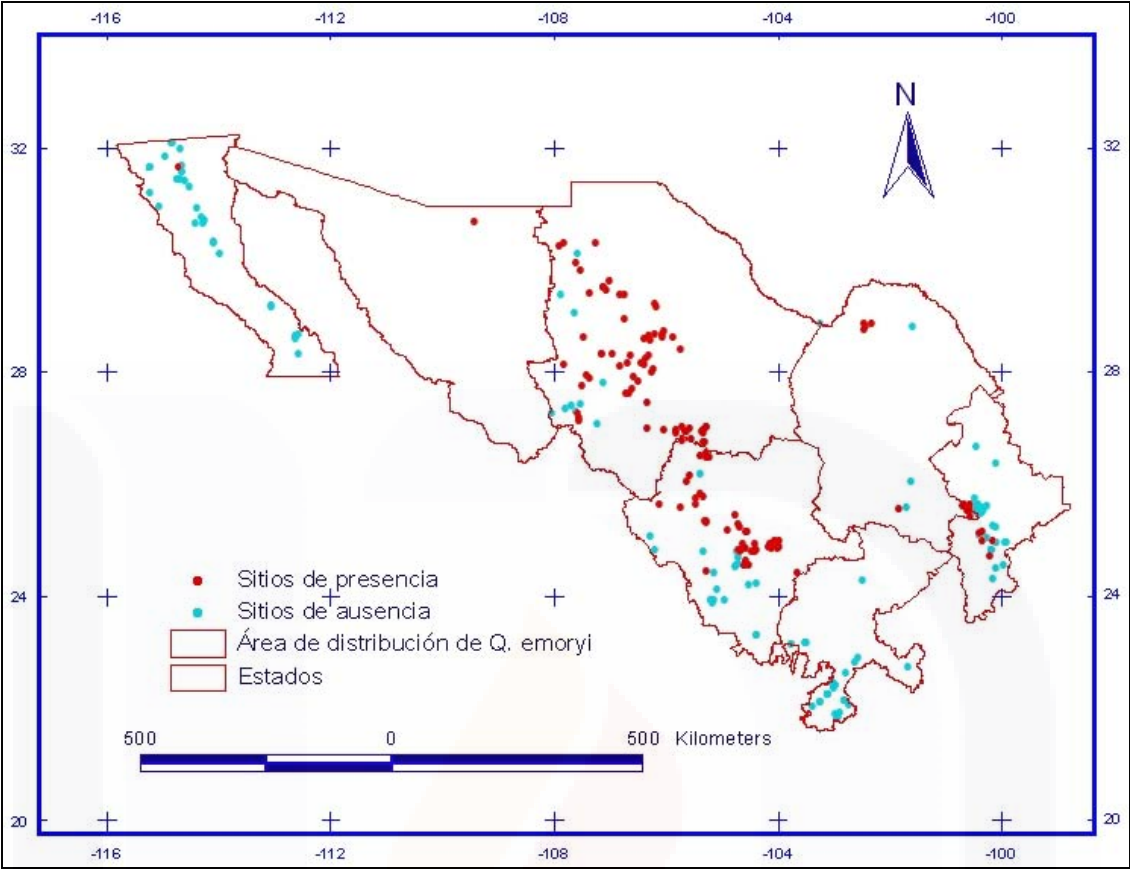


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de presencia y de ausencia de *Q. emoryi*.

Cuadro 4. Intervalos basados en valores mínimos y máximos de las variables para los136 sitios de colecta de *Q. emoryi*.

|       | Altitud  | Pendiente<br>grados | Orientación | Tmín01 | Tmed06 | Ppt<br>media | Suelo             | Vegetación |
|-------|----------|---------------------|-------------|--------|--------|--------------|-------------------|------------|
| MIN   | 1263     | 0                   | 0           | -11.89 | 7.425  | 218.17       | Litosol           | BW         |
| MAX   | 2899     | 76                  | 361         | 2.95   | 25.895 | 1124.76      | Feozem háplico    | MDR        |
| MEDIA | 2072.527 | 15.440              | 169.360     | -4.410 | 19.405 | 514.374      | Regosol eútrico   | PN         |
|       |          |                     |             |        |        |              | Cambisol eútrico  | ML         |
|       |          |                     |             |        |        |              | Planosol eútrico  | BA         |
|       |          |                     |             |        |        |              | Cambicol vértico  | BP         |
|       |          |                     |             |        |        |              | Vertisol pélico   | BQP        |
|       |          |                     |             |        |        |              | Xerosol háplico   | VG         |
|       |          |                     |             |        |        |              | Xerosol cálcico   | BPQ        |
|       |          |                     |             |        |        |              | Planosol mólico   |            |
|       |          |                     |             |        |        |              | Rendzina          |            |
|       |          |                     |             |        |        |              | Regosol calcárico |            |

Cuadro 5. Características de los 17 sitios de presencia que quedaron fuera del Modelo 57\_noorien

| id | Altitud | Pend_gr | Tmín01 | Tmed06 | Ppt     | Suelo             | Vegetación                    |
|----|---------|---------|--------|--------|---------|-------------------|-------------------------------|
| 4  | 2899    | 10      | -7.74  | 7.425  | 505.92  | Litosol           | Bosque de oyamel              |
| 5  | 1729    | 19      | 2.55   | 20.735 | 330.78  | Litosol           | Matorral desértico rosetófilo |
| 6  | 2432    | 6       | -7.04  | 18.020 | 819.51  | Regosol eútrico   | Bosque de pino                |
| 10 | 1903    | 42      | -6.33  | 17.485 | 812.45  | Feozem háplico    | Bosque de encino-pino         |
| 12 | 1555    | 0       | 0.36   | 23.515 | 280.86  | Feozem háplico    | Vegetación de galería         |
| 13 | 1449    | 4       | 2.14   | 25.160 | 386.09  | Planosol eútrico  | Pastizal natural              |
| 23 | 2360    | 12      | -7.19  | 17.020 | 447.90  | Cambisol vértico  | Bosque de encino-pino         |
| 27 | 2447    | 20      | -9.16  | 16.320 | 791.18  | Cambisol eútrico  | Bosque de pino                |
| 36 | 2194    | 3       | -8.36  | 18.810 | 699.81  | Litosol           | Bosque de encino-pino         |
| 45 | 1775    | 76      | 1.03   | 21.685 | 1124.76 | Litosol           | Bosque de pino-encino         |
| 47 | 2013    | 4       | -6.30  | 20.870 | 731.09  | Feozem háplico    | Bosque bajo abierto           |
| 48 | 1263    | 1       | 0.99   | 25.440 | 220.60  | Xerosol cálcico   | Pastizal natural              |
| 52 | 1410    | 4       | -0.64  | 23.985 | 218.17  | Xerosol cálcico   | Pastizal natural              |
| 56 | 1589    | 0       | -0.80  | 23.585 | 472.16  | Rendzina          | Pastizal natural              |
| 59 | 2001    | 0       | -5.99  | 19.375 | 413.48  | Litosol           | Bosque bajo abierto           |
| 61 | 1951    | 11      | -6.62  | 17.930 | 219.31  | Regosol calcárico | Bosque de encino-pino         |
| 72 | 2190    | 43      | -6.76  | 17.755 | 464.00  | Cambisol vértico  | Bosque de encino              |
| 73 | 2006    | 38      | 2.95   | 24.860 | 839.30  | Regosol eútrico   | Bosque de pino-encino         |
| 77 | 1897    | 15      | 0.50   | 21.820 | 931.60  | Feozem háplico    | Bosque de encino-pino         |
| 78 | 1786    | 61      | -0.35  | 21.285 | 890.19  | Litosol           | Bosque de pino-encino         |
| 79 | 2053    | 32      | -4.92  | 17.165 | 808.03  | Litosol           | Bosque de pino-encino         |

Cuadro 6. Distancia en metros entre los sitios de colecta de *Quercus emoryi* que se encuentran afuera de los modelos y cada uno de éstos.

| id | 57_noorien | 136_noorien | 57_frencocero_ppt | 136_frencocero | 136_frencocero_altas | 57_frencocero_pptc10 | 136_frencocero_pptc10 | 57_frencocero_pptc10_tmin | 136_frencocero_pptc10_tminalt |
|----|------------|-------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1131.24              | 1                    | 1                     | 2294.17                   | 2279.21                       |
| 2  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 3  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 107.37               | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 4  | 1437.83    | 1           | 1537.17           | 1              | 18972.69             | 1534.37              | 1                     | 1527.78                   | 3079.86                       |
| 5  | 8636.11    | 1           | 7579.20           | 1              | 13745.60             | 7580.06              | 1                     | 8279.66                   | 7747.77                       |
| 6  | 3850.22    | 1           | 1                 | 1              | 26162.51             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 7  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 16164.13             | 1                    | 1                     | 748.80                    | 744.05                        |
| 8  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 13000.53             | 1                    | 1                     | 1                         | 315.73                        |
| 9  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 3718.51              | 1                    | 1                     | 3648.87                   | 3657.14                       |
| 10 | 27619.93   | 1           | 1                 | 1              | 35065.90             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 11 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 12 | 4482.62    | 91.98       | 4432.86           | 1              | 34028.40             | 4441.73              | 1                     | 6935.57                   | 6968.50                       |
| 13 | 7730.82    | 1           | 7696.66           | 16.55          | 12281.33             | 7705.58              | 16.78                 | 8003.24                   | 8027.52                       |
| 14 | 1          | 1           | 72.38             | 72.24          | 9864.85              | 72.36                | 72.37                 | 200.28                    | 2274.47                       |
| 15 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 14731.72             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 16 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 17 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 18 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 15014.60             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 19 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 15374.84             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 20 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 973.69               | 1                    | 1                     | 1143.42                   | 1157.37                       |
| 21 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 4.43                 | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 22 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 23 | 483.60     | 1           | 482.48            | 1              | 481.49               | 481.74               | 1                     | 477.82                    | 1                             |
| 24 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 4607.11              | 1                    | 1                     | 66.44                     | 66.09                         |
| 25 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 21.52                | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 26 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 27 | 15069.40   | 1           | 9.14              | 1              | 40650.93             | 9.24                 | 1                     | 9.27                      | 9.24                          |
| 28 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 4559.49              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 29 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 4191.58              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 30 | 1          | 1           | 26.97             | 1              | 11894.93             | 27.02                | 1                     | 27.27                     | 141.80                        |
| 31 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1                    | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |

El número uno indica los sitios adentro de los modelos. Se resaltan las distancias no mayores a un kilómetro.

La columna “id” tiene correspondencia con la misma columna de los Cuadros 1 y 5 de este Anexo, para conocer la ubicación y características de los sitios.



Continuación Cuadro 6.

| id | 57 noorien | 136 noorien | 57 frecnocero ppt | 136 frecnocero | 136 frec altas | 57 frecnocero pptc10 | 136 frecnocero pptc10 | 57 frecnocero pptc10 tmín | 136 frecnocero pptc10 tmínalt |
|----|------------|-------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 32 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 33 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 34 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 35 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 17620.89       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 36 | 1446.44    | 1           | 1                 | 1              | 9503.88        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 37 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1317.70        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 38 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 9615.96        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 39 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1265.84        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 40 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 2358.30        | 1                    | 1                     | 649.53                    | 646.85                        |
| 41 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 425.13         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 42 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 6306.36        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 43 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 44 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 2417.88        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 45 | 43499.53   | 1           | 11.60             | 1              | 67443.53       | 11.54                | 1                     | 500.76                    | 502.11                        |
| 46 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 68.72          | 1                    | 1                     | 894.93                    | 869.39                        |
| 47 | 3814.62    | 1           | 1                 | 1              | 8071.85        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 48 | 6708.05    | 1           | 6412.23           | 1              | 185548.33      | 6406.41              | 1                     | 6422.59                   | 6417.10                       |
| 49 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 50 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 57.01                     | 57.08                         |
| 51 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1002.89                   | 1002.29                       |
| 52 | 6432.95    | 1           | 3878.06           | 1              | 168791.80      | 3880.55              | 1                     | 3881.85                   | 2913.62                       |
| 53 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 28861.31       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 54 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 19096.56       | 1                    | 1                     | 144.67                    | 142.87                        |
| 55 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 56 | 137.13     | 1           | 135.46            | 1              | 1266.31        | 134.23               | 1                     | 1416.28                   | 1419.77                       |
| 57 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 24931.53       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 58 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 16809.54       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 59 | 95.71      | 80.34       | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 60 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 2421.30        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 61 | 979.76     | 1           | 954.91            | 1              | 172848.87      | 956.77               | 1                     | 952.25                    | 1                             |
| 62 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 495.52         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 63 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 64 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 65 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 66 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |

Continuación Cuadro 6.

| id  | 57_noorien | 136_noorien | 57_frecnocero_ppt | 136_frecnocero | 136_frec altas | 57_frecnocero_pttc10 | 136_frecnocero_pttc10 | 57_frecnocero_pttc10 tmín | 136_frecnocero_pttc10 tmínalt |
|-----|------------|-------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 67  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 68  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 69  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 19972.49       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 70  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 21196.51       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 71  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 72  | 2797.16    | 1           | 2798.42           | 1              | 2854.12        | 2808.86              | 1                     | 2797.30                   | 1                             |
| 73  | 15262.26   | 1           | 1                 | 1              | 42105.30       | 1                    | 1                     | 13032.29                  | 13028.02                      |
| 74  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 75  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 71.26          | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 76  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 130.31         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 77  | 34613.85   | 1           | 1                 | 1              | 65969.58       | 1                    | 1                     | 3189.53                   | 3188.55                       |
| 78  | 28340.08   | 1           | 1                 | 1              | 67574.78       | 21.19                | 21.35                 | 4385.44                   | 4410.19                       |
| 79  | 26341.96   | 1           | 1                 | 1              | 68692.09       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 80  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 668.68         | 1                    | 1                     | 404.45                    | 405.89                        |
| 81  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 22044.70       | 1                    | 1                     | 503.39                    | 504.30                        |
| 82  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 47.12          | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 83  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 154.92         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 84  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 575.85         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 85  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 86  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 87  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 88  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 2702.07        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 89  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 7016.26        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 90  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 91  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 5974.73        | 1                    | 1                     | 1787.05                   | 1803.92                       |
| 92  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1158.56        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 93  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 94  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 15676.50       | 1                    | 1                     | 986.07                    | 990.71                        |
| 95  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 96  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 13370.46       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 97  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1              | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 98  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1038.13        | 1                    | 1                     | 11330.33                  | 11278.82                      |
| 99  | 1          | 1           | 1                 | 1              | 268.55         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 100 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 14052.96       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 101 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 9798.01        | 1                    | 1                     | 14461.54                  | 14416.86                      |

Continuación Cuadro 6.

| id  | 57_noorien | 136_noorien | 57_frecnocero_ppt | 136_frecnocero | 136_frec_alta | 57_frecnocero_pptc10 | 136_frecnocero_pptc10 | 57_frecnocero_pptc10_tmin | 136_frecnocero_pptc10_tminalt |
|-----|------------|-------------|-------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 102 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 10650.03      | 1                    | 1                     | 13117.17                  | 13142.86                      |
| 103 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 549.02        | 1                    | 1                     | 790.27                    | 793.90                        |
| 104 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1251.74       | 1                    | 1                     | 1945.96                   | 1940.09                       |
| 105 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 18899.79      | 1                    | 1                     | 1148.30                   | 1140.73                       |
| 106 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 23.44         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 107 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 137.26        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 108 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 5232.35       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 109 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1765.46       | 1                    | 1                     | 9041.35                   | 8594.23                       |
| 110 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 172569.29     | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 111 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1437.55       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 112 | 41.78      | 41.58       | 1                 | 1              | 1             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 113 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1873.76       | 1                    | 1                     | 5910.82                   | 5942.78                       |
| 114 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 222.17        | 1                    | 1                     | 2165.30                   | 2159.09                       |
| 115 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 116 | 841.28     | 842.31      | 1                 | 1              | 4815.43       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 117 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1208.34       | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 118 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 2730.60       | 1                    | 1                     | 13530.23                  | 13502.96                      |
| 119 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 133.02        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 120 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 15817.53      | 1                    | 1                     | 1039.44                   | 1034.56                       |
| 121 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 38.96         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 122 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 345.25        | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 123 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 86.26         | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 124 | 1087.05    | 1098.86     | 1091.95           | 1093.77        | 1440.93       | 1095.94              | 1094.62               | 1092.73                   | 1092.05                       |
| 125 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 126 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 2359.15       | 1                    | 1                     | 1                         | 1988.64                       |
| 127 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 21.06         | 1                    | 1                     | 10838.25                  | 10874.29                      |
| 128 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 11257.79      | 1                    | 1                     | 281.67                    | 1713.74                       |
| 129 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 16654.21      | 1                    | 1                     | 742.89                    | 3807.19                       |
| 130 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 6352.24       | 1                    | 1                     | 1642.03                   | 1640.86                       |
| 131 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 132 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 1             | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 133 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 478495.21     | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 134 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 21405.79      | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 135 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 52411.60      | 1                    | 1                     | 1                         | 1                             |
| 136 | 1          | 1           | 1                 | 1              | 3378.79       | 1                    | 1                     | 709.08                    | 711.26                        |

## ANEXO D

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE PARA LAS ANOMALÍAS QUE MOSTRARON UNA TENDENCIA SIGNIFICATIVA EN TEMP. MÍNIMA MEDIA DE ENERO, TEMP. MEDIA DE JUNIO, DÍAS CON TEMP. MÍNIMA MENOR A 0 °C (Fd), RANGO DE TEMPERATURAS EXTREMAS (ETR), PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL, DÍAS CON PPT MAYOR O IGUAL A 10 mm (R10) E ÍNDICE DE INTENSIDAD DIARIA DE PPT (SDII).**

Cuadro 1. Resultados del análisis de regresión para las anomalías de indicadores de eventos extremos y de parámetros climáticos; en las estaciones de Chihuahua ubicadas dentro del área del modelo.

| Estación/años                          | Tmín-enero                       | Tmed-junio                        | Fd                              | ETR                             | Ppt                    | R10 | SDII |
|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----|------|
| <b>8008<br/>1961-1987</b>              | $y = -7.7573 + 0.1048x$          | $y = -6.34930378 + 0.0757020757x$ | $y = 121.571429 - 1.64285714x$  | $y = 19.5616606 - 0.264346764x$ |                        |     |      |
|                                        | $r^2 = 0.1938$                   | $r^2 = 0.1640$                    | $r^2 = 0.3387$                  | $r^2 = 0.2589$                  |                        |     |      |
|                                        | $r = 0.4403$                     | $r = 0.4050$                      | $r = -0.5820$                   | $r = -0.5088$                   |                        |     |      |
|                                        | $p = 0.0215$ *                   | $p = 0.0361$ *                    | $p = 0.0014$ **                 | $p = 0.0067$ *                  |                        |     |      |
| <b>8019<br/>1961-89,<br/>1992-2006</b> | $y = -12.6792697 + 0.158416715x$ |                                   | $y = 43.7225873 - 0.54671218x$  |                                 | $y = 296.62 - 3.6642x$ |     |      |
|                                        | $r^2 = 0.4281$                   |                                   | $r^2 = 0.2040$                  |                                 | $r^2 = 0.1159$         |     |      |
|                                        | $r = 0.6543$                     |                                   | $r = -0.4517$                   |                                 | $r = -0.3405$          |     |      |
|                                        | $p = 0.000008$ **                |                                   | $p = 0.0044$ **                 |                                 | $p = 0.0392$ *         |     |      |
| <b>8025<br/>1943-1999</b>              |                                  | $y = 1.77764381 - 0.0308379589x$  | $y = 17.3956443 - 0.245009074x$ | $y = 9.79678507 - 0.137982888x$ |                        |     |      |
|                                        |                                  | $r^2 = 0.0823$                    | $r^2 = 0.1095$                  | $r^2 = 0.4287$                  |                        |     |      |
|                                        |                                  | $r = -0.2868$                     | $r = -0.3310$                   | $r = -0.6548$                   |                        |     |      |
|                                        |                                  | $p = 0.0321$ *                    | $p = 0.0119$ *                  | $p = 0.00000003$ **             |                        |     |      |
| <b>8057<br/>1962-1986</b>              |                                  |                                   |                                 | $y = 17.8169231 - 0.240769231x$ |                        |     |      |
|                                        |                                  |                                   |                                 | $r^2 = 0.4613$                  |                        |     |      |
|                                        |                                  |                                   |                                 | $r = -0.6792$                   |                        |     |      |
|                                        |                                  |                                   |                                 | $p = 0.0002$ **                 |                        |     |      |
| <b>8067<br/>1961-1986</b>              | $y = -10.8758865 + 0.147990074x$ |                                   |                                 |                                 |                        |     |      |
|                                        | $r^2 = 0.3477$                   |                                   |                                 |                                 |                        |     |      |
|                                        | $r = 0.5897$                     |                                   |                                 |                                 |                        |     |      |
|                                        | $p = 0.0015$ **                  |                                   |                                 |                                 |                        |     |      |

\*\* Altamente significativo

\* Significativo

Continuación Cuadro 1.

| Estación/años                                                         | Tmín-enero                               | Tmed-junio                               | Fd                                      | ETR                                    | Ppt | R10 | SDII                           |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----|-----|--------------------------------|
| <b>8097</b><br><b>1957-1998</b>                                       |                                          | $y = -6.4208 + 0.0709 \cdot x$           |                                         | $y = -7.3726 + 0.0951 \cdot x$         |     |     | $y = -4.2446 + 0.0542 \cdot x$ |
|                                                                       |                                          | $r^2 = 0.2371$                           |                                         | $r^2 = 0.1283$                         |     |     | $r^2 = 0.1505$                 |
|                                                                       |                                          | $r = 0.4869$                             |                                         | $r = 0.3583$                           |     |     | $r = 0.3880$                   |
|                                                                       |                                          | $p = 0.0011$ **                          |                                         | $p = 0.0198$ *                         |     |     | $p = 0.0111$ *                 |
| <b>8098</b><br><b>1961-1985</b>                                       |                                          |                                          | $y = -64.8015385 + 0.887692308 \cdot x$ |                                        |     |     |                                |
|                                                                       |                                          |                                          | $r^2 = 0.3008$                          |                                        |     |     |                                |
|                                                                       |                                          |                                          | $r = 0.5484$                            |                                        |     |     |                                |
|                                                                       |                                          |                                          | $p = 0.0045$ **                         |                                        |     |     |                                |
| <b>8102</b><br><b>1961-1993</b>                                       |                                          | $y = -5.63615229 + 0.0653576203 \cdot x$ |                                         |                                        |     |     |                                |
|                                                                       |                                          | $r^2 = 0.1186$                           |                                         |                                        |     |     |                                |
|                                                                       |                                          | $r = 0.3444$                             |                                         |                                        |     |     |                                |
|                                                                       |                                          | $p = 0.0497$ *                           |                                         |                                        |     |     |                                |
| <b>8135</b><br><b>1966-86,</b><br><b>1989-93,</b><br><b>1996-1999</b> | $y = -7.36538574 + 0.0905209227 \cdot x$ | $y = -8.4322 + 0.0948 \cdot x$           | $y = 84.7253639 - 1.04127854 \cdot x$   | $y = 18.0549887 - 0.221896625 \cdot x$ |     |     | $y = 8.5593 - 0.1034 \cdot x$  |
|                                                                       | $r^2 = 0.2957$                           | $r^2 = 0.5339$                           | $r^2 = 0.5890$                          | $r^2 = 0.7010$                         |     |     | $r^2 = 0.4357$                 |
|                                                                       | $r = 0.5437$                             | $r = 0.7307$                             | $r = -0.7674$                           | $r = -0.8373$                          |     |     | $r = -0.6601$                  |
|                                                                       | $p = 0.0019$ **                          | $p = 0.000005$ **                        | $p = 0.0000007$ **                      | $p = 0.000000008$ **                   |     |     | $p = 0.00007$ **               |
| <b>8157</b><br><b>1961-1993</b>                                       | $y = -6.80281485 + 0.0883646714 \cdot x$ | $y = -9.80858252 + 0.12391377 \cdot x$   |                                         |                                        |     |     |                                |
|                                                                       | $r^2 = 0.1315$                           | $r^2 = 0.3722$                           |                                         |                                        |     |     |                                |
|                                                                       | $r = 0.3626$                             | $r = 0.6101$                             |                                         |                                        |     |     |                                |
|                                                                       | $p = 0.0381$ *                           | $p = 0.0002$ **                          |                                         |                                        |     |     |                                |

Cuadro 2. Resultados del análisis de regresión para las anomalías de indicadores de eventos extremos y de parámetros climáticos; en las estaciones de Coahuila ubicadas dentro del área del modelo.

| Estación/años                   | Tmín-enero                      | Tmed-junio | Fd                                | ETR                              | Ppt | R10 | SDII |
|---------------------------------|---------------------------------|------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----|-----|------|
| <b>5032</b><br><b>1928-1994</b> | $y = -3.2141 + 0.05269 \cdot x$ |            | $y = 15.85493 - 0.259916 \cdot x$ | $y = 4.91300 - 0.080541 \cdot x$ |     |     |      |
|                                 | $r^2 = 0.2482$                  |            | $r^2 = 0.4281$                    | $r^2 = 0.2162$                   |     |     |      |
|                                 | $r = 0.4982$                    |            | $r = -0.6543$                     | $r = -0.4650$                    |     |     |      |
|                                 | $p = 0.00002$ **                |            | $p = 0.000000002$ **              | $p = 0.00007$ **                 |     |     |      |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo

Cuadro 3. Resultados del análisis de regresión para las anomalías de indicadores de eventos extremos y de parámetros climáticos; en las estaciones de Nuevo León ubicadas dentro del área del modelo.

| Estación/años                                          | Tmín-enero               | Tmed-junio                        | Fd                               | ETR                      | Ppt | R10                      | SDII                    |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----|--------------------------|-------------------------|
| 19003<br>1961-83,<br>1985-86,<br>1988-94,<br>1997-2001 | $y = -6.6961 + 0.08441x$ | $y = -3.56488 + 0.05131x$         |                                  |                          |     |                          |                         |
|                                                        | $r^2 = 0.2707$           | $r^2 = 0.1488$                    |                                  |                          |     |                          |                         |
|                                                        | $r = 0.5203$             | $r = 0.3857$                      |                                  |                          |     |                          |                         |
|                                                        | $p = 0.0014$ **          | $p = 0.0201$ *                    |                                  |                          |     |                          |                         |
| 19004<br>1967-1989                                     | $y = 7.19132 - 0.09400x$ | $y = 7.41579597 - 0.09854x$       | $y = -58.6369 + 0.766495x$       | $y = -13.7569 + 0.1798x$ |     |                          |                         |
|                                                        | $r^2 = 0.1722$           | $r^2 = 0.1872$                    | $r^2 = 0.5047$                   | $r^2 = 0.1568$           |     |                          |                         |
|                                                        | $r = -0.4149$            | $r = -0.4326$                     | $r = 0.7104$                     | $r = 0.3960$             |     |                          |                         |
|                                                        | $p = 0.0438$ *           | $p = 0.0273$ *                    | $p = 0.00005$ **                 | $p = 0.0452$ **          |     |                          |                         |
| 19005<br>1971-1994                                     |                          | $y = -6.55749713 + 0.0915532852x$ | $y = -19.9577266 + 0.237954449x$ | $y = -14.7434 + 0.1799x$ |     |                          |                         |
|                                                        |                          | $r^2 = 0.2983$                    | $r^2 = 0.2955$                   | $r^2 = 0.2447$           |     |                          |                         |
|                                                        |                          | $r = 0.5461$                      | $r = 0.5436$                     | $r = 0.4947$             |     |                          |                         |
|                                                        |                          | $p = 0.0039$ **                   | $p = 0.0034$ **                  | $p = 0.0087$ **          |     |                          |                         |
| 19007<br>1961-83,<br>1986-2001                         | $y = -5.794 + 0.072x$    | $y = -5.9636 + 0.0774x$           | $y = 14.7426 - 0.1824x$          |                          |     | $y = 14.2813 - 0.17802x$ |                         |
|                                                        | $r^2 = 0.2155$           | $r^2 = 0.1798$                    | $r^2 = 0.2789$                   |                          |     | $r^2 = 0.1203$           |                         |
|                                                        | $r = 0.4642$             | $r = 0.4241$                      | $r = -0.5281$                    |                          |     | $r = -0.3469$            |                         |
|                                                        | $p = 0.0029$ **          | $p = 0.0071$ *                    | $p = 0.0005$ **                  |                          |     | $p = 0.0283$ *           |                         |
| 19027<br>1949-97,<br>1999-2001                         |                          |                                   | $y = -22.1036 + 0.2965x$         |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r^2 = 0.3096$                   |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r = 0.5564$                     |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $p = 0.00002$ **                 |                          |     |                          |                         |
| 19033<br>1958-78,<br>1980-81,<br>1985-1998             |                          |                                   | $y = -47.3743 + 0.6014x$         |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r^2 = 0.2710$                   |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r = 0.5206$                     |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $p = 0.0004$ **                  |                          |     |                          |                         |
| 19038<br>1948-83,<br>1985                              |                          |                                   | $y = -10.9805 + 0.162604x$       |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r^2 = 0.1883$                   |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r = 0.4339$                     |                          |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $p = 0.0103$ *                   |                          |     |                          |                         |
| 19045<br>1956-83,<br>1985-2001                         |                          |                                   | $y = -8.7854 + 0.1121x$          | $y = -7.3693 + 0.094x$   |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r^2 = 0.1230$                   | $r^2 = 0.1457$           |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $r = 0.3507$                     | $r = 0.3817$             |     |                          |                         |
|                                                        |                          |                                   | $p = 0.0182$ *                   | $p = 0.0097$ *           |     |                          |                         |
| 19050<br>1942-68,<br>1970-2004                         | $y = -3.256 + 0.0447x$   |                                   | $y = 25.39257 - 0.347536x$       |                          |     |                          | $y = -2.5193 + 0.0354x$ |
|                                                        | $r^2 = 0.0864$           |                                   | $r^2 = 0.1016$                   |                          |     |                          | $r^2 = 0.1548$          |
|                                                        | $r = 0.2940$             |                                   | $r = -0.3188$                    |                          |     |                          | $r = 0.3935$            |
|                                                        | $p = 0.0226$             |                                   | $p = 0.0116$ *                   |                          |     |                          | $p = 0.0016$ **         |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo

Continuación Cuadro 3.

| Estación/años                              | Tmín-enero | Tmed-junio | Fd                         | ETR | Ppt | R10 | SDII |
|--------------------------------------------|------------|------------|----------------------------|-----|-----|-----|------|
| 19059<br>1962-88,<br>1990-95,<br>1997-2004 |            |            | $y = 33.6889 - 0.409094*x$ |     |     |     |      |
|                                            |            |            | $r^2 = 0.1397$             |     |     |     |      |
|                                            |            |            | $r = -0.3738$              |     |     |     |      |
|                                            |            |            | $p = 0.0175$               | *   |     |     |      |

Cuadro 4. Resultados del análisis de regresión para las anomalías de indicadores de eventos extremos y de parámetros climáticos; en las estaciones de Sonora ubicadas dentro del área del modelo.

| Estación/años                              | Tmín-enero                        | Tmed-junio                        | Fd                               | ETR                               | Ppt                        | R10                             | SDII                              |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 26005<br>1961-84,<br>1986                  |                                   |                                   | $y = -16.398554 + 0.256098297*x$ |                                   | $y = -580.0484 + 7.9415*x$ |                                 |                                   |
|                                            |                                   |                                   | $r^2 = 0.1641$                   |                                   | $r^2 = 0.1919$             |                                 |                                   |
|                                            |                                   |                                   | $r = 0.4051$                     |                                   | $r = 0.4381$               |                                 |                                   |
|                                            |                                   |                                   | $p = 0.0445$                     | **                                | $p = 0.0285$               | *                               |                                   |
| 26006<br>1964-81,<br>1983-98,<br>2001-2003 |                                   |                                   | $y = 35.710175 - 0.342202963*x$  |                                   |                            | $y = 14.6082098 - 0.17669296*x$ |                                   |
|                                            |                                   |                                   | $r^2 = 0.1275$                   |                                   |                            | $r^2 = 0.1683$                  |                                   |
|                                            |                                   |                                   | $r = -0.3571$                    |                                   |                            | $r = -0.4103$                   |                                   |
|                                            |                                   |                                   | $p = 0.0300$                     | *                                 |                            | $p = 0.0117$                    | *                                 |
| 26008<br>1961-66,<br>1968-2003             | $y = -3.1147735 + 0.0378286*x$    |                                   | $y = 10.6358 - 0.1291*x$         | $y = 5.1175 - 0.0621*x$           |                            |                                 |                                   |
|                                            | $r^2 = 0.1411$                    |                                   | $r^2 = 0.2340$                   | $r^2 = 0.1094$                    |                            |                                 |                                   |
|                                            | $r = 0.3756$                      |                                   | $r = -0.4837$                    | $r = -0.3307$                     |                            |                                 |                                   |
|                                            | $p = 0.0142$                      | *                                 | $p = 0.0012$                     | **                                | $p = 0.0324$               | *                               |                                   |
| 26023<br>1965-86,<br>1988-96,<br>1998-1999 |                                   | $y = 3.69599281 - 0.0618060645*x$ | $y = -83.9104706 + 1.03091792*x$ | $y = -15.7874864 + 0.193963906*x$ |                            |                                 |                                   |
|                                            |                                   | $r^2 = 0.1731$                    | $r^2 = 0.3734$                   | $r^2 = 0.2867$                    |                            |                                 |                                   |
|                                            |                                   | $r = -0.4161$                     | $r = 0.6110$                     | $r = 0.5354$                      |                            |                                 |                                   |
|                                            |                                   | $p = 0.0160$                      | *                                | $p = 0.0002$                      | **                         | $p = 0.0013$                    | **                                |
| 26045<br>1946-2003                         | $y = 2.46136038 - 0.0330383943*x$ | $y = 2.28019684 - 0.0348962889*x$ | $y = -26.3244 + 0.3533*x$        |                                   |                            |                                 | $y = 3.08032433 - 0.0386884874*x$ |
|                                            | $r^2 = 0.0857$                    | $r^2 = 0.1443$                    | $r^2 = 0.1561$                   |                                   |                            |                                 | $r^2 = 0.0736$                    |
|                                            | $r = -0.2927$                     | $r = -0.3799$                     | $r = 0.3950$                     |                                   |                            |                                 | $r = -0.2714$                     |
|                                            | $p = 0.0257$                      | *                                 | $p = 0.0036$                     | **                                | $p = 0.0021$               | **                              | $p = 0.0393$                      |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo



Continuación Cuadro 4.

| Estación/años                                                                             | Tmín-enero                        | Tmed-junio                         | Fd                        | ETR                                | Ppt                              | R10                              | SDII                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>26054</b><br><b>1944-1977</b>                                                          |                                   | $y = 3.87345092 - 0.0758973241*x$  |                           | $y = 14.6605042 - 0.242322383*x$   |                                  |                                  |                                  |
|                                                                                           |                                   | $r^2 = 0.2256$                     |                           | $r^2 = 0.4029$                     |                                  |                                  |                                  |
|                                                                                           |                                   | $r = -0.4750$                      |                           | $r = -0.6348$                      |                                  |                                  |                                  |
|                                                                                           |                                   | $p = 0.0052$ *                     |                           | $p = 0.00006$ **                   |                                  |                                  |                                  |
| <b>26055</b><br><b>1943-71,</b><br><b>1973-75,</b><br><b>1977-80,</b><br><b>1990-2004</b> | $y = 1.91517024 - 0.0260579569*x$ |                                    | $y = -15.1123 + 0.2055*x$ | $y = -6.37626113 + 0.0867111713*x$ | $y = 479.057851 - 6.50110504*x$  | $y = 22.7756023 - 0.309110859*x$ | $y = 10.2066 - 0.1426*x$         |
|                                                                                           | $r^2 = 0.0875$                    |                                    | $r^2 = 0.2701$            | $r^2 = 0.1317$                     | $r^2 = 0.2478$                   | $r^2 = 0.2206$                   | $r^2 = 0.5481$                   |
|                                                                                           | $r = -0.2957$                     |                                    | $r = 0.5197$              | $r = 0.3629$                       | $r = -0.4978$                    | $r = -0.4697$                    | $r = -0.7403$                    |
|                                                                                           | $p = 0.0242$ *                    |                                    | $p = 0.00003$ **          | $p = 0.0051$ *                     | $p = 0.00007$ **                 | $p = 0.0002$ **                  | $p = 0.0000$ **                  |
| <b>26069</b><br><b>1938-42,</b><br><b>1944-2000</b>                                       |                                   |                                    |                           |                                    | $y = -115.739409 + 1.66724985*x$ |                                  |                                  |
|                                                                                           |                                   |                                    |                           |                                    | $r^2 = 0.1068$                   |                                  |                                  |
|                                                                                           |                                   |                                    |                           |                                    | $r = 0.3268$                     |                                  |                                  |
|                                                                                           |                                   |                                    |                           |                                    | $p = 0.0095$ *                   |                                  |                                  |
| <b>26094</b><br><b>1958-61,</b><br><b>1964-74,</b><br><b>1976-1988</b>                    | $y = 7.3210494 - 0.0759916809*x$  | $y = 12.0286 - 0.1204*x$           |                           | $y = 18.2667 - 0.2479*x$           |                                  |                                  |                                  |
|                                                                                           | $r^2 = 0.4878$                    | $r^2 = 0.4419$                     |                           | $r^2 = 0.1782$                     |                                  |                                  |                                  |
|                                                                                           | $r = -0.6984$                     | $r = -0.6648$                      |                           | $r = -0.4222$                      |                                  |                                  |                                  |
|                                                                                           | $p = 0.00004$ **                  | $p = 0.0001$ **                    |                           | $p = 0.0252$ *                     |                                  |                                  |                                  |
| <b>26109</b><br><b>1944-46,</b><br><b>1948-2003</b>                                       |                                   | $y = -7.00880004 + 0.0880285755*x$ |                           |                                    | $y = 805.096075 - 10.8821692*x$  | $y = 22.8525 - 0.3089*x$         | $y = 8.93181179 - 0.125625228*x$ |
|                                                                                           |                                   | $r^2 = 0.2997$                     |                           |                                    | $r^2 = 0.1165$                   | $r^2 = 0.1162$                   | $r^2 = 0.1298$                   |
|                                                                                           |                                   | $r = 0.5475$                       |                           |                                    | $r = -0.3413$                    | $r = -0.3408$                    | $r = -0.3602$                    |
|                                                                                           |                                   | $p = 0.000009$ **                  |                           |                                    | $p = 0.0082$ *                   | $p = 0.0082$ *                   | $p = 0.0051$ *                   |
| <b>26186</b><br><b>1977-87,</b><br><b>1989-2003</b>                                       |                                   |                                    |                           |                                    |                                  |                                  | $y = 9.61387264 - 0.105867282*x$ |
|                                                                                           |                                   |                                    |                           |                                    |                                  |                                  | $r^2 = 0.1674$                   |
|                                                                                           |                                   |                                    |                           |                                    |                                  |                                  | $r = -0.4092$                    |
|                                                                                           |                                   |                                    |                           |                                    |                                  |                                  | $p = 0.0379$ *                   |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo

Cuadro 5. Resultados del análisis de regresión para las anomalías de indicadores de eventos extremos y de parámetros climáticos; en las estaciones de Durango ubicadas dentro del área del modelo.

| Estación/años                                                                             | Tmín-enero                             | Tmed-junio                     | Fd                                     | ETR                                     | Ppt                               | R10                            | SDII                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <b>10003</b><br><b>1961-85,</b><br><b>1986</b>                                            | $y = -5.7265 + 0.0784 \cdot x$         | $y = 7.1001 - 0.0985 \cdot x$  |                                        | $y = 22.7473 - 0.3114 \cdot x$          |                                   |                                | $y = 14.4159 - 0.1965 \cdot x$  |
|                                                                                           | $r^2 = 0.2405$                         | $r^2 = 0.3558$                 |                                        | $r^2 = 0.3268$                          |                                   |                                | $r^2 = 0.1717$                  |
|                                                                                           | $r = 0.4904$                           | $r = -0.5965$                  |                                        | $r = -0.5716$                           |                                   |                                | $r = -0.4144$                   |
|                                                                                           | $p = 0.0128$ *                         | $p = 0.0016$ **                |                                        | $p = 0.0028$ **                         |                                   |                                | $p = 0.0394$ *                  |
| <b>10006</b><br><b>1961-62,</b><br><b>1964-90,</b><br><b>1992-98,</b><br><b>2000-2003</b> |                                        |                                |                                        |                                         |                                   |                                | $y_l = 3.5229 - 0.0425 \cdot x$ |
|                                                                                           |                                        |                                |                                        |                                         |                                   |                                | $r^2 = 0.1135$                  |
|                                                                                           |                                        |                                |                                        |                                         |                                   |                                | $r = -0.3369$                   |
|                                                                                           |                                        |                                |                                        |                                         |                                   |                                | $p = 0.0335$ *                  |
| <b>10008</b><br><b>1964-84,</b><br><b>1986-89,</b><br><b>1991-2002</b>                    |                                        |                                | $y = -43.0524 + 0.5202 \cdot x$        |                                         |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           |                                        |                                | $r^2 = 0.1900$                         |                                         |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           |                                        |                                | $r = 0.4359$                           |                                         |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           |                                        |                                | $p = 0.0070$ *                         |                                         |                                   |                                |                                 |
| <b>10012</b><br><b>1953-2002</b>                                                          | $y = -2.8569 + 0.0369 \cdot x$         |                                | $y = 8.8362 - 0.1138 \cdot x$          | $y = 5.5335 - 0.0714 \cdot x$           |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $r^2 = 0.1381$                         |                                | $r^2 = 0.2716$                         | $r^2 = 0.1312$                          |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $r = 0.3716$                           |                                | $r = -0.5211$                          | $r = -0.3622$                           |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $p = 0.0079$ *                         |                                | $p = 0.0001$ **                        | $p = 0.0098$ *                          |                                   |                                |                                 |
| <b>10017</b><br><b>1941-1960</b>                                                          |                                        |                                |                                        |                                         | $y = 2766.7317 - 54.7868 \cdot x$ | $y = 82.7744 - 1.6391 \cdot x$ |                                 |
|                                                                                           |                                        |                                |                                        |                                         | $r^2 = 0.3181$                    | $r^2 = 0.3676$                 |                                 |
|                                                                                           |                                        |                                |                                        |                                         | $r = -0.5640$                     | $r = -0.6063$                  |                                 |
|                                                                                           |                                        |                                |                                        |                                         | $p = 0.0096$ *                    | $p = 0.0046$ **                |                                 |
| <b>10021</b><br><b>1941-85,</b><br><b>1987-2002</b>                                       | $y = -2.0819 + 0.0291 \cdot x$         |                                | $y = 12.3639 - 0.1735 \cdot x$         | $y = 5.3178 - 0.0746 \cdot x$           |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $r^2 = 0.0987$                         |                                | $r^2 = 0.3398$                         | $r^2 = 0.2755$                          |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $r = 0.3142$                           |                                | $r = -0.5829$                          | $r = -0.5249$                           |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $p = 0.0145$ *                         |                                | $p = 0.0000008$ **                     | $p = 0.00001$ **                        |                                   |                                |                                 |
| <b>10023</b><br><b>1964-2003</b>                                                          | $y = 10.7920074 - 0.129245597 \cdot x$ | $y = 5.9848 - 0.0681 \cdot x$  | $y = -90.2442308 + 1.08076923 \cdot x$ | $y = -9.85785647 + 0.118058161 \cdot x$ |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $r^2 = 0.5413$                         | $r^2 = 0.1861$                 | $r^2 = 0.3802$                         | $r^2 = 0.1801$                          |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $r = -0.7357$                          | $r = -0.4314$                  | $r = 0.6166$                           | $r = 0.4243$                            |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           | $p = 0.00000006$ **                    | $p = 0.0054$ *                 | $p = 0.00002$ **                       | $p = 0.0064$ *                          |                                   |                                |                                 |
| <b>10024</b><br><b>1964-2003</b>                                                          |                                        | $y = -4.2933 + 0.0548 \cdot x$ | $y = 29.2328 - 0.3501 \cdot x$         |                                         |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           |                                        | $r^2 = 0.1435$                 | $r^2 = 0.1296$                         |                                         |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           |                                        | $r = 0.3788$                   | $r = -0.3601$                          |                                         |                                   |                                |                                 |
|                                                                                           |                                        | $p = 0.0159$ *                 | $p = 0.0225$ *                         |                                         |                                   |                                |                                 |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo

Continuación Cuadro 5.

| Estación/años                                       | Tmín-enero                    | Tmed-junio                    | Fd                                | ETR                           | Ppt                              | R10                                     | SDII                                     |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>10027</b><br><b>1961-85,</b><br><b>1987-2003</b> |                               |                               |                                   |                               | $y = 280.5886 - 3.4258 \cdot x$  | $y = 14.5839 - 0.1781 \cdot x$          | $y = 3.69540 - 0.045133 \cdot x$         |
|                                                     |                               |                               |                                   |                               | $r^2 = 0.1033$                   | $r^2 = 0.1346$                          | $r^2 = 0.1025$                           |
|                                                     |                               |                               |                                   |                               | $r = -0.3215$                    | $r = -0.3669$                           | $r = -0.3202$                            |
|                                                     |                               |                               |                                   |                               | $p = 0.0379$ *                   | $p = 0.0169$ *                          | $p = 0.0387$ *                           |
| <b>10029</b><br><b>1940-54,</b><br><b>1956-2001</b> |                               | $y = -1.769 + 0.0247 \cdot x$ |                                   |                               | $yt = -315.684 + 4.4617 \cdot x$ | $y = -17.8117524 + 0.251741635 \cdot x$ | $y = -4.39117724 + 0.0606187467 \cdot x$ |
|                                                     |                               | $r^2 = 0.1046$                |                                   |                               | $r^2 = 0.1242$                   | $r^2 = 0.1697$                          | $r^2 = 0.2168$                           |
|                                                     |                               | $r = 0.3235$                  |                                   |                               | $r = 0.3524$                     | $r = 0.4119$                            | $r = 0.4656$                             |
|                                                     |                               | $p = 0.0110$ *                |                                   |                               | $p = 0.0053$ *                   | $p = 0.0010$ **                         | $p = 0.0002$ **                          |
| <b>10047</b><br><b>1964-2003</b>                    |                               |                               | $y = 39.5333 - 0.4735 \cdot x$    | $y = 6.5367 - 0.0783 \cdot x$ |                                  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               | $r^2 = 0.2951$                    | $r^2 = 0.1766$                |                                  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               | $r = -0.5432$                     | $r = -0.4202$                 |                                  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               | $p = 0.0003$ **                   | $p = 0.0069$ *                |                                  |                                         |                                          |
| <b>10048</b><br><b>1965-86,</b><br><b>1988-2003</b> |                               |                               | $y = 139.8708 - 1.6667 \cdot x$   |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               | $r^2 = 0.1505$                    |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               | $r = -0.3879$                     |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               | $p = 0.0161$                      |                               |                                  |                                         |                                          |
| <b>10051</b><br><b>1964-2003</b>                    | $y = 8.2886 - 0.0993 \cdot x$ |                               | $y = -125.0228 + 1.4973 \cdot x$  |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     | $r^2 = 0.3201$                |                               | $r^2 = 0.2548$                    |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     | $r = -0.5657$                 |                               | $r = 0.5047$                      |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     | $p = 0.0001$ **               |                               | $p = 0.0009$ **                   |                               |                                  |                                         |                                          |
| <b>10061</b><br><b>1965-87,</b><br><b>1990-2003</b> |                               |                               |                                   |                               | $y = 590.6971 - 7.0966 \cdot x$  |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               |                                   |                               | $r^2 = 0.2352$                   |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               |                                   |                               | $r = -0.4850$                    |                                         |                                          |
|                                                     |                               |                               |                                   |                               | $p = 0.0020$ **                  |                                         |                                          |
| <b>10068</b><br><b>1940-1992</b>                    | $y = 4.0069 - 0.0607 \cdot x$ | $y = 3.7586 - 0.0525 \cdot x$ | $y = -10.30817 + 0.15618 \cdot x$ |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     | $r^2 = 0.3232$                | $r^2 = 0.1780$                | $r^2 = 0.1332$                    |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     | $r = -0.5685$                 | $r = -0.4219$                 | $r = 0.3650$                      |                               |                                  |                                         |                                          |
|                                                     | $p = 0.000009$ **             | $p = 0.0017$ **               | $p = 0.0072$ *                    |                               |                                  |                                         |                                          |
| <b>10081</b><br><b>1970-2003</b>                    |                               | $y = 7.4573 - 0.0818 \cdot x$ |                                   |                               |                                  | $y = -17.1276 + 0.1996 \cdot x$         |                                          |
|                                                     |                               | $r^2 = 0.2014$                |                                   |                               |                                  | $r^2 = 0.1356$                          |                                          |
|                                                     |                               | $r = -0.4488$                 |                                   |                               |                                  | $r = 0.3683$                            |                                          |
|                                                     |                               | $p = 0.0078$ *                |                                   |                               |                                  | $p = 0.0381$ *                          |                                          |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo

Continuación Cuadro 5.

| Estación/años                                                       | Tmín-enero                    | Tmed-junio                     | Fd                                | ETR                                 | Ppt                               | R10                               | SDII                              |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>10084</b><br><b>1940-1987</b>                                    |                               | $y = -3.3824 + 0.0535 \cdot x$ |                                   |                                     |                                   | $y = -9.0887 + 0.1431 \cdot x$    |                                   |
|                                                                     |                               | $r^2 = 0.3059$                 |                                   |                                     |                                   | $r^2 = 0.1721$                    |                                   |
|                                                                     |                               | $r = 0.5531$                   |                                   |                                     |                                   | $r = 0.4149$                      |                                   |
|                                                                     |                               | $p = 0.00005$ **               |                                   |                                     |                                   | $p = 0.0034$ **                   |                                   |
| <b>10098</b><br><b>1945-2002</b>                                    | $y = 3.3535 - 0.0456 \cdot x$ | $y = 2.6019 - 0.039 \cdot x$   | $y = -16.14741 + 0.21969 \cdot x$ | $y = 3.9773 - 0.0541142 \cdot x$    | $y = -189.3814 + 2.57661 \cdot x$ | $y = -7.0450 + 0.0958503 \cdot x$ | $y = -2.69429 + 0.034608 \cdot x$ |
|                                                                     | $r^2 = 0.1803$                | $r^2 = 0.2218$                 | $r^2 = 0.1251$                    | $r^2 = 0.1408$                      | $r^2 = 0.0830$                    | $r^2 = 0.0683$                    | $r^2 = 0.0943$                    |
|                                                                     | $r = -0.4246$                 | $r = -0.4709$                  | $r = 0.3537$                      | $r = -0.3753$                       | $r = 0.2882$                      | $r = 0.2613$                      | $r = 0.3072$                      |
|                                                                     | $p = 0.0009$ **               | $p = 0.0002$ **                | $p = 0.0064$ *                    | $p = 0.0037$ **                     | $p = 0.0283$ *                    | $p = 0.0476$ *                    | $p = 0.0190$ *                    |
| <b>10100</b><br><b>1940-2002</b>                                    |                               |                                | $y = 26.9249 - 0.3792 \cdot x$    | $y = 6.08537346 - 0.085709 \cdot x$ | $y = -207.5581 + 2.9234 \cdot x$  |                                   |                                   |
|                                                                     |                               |                                | $r^2 = 0.1608$                    | $r^2 = 0.2271$                      | $r^2 = 0.1299$                    |                                   |                                   |
|                                                                     |                               |                                | $r = -0.4011$                     | $r = -0.4765$                       | $r = 0.3604$                      |                                   |                                   |
|                                                                     |                               |                                | $p = 0.0011$ **                   | $p = 0.00008$ **                    | $p = 0.0037$ **                   |                                   |                                   |
| <b>10103</b><br><b>1964-70,</b><br><b>1972,</b><br><b>1974-2003</b> |                               | $y = 2.5328 - 0.0431 \cdot x$  |                                   |                                     |                                   |                                   |                                   |
|                                                                     |                               | $r^2 = 0.1191$                 |                                   |                                     |                                   |                                   |                                   |
|                                                                     |                               | $r = -0.3451$                  |                                   |                                     |                                   |                                   |                                   |
|                                                                     |                               | $p = 0.0339$ *                 |                                   |                                     |                                   |                                   |                                   |
| <b>10129</b><br><b>1977-2002</b>                                    | $y = 16.8114 - 0.194 \cdot x$ |                                | $y = -163.8417 + 1.8397 \cdot x$  |                                     |                                   |                                   |                                   |
|                                                                     | $r^2 = 0.3850$                |                                | $r^2 = 0.4069$                    |                                     |                                   |                                   |                                   |
|                                                                     | $r = -0.6205$                 |                                | $r = 0.6379$                      |                                     |                                   |                                   |                                   |
|                                                                     | $p = 0.0007$ **               |                                | $p = 0.0005$ **                   |                                     |                                   |                                   |                                   |

\* Significativo

\*\* Altamente significativo