



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

**COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS
EXTREMAS EN LA COMARCA LAGUNERA**

TESIS

Que como requisito parcial para
obtener el grado de:

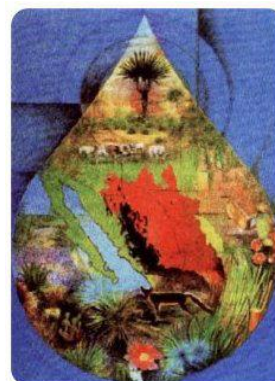
**MAESTRO EN CIENCIAS EN
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE
EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

JAIRO OMAR INZUNZA LÓPEZ

Mayo, 2010

Bermejillo, Durango, México

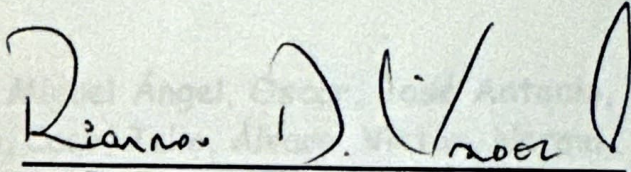


**COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS EN LA
COMARCA LAGUNERA.**

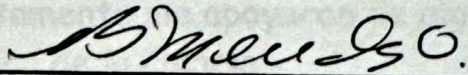
Tesis realizada por **Jairo Omar Inzunza López** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

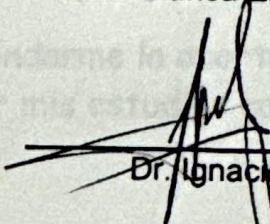
DIRECTOR:


Dr. Ricardo David Valdez Cepeda

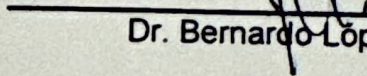
ASESOR:


Dra. Blanca Emma Mendoza Ortega

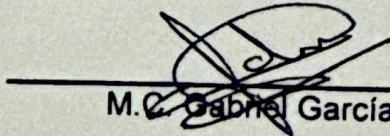
ASESOR:


Dr. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR:


Dr. Bernardo López Ariza

ASESOR:


M.C. Gabriel García Herrera

DEDICATORIAS

Con amor, a mi esposa Petty y mi hijo Miguel Eduardo, por su apoyo incondicional aun durante los momentos más difíciles.

A toda mi familia: mi mamá Lupita, mi hermana Clarissa, a mis sobrinos Juan Pedro, Alejandra, Alexis, Alfonso, Misael, Alfredo, Fernanda, Regina, Pedro, Jesús, Emmanuel, Marco, Ángel, Clarissa, Jazmín, Balta, mis suegros Abundio y Regina, mis cuñadas y cuñados Ángeles, Irma, Cristina, Martha, Lily, Blanca, Sandra, Cesar, Renán, concuños Alfredo, Juan, Toño, Julio, compadres Alfredo y Ángeles, Mario y Amada, a todos ellos con cariño.

A mis amigos: Luis Carlos, Miguel Ángel, Oscar, José Antonio, Miriam, Ignacio, Margarita, Coco, Julio, Álvaro, Víctor, Norma, Gerardo, Saúl.

A todos los que directa o indirectamente me apoyaron de algún modo a seguir adelante en el camino de la ciencia.

Doy gracias a Dios, por brindarme la oportunidad de superarme y la fortaleza para concluir mis estudios cabalmente.

Jairo Inzunza.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Mixto del Estado de Durango y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango por el soporte financiero otorgado mediante el proyecto “Comportamiento de Temperaturas, Evaporación y Precipitación en el Contexto del Cambio Climático en la Comarca Lagunera” Clave DGO-2008-C01-88130.

A los Drs. Bernardo López Ariza y Luis Alonzo Garcia, directores del ‘Michigan State University – Universidad Autónoma Chapingo Training, Internships, Exchanges and Scholarships Program’, la ‘United States Agency for International Development’ y al Programa de Becas Mixtas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, que me apoyaron para realizar una estancia de investigación en el ‘Global Observatory for Ecosystem Services’, laboratorio del ‘Department of Forestry’ de la ‘Michigan State University’.

Al Dr. Oscar Castañeda, Dr. David Skole, Emily Holley y Patty Jolly, por sus finas atenciones hacia mi persona durante la estancia de investigación en el ‘Global Observatory for Ecosystem Services’, laboratorio del ‘Department of Forestry’ de la ‘Michigan State University’.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca de excelencia de posgrado otorgada para cursar la Maestría en Ciencia en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas.

Al Dr. Ricardo David Valdez Cepeda, por su valiosa instrucción, tutoría y asesoría durante mis estudios de maestría, la elaboración y ejecución del proyecto y la obtención del grado.

A la Dra. Blanca Emma Mendoza Ortega, Dr. Ignacio Sánchez Cohen, Dr. Bernardo López Ariza y M.C. Gabriel García Herrera por su valiosa participación en el presente estudio.

A la Universidad Autónoma Chapingo, la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, y el programa de posgrado, por brindarme la oportunidad de superarme.

DATOS BIOGRÁFICOS

El C. Jairo Omar Inzunza López, es originario de Sinaloa, México, Ingeniero Agrónomo especialista en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma Chapingo, en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, egresado en el año 2005. Obtuvo el grado de Ingeniero con la tesis “Optimización de Patrones de Cultivo de Distritos de Riego del Noroeste de México” en 2007, dirigido por el Dr. Ignacio Sánchez Cohen, bajo el patrocinio de CONACYT, SAGARPA y la Coordinadora de Fundaciones Produce (COFUPRO) dentro del proyecto institucional CENID-RASPA “Incremento en la eficiencia global de la disponibilidad de agua en los distritos de riego del norte del país”.

Su línea de investigación actual se relaciona directamente a la cuantificación del cambio climático en la Comarca Lagunera, con el proyecto: Comportamiento de Temperaturas, Evaporación y Precipitación en el Contexto del Cambio Climático en la Comarca Lagunera, clave DGO-2008-C01-88130, financiado por Fondos Mixtos Durango (COCyTED), por medio del cual se logró terminar la presente tesis bajo la supervisión directa de su tutor y asesor Dr. Ricardo David Valdez Cepeda.

En 2009, Inzunza López recibió el reconocimiento al Mérito Académico por la Secretaría de Educación Pública del Estado de Durango.

Participó en una estancia de investigación desde agosto a diciembre de 2009 en el Global Observatory for Ecosystem Services, un laboratorio del Department of Forestry en Michigan State University, bajo el patrocinio de Becas Mixtas CONACyT, USAID y MSU–UACH Training, Internships, Exchanges and Scholarships program.

RESUMEN

Comportamiento de las temperaturas extremas en la Comarca Lagunera

Series de datos diarios de temperatura máxima y mínima de 23 estaciones meteorológicas en la Comarca Lagunera fueron analizadas por las técnicas de regresión lineal simple y densidad espectro-potencial para obtener las tendencias y frecuencias más importantes. El polígono geográfico cubre desde los 102° LO y 23° LN en la esquina inferior derecha hasta los 107° LO y 27° LN en la esquina superior izquierda donde todas las series tuvieron al menos 30 años de datos continuos. Un total de 15 de 23 estaciones presentaron altos niveles de significancia ($p \leq 0.05$) para los estimadores del intercepto y la pendiente para ambas temperaturas. El promedio de tendencia para temperatura máxima fue de -0.22°C por decenio donde 15 de 23 estaciones presentaron decrementos. El promedio para temperatura mínima fue de -0.085°C por decenio donde 13 de 23 estaciones presentaron tendencias negativas. En cuanto a la densidad espectral, predominó la variación a largo plazo dado que presentó promedios de 1.4593 y de 1.4686 para temperatura máxima y mínima respectivamente. La mayoría de las estaciones presentaron frecuencias cuasi- anuales y cuasi-bianuales, mientras que solo en cinco se observaron oscilaciones entre 10 y 20 años para ambas temperaturas. Se determinó que para la región de estudio las temperaturas extremas presentan tendencias lineales significativas además de frecuencias relacionadas, posiblemente, con fenómenos seculares.

PALABRAS CLAVE: Temperatura máxima, temperatura mínima, regresión lineal, densidad espectro-potencial, Comarca Lagunera.

ABSTRACT

Extreme temperature behavior in the Comarca Lagunera region

Daily maximum and minimum temperature datasets for 23 weather stations in the Comarca Lagunera were analyzed by lineal regression and power-spectrum density methods. The objective was to obtain main tendencies and frequencies. Geographic polygon was delimited by 102° W – 23° N (lower right corner) and 107° W – 27° N (upper left corner) where all series had at least 30 years of continuous data. In total, 15 of 23 stations showed high levels of significance ($p \leq 0.05$) for intercept and slope in both temperatures. Tendency average for maximum temperature was -0.22°C by decade, where 15 of 23 series presented decrements. The mean for minimum temperature was -0.085°C by decade, where 13 of 23 stations exhibited negative slopes. Long-term variation persisted because spectral density showed 1.4593 and 1.4686 on average for maximum and minimum temperature, respectively. Almost all series revealed quasi-annual and quasi-biannual frequencies, and just in five stations 10 and 20 years oscillations were observed in both temperatures. In general, in this study area, significant tendencies and frequencies for extreme temperatures were detected.

KEY WORDS: Maximum and minimum temperature, lineal regression, power-spectrum density, Comarca Lagunera region.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 El clima en diferentes regiones del mundo.....	7
2.2 El clima en la República Mexicana.....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Área de estudio	11
3.2 Recopilación de datos	12
3.3 Tratamiento de la información	12
3.4 Regresión lineal simple	15
3.4.2 Estimación de los parámetros β_0 y β_1	16
3.4.3 Propiedades de los estimadores por mínimos cuadrados	20
3.4.4 Prueba de hipótesis de la pendiente y del intercepto	20
3.4.5 Coeficiente de determinación	21
3.4.6 Algunas consideraciones sobre el uso de la regresión lineal.....	21
3.5 Análisis Fractal	22
3.6 Técnica de espectro potencial.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Las tendencias	26
4.2 Las frecuencias	32
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. RECOMENDACIONES	45
VII. LITERATURA CITADA	46
VIII. ANEXOS.....	52
Anexo 1	52
Anexo 2	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tendencias de la temperatura media en diferentes regiones y localidades del mundo.	9
Continuación Cuadro 1	10
Cuadro 2. Listado de estaciones consideradas en el estudio y sus características.	13
Continuación Cuadro 2	14
Cuadro 3. Tendencias de temperatura máxima por estación (en negrita $p < 0.05$).	27
Cuadro 4. Tendencias de temperatura mínima por estación (en negrita $p < 0.05$).	28
Cuadro 5. Listado de estaciones y su clasificación de acuerdo a su escenario de combinación de tendencias	31
Cuadro 6. Listado de estaciones con altos niveles de significancia ($p \leq 0.05$) para la pendiente en la ecuación de regresión.....	32
Cuadro 7. Listado de estaciones, algunos atributos y parámetros de auto-afinidad para la temperatura máxima.	35
Continuación Cuadro 7	36
Cuadro 8. Listado de estaciones, algunos atributos y parámetros de auto-afinidad para la temperatura mínima.....	37
Continuación Cuadro 8	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de las estaciones meteorológicas involucradas en el estudio	11
Figura 2. Posibles escenarios combinados de temperatura máxima (TMax) y mínima (TMin).	29
Figura 3. Relación entre la altitud de las estaciones y la densidad fractal, el coeficiente de Hurst y la pendiente de la temperatura máxima.....	39
Figura 4. Relación entre la altitud de las estaciones y la densidad fractal, el coeficiente de Hurst y la pendiente de la temperatura mínima.....	39
Figura 5. Resumen de frecuencias para temperatura máxima con escala de 0 a 20 años	41
Figura 6. Resumen de frecuencias para temperatura mínima con escala de 0 a 20 años.	42
Figura 7. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.	52
Figura 8. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.	52
Figura 9. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.....	53
Figura 10. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.....	53
Figura 11. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.	54
Figura 12. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.	54
Figura 13. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.	55

Figura 14. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.	55
Figura 15. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.	56
Figura 16. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.	56
Figura 17. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.	57
Figura 18. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.	57
Figura 19. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.	58
Figura 20. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.	58
Figura 21. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.	59
Figura 22. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.	59
Figura 23. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.	60
Figura 24. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.	60
Figura 25. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.	61

Figura 26. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.....	61
Figura 27. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.....	62
Figura 28. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.....	62
Figura 29. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.....	63
Figura 30. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.....	63
Figura 31. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.....	64
Figura 32. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.....	64
Figura 33. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.	65
Figura 34. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.	65
Figura 35. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.....	66
Figura 36. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.....	66
Figura 37. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México	67
Figura 38. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México	67

Figura 39. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.....	68
Figura 40. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.....	68
Figura 41. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.....	69
Figura 42. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.....	69
Figura 43. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.....	70
Figura 44. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.....	70
Figura 45. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Santiago Papasquiari, Santiago Papasquiari, Durango, México.....	71
Figura 46. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Santiago Papasquiari, Santiago Papasquiari, Durango, México.....	71
Figura 47. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Sardinas, San Bernardo, Durango, México.....	72
Figura 48. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Sardinas, San Bernardo, Durango, México.....	72
Figura 49. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.....	73
Figura 50. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.....	73

Figura 51. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.....	74
Figura 52. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.....	74
Figura 53. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.....	75
Figura 54. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.....	75
Figura 55. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.....	76
Figura 56. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.....	76
Figura 57. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.....	77
Figura 58. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.....	77
Figura 59. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.....	78
Figura 60. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.....	78
Figura 61. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.....	79
Figura 62. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.....	79
Figura 63. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.....	80
Figura 64. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.....	80

Figura 65. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.....	81
Figura 66. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.....	81
Figura 67. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.....	82
Figura 68. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.....	82
Figura 69. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.	83
Figura 70. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.	83
Figura 71. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.....	84
Figura 72. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.....	84
Figura 73. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.	85
Figura 74. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.	85
Figura 75. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.	86
Figura 76. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.	86
Figura 77. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.	87
Figura 78. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.	87
Figura 79. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.	88
Figura 80. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.	88

Figura 81. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.....	89
Figura 82. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.....	89
Figura 83. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México.	90
Figura 84. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México.	90
Figura 85. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.....	91
Figura 86. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.....	91
Figura 87. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.....	92
Figura 88. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.....	92
Figura 89. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.	93
Figura 90. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.	93
Figura 91. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Santiago Papasquiario, Santiago Papasquiario, Durango, México.	94
Figura 92. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Santiago Papasquiario, Santiago Papasquiario, Durango, México.	94
Figura 93. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Sardinias, San Bernardo, Durango, México.	95
Figura 94. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Sardinias, San Bernardo, Durango, México.	95
Figura 95. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.....	96

Figura 96. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.....	96
Figura 97. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.....	97
Figura 98. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.....	97

I. INTRODUCCIÓN

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura diverge de su valor medio de muchos años, se denomina anomalía climática ocasionada por forzamientos internos, como inestabilidades en la atmósfera y/o el océano, o por forzamientos externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (e.g. concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el uso de suelo) resultado de la actividad humana (Magaña, 2004).

El cambio climático es una desviación estadística del clima o variabilidad que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más tiempo), y se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a variaciones en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (IPCC, 2007), es decir cambios asociados a actividades antropogénicas.

El interés sobre el cambio climático se ha incrementado en los últimos 30 años debido, principalmente, a las predicciones globales asociadas con el efecto de invernadero, el cual parece indicar un incremento sustancial en la temperatura de la atmósfera terrestre (Valdez–Cepeda *et al*, 2003ab). Tal incremento ha sido de $\sim 0.06^{\circ}\text{C}$ por decenio en el siglo XX y de $\sim 0.19^{\circ}\text{C}$ por

decenio entre 1978 y 1998 (Houghton *et al.*, 1995; Houghton *et al.*, 2001) y se ha asociado a causas antropogénicas (IPCC, 2001) o a causas astronómicas (Landscheidt, 2000; Soon *et al.*, 2000a; Soon *et al.*, 2000b). Se prevé que el incremento continuo de gases con efecto de invernadero originará un incremento sustancial en la temperatura del aire, un incremento en el nivel del mar, descongelamiento de los polos y glaciares, y sequías en el interior de los continentes (Houghton *et al.*, 1995).

Las implicaciones de esos resultados han llevado a muchos científicos a examinar los registros climáticos de diferentes regiones del mundo a fin de comprender el comportamiento de la temperatura (Valdez–Cepeda *et al.*, 2003ab) y otros elementos climáticos. Un gran número de esos estudios se ha llevado a cabo usando registros de más de dos siglos de datos de estaciones europeas (Valdez–Cepeda *et al.*, 2003ab). Desafortunadamente, se carece de registros de largo plazo de elementos climáticos de más de un siglo y/o siglo y medio para muchas estaciones a través del continente americano, en particular para Latinoamérica (Valdez–Cepeda *et al.*, 2003ab).

1.1 Objetivo General

Generar conocimiento sobre el comportamiento de las temperaturas extremas (máxima y mínima), a nivel diario, registrados en 23 estaciones localizadas dentro de la Comarca Lagunera.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las tendencias de las temperaturas máxima y mínima para 23 estaciones meteorológicas.
- Identificar las frecuencias más importantes en las series de las temperaturas máxima y mínima en 23 estaciones meteorológicas.

1.2 Hipótesis

- Las series de temperatura máxima y mínima presentan tendencias lineales significativas.
- Las series de temperatura máxima y mínima presentan frecuencias relacionadas con fenómenos seculares.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Pocos estudios (Cusbasch *et al.*, 1996; Decqué *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 1997) han concluido que el incremento de la temperatura para territorio europeo con latitudes de medias a altas será sustancialmente mayor que el incremento esperado en todo el planeta. En estos estudios, los investigadores han considerado modelos de simulación que toman en cuenta las observaciones mensuales ajustadas a una malla de datos (e. g. la base de datos Jones para temperatura) o alguna otra técnica. Por consiguiente, varios procedimientos incluyen problemas de calidad como la presencia de valores extremos y grandes cambios en la media y la varianza (Balling *et al.*, 1998). Sin embargo, muchos investigadores han notado que los cambios en la variabilidad de la temperatura también son importantes en la determinación de las distribuciones de la temperatura a futuro (Valdez–Cepeda *et al.*, 2003ab), pues los cambios en las temperaturas medias están asociados con cambios sustanciales en la ocurrencia de temperaturas extremas (Balling *et al.*, 1990). En otras palabras, puede ser instructivo conocer la complejidad de los datos de temperaturas extremas cuando estos se ordenan como una secuencia en el tiempo, así como la determinación de la existencia de caos en las series de tiempo de temperaturas extremas.

Se han utilizado varios métodos para caracterizar cuantitativamente el comportamiento de la temperatura. Para evidenciar tendencias de incremento o decremento, lo más común es evidenciar la tendencia de largo plazo a través del análisis de regresión lineal simple (Montgomery *et al.*,

2007). La densidad de espectro potencial se ha usado en forma rutinaria (Király y János, 2002) a fin de evidenciar periodicidades y sus posibles causas, es decir, fenómenos exógenos (e.g. fenómenos asociados a la actividad solar). Otros métodos también usados son: El análisis de entropía de difusión, AED (Scaffeta y West, 2003); análisis de desviación estándar, ADE (Scaffeta y West, 2003) y análisis de fluctuación sin tendencia, AFST (Király y János, 2002; Király y János, 2005).

También se han analizado series de fluctuación de temperatura sin tendencia mediante técnicas espectrales. Por ejemplo, Yano *et al.* (2004) reportaron que para el caso de la temperatura del aire superficial en Kexue (3.9°S, 155.9°E) el exponente $-\beta$ cambia de 1 a 1.4 en un período de 50 horas para el caso; en Vickers (2.9°N, 156.7°E) el exponente $-\beta$ adquirió un valor de 1.6 para un rango de tiempo de 0.5 – 50 horas. Esos investigadores señalaron que el comportamiento descrito por una ley potencial se conserva aún después de la extracción de eventos pico con la duración de la escala intraestacional.

La mayoría de los estudios (János y Vattay, 1992; Eichner *et al.*, 2003; Monetti *et al.*, 2003; Yano *et al.*, 2004; Koscielny-Bunde *et al.*, 2005) han analizado la fluctuación de temperaturas diarias. János y Vattay (1992) encontraron que la fluctuación de la temperatura diaria registrada en Szombathely, Hungría se describe mediante un exponente $-\beta = 0$ en la parte baja de la frecuencia ($f < \sim 0.002 \text{ día}^{-1}$) del espectro potencial; mientras que el rango de frecuencia alta ($f > 0.1 \text{ día}^{-1}$, aproximadamente medio decenio) puede ajustarse a una ley potencial con un exponente $-\beta = 2$.

Valdez–Cepeda *et al.* (2003a) analizaron el espectro de la señal de la serie de temperaturas mínimas extremas del 21 de enero de 1921 a abril de 1963, registradas en Guanajuato, México (21° 01'N, 101° 14'W, 2037 msnm) y encontraron que $-\beta = 2.028$ para escalas de tiempo de dos a 254 meses; cuando se eliminaron las tendencias lineal y anual, $-\beta$ fue cercana a 2.09, esto es, la tendencia de ley potencial se mantuvo después de que se eliminaron la tendencia y la periodicidad anual.

Scafetta y West (2003) analizaron las anomalías de temperatura media mensual mediante la técnica AED y encontraron que el exponente de Hurst (H) tomó los siguientes valores: 0.89, 0.96, 0.86 y 0.98 para los hemisferios norte y sur, y zonas continentales y océanos, respectivamente. Estos resultados sugieren una fuerte persistencia en las anomalías de la temperatura media mensual.

Koscielny–Bundle *et al.* (2005) reportaron un valor del exponente de correlación casi universal en las fluctuaciones de la temperatura diaria; sin embargo, Weber y Talkner (2001) encontraron diferentes valores del exponente dependiendo de la altitud de la estación meteorológica. Más aún, Pattaantyús–Abraham *et al.* (2004) reportaron una persistencia atmosférica no universal cuando se analizaron los registros de temperaturas máximas y mínimas, y demostraron diferentes grados de correlaciones de largo plazo para los dos tipos de temperatura extrema. Más recientemente, Király y János (2005) reportaron un decremento en el exponente de correlación al incrementarse la distancia a partir del ecuador.

2.1 El clima en diferentes regiones del mundo

Actualmente, existe un fuerte consenso científico referente a que el clima global se verá alterado significativamente, en el futuro cercano, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Houghton *et al.*, 1990, 1992). Estos gases captan una porción de radiación que aumenta la temperatura del planeta. Como respuesta a ello, se estima que los patrones de precipitación global también se alterarán. Sin embargo, existe incertidumbre con respecto a las magnitudes y las tasas de dichos cambios a nivel regional (EEI, 1997). Estos cambios pueden ocasionar alteraciones en los ecosistemas globales. Algunos científicos sugieren que los rangos de especies arbóreas podrán variar significativamente como resultado del cambio climático global. Por ejemplo, Sargent (1988) consigna que para Canadá se proyectan pérdidas de aproximadamente 170 millones de hectáreas de bosques en el sur y ganancias de 70 millones de hectáreas en el norte.

Folland *et al.* (2001) señalaron que la temperatura de la superficie terrestre se ha incrementado en promedio 0.6 ± 0.2 °C para un período de 100 años, desde finales del siglo XIX. El hemisferio norte sufrió un enfriamiento durante el período de 1946 a 1975, mientras que el hemisferio sur registró un calentamiento (Folland *et al.*, 2001). Dichos autores señalan que el período de 1976 al 2000 fue de calentamiento a nivel global, pero fue más pronunciado en los continentes del hemisferio norte durante el invierno que con respecto a la primavera. Folland *et al.* (2001), al revisar varios

reportes científicos, concluyeron que el análisis de las temperaturas media, máxima y mínima de la superficie terrestre sugieren un decremento en muchas partes del mundo.

Türkes *et al.* (1995, 2002) observaron un decremento general de la temperatura media superficial a nivel estacional y anual en series climáticas de gran parte del territorio de Turquía. La tendencia de enfriamiento fue más marcada en el verano.

En el Cuadro 1 se aprecian datos de tendencia de la temperatura media en estaciones de distintas regiones y localidades del mundo.

2.2 El clima en la República Mexicana

En la literatura científica se encuentran pocos reportes de investigaciones sobre comportamiento de las temperaturas en México. Así, Jáuregui (2004) reporta las tendencias de las temperaturas extremas (máxima y mínima) a nivel anual para el Valle de México, pero no para la temperatura media. Valdez–Cepeda *et al.* (2003a) reportaron también la tendencia de la temperatura mínima registrada en Guanajuato.

Cuadro 1. Tendencias de la temperatura media en diferentes regiones y localidades del mundo.

Región o Localidad	Tendencia (°C/año)	Período	Tendencia (°C/10 años)	Referencia
Global	+0.6 ± 0.2	100 años	+0.06 ± 0.02	Folland <i>et al.</i> (2001)
Global	+0.75	100 años	+0.075	Hansen <i>et al.</i> (2001)
Global	+0.5	1975–2000	+0.200	Hansen <i>et al.</i> (2001)
Global	+0.15	Cada 10 años	+0.150	Reid y Jones (2001)
Hemisferio Norte	+0.65	100 años	+0.065	Lugina (2004)
Hemisferio Sur	+0.54	100 años	+0.054	Lugina (2004)
Chile	+0.2	1901–2000	+0.0202	Yáñez (2004)
Antártica	De +0.5 a +1.0	1970–2000	De +0.166 a +0.333	Yáñez (2004)
Colombia	+0.36	1961–1990	+0.124	IDEAM.
San Juan, P. R.	+2.1	1956–1983	+0.75	Duchon (1986)
Diekirch, Luxemburgo	+0.55	1998–2003	+1.1	Massen (2003)
Sudáfrica	+1.13	1885–1993	+0.105	Hughes (1994)
New Hampshire, División 2 (NCDC)	+0.3	1931–2000	+0.043	Keim <i>et al.</i> (2003)
New Hampshire, División 2 (USHCN)	+0.8	1931–2000	+0.116	Keim <i>et al.</i> (2003)
Este del Océano Ártico (invierno)	+1.0	1979–1997	+0.555	Rigor <i>et al.</i> (2000)
Oeste del Océano Ártico (invierno)	–1.0	1979–1997	–0.555	Rigor <i>et al.</i> (2000)
Estados Unidos	De +0.3 a +0.4	1900–2000	De +0.03 a +0.04	Karl <i>et al.</i> (1996)
Spitzbergen	+4.06	1901–1996	+0.043	Karl (1998)
Alaska/ W. Yukón	–0.12	1901–1996	–0.013	Karl (1998)
Canadá –W Yukón	+0.96	1901–1996	+0.101	Karl (1998)

Continuación Cuadro 1.

Atlántico Norte	-0.11	1901-1996	-0.012	Karl (1998)
Europa Occidental	+0.51	1901-1996	+0.054	Karl (1998)
Oeste de Siberia /Rusia	+1.19	1901-1996	+0.125	Karl (1998)
Este de Siberia	+1.30	1901-1996	+0.137	Karl (1998)
Pacífico Norte	+0.90	1901-1996	+0.095	Karl (1998)
Estados Unidos	+0.41	1901-1996	+0.043	Karl (1998)
Sureste USA	-0.37	1901-1996	-0.039	Karl (1998)
Atlántico Noreste	+0.64	1901-1996	+0.067	Karl (1998)
Medio Este	+0.46	1901-1996	+0.048	Karl (1998)
India	+0.45	1901-1996	+0.047	Karl (1998)
Suroeste de China/Tíbet	-0.44	1901-1996	-0.046	Karl (1998)
Este de China	+0.42	1901-1996	+0.044	Karl (1998)
Japón y alrededor	+1.12	1901-1996	+0.118	Karl (1998)
Ruta Marina América – Auckland	+0.65	1901-1996	+0.068	Karl (1998)
México	+0.72	1901-1996	+0.076	Karl (1998)
Caribe	+0.48	1901-1996	+0.051	Karl (1998)
Atlántico Medio	+0.44	1901-1996	+0.046	Karl (1998)
Timbuktu	+1.38	1901-1996	+0.145	Karl (1998)
Nigeria	-0.43	1901-1996	-0.045	Karl (1998)
Mar Árabe/Bahía de Bengala	+0.53	1901-1996	+0.056	Karl (1998)
Sureste de Asia	+0.48	1901-1996	+0.051	Karl (1998)
Perú/ Ecuador/ Colombia	+0.69	1901-1996	+0.073	Karl (1998)
Bolivia	-0.46	1901-1996	-0.0484	Karl (1998)
Chile/ Argentina	+0.67	1901-1996	+0.071	Karl (1998)
Atlántico Suroeste	+0.75	1901-1996	+0.079	Karl (1998)
Sureste Atlántico	+0.84	1901-1996	+0.088	Karl (1998)
Sudáfrica	+0.76	1901-1996	+0.080	Karl (1998)
Tananarive	-0.61	1901-1996	-0.064	Karl (1998)
Madagascar	+0.64	1901-1996	+0.067	Karl (1998)
Este de Australia	+0.64	1901-1996	+0.067	Karl (1998)
Nueva Zelanda	+0.71	1901-1996	+0.075	Karl (1998)
Georgia	+1.91	1901-1996	+0.201	Karl (1998)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

Las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio están dentro o tienen influencia en la Comarca Lagunera. El área considerada con las estaciones cubre desde los 102.173° hasta los 106.324° longitud oeste y desde los 23.183° hasta los 26.75° latitud norte; cubre la mayor parte de Durango, norte de Zacatecas, oriente de Coahuila y sur de Chihuahua (Figura 1).

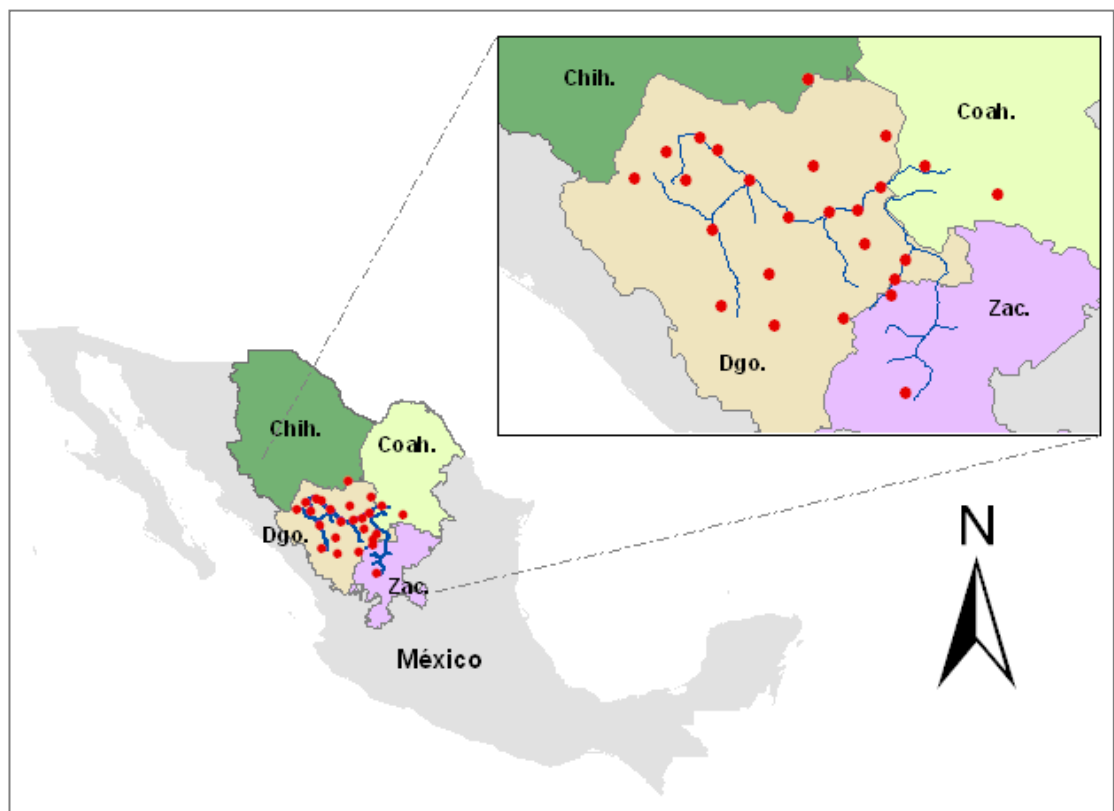


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones meteorológicas involucradas en el estudio (shapefiles proporcionados por INEGI).

3.2 Recopilación de datos

Al usar la base de datos del Extractor Rápido de Información Climatológica ERIC III (IMTA, 2007) se seleccionaron las estaciones que tuvieran influencia hacia la Comarca Lagunera, por ello se utilizó un cuadro de extracción delimitado por las siguientes coordenadas geográficas: 102° longitud oeste y 23° latitud norte en la esquina inferior derecha y 107° longitud oeste y 27° latitud norte en la esquina superior izquierda.

3.3 Tratamiento de la información

De manera inicial se seleccionaron 54 estaciones. Sin embargo se realizó una depuración. El primer filtro fue la continuidad de los datos, es decir, aquellas estaciones con registros con períodos de ausencia mayores a un año se descartaron.

El segundo filtro consistió en revisar que la disponibilidad de datos continuos fuera de al menos 30 años. Así, las estaciones que cumplieron los requisitos fueron 23 en total (Cuadro 2). Cabe mencionar que los datos faltantes en las estaciones seleccionadas se estimaron al aplicar el método de interpolación 'Kriging puntual'.

Cuadro 2. Listado de estaciones consideradas en el estudio y sus características.

	Clave ERIC	Nombre de la Estación	Altitud msnm	Latitud Norte	Longitud Oeste	Período	n diario	TMax Prom.	TMin Prom.
1	10008	5 de Mayo , San Pedro del Gallo, Durango, México (Laguna)	1700	25.773	104.288	1964-2003	14610	27.62	9.29
2	10090	Canatlán , Canatlán, Durango, México	2000	24.533	104.783	1962-2001	14610	25.11	6.51
3	10004	Cañón de Fernández , Cuencamé, Durango, México (Laguna)	1200	25.265	103.774	1964-2003	14610	29.91	14.43
4	10007	Ciénega de Escobar , Tepehuanes, Durango, México	2144	25.601	105.746	1965-2000	13149	22.56	6.03
5	10009	Ciudad Lerdo , Lerdo, Durango, México (Laguna)	1135	25.533	103.517	1960-2003	16071	28.93	13.13
6	10012	Cuencamé , Cuencamé, Durango, México (Laguna)	1600	24.867	103.696	1953-2003	18627	29.7	12.7
7	10023	El Pueblito , Durango, Durango, México	1889	23.95	104.733	1964-2003	14610	24.66	9.37
8	32018	El Saúz , General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México	2050	23.183	103.233	1947-2002	20454	25.55	6.71
9	10026	El Tarahumar , Tepehuanes, Durango, México	2435	25.617	106.324	1965-2003	14244	18.98	1.04
10	8062	El Escalón , Jiménez, Chihuahua, México	1263	26.75	104.35	1961-2001	14975	28.7	10.21
11	10029	Guanaceví , Guanaceví, Durango, México	2300	25.933	105.952	1923-2003	29585	23.34	7.05
12	32028	Juan Aldama , Juan Aldama, Zacatecas, México	2125	24.282	103.397	1964-2003	14610	26.43	9.99

Continuación Cuadro 2.

	Clave ERIC	Nombre de la Estación	Altitud msnm	Latitud Norte	Longitud Oeste	Período	n diario	TMax Prom.	TMin Prom.
13	10047	Narciso Mendoza , Poanas, Durango, México	1910	24.017	103.933	1964-2003	14610	26.11	7.96
14	10049	Nazas , Nazas, Durango, México (Laguna)	1300	25.23	104.107	1966-2003	13879	30.01	10.96
15	10021	Palmito II , Indé, Durango, México	1600	25.614	105.004	1938-2003	24106	28.05	11.56
16	5024	Parras , Parras de la Fuente, Coahuila, México	1500	25.438	102.173	1961-2003	16071	27.51	12.76
17	10054	Peña del Águila , Durango, Durango, México	1896	24.167	105.333	1964-2003	14610	25.2	8.36
18	10098	Rodeo , Rodeo, Durango, México (Laguna)	1450	25.186	104.563	1945-2003	21549	29.98	10.25
19	5036	San Pedro , San Pedro de las Colonias, Coahuila, México (Laguna)	1100	25.757	102.996	1964-2003	14610	29.91	12.41
20	10100	Santiago Papasquiario , Santiago Papasquiario, Durango, México	1716	25.033	105.433	1939-2003	23741	27.75	8.11
21	10078	Sardinas , San Bernardo, Durango, México	1639	26.084	105.566	1971-2003	12053	25.67	6.31
22	10074	Santa Clara , Santa Clara, Durango, México	1800	24.469	103.353	1964-2003	14610	27.16	8.21
23	10085	Tlahualilo , Tlahualilo, Durango, México (Laguna)	1100	26.101	103.441	1964-2003	14610	30.41	11.06

En la siguiente fase se obtuvieron los gráficos de dispersión de cada una de las series de datos con la finalidad de identificar datos extraños. Luego se obtuvieron los estimadores intercepto (ordenada asociada al origen) y la pendiente a través de análisis de regresión lineal usando Excel (Microsoft, 2007) y Statistica (StatSoft, 2000). Se estimaron también los niveles de significancia ($p \leq 0.05$) del intercepto (β_0) y la pendiente de la recta (β_1).

Después de obtener las tendencias (pendientes), se procedió a realizar el análisis del espectro potencial por medio del software Benoit (TruSoft, 1999).

3.4 Regresión lineal simple

La dependencia de una variable Y de una variable independiente X , se define mediante el análisis de regresión (Snedecor y Cochran, 1984). Un modelo de regresión lineal simple es un modelo con un solo regresor x que tiene una relación con una respuesta y , donde la relación es una línea recta (Montgomery *et al.*, 2007). Este modelo de regresión simple es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \tag{1}$$

La y se conoce como variable dependiente y la x es conocida como variable independiente (Steel *et al.*, 1997); β_0 es la ordenada al origen y β_1 la pendiente, ambas son constantes desconocidas; ε es un componente

aleatorio de error. Se supone que los errores tienen promedio cero y varianza (σ^2) desconocida pero mínima (Montgomery *et al.*, 2007). Además, se supone que los errores no están correlacionados. Esto quiere decir que el valor de un error no depende del valor de otro error (Hair *et al.*, 1999).

A los parámetros β_0 y β_1 se les llama coeficientes de regresión. Éstos tienen una interpretación simple y útil. La pendiente β_1 es el cambio de la media de la distribución de y producido por un cambio unitario en x . Si el intervalo de los datos incluye $x = 0$, entonces la ordenada al origen β_0 , es la media de la distribución de la respuesta y cuando $x = 0$. Si no incluye al cero, β_0 no tiene interpretación práctica (Montgomery *et al.*, 2007).

3.4.2 Estimación de los parámetros β_0 y β_1

Los parámetros β_0 y β_1 se estiman con los datos de una muestra; esto se hace usando el método de mínimos cuadrados. Esto es, se estiman β_0 y β_1 de forma tal que la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones y_i y la línea recta sea mínima (Montgomery *et al.*, 2007). Según el modelo de regresión simple se puede escribir:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Se puede considerar que la ecuación (1) es un modelo poblacional de regresión, mientras que la ecuación (2) es un modelo muestral de regresión, escritos en términos de los n pares de datos (y_i, x_i) ($i = 1, 2, \dots, n$).

Así, el criterio de mínimos cuadrados es:

$$S(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (3)$$

Los estimadores, por mínimos cuadrados, de β_0 y β_1 , que se designarán por $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$, deben satisfacer :

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_0} \right|_{\beta_0, \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) = 0 \quad (4)$$

y

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_1} \right|_{\beta_0, \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) x_i = 0 \quad (5)$$

Se simplifican estas dos ecuaciones y se obtiene:

$$\begin{aligned} n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n y_i \\ \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i \end{aligned} \quad (6)$$

Las ecuaciones (6) son llamadas ecuaciones normales de mínimos cuadrados. Su solución es la siguiente:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (7)$$

y

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \quad (8)$$

en donde

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{y} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

son los promedios y_i y x_i respectivamente. Por consiguiente, $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ en las ecuaciones (7) y (8) son los estimadores por mínimos cuadrados de la ordenada al origen y la pendiente, respectivamente. El modelo ajustado de regresión lineal simple es, entonces:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (9)$$

La ecuación (9) produce una estimación puntual de la media de y para una determinada x . Como el denominador de la ecuación (8) es la suma corregida de cuadrados de las x_i y el numerador es la suma corregida de los productos cruzados de x_i y y_i , estas ecuaciones se pueden escribir en una forma más compacta como sigue:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

y

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n} = \sum_{i=1}^n y_i (x_i - \bar{x}) \quad (11)$$

Entonces, una forma cómoda de escribir la ecuación (8) es:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (12)$$

La diferencia entre el valor observado y_i y el valor ajustado que corresponde a $\bar{y}_i$ se llama residual. Matemáticamente, el i -ésimo residual es:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Los residuales tienen un papel importante para investigar la adecuación del modelo de regresión ajustado, y para detectar diferencias respecto a las hipótesis básicas (Hair *et al.*, 1999).

3.4.3 Propiedades de los estimadores por mínimos cuadrados

Los estimadores por mínimos cuadrados $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ tienen algunas propiedades importantes (Montgomery *et al.*, 2007):

- Son combinaciones lineales de las observaciones y_i ; esto es:

$$y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i \quad (14)$$

- Son estimadores insesgados, es decir los valores esperados de $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ son iguales a los valores de los coeficientes β_0 y β_1 , respectivamente.
- Tienen mínima varianza.

3.4.4 Prueba de hipótesis de la pendiente y del intercepto

Con frecuencia interesa probar hipótesis estadísticas y establecer intervalos de confianza de los parámetros del modelo. Estos procedimientos requieren probar la hipótesis adicional de que los errores ε del modelo están distribuidos normalmente. Así, los errores están distribuidos en forma normal e independiente, con media 0 y varianza σ^2 mínima (Montgomery *et al.*, 2007).

3.4.5 Coeficiente de determinación

A la cantidad

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_{Res}}{SS_T} \quad (15)$$

se le llama coeficiente de determinación. Como SS_T es una medida de la variabilidad de y sin considerar el efecto de la variable regresora x y SS_{Res} es una medida de la variabilidad de y que queda después de haber tenido en consideración a x , R^2 se llama, con frecuencia, la proporción de la variación explicada por el regresor x . Ya que $0 \leq SS_{Res} \leq SS_T$ entonces $0 \leq R^2 \leq 1$. Los valores de R^2 cercanos a 1 implican que la mayor parte de la variabilidad de y está explicada por el modelo de regresión (Montgomery *et al.*, 2007).

3.4.6 Algunas consideraciones sobre el uso de la regresión lineal

De acuerdo a Montgomery *et al.* (2007):

- Los modelos de regresión tienen por objeto servir de ecuaciones de interpolación (predicción) dentro del intervalo de la variable regresora que se usa para ajustarlos y se debe evitar el extrapolar fuera de ese intervalo.
- La disposición de los valores de x juega un papel importante en el ajuste por mínimos cuadrados. Si bien todos los puntos se ponderan igual para determinar la altura de la recta, la pendiente queda más influenciada por los valores remotos de x .

- Los valores atípicos o erróneos pueden afectar el ajuste por mínimos cuadrados.
- Que un análisis de regresión haya indicado que hay una fuerte relación entre dos variables, no implica que éstas tengan relación alguna en el sentido causal, la casualidad implica, necesariamente, la correlación. El análisis de regresión solo puede examinar los asuntos de regresión, no puede manejar el asunto de la necesidad.

3.5 Análisis Fractal

La variación temporal de fenómenos naturales ha sido difícil de caracterizar y cuantificar (Valdez–Cepeda *et al.* 2003). Para resolver esos problemas, el análisis fractal fue introducido por Mandelbrot (1982). Las series de tiempo se pueden caracterizar por una dimensión no entera (dimensión fractal) cuando se tratan como series aleatorias o perfiles auto-afines (Valdez–Cepeda *et al.*, 2003).

Los sistemas auto-afines a menudo están caracterizados por su rugosidad o irregularidad, la cual se define como la fluctuación sobre una línea dentro de un rango de escalas. Para los perfiles o series auto-afines, la rugosidad se cuantifica a través del llamado exponente de Hurst (Valdez–Cepeda *et al.* 2003). Sin embargo, este exponente proporciona información limitada acerca de la distribución de las irregularidades (Evertsz y Berkner, 1995).

Tanto el exponente de Hurst como la dimensión fractal miden que tan lejana está una curva fractal de cualquier función suavizada que se usa para ajustarla (Moreira *et al.* 1994). Existe una gran cantidad de técnicas para

estimar la dimensión fractal para perfiles auto-afines, pero solo se utilizó la técnica de espectro potencial, ya que es bastante sensible y es una buena herramienta exploratoria para datos reales (Weber y Talkner, 2001).

3.6 Técnica de espectro potencial

Los fractales auto-afines generalmente son tratados cuantitativamente utilizando técnicas espectrales (Turcotte, 1992). La variación del espectro potencial $P(f)$ con frecuencia f parece seguir una ley potencial (Turcotte, 1992):

$$P(f) \sim f^{-\beta} \quad (16)$$

El espectro potencial $P(f)$ se define como el cuadrado de la magnitud de la transformada de Fourier de la variable, denotándola como una función del tiempo mediante $Z(t)$, así se tiene:

$$P(f) = \left| \int_{t_0}^{t_1} Z(t) e^{-i2\pi f t} dt \right|^2 \quad (17)$$

Donde t_0 y t_1 son los límites del tiempo sobre el que se distribuyen las observaciones que conforman cada serie. En el caso del registro de temperatura se muestrea a intervalos de tiempo discretos, por ello se debe utilizar una versión discreta de la Ecuación (17):

$$P(f) = \left| \sum_{t=t_0}^{t_1} Z(t) e^{-i2\pi f t} \right|^2 \quad (18)$$

Después, se obtiene una relación entre el exponente β y la dimensión fractal D_s ; considerando dos series de tiempo $Z_1(t)$ y $Z_2(t)$ relacionadas mediante:

$$Z_2(t) = \frac{1}{r^H} Z_1(rt) \quad (19)$$

Se puede observar que $Z_1(t)$ tiene las mismas propiedades estadísticas que $Z_2(t)$, y dado que Z_2 es una versión re-escalada de Z_1 sus densidades de espectro potencial también deben ser re-escaladas apropiadamente. Por lo que se puede escribir:

$$P(f) = \frac{1}{r^{2H+1}} P\left(\frac{f}{r}\right) \quad (20)$$

$$\beta = 2H + 1 = 5 - 2D_s \quad (21)$$

$$D_s = \frac{5 - \beta}{2}, y \quad (22)$$

$$H = 2 - D_s \quad (23)$$

donde D_s denota la dimensión fractal estimada a partir del espectro potencial y H es el exponente de Hurst.

En la práctica, para obtener una estimación de la dimensión fractal D_s , se calcula el espectro potencial $P(f)$ (donde $f = 2p/l$ es el número de onda y l es la longitud de onda), y se grafica el logaritmo de $P(f)$ contra los logaritmos de f (Valdez–Cepeda *et al.* 2003ab). Si el perfil es auto-afín, esta gráfica deberá seguir una línea recta con una pendiente negativa $-\beta$ (Valdez–Cepeda *et al.* 2003ab).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Las tendencias

En los cuadros 3 y 4 se pueden observar las tendencias estimadas y sus niveles de significancia para las temperaturas máxima y mínima, respectivamente. De igual forma, el anexo 1 contiene todos los gráficos de regresión lineal simple.

La pendiente (positiva o negativa) encontrada se cuantificó por decenio, es decir $\hat{\beta}_1 * 365 * 10$; la razón es que se requiere un punto de referencia y comparación debido a que el período de las series de datos no tiene la misma longitud (n).

Para la temperatura máxima se tiene un promedio de incremento de -0.22°C por decenio, en tanto que para la temperatura mínima se estimó un promedio de -0.085°C por decenio. Con esta primera información se puede aseverar que la temperatura extrema del área de estudio, en general, tiende a disminuir, lo que se contrapone a lo encontrado por Houghton *et al.* (1996, 2001) con temperatura media, pues los incrementos globales han sido de $\sim 0.06^{\circ}\text{C}$ por decenio en el siglo XX y de $\sim 0.19^{\circ}\text{C}$ por decenio entre 1978 y 1998.

Un análisis más profundo indica que la temperatura máxima tiende a disminuir en 15 de 23 series, y que la temperatura mínima tiende a disminuir en 13 de 23 series.

Cuadro 3. Tendencias de temperatura máxima por estación (en negrita $p < 0.05$).

	Nombre de la Estación	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	p	Tendencia °C/decenio
1	5 de Mayo (Laguna)	28.64	-0.00013	0.0001	-0.492
2	Canatlán	28.31	-0.00038	0.0001	-1.397
3	Cañón de Fernández (Laguna)	29.79	4.0 E -05	0.0002	0.146
4	Ciénega de Escobar	23.33	-8.8 E -05	0.0001	-0.321
5	Ciudad Lerdo (Laguna)	28.85	-7.8 E -06	0.4382	-0.028
6	Cuencamé (Laguna)	29.15	8.4 E -05	0.0001	0.308
7	El Pueblito	25.41	-7.2 E -05	0.0001	-0.266
8	El Saúz	25.14	5.5 E -05	0.0001	0.202
9	El Tarahumar	19.85	-8.5 E -05	0.0001	-0.310
10	El Escalón	30.80	-0.00026	0.0001	-0.963
11	Guanaceví	22.91	3.1 E -05	0.0001	0.113
12	Juan Aldama	27.54	-0.00014	0.0001	-0.521
13	Narciso Mendoza	26.31	1.2 E -06	0.8811	0.004
14	Nazas (Laguna)	30.98	-0.00011	0.0001	-0.421
15	Palmito II	27.60	4.8 E -05	0.0001	0.175
16	Parras	27.65	-1.7 E -05	0.1007	-0.063
17	Peña del Águila	25.14	1.5 E -05	0.0629	0.058
18	Rodeo (Laguna)	31.46	-0.00012	0.0001	-0.469
19	San Pedro (Laguna)	30.46	-7.3 E -05	0.0001	-0.269
20	Santiago Papasquiaro	27.42	3.6 E -05	0.0001	0.132
21	Sardinas	26.50	-0.00011	0.0001	-0.406
22	Santa Clara	27.57	-2.6 E -05	0.0094	-0.096
23	Tlahualilo (Laguna)	30.93	-5.3 E -05	0.0001	-0.195

El promedio de incremento de todas las tendencias negativas, para la temperatura máxima, fue de -0.414°C ; en tanto que para la temperatura mínima fue de -0.358°C por decenio.

El promedio de incremento de todas las tendencias positivas fue de 0.142°C para temperatura máxima; en tanto que para la temperatura mínima fue de 0.268°C por decenio.

Cuadro 4. Tendencias de temperatura mínima por estación (en negrita $p < 0.05$).

	Nombre de la Estación	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	p	Tendencia °C/decenio
1	5 de Mayo (Laguna)	8.50	0.00011	0.0001	0.418
2	Canatlán	8.82	0.00010	0.0001	0.382
3	Cañón de Fernández (Laguna)	14.55	-6.6 E -06	0.5786	-0.024
4	Ciénega de Escobar	6.46	-3.2 E -05	0.0085	-0.117
5	Ciudad Lerdo (Laguna)	12.56	0.00013	0.0001	0.487
6	Cuencamé (Laguna)	12.25	7.3 E -05	0.0001	0.268
7	El Pueblito	12.39	-0.00039	0.0001	-1.441
8	El Saúz	7.14	-2.3 E -05	0.0001	-0.084
9	El Tarahumar	1.63	-7.6 E -05	0.0001	-0.277
10	El Escalón	11.36	-0.00014	0.0001	-0.518
11	Guanaceví	7.02	3.9 E -06	0.2793	0.014
12	Juan Aldama	10.70	-8.2 E -05	0.0001	-0.302
13	Narciso Mendoza	7.76	5.5 E -05	0.0001	0.202
14	Nazas (Laguna)	11.58	-6.8 E -05	0.0001	-0.248
15	Palmito II	10.96	6.1 E -05	0.0001	0.223
16	Parras	13.23	-5.4 E -05	0.0001	-0.200
17	Peña del Águila	8.95	-7.4 E -05	0.0001	-0.271
18	Rodeo (Laguna)	10.99	-6.0 E -05	0.0001	-0.221
19	San Pedro (Laguna)	11.32	0.00015	0.0001	0.547
20	Santiago Papasquiaro	8.04	1.02 E -05	0.0688	0.037
21	Sardinas	7.85	-0.00024	0.0001	-0.906
22	Santa Clara	8.12	3.04 E -05	0.0087	0.111
23	Tlahualilo (Laguna)	11.31	-1.2 E -05	0.3615	-0.047

Los valores mayores de tendencias positivas y negativas para la temperatura máxima fueron de 0.308°C (Cuencamé) y -1.397°C (Canatlán).

En cuanto a la temperatura mínima, los valores extremos fueron 0.547°C (San Pedro) y -1.441°C (El Pueblito).

Para realizar un análisis más adecuado se separaron las estaciones de acuerdo a su comportamiento respecto a ambas tendencias, es decir, se consideró tanto a la temperatura máxima y mínima en conjunto para formar nueve grupos en distintas situaciones (ver Figura 2).

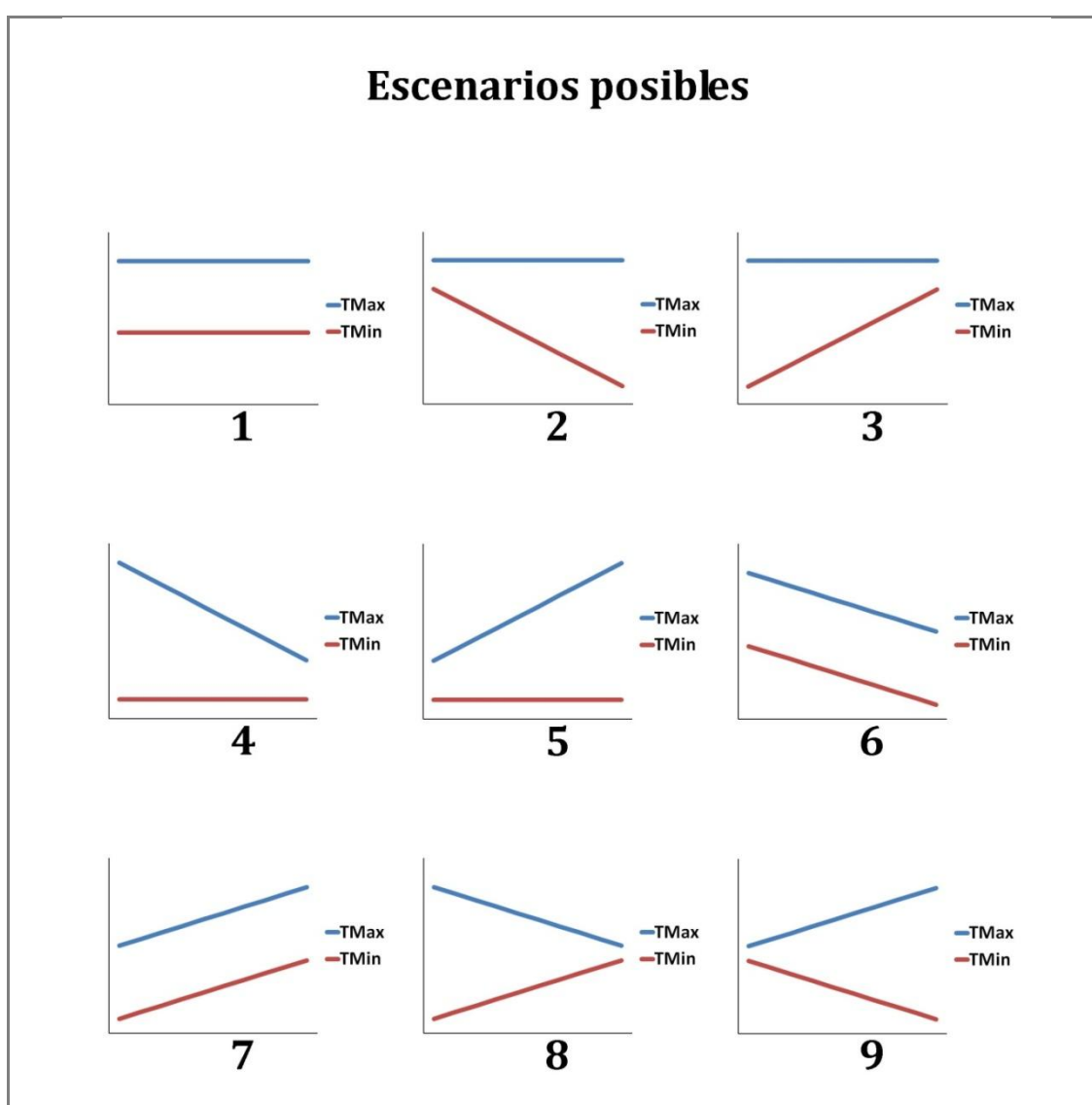


Figura 2. Posibles escenarios combinados de temperatura máxima (TMax) y mínima (TMin).

Con dicha clasificación, la mayor parte de las estaciones cayeron en el escenario seis donde ambas temperaturas presentan tendencias negativas (10 de 23 estaciones), en tanto que solo cinco de 23 presentan tendencias positivas en ambas temperaturas (escenario siete), y ninguna estación presentó tendencias nulas (Cuadro 5). Para estas estaciones, la oscilación se mantiene puesto que ambas temperaturas presentan tendencias similares.

En las demás estaciones existe un aumento o disminución en la oscilación de la temperatura, es decir, en ocho de 23 estaciones se presentaron escenarios donde el rango aumenta o disminuye.

En total hubo cinco estaciones donde la temperatura máxima tiende a disminuir y la temperatura mínima tiende a aumentar (escenario ocho), es decir, la oscilación se reduce.

Por otro lado, hubo solo tres estaciones donde la temperatura máxima tiende a incrementarse y la temperatura mínima a disminuir (escenario nueve), esto es, que la oscilación aumenta.

Cuadro 5. Listado de estaciones y su clasificación de acuerdo a su escenario de combinación de tendencias.

	Nombre de la Estación	Escenario								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5 de Mayo (Laguna)								X	
2	Canatlán								X	
3	Cañón de Fernández (Laguna)									X
4	Ciénega de Escobar						X			
5	Ciudad Lerdo (Laguna)								X	
6	Cuencamé (Laguna)							X		
7	El Pueblito						X			
8	El Saúz									X
9	El Tarahumar						X			
10	El Escalón						X			
11	Guanaceví							X		
12	Juan Aldama						X			
13	Narciso Mendoza							X		
14	Nazas (Laguna)						X			
15	Palmito II							X		
16	Parras						X			
17	Peña del Águila									X
18	Rodeo (Laguna)						X			
19	San Pedro (Laguna)								X	
20	Santiago Papasquiaro							X		
21	Sardinas						X			
22	Santa Clara								X	
23	Tlahualilo (Laguna)						X			

En cuanto a la significancia, 15 de las 23 estaciones presentan pendientes de la ecuación de regresión para los dos tipos de temperatura con altos niveles de significancia ($p \leq 0.05$), mientras que las ocho restantes tienen alto nivel de significancia para una u otra temperatura (ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Listado de estaciones con altos niveles de significancia ($p \leq 0.05$) para la pendiente en la ecuación de regresión.

Alta significancia para Temperatura Máxima	Alta significancia para Temperatura Mínima	Alta significancia para Temperatura Máxima y Temperatura Mínima
Cañón de Fernández (Laguna)	Ciudad Lerdo (Laguna)	5 de Mayo (Laguna)
Guanaceví	Narciso Mendoza	Canatlán
Palmito II	Parras	Ciénega de Escobar
Santiago Papasquiaro	Peña del Águila	Cuencamé (Laguna)
		El Pueblito
		El Saúz
		El Tarahumar
		El Escalón
		Juan Aldama
		Nazas (Laguna)
		Rodeo (Laguna)
		San Pedro (Laguna)
		Sardinas
		Santa Clara
		Tlahualilo (Laguna)

4.2 Las frecuencias

Obtener una estimación adecuada del espectro potencial de una función muestreada no es algo trivial. El periodograma es una estimación pobre del espectro potencial, debido a que la estimación de la potencia a cualquier frecuencia contiene mucho ruido, donde la amplitud del ruido es proporcional al espectro potencial, por ello es preferible usar la estrategia de promediar los periodogramas al obtener 150 intervalos logarítmicos regulares. Además, se usó la transformación de suma corrida para incrementar por un factor de +2 la pendiente, y consecuentemente el exponente de Hurst (H) y la dimensión fractal (D_s) debido a que la curva que ajusta los datos tiene una pendiente entre -1 y 1 en la gráfica $\log - \log$. Se

usó la serie de tiempo sin datos perdidos y con la tendencia removida para evitar la posibilidad de errores serios en el cálculo de los parámetros estadísticos de auto-afinidad.

La densidad del espectro potencial como una función de la frecuencia, para cada una de las series de temperatura máxima y mínima a nivel diario registradas en las 23 estaciones que comprende el estudio, se puede observar en el anexo 2. En cada gráfica, la línea recta fue ajustada por medio de la ecuación 3.16 y, además, los picos más importantes se marcaron y asociaron a las frecuencias correspondientes con el fin de dilucidar las posibles fuentes de fuerzas externas que afectan las temperaturas extremas.

En los cuadros 7 y 8 se presentan las frecuencias obtenidas para temperatura máxima y mínima, respectivamente, así como sus los estimadores beta ($-\beta$), densidad fractal (D_s) y coeficiente de Hurst (H) para cada estación.

Las series de datos para las 23 estaciones se ajustaron a líneas rectas en las gráficas $\log - \log$ con pendiente $-\beta$, variando de 1.613 a 2.507 (para la temperatura máxima) y de 1.695 a 2.532 (para la temperatura mínima) lo que sugiere que $P(f) \propto f^{-\beta}$. Por consiguiente, en todos los casos el espectro es singular y está representado por una curva en el plano complejo. Los valores de H variaron de 0.307 a 0.753 (para la temperatura máxima) y de 0.348 a 0.766 (para la temperatura mínima).

Para el caso de la temperatura máxima, las series presentaron valores de dimensión fractal (D_s) desde 1.247 (Palmito II) hasta 1.693 (Guanaceví) con un valor promedio de 1.4593 (± 0.08), indicando que, en general, predomina la variación de largo plazo, esto es, que las temperaturas a futuro se ven influenciadas por las del pasado (De la Fuente *et al.*, 1999). La excepciones son las series cuyo valor de D_s es mayor a 1.5.

En el caso de la temperatura mínima, las series presentaron valores de D_s desde 1.234 (El Escalón) hasta 1.652 (Guanaceví) con un valor promedio de 1.4686 (± 0.09), de manera que en general predomina también la variación de largo plazo.

Es notable que 19 de 23 estaciones para temperatura máxima presenten valores de D_s menores a 1.5, mientras que para la temperatura mínima en solo 12 de 23 se presentó tal situación. Se confirma, entonces, que predomina la variación de largo plazo en los casos de temperatura máxima, mientras que ambos tipos de variación (de largo y corto plazo) tienen igual importancia en lo concerniente a temperatura mínima.

El comportamiento de la dimensión fractal espectral (D_s) para la temperatura máxima parece estar influenciado por la altitud, dado que mostró una relación directamente proporcional con la altitud, mientras que la relación fue inversamente proporcional cuando se involucró al coeficiente de Hurst (H) o la pendiente ($-\beta$). Lo anterior indica, que la predictibilidad de la D_s podría ser factible con respecto a la altitud pero no se encontraron argumentos (coeficientes) estadísticos significativos para establecer una relación directa (Figura 3). Este mismo comportamiento se aprecia para la temperatura mínima (Figura 4).

Cuadro 7. Listado de estaciones, algunos atributos y parámetros de auto-afinidad para la temperatura máxima.

	Nombre de la Estación	n diario	Parámetros			Frecuencias más importantes									
			$-\beta$	D_s	H	8	6.7	5	3.7	3.3	3.1	2.3			
1	5 de Mayo (Laguna)	14610	2.072	1.464	0.536	8	6.7	5	3.7	3.3	3.1	2.3			
2	Canatlán	14610	2.003	1.498	0.502	10	5.7	4	2.4	0.5					
3	Cañón de Fernández (Laguna)	14610	2.028	1.485	0.514	10	8	6.7	5.7	5	3	2.5	1.7		
4	Ciénega de Escobar	13149	2.195	1.402	0.598	6	3.2	2.9	2.8	1.9	1.2	0.8	0.5		
5	Ciudad Lerdo (Laguna)	16071	2.095	1.453	0.547	6.3	3.7	3.1	1.8	1.2	0.5	0.2			
6	Cuencamé (Laguna)	18627	2.247	1.376	0.624	8.5	3.9	2	0.5						
7	El Pueblito	14610	1.912	1.544	0.456	8	6.6	3.4	2.7	1.9	0.5				
8	El Saúz	20454	2.140	1.430	0.570	14	4	3	2.8	1	0.5	0.2			
9	El Tarahumar	14244	2.026	1.487	0.513	5.6	4.3	2.8	1.4	0.5					
10	El Escalón	14975	2.244	1.378	0.622	10.3	5.1	2.7	0.5						
11	Guanaceví	29585	1.613	1.693	0.307	20.2	16.3	7.3	4	3	2.2	0.5			
12	Juan Aldama	14610	2.058	1.471	0.529	8	5.7	3.6	3	2.5	0.5				

Continuación Cuadro 7.

	Nombre de la Estación	n diario	Parámetros			Frecuencias más importantes						
			$-\beta$	D_s	H	8	5.7	2	0.5	0.2		
13	Narciso Mendoza	14610	2.198	1.401	0.599	8	5.7	2	0.5	0.2		
14	Nazas (Laguna)	13879	2.084	1.458	0.542	7.7	4.2	1.2	0.5			
15	Palmito II	24106	2.507	1.247	0.753	11.2	6.6	4.7	2.3	0.5		
16	Parras	16071	2.111	1.444	0.556	7.1	4.3	2.9	2.1	1.6	0.5	
17	Peña del Águila	14610	1.970	1.515	0.485	5.7	4	3.6	2.3	0.5		
18	Rodeo (Laguna)	21549	2.047	1.476	0.524	9.8	7.4	4.9	2.8	1.8	0.5	
19	San Pedro (Laguna)	14610	1.963	1.518	0.482	5.7	4	2.8	0.5			
20	Santiago Papasquiario	23741	2.042	1.479	0.521	11	8.2	3.8	2.2	0.5		
21	Sardinas	12053	2.029	1.485	0.515	5.5	4.1	3.7	3	1.7	0.5	
22	Santa Clara	14610	2.115	1.443	0.557	10	6.6	4.5	2.4	1.9	0.5	
23	Tlahualilo (Laguna)	14610	2.168	1.416	0.584	6.7	4.5	3.1	1.9	0.5		

Cuadro 8. Listado de estaciones, algunos atributos y parámetros de auto-afinidad para la temperatura mínima.

	Nombre de la Estación	n diario	Parámetros			Frecuencias más importantes									
			$-\beta$	D_s	H										
1	5 de Mayo (Laguna)	14610	1.931	1.535	0.465	10	6.6	4.4	2.9	2.6	2.3	1	0.5		
2	Canatlán	14610	2.015	1.492	0.508	8	6.6	5	3.6	2	0.5				
3	Cañón de Fernández (Laguna)	14610	2.371	1.314	0.684	10	8	6.7	5.7	4	3	2	0.5		
4	Ciénega de Escobar	13149	1.943	1.529	0.471	5.1	4.5	3.6	2.8	2.5	1.4	1	0.5		
5	Ciudad Lerdo (Laguna)	16071	2.042	1.479	0.521	4.9	3.6	2.9	1.6	0.5					
6	Cuencamé (Laguna)	18627	2.276	1.362	0.638	10.2	8.5	2.5	1.2	0.5					
7	El Pueblito	14610	2.080	1.460	0.540	10	8.1	3	0.5						
8	El Saúz	20454	2.392	1.304	0.696	9.4	6.2	3.5	1	0.5					
9	El Tarahumar	14244	1.989	1.506	0.494	7.8	4.9	3.5	2.6	1.7	0.5				
10	El Escalón	14975	2.532	1.234	0.766	8.3	5.1	3.7	1	0.5					
11	Guanaceví	29585	1.695	1.652	0.348	20.4	16.2	10	7.3	3.4	2	0.5			
12	Juan Aldama	14610	1.991	1.505	0.495	5	3.6	3.3	2.6	1.9	0.5				

Continuación Cuadro 8.

	Nombre de la Estación	n diario	Parámetros			Frecuencias más importantes									
			$-\beta$	D_s	H										
13	Narciso Mendoza	14610	2.151	1.425	0.575	10	4.5	4	2	1.7	0.7	0.5			
14	Nazas (Laguna)	13879	2.008	1.496	0.504	9.5	4.2	3.1	1.5	0.5					
15	Palmito II	24106	1.904	1.548	0.452	13.1	8.2	6	3.6	2.5	0.5				
16	Parras	16071	2.070	1.465	0.535	6.1	5.3	4.3	3.6	1.5	0.5				
17	Peña del Águila	14610	2.067	1.467	0.533	5	3.6	2.3	0.5						
18	Rodeo (Laguna)	21549	1.960	1.520	0.480	11.8	8.4	7.4	5.9	4	0.5				
19	San Pedro (Laguna)	14610	2.211	1.394	0.606	8	4.4	3.3	2	0.5					
20	Santiago Papasquiario	23741	1.916	1.542	0.458	10.9	6.5	4	2.2	0.5					
21	Sardinas	12053	1.948	1.526	0.474	5.5	3.7	2.7	1.7	0.5					
22	Santa Clara	14610	1.990	1.505	0.495	6.7	4	2.4	1.8	0.5					
23	Tlahualilo (Laguna)	14610	1.966	1.517	0.483	8	5	3.1	2	0.5					

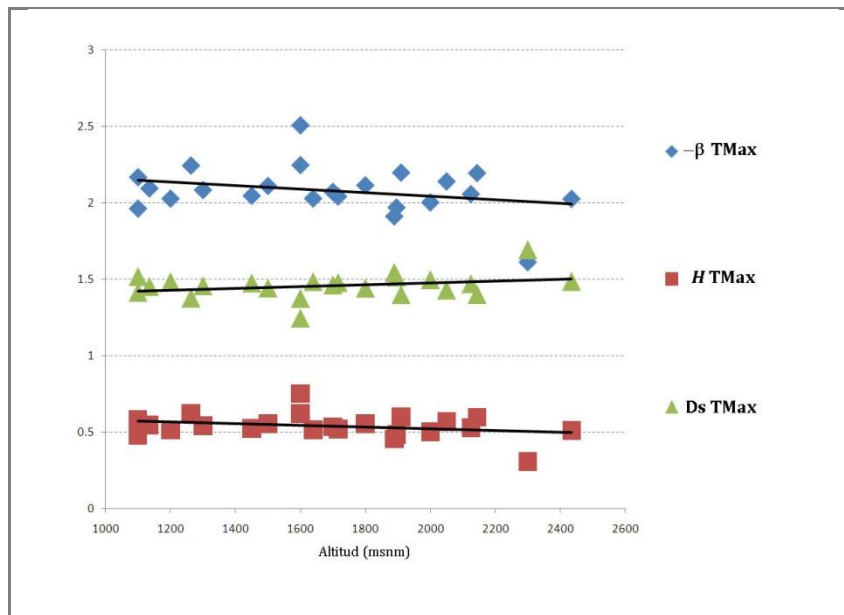


Figura 3. Relación entre la altitud de las estaciones y la densidad fractal, el coeficiente de Hurst y la pendiente de la temperatura máxima.

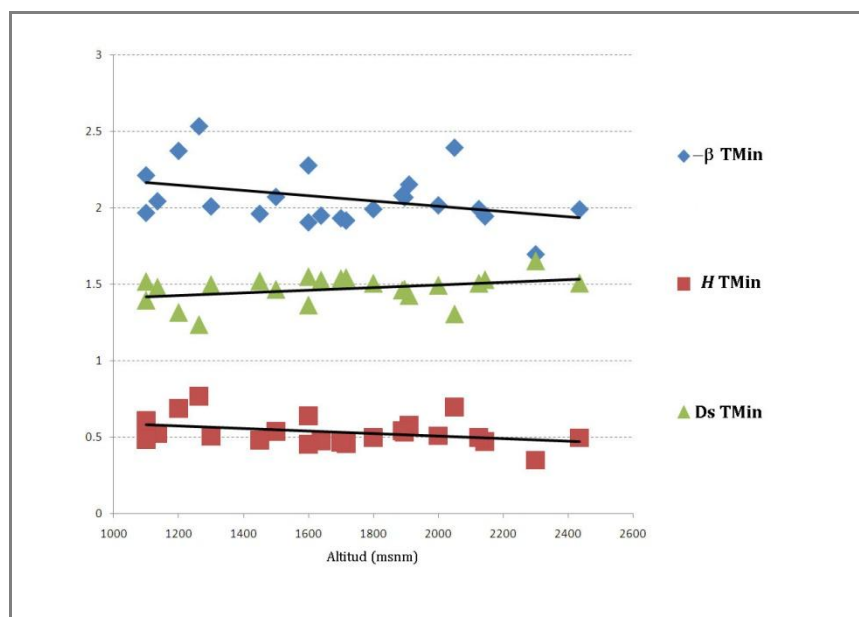


Figura 4. Relación entre la altitud de las estaciones y la densidad fractal, el coeficiente de Hurst y la pendiente de la temperatura mínima.

Las frecuencias importantes identificadas se encuentran en las figuras 5 y 6, para temperatura máxima y mínima, respectivamente. En casi todas las estaciones, para ambas temperaturas, se identificó una frecuencia asociada a la oscilación cuasi-anual (0.5 años) relacionada al movimiento de traslación de la Tierra, y que claramente influye en la variación de la temperatura.

Del mismo modo, está presente la oscilación cuasi-bianual, relacionada con la temperatura de la estratósfera del polo norte y la actividad solar (Labitzke y van Loon, 1989; Mendoza *et al.*, 2001).

Como puede observarse en los gráficos, muchas de las estaciones presentan frecuencias de entre tres y siete años, las cuales se pueden relacionar con la actividad de El Niño Oscilación del Sur y de La Niña que presentan periodicidades de 3 a 5 años (Weber y Talkner, 2001) o de 3 a 6 años (Monetti *et al.*, 2003).

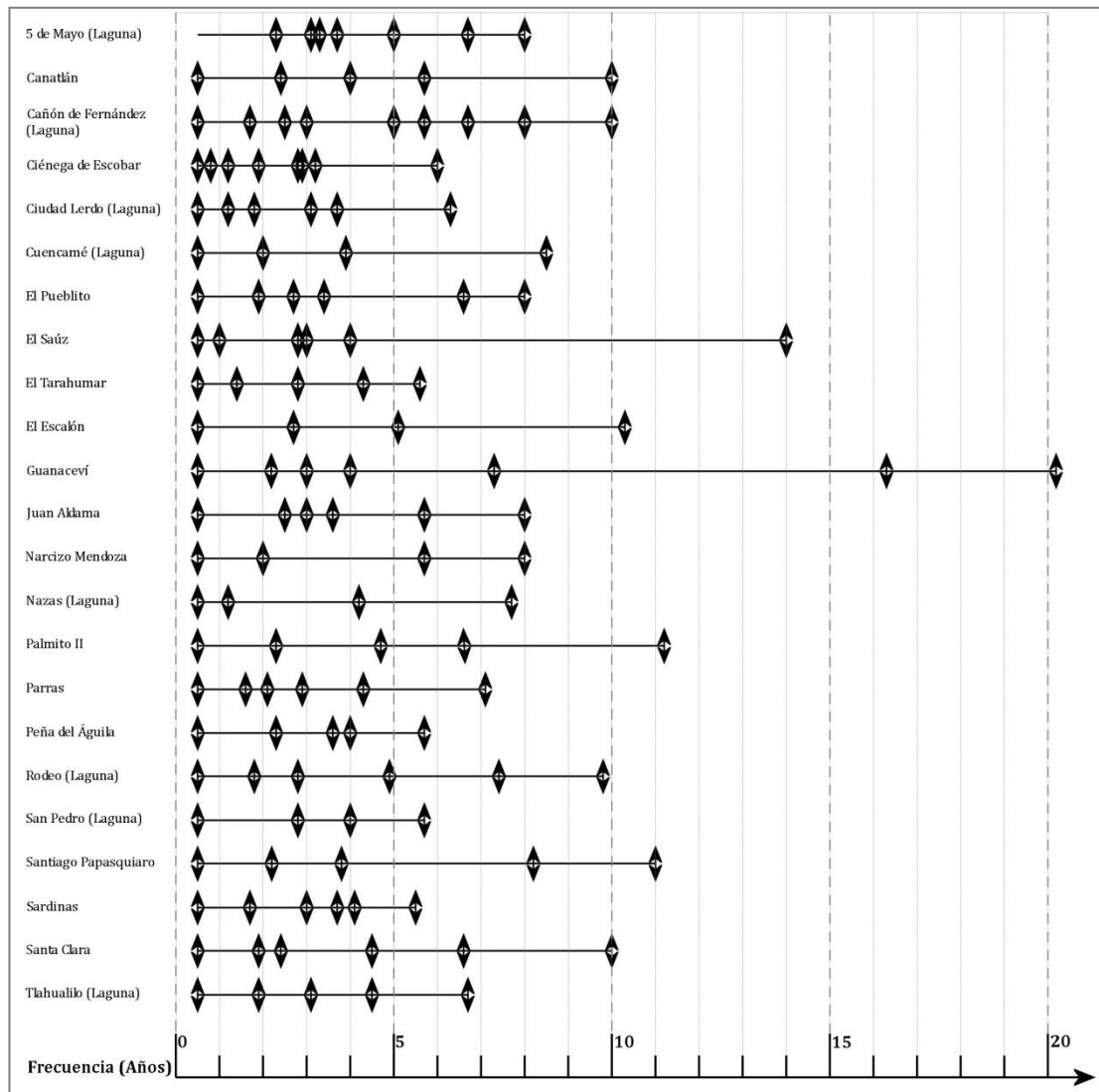


Figura 5. Resumen de frecuencias para temperatura máxima con escala de 0 a 20 años.

En las estaciones Cañón de Fernández, El Saúz, Guanaceví, Palmito II, Rodeo (Laguna) y Santiago Papasquiaro, se observaron frecuencias alrededor de los 10 años y cerca de los 20 (Guanaceví) para ambas temperaturas, lo que indica que están influenciadas por el ciclo magnético del Sol (Mendoza *et al.*, 2001).

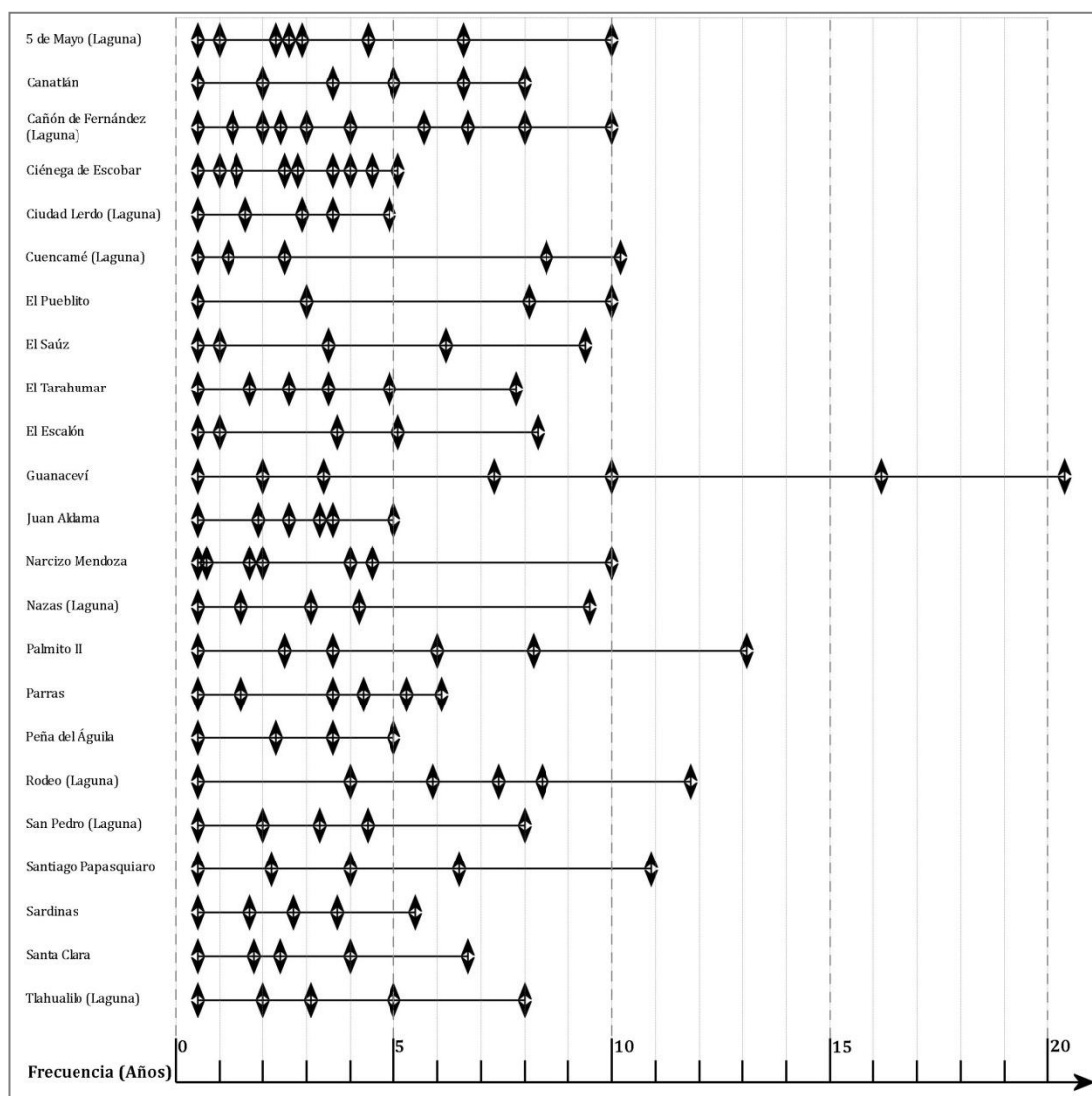


Figura 6. Resumen de frecuencias para temperatura mínima con escala de 0 a 20 años.

Las estaciones que solo para la temperatura máxima presentaron frecuencias cercanas a los 10 años son: Canatlán, El Escalón y Santa Clara, mientras que para la temperatura mínima se presentaron en las estaciones 5 de Mayo, Cuencamé, El Pueblito, Narciso Mendoza y Nazas.

V. CONCLUSIONES

- El estudio indica que la mayoría de las series analizadas presentan tendencia significativa a disminuir su temperatura máxima (15 de 23 estaciones) y su temperatura mínima (13 de 23 estaciones). Por lo tanto se confirma la primera hipótesis planteada.
- La temperatura máxima presentó un promedio de incremento de -0.22°C por decenio, en tanto que en la temperatura mínima se observó un promedio de -0.085°C por decenio. Sin embargo, cuando se consideraron solo los valores negativos de tendencia, los promedios casi se duplicaron llegando a -0.414°C y -0.358°C para temperatura máxima y mínima, respectivamente.
- Los valores extremos de tendencias fueron: 0.308°C (Cuencamé) y de -1.397°C (Canatlán) para la temperatura máxima, en tanto que para la temperatura mínima fueron 0.547°C (San Pedro) y -1.441°C (El Pueblito).
- De nueve escenarios posibles de combinación de tendencias para ambas temperaturas 10 de 23 estaciones presentaron el escenario en el que ambas temperaturas tienden a disminuir.

- Los valores de dimensión fractal espectral presentaron promedios de 1.4593 (± 0.08) y 1.4686 (± 0.09) para temperatura máxima y mínima, respectivamente, lo que indica que predomina la variación de largo plazo y que ambas temperaturas son predecibles.
- Se identificó una relación directamente proporcional entre la altitud de las estaciones y la dimensión fractal espectral para ambas temperaturas, en tanto que para el coeficiente de Hurst y la pendiente se mantuvo una relación inversamente proporcional con la altitud. Sin embargo, los estimadores intercepto y pendiente fueron no significativos a $p=0.05$.
- Se evidenciaron frecuencias importantes en la mayoría de las estaciones, tanto la cuasi-anual como la cuasi-bianual, mientras que solo para las series de las estaciones Cañón de Fernández, El Saúz, Guanaceví, Palmito II, Rodeo y Santiago Papasquiaro, se observaron frecuencias de 10 y 20 años (Guanaceví) para ambas temperaturas. Los resultados, en general, confirman la segunda hipótesis formulada.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis espacial de la zona de estudio mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica para agrupar estaciones con condiciones ambientales similares. Una primera opción de aglomeración sería: zona alta, zona de transición y zona baja.
- Además de revisar el comportamiento de las temperaturas, se propone analizar mediante mapas temáticos la dimensión fractal espectral de las estaciones para observar la predictibilidad de los datos.
- Ampliar la zona de análisis temporal de tendencias y frecuencias al desierto chihuahuense.

VII. LITERATURA CITADA

1. Balling, R.C. Jr., Vose, R.S. and Weber, G.-R., Analysis of long-term European temperature records: 1751–1995, *Clim. Res.* 10 (1998), pp. 193–200.
2. Cusbasch, U., von Storch, H., Waszkewitz, J. and Zorita, E., Estimation of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output, *Clim. Res.* 7 (1996), pp. 129–149.
3. De la Fuente, I.M., Martínez, L., Aguirregabiria, J.M., Veguillas J. and Iriarte, M., Long-range correlations in the phase-shifts of numerical simulations of biochemical oscillations and in experimental cardiac rhythms, *J. Biol. Systems* 7 (1999), pp. 113–130.
4. Dequé, M., Marque, P. and Jones, R.G., Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model, *Clim. Dyn.* 14 (1998), pp. 173–189.
5. Duchon, C.E. 1986. Temperature Trends at San Juan, Puerto Rico. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 67: 1370–1377.
6. EEI (Edison Electric Institute), Canadian Environmental Agency. 1997. Environmental Issues. <http://www.eei.org/>
7. Eichner, J.F., Koscielny-Bunde, E., Bunde, A., Havlin, S. and Schellnhuber, H.-J, Power-law persistence and trends in the atmosphere: A detailed study of long temperature records, *Phys. Rev. E.* 68 (2003), pp. 046133–046137.
8. Evertsz, C.J.G. and Berkner, K., Large deviation and self-similarity analysis of curves: DAX stock prices, *Chaos, Solitons & Fractals* 6 (1995), pp. 121–130.
9. Folland CK, Karl TR, Christy JR, Clarke RA, Gruza GV, Jouzel J, Mann ME, Oerlemans J, Salinger MJ, Wang S-W. 2001. Observed climate variability and changes. pp. 99–181. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van den Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK.
10. Hair, JF Jr., Anderson, Rolph E, Tatham, Ronald L, Black WC. 1999. *Análisis Multivariante*. Quinta Edición. Prentice Hall. pp. 79–81.
11. Hansen, JE, R Ruedy, Mki. Sato, M. Imhoff, W. Lawrence, D. Easterling, T. Peterson, and T. Karl 2001. A closer look at United States and global surface temperature change. *J. Geophys. Res.* 106: 23947–23963.

12. Houghton, J.T., Callander, BA, and Varney, SK. 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 365 p.
13. Houghton, JT, Callander, BA, and Varney, SK. 1992. Climate Change 1992: The Supplemental Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 200 p.
14. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K. (Eds.), Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
15. Houghton, J.T. Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
16. Hughes, W.S. and R.C. Balling, Jr. 1994. Urban influences on south African temperature trend. USA.
17. IDEAM. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. Primera Comunicación Nacional Ante el Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Bogotá Colombia. <http://www.ideam.gov.co/publica/index4.htm>
18. IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007, Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0. Software. http://www.csva.gob.mx/sih/info/pag_ficha_datos.php?xficha=905#mas_info
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climatic Change 2001: synthesis report, Contribution of Working Group I and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climatic Change 2007: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2007
21. Jánosi, I.M and Vattay, G., Soft turbulent state of the atmospheric boundary layer, Phys. Rev A **46** (1992), pp. 6386–6389.
22. Jáuregui, E. 2004. Impact of land use changes on the climate of the Mexico City Region. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 55: 46–60.

23. Jones, R.G., Murphy, J.M., Noguer, M., and Keen, A.B., Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide, *Q.J.R. Meteorol. Soc.* **123** (1997), pp. 265–292.
24. Karl, TR, RW Knight, DR Easterling, RG Quayle. 1996. Indices of climate change for the United States. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 77 (2): 279–292.
25. Karl, TR. 1998. Annexe A Regional Trends and Variations of Temperature and Precipitation. In: RT Watson, MC Zinyowera, and RH Moss (Eds.). *The Regional Impacts of Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
26. Keim, B.D., A.M. Wilson, C.P. Wake, and T.G. Huntington. 2003. Are there spurious temperature trends in the United States Climate Division database? *Geophys. Res. Lett.* 30(7): 1404, doi:10.1029/2002GL016295.
27. Király, A. and Jánosi, M., Stochastic modeling of daily temperature fluctuations, *Phys. Rev. E.* **65** (2002), 051102, 6 p.
28. Király, A. and Jánosi, I.M., Detrended fluctuation analysis of daily temperature records: Geographic dependence over Australia, *Meteorol. Atmos. Phys.* **88** (2005), pp. 119–128.
29. Koscielny-Bunde, E., Kantelhardt, J.W., Braun, P., Bunde, A. and Havlin, S., Long-term persistence and multifractality of river runoff records: Detrended fluctuation studies, *J. Hydrol.* In press, Available online 22 April, 2005.
30. Labitzke, K. and van Loon, H., Associations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere. Part I: the troposphere and stratosphere in the Northern Hemisphere in winter, *J. Atmosph. & Solar-Terr. Phys.* 50 (1989), pp. 197
31. Landscheidt, T., Solar wind near Earth: Indicator of variations in global temperature, *Proceedings of the 1st Solar and Space Weather Euroconference on the Solar Cycle and Terrestrial Climate*, Santa Cruz de Tenerife, España, September 25–30 (2000), pp. 497–500.
32. Lenters, J.D., T.K. Kratz, and C.J. Bowser. 2005. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA). *J. Hydrol.* 308 (1–4): 168–195.

33. Lugina, K.M., P. Ya. Groisman, K. Ya. Vinnikov, V.V. Koknaeva, and N.A. Speranskaya, 2004. Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881–2004. In: Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
34. Magallanes–Quintanar, R. 1992. Simulación del acuífero de Calera, Zacatecas. Tesis de Maestría en Ciencias. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
35. Magaña R., Víctor O., El cambio climático global: comprender el problema, In: Cambio climático: una visión desde México, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, ISBN 968–817–704–0, México 2004, 525 p.
36. Mandelbrot, B.B., The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman, New York, 1982.
37. Massen, F. 2003. Mean and extreme daily air temperature trends (Diekirch, Luxemburg): 1998 to 2003.
38. Mendoza, B., Lara, A., Maravilla, D. and Jáuregui, E., Temperature variability in central Mexico and its possible association to solar activity, J. Atmosph. and Solar-Terr. Phys. 63 (2001), pp. 1891–1900
39. Microsoft, Corporation (2008). Microsoft Office Excel 2007 [Computer program]. Parte de Microsoft Office Enterprise. One Microsoft Way, Redmond, WA 98052–6399, <http://office.microsoft.com/en-us/excel/default.aspx>
40. Monetti, R.A., Havlin, S. and Bunde, A., Long-term persistence in sea-surface temperature fluctuations. Physica A. **320** (2003), pp. 581–589.
41. Montgomery Douglas C., Peck Elizabeth A., Vining G. Geoffrey, Introducción al análisis de regresión lineal, 3ra Edición, 4ta Reimpresión, Grupo Editorial Patria, México 2007, 588 p.
42. Moreira, J.G., Kamphorst Leal da Silva, J. and Oliffson Kamphorst, S., On the fractal dimension of self-affine profiles, J. Phys. A: Math. Gen. **27** (1994), pp. 8079–8089.
43. Pattaantyús-Abraham, M. Király, A. and Jánosi, I.M., Nonuniversal atmospheric persistence: different scaling of daily minimum and maximum temperatures, Phys. Rev. E **69** (2004), 021110, 7p.
44. Reid, P.A., and P.D. Jones. 2001. A Databank of Antarctic Surface Temperature and Pressure Data. ORNL/CDIAC-27, NDP-032.

45. Rigor, I.G., RL Colony, S. Martin. 2000. Variations in surface air temperature in the Arctic from 1979–1997. *J. Climate* 13(5): 896–914.
46. Sargent, N.E. 1988. Redistribution of the Canadian boreal forest under a warmed climate. *Climatological Bulletin* 22(3): 23–34.
47. Scafetta, N. and West, B.J., Solar flare intermittency and the Earth's temperature anomalies, *Phys. Rev. Letters* 90 (2003), 248701, 4 p.
48. Snedecor W. George, Cochran William G., *Métodos Estadísticos*, CECSA, Décima Impresión, México 1984. 703 p.
49. Soon, W., Baliunas, S., Posmentier, E.S. and Okeke, P., Variations of solar coronal whole area and terrestrial tropospheric air temperature from 1979- to mid-1998: astronomical forcings of change in earth's climate? *New Astron.* **4** (2000a), pp. 563–579.
50. Soon, W., Soon, W., and Baliunas, S., Climate hypersensitivity to solar forcing? *Ann. Geophysic.-Atm. Hydr.* **18** (2000b), pp. 583–588.
51. StatSoft, Inc. (2000). *STATISTICA for Windows* [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749–1119, fax: (918) 749–2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>
52. Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3rd Edition. McGraw-Hill. USA. 972 p.
53. TruSoft, International Inc (1999). Benoit - your door into the world of Fractal Analysis, Version 1.31. 204 37th Ave. N #133 St. Petersburg, FL 33704 Tel: (727) 894–7426, Fax: (727) 822–3040, sales@trusoft-international.com, Web Site www.trusoft-international.com
54. Turcotte, D.L., *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1992).
55. Türkes M, Sümer UM, Kilic G. 1995. Variations and trends in annual mean air temperatures in Turkey with respect to climatic variability. *Int. J. Climatology* 15: 557–569.
56. Türkes M, Sümer UM, Demir I. 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum Temperatures of Turkey for the period 1929–1999. *Int. J. Climatology* 22: 947–977.
57. Valdez–Cepeda, R.D., Hernández–Ramírez, D., Mendoza, B., Valdés–García, J., and Maravilla, D. 2003a. Fractality of monthly extreme minimum temperature. *Fractals* 11: 137–144.

58. Valdez–Cepeda, R.D., Mendoza, B., Díaz–Sandoval, R., Valdés–Galicia, J., López–Martínez, J.D., and Martínez–Rubín de Celis, E. 2003b. Power–spectrum behaviour of yearly mean grain yields. *Fractals* 11(3): 295–301.
59. Weber, R.O. and Talkner, P., Spectra and correlations of climate data from days to decades. *J. Geophys. Res. D* **106** (2001), pp. 20131–20144.
60. Yano. J.-I., Blender R., Zhang, C. and Fraedrich, K., 1/f noise and pulse-like events in the tropical atmospheric surface variabilities, *Q.J.R. Meteorol. Soc.* **130** (2004), pp. 1697–1721.
61. Yañez, C. 2004. La radical transformación climática que se avecina en Chile El mundo está cambiando...Noticias de Ecología en “La Nación”. 29 de marzo de 2004. http://www.turistel.cl/noticia_ecologia/pag/pag_clima.htm

VIII. ANEXOS

Anexo 1

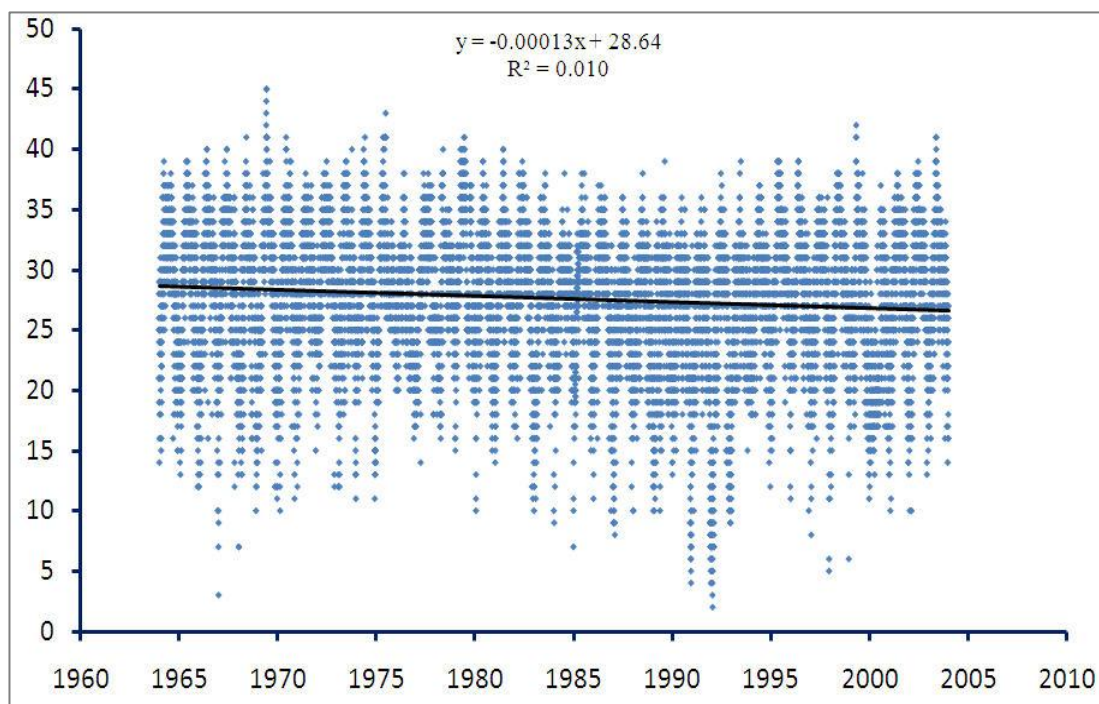


Figura 7. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.

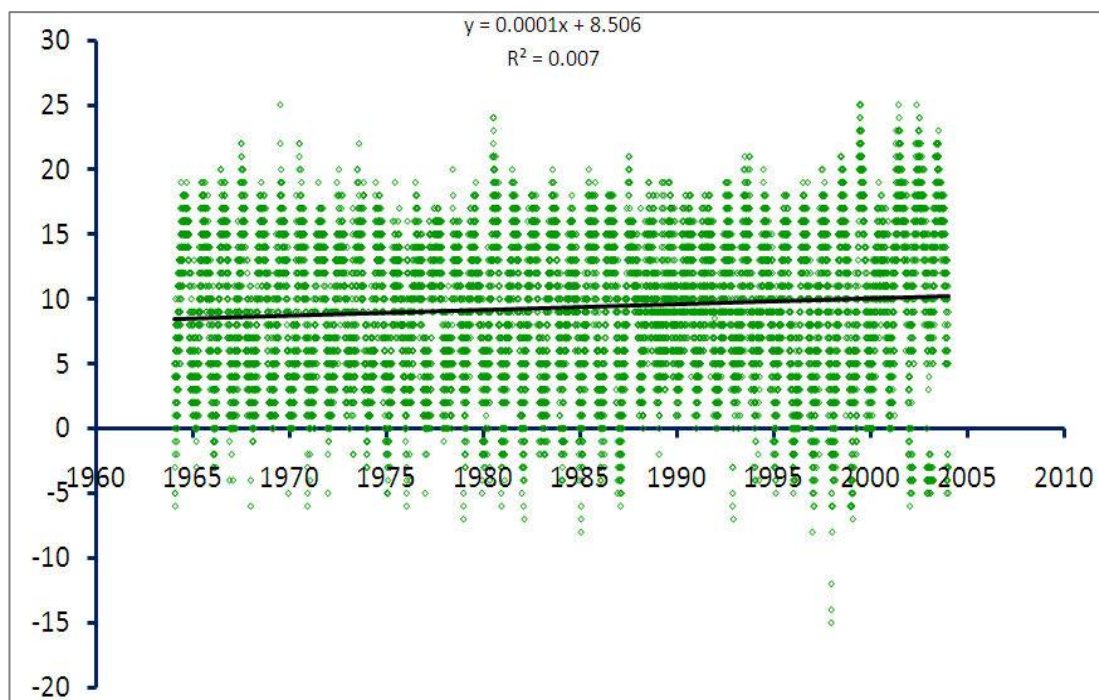


Figura 8. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.

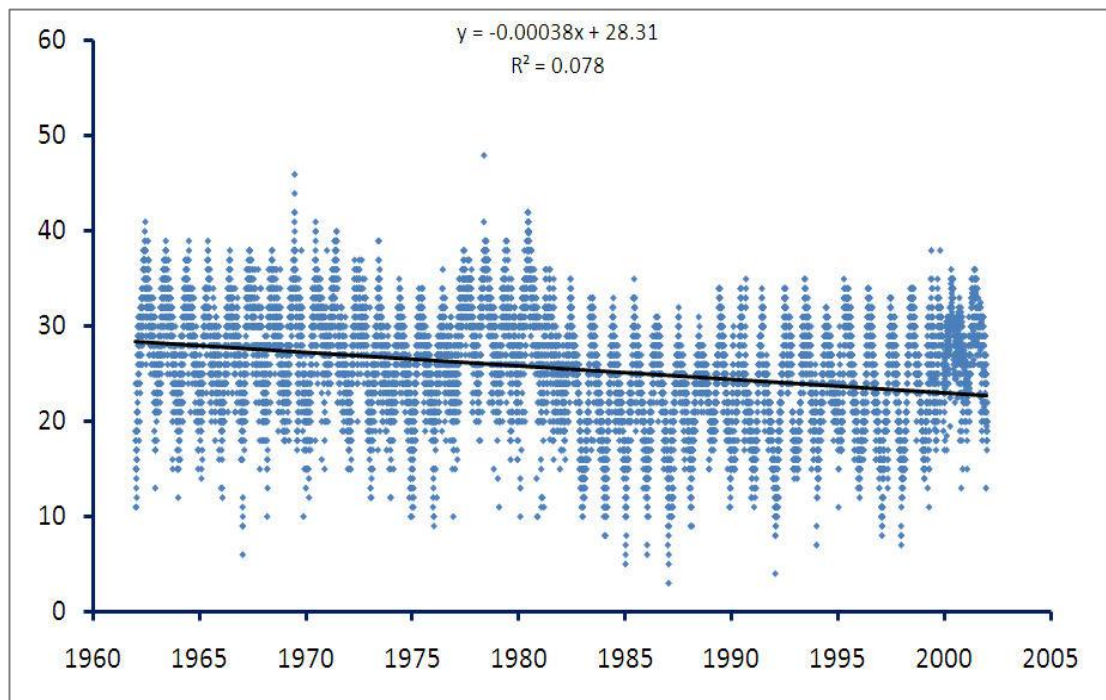


Figura 9. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.

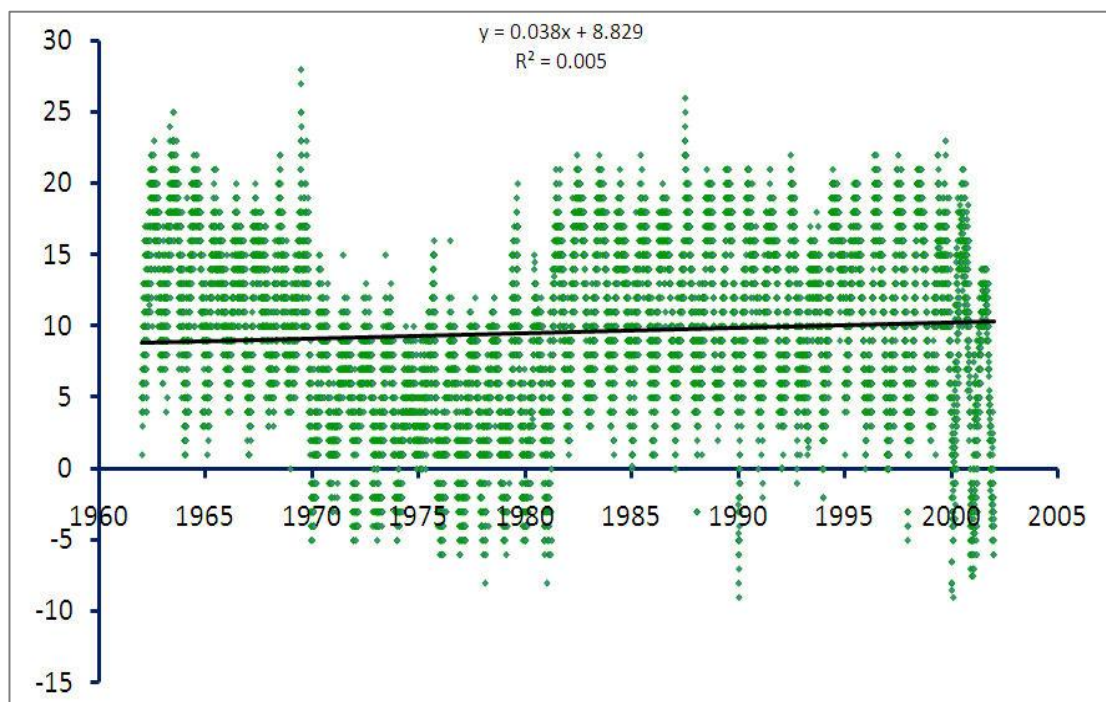


Figura 10. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.

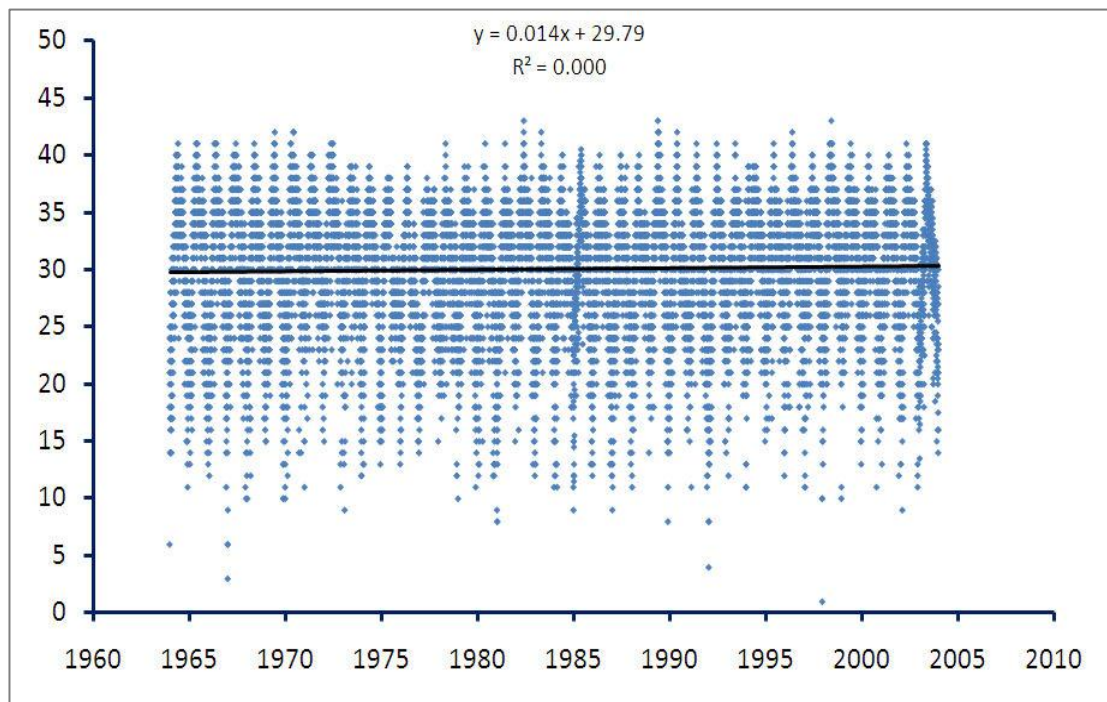


Figura 11. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.

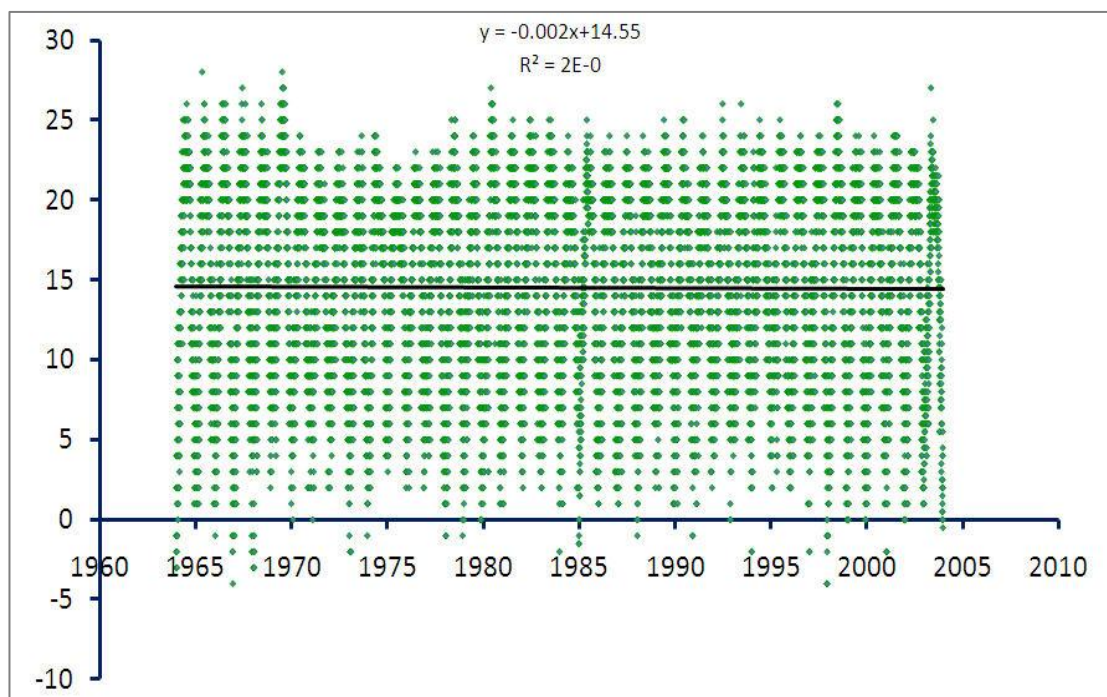


Figura 12. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.

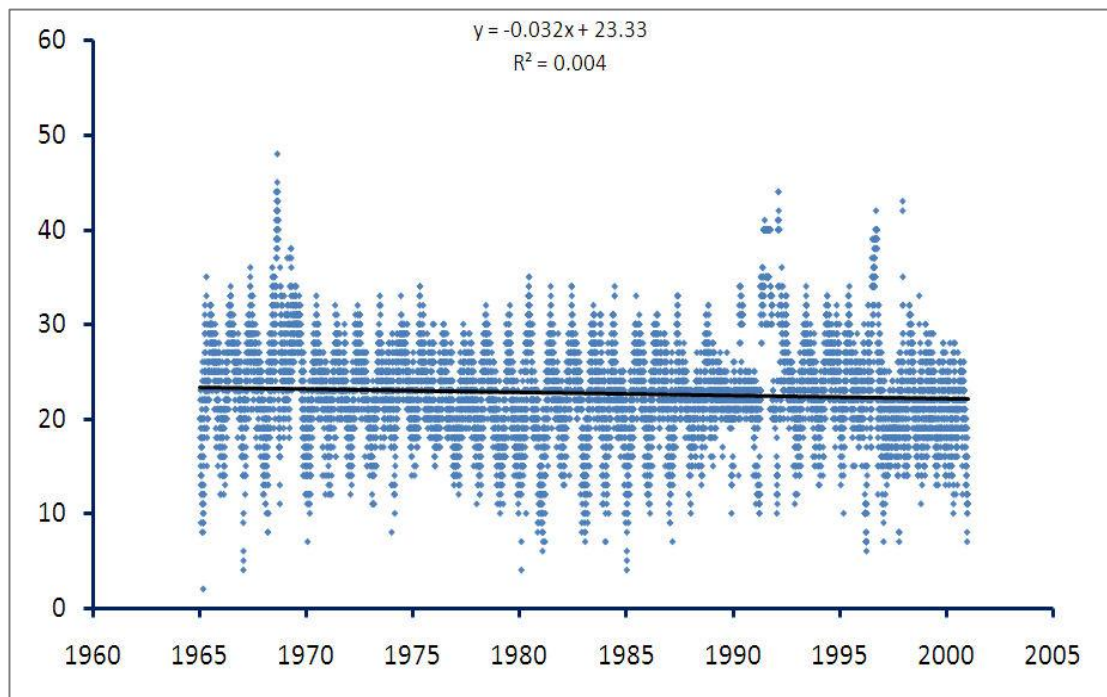


Figura 13. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.

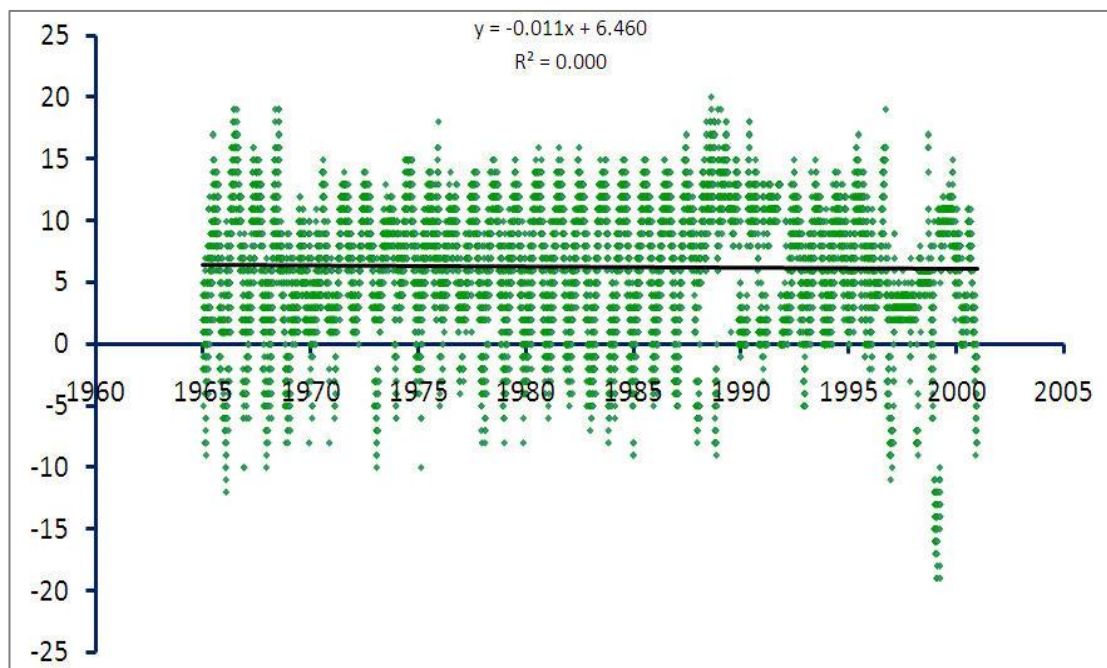


Figura 14. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.

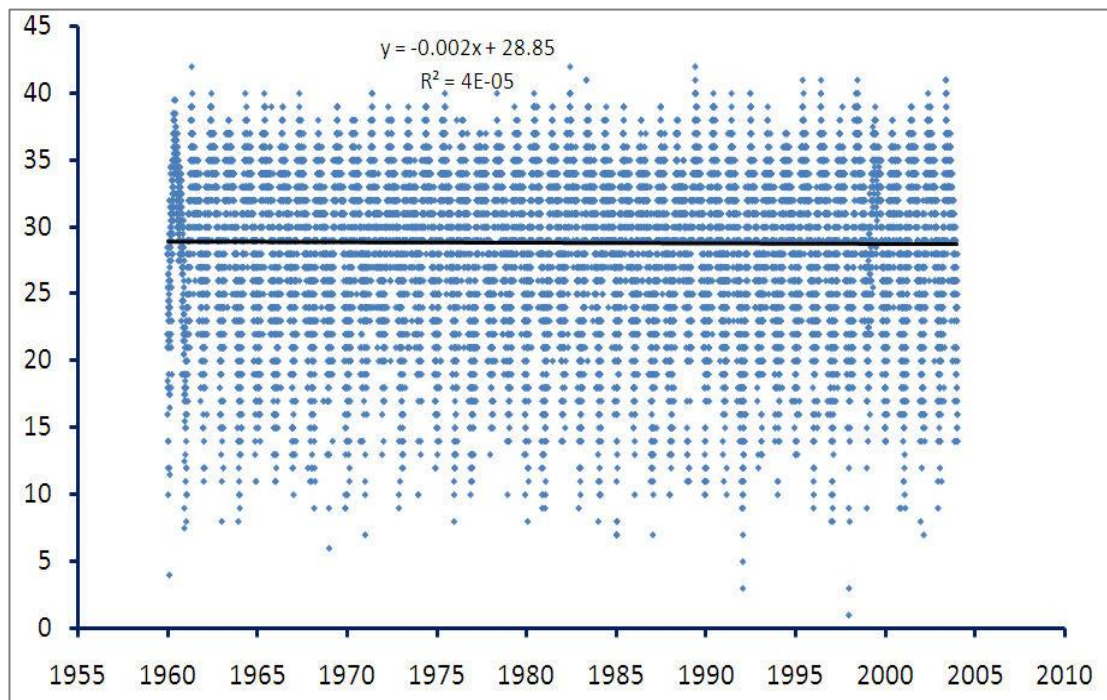


Figura 15. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.

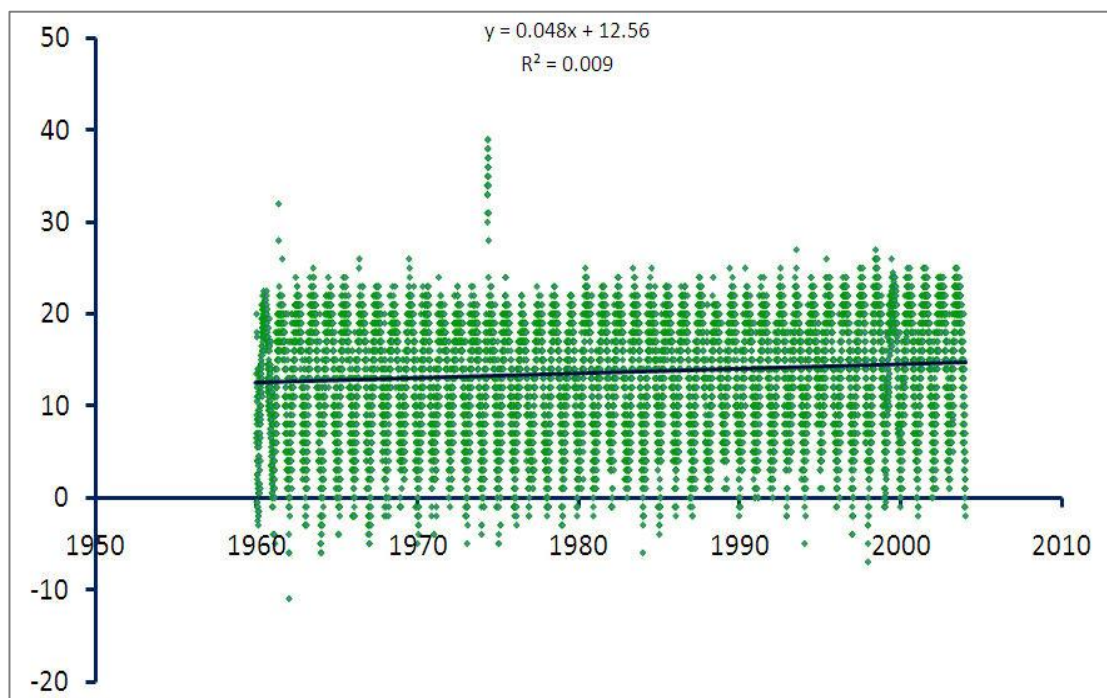


Figura 16. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.

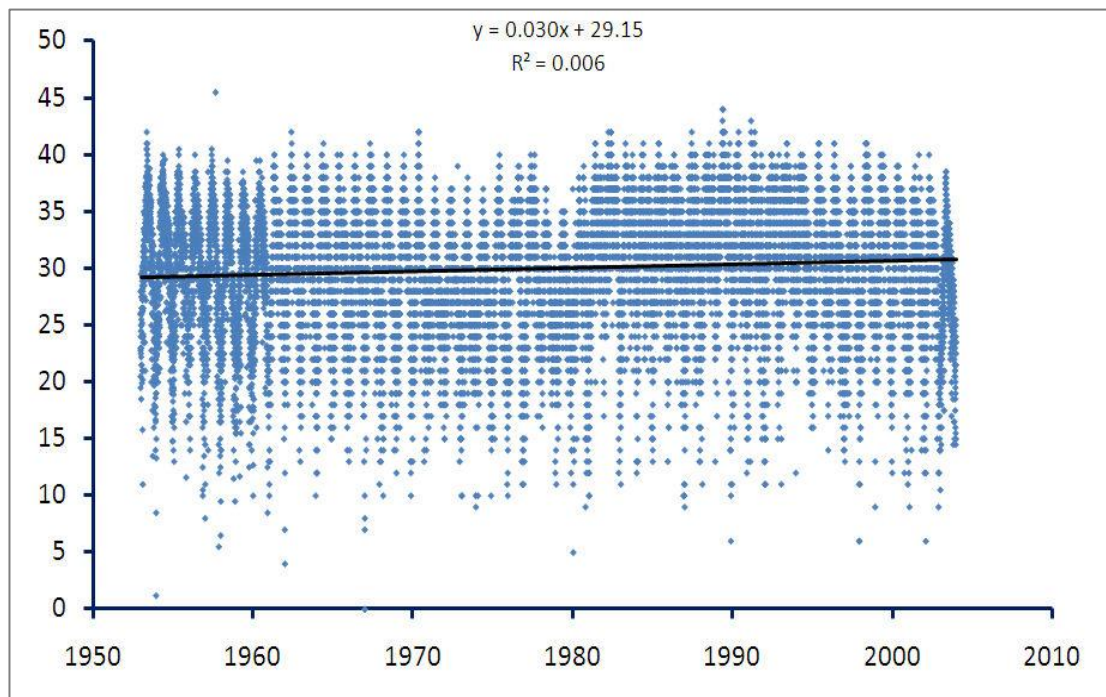


Figura 17. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.

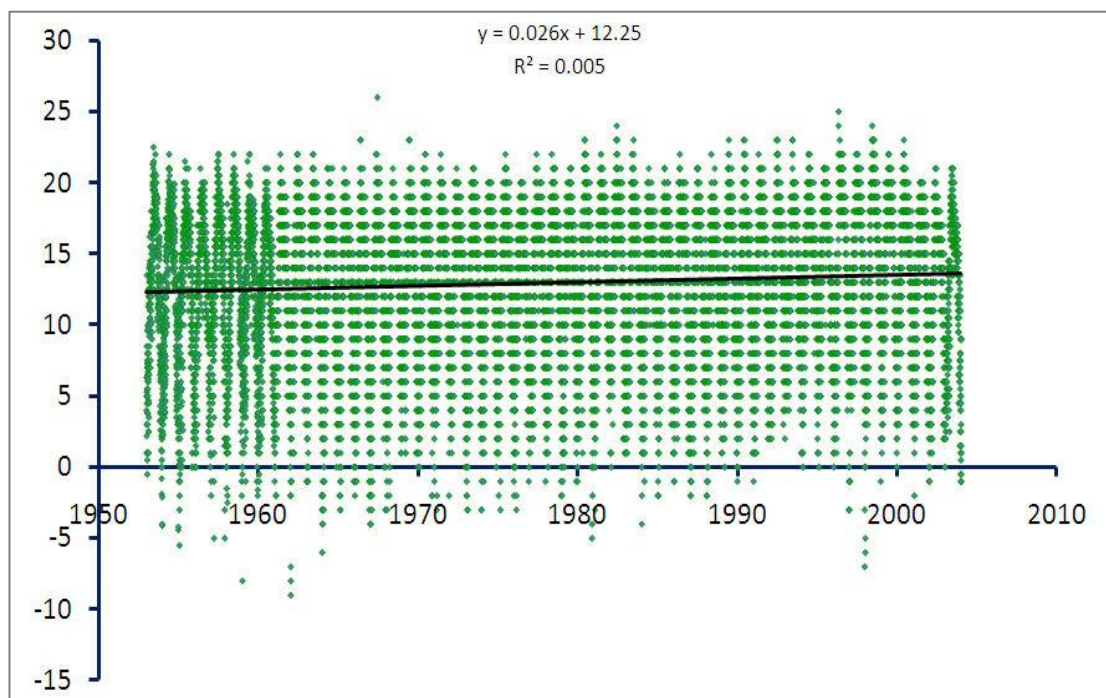


Figura 18. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.

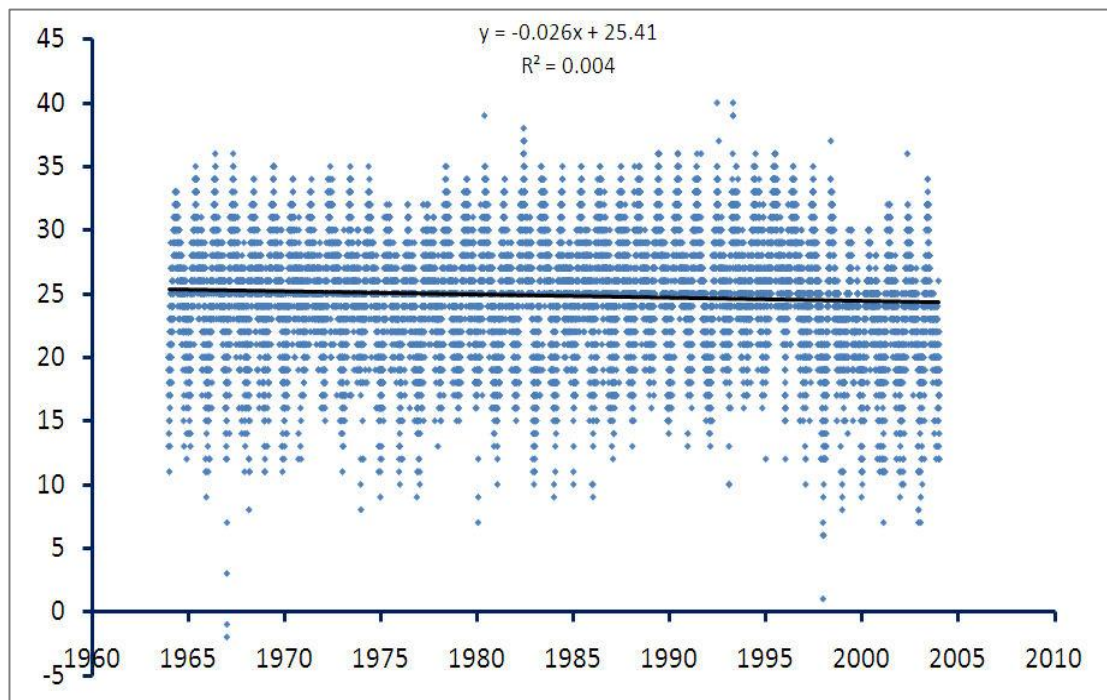


Figura 19. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.

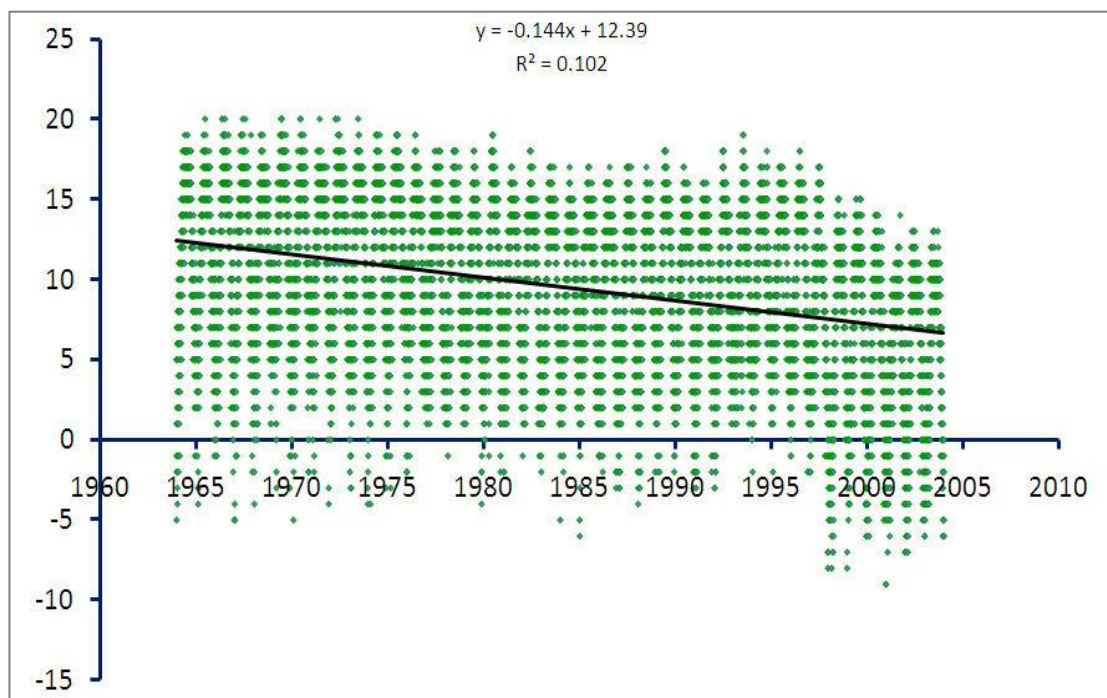


Figura 20. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.

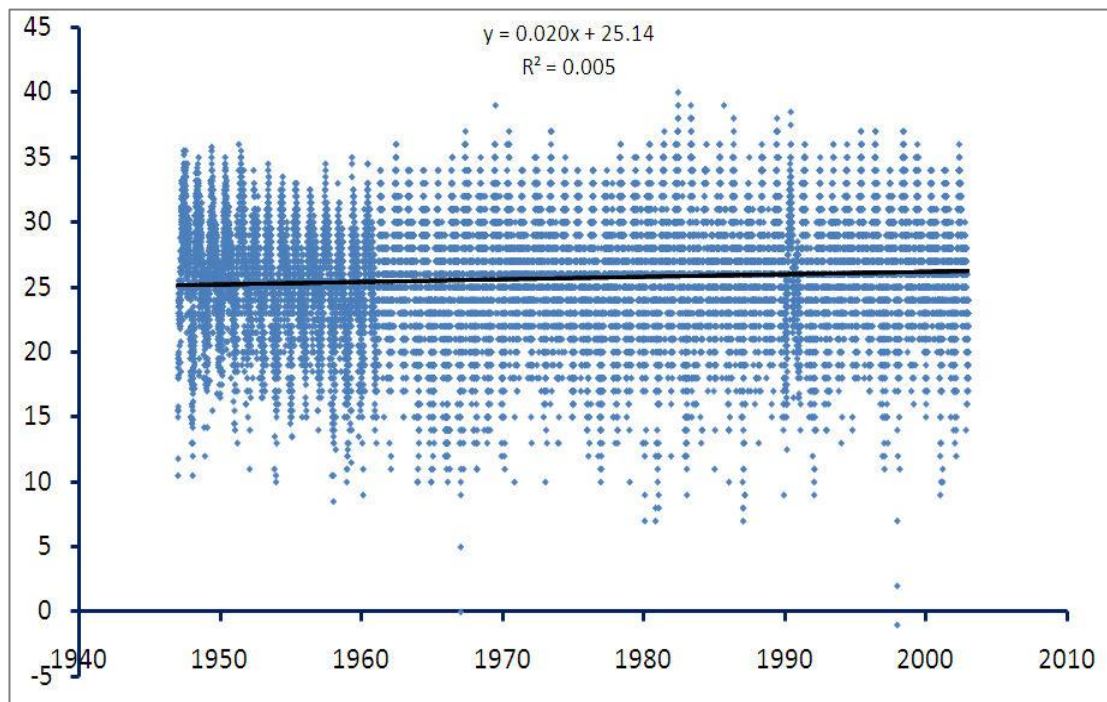


Figura 21. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.

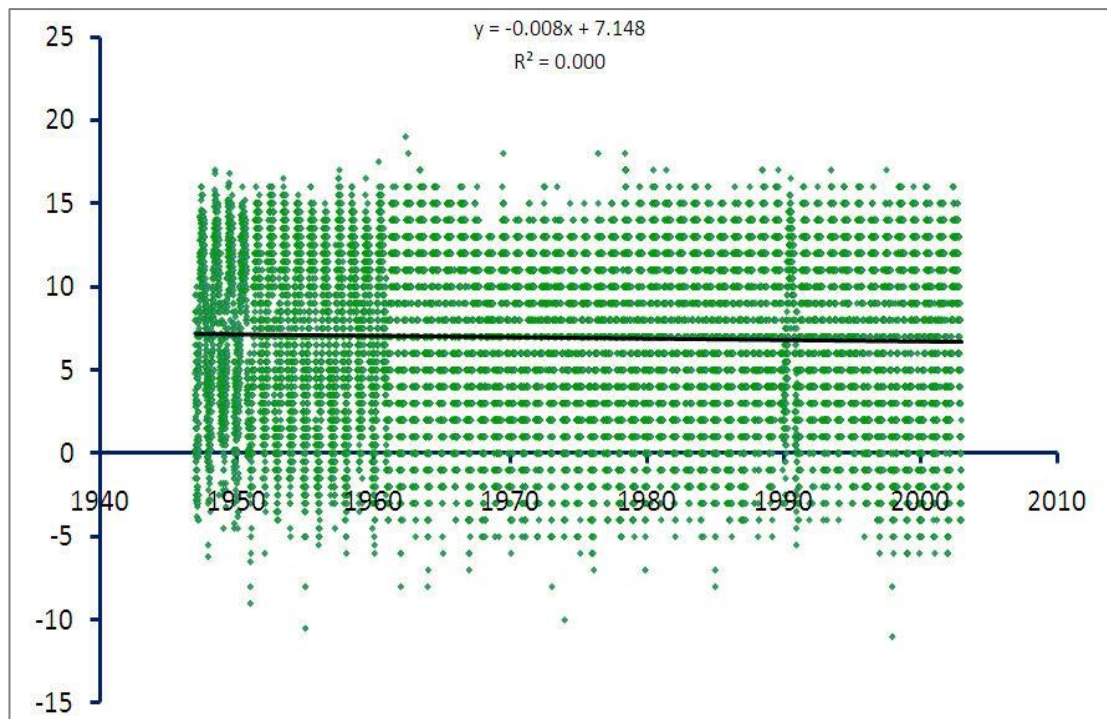


Figura 22. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.

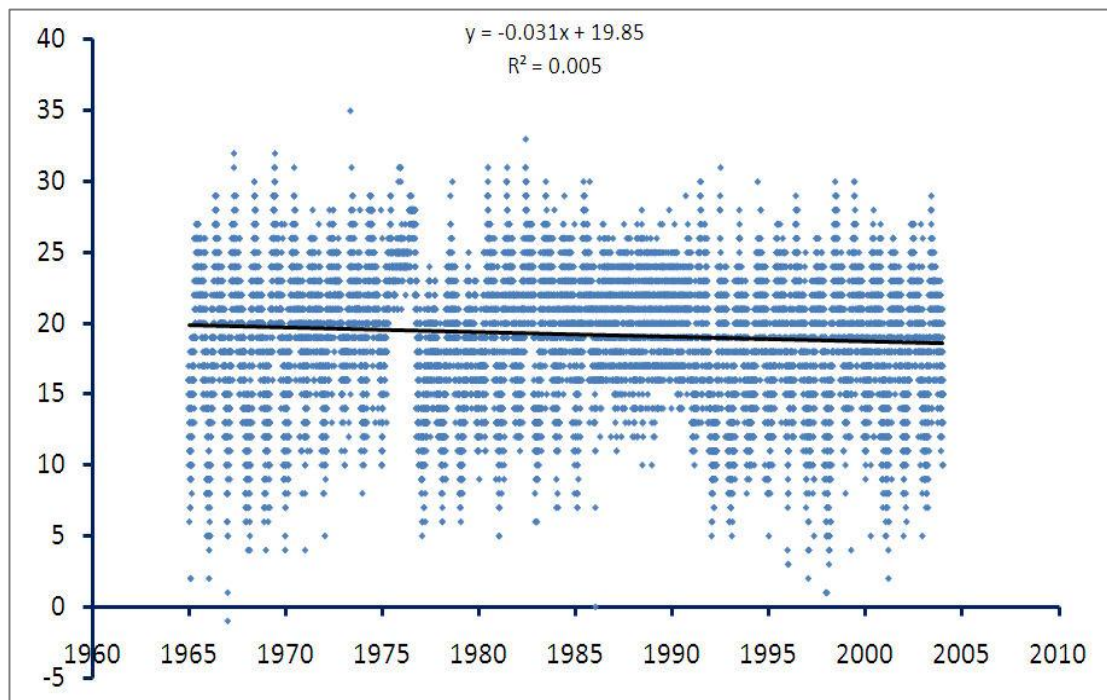


Figura 23. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.

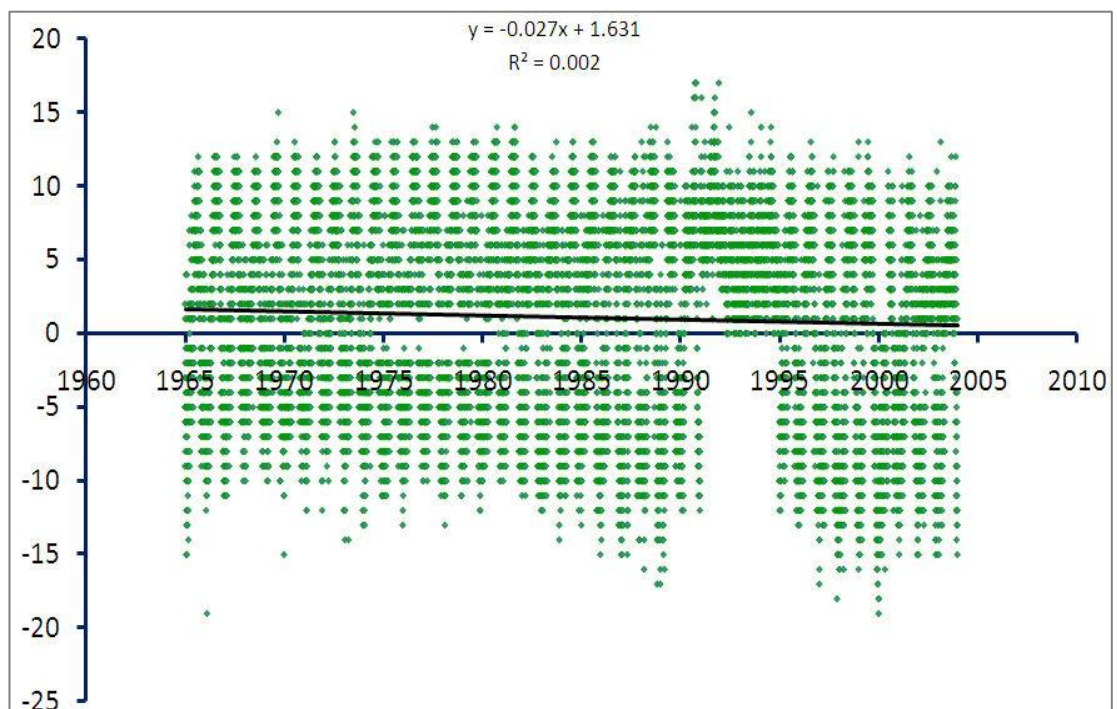


Figura 24. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.

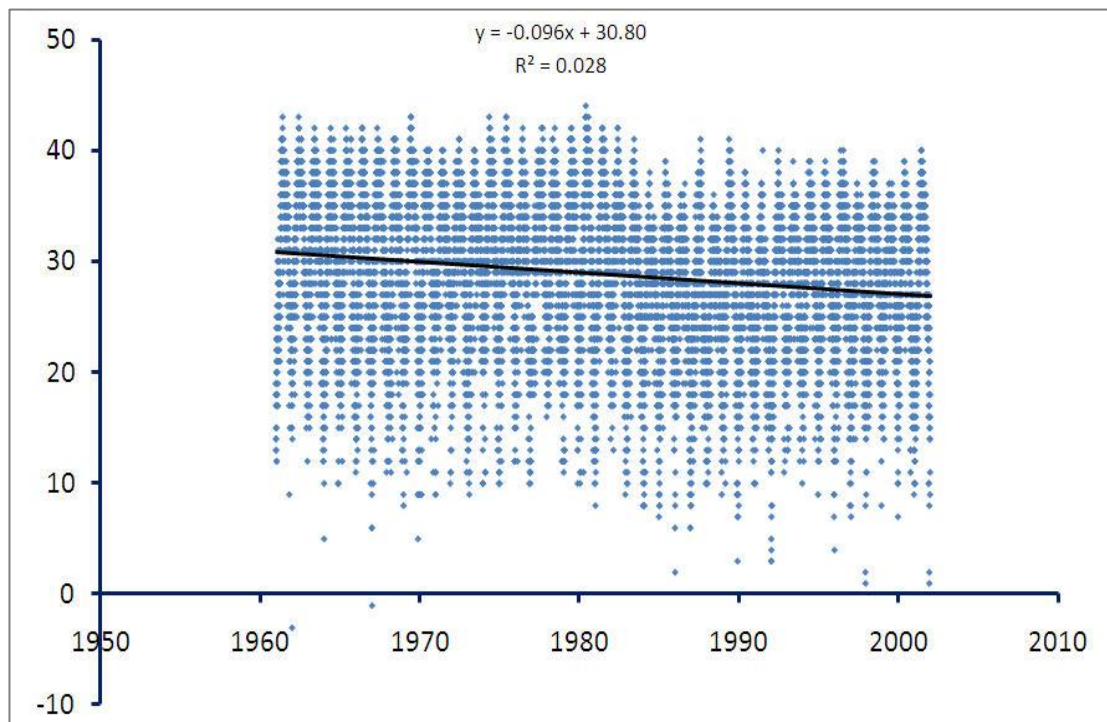


Figura 25. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación El Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.

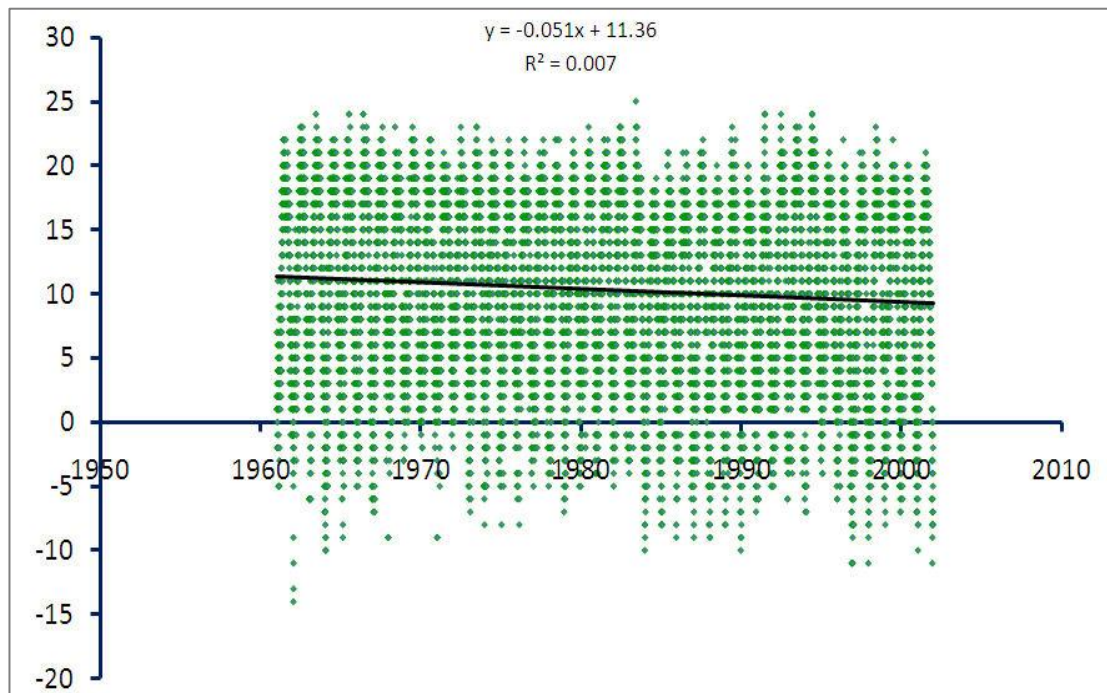


Figura 26. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación El Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.

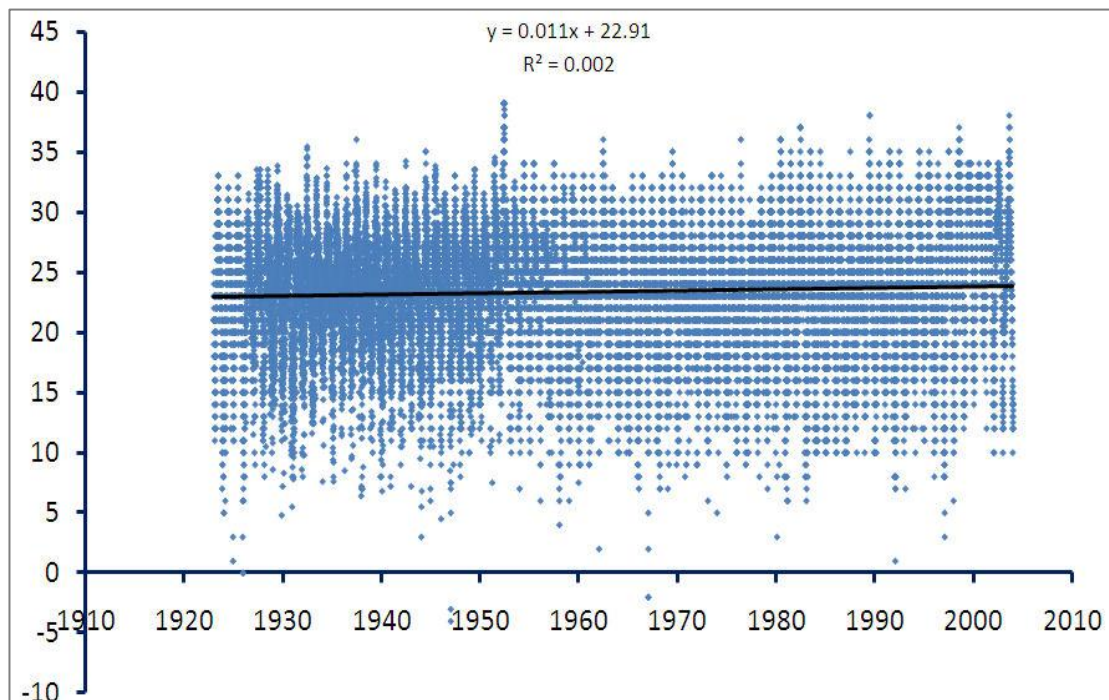


Figura 27. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.

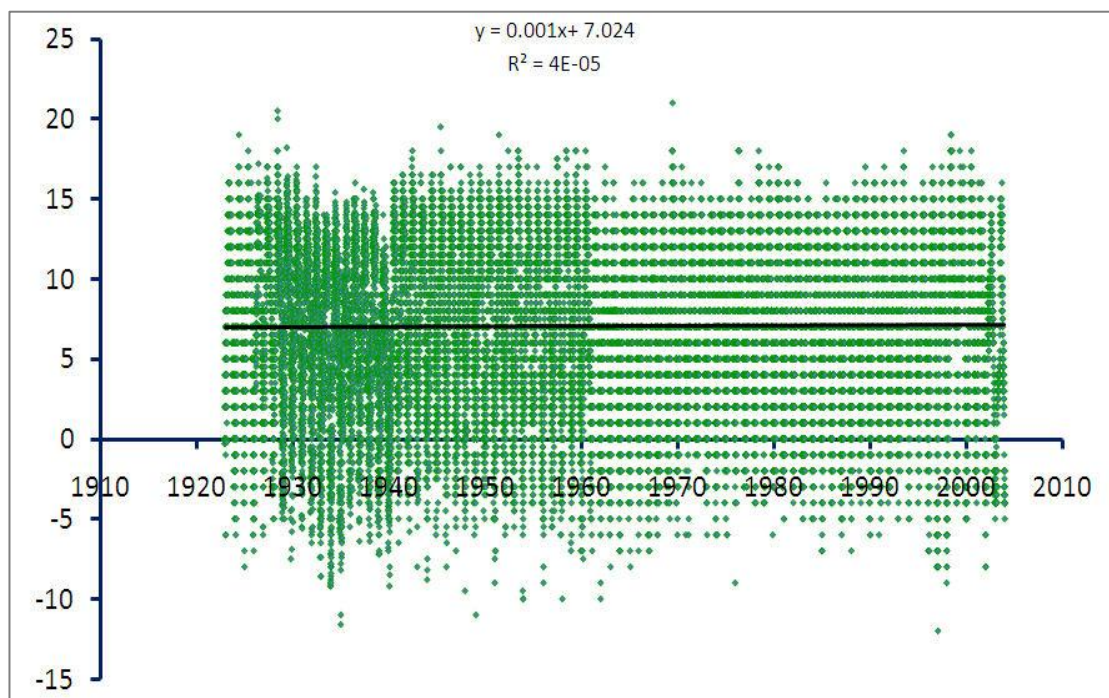


Figura 28. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.

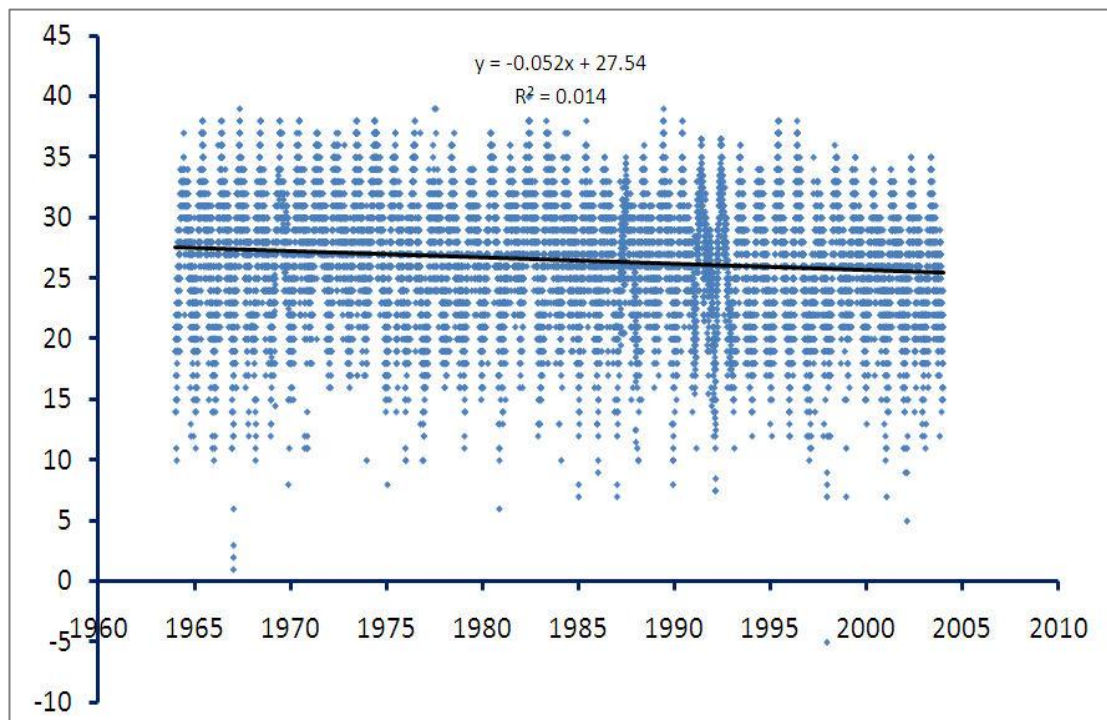


Figura 29. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.

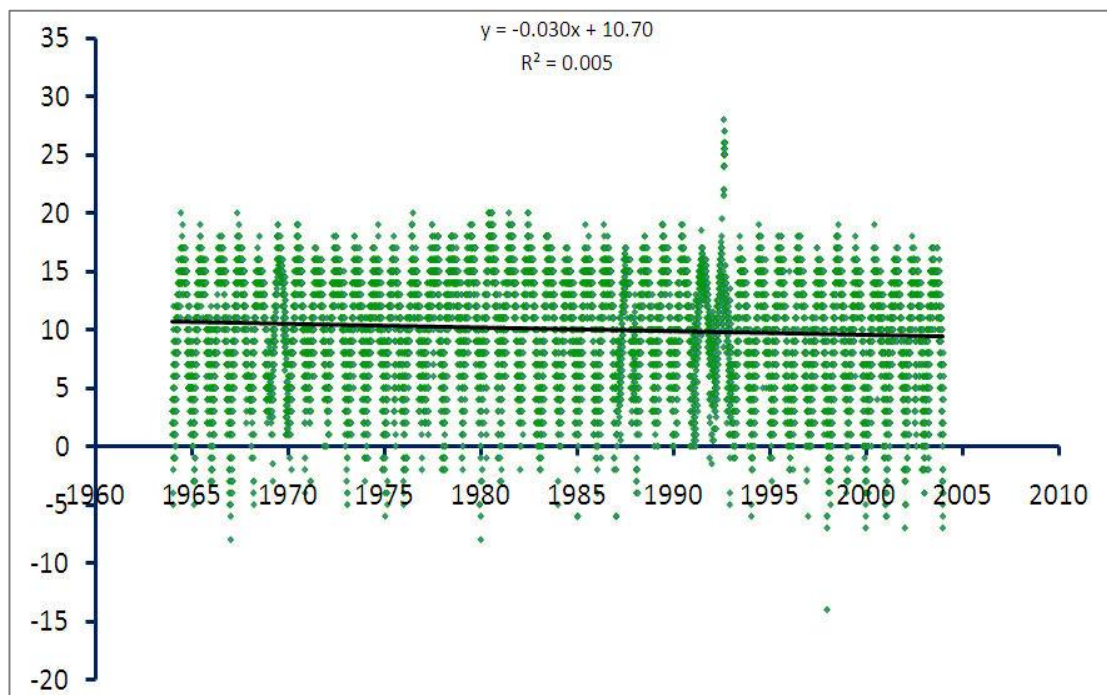


Figura 30. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.

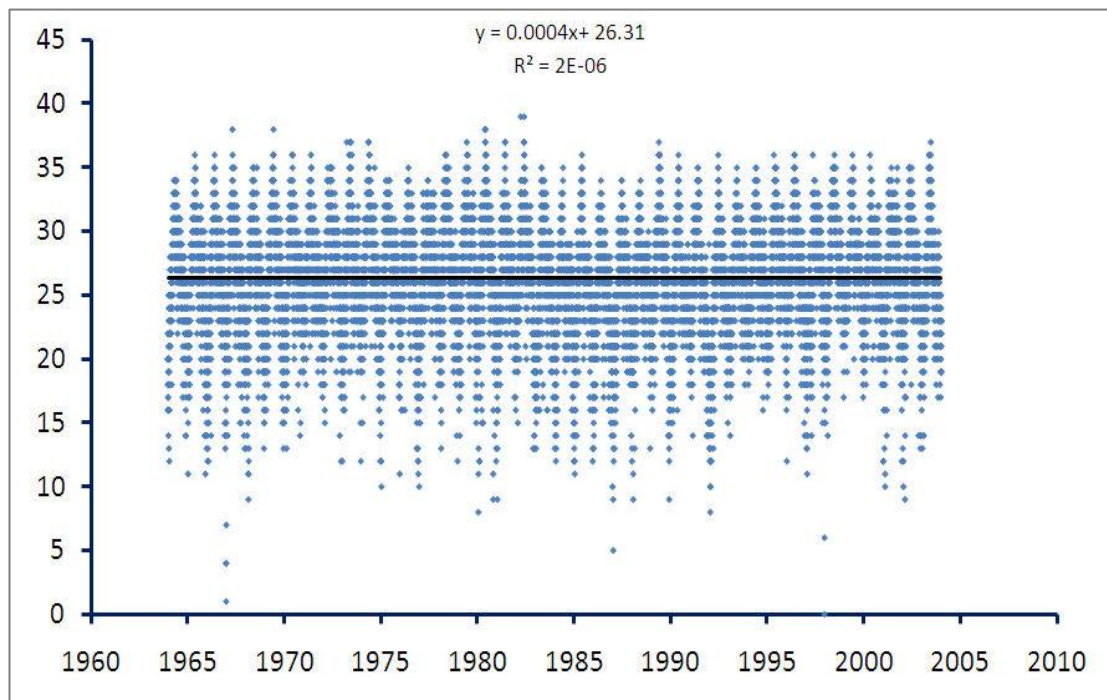


Figura 31. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.

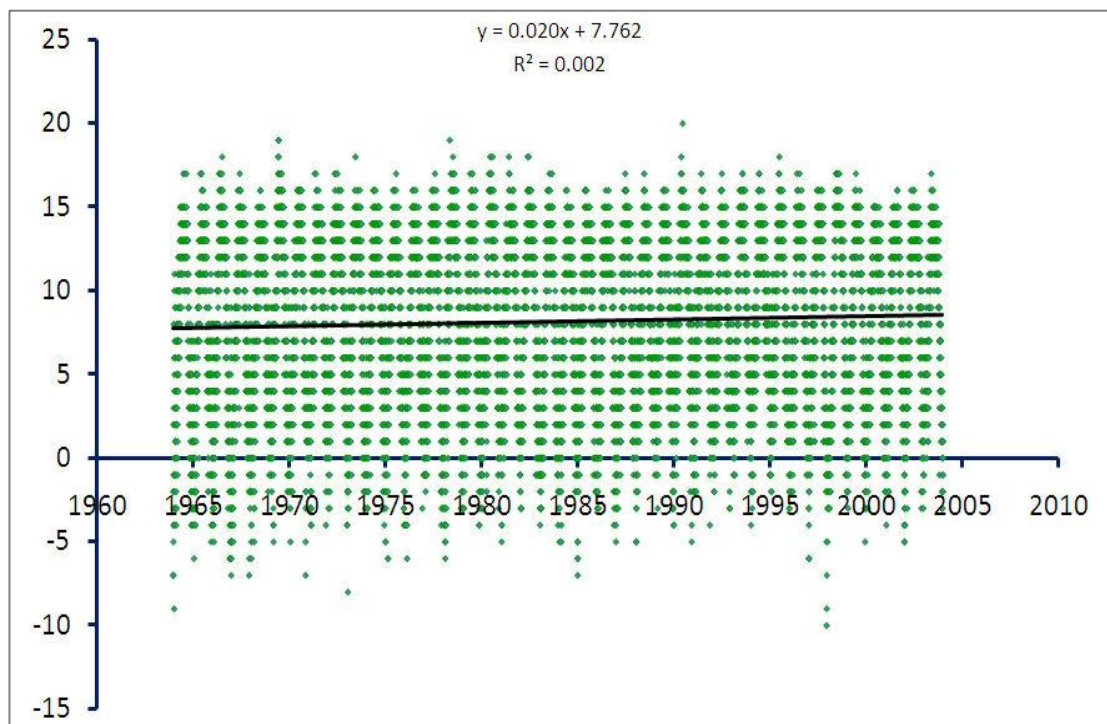


Figura 32. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.

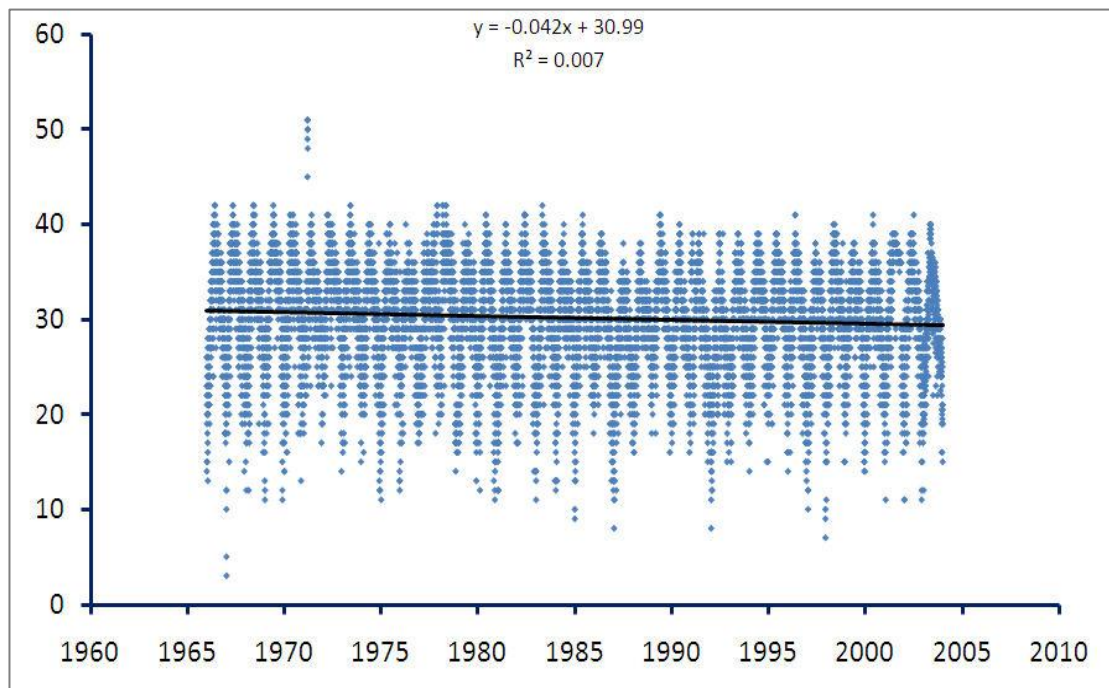


Figura 33. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.

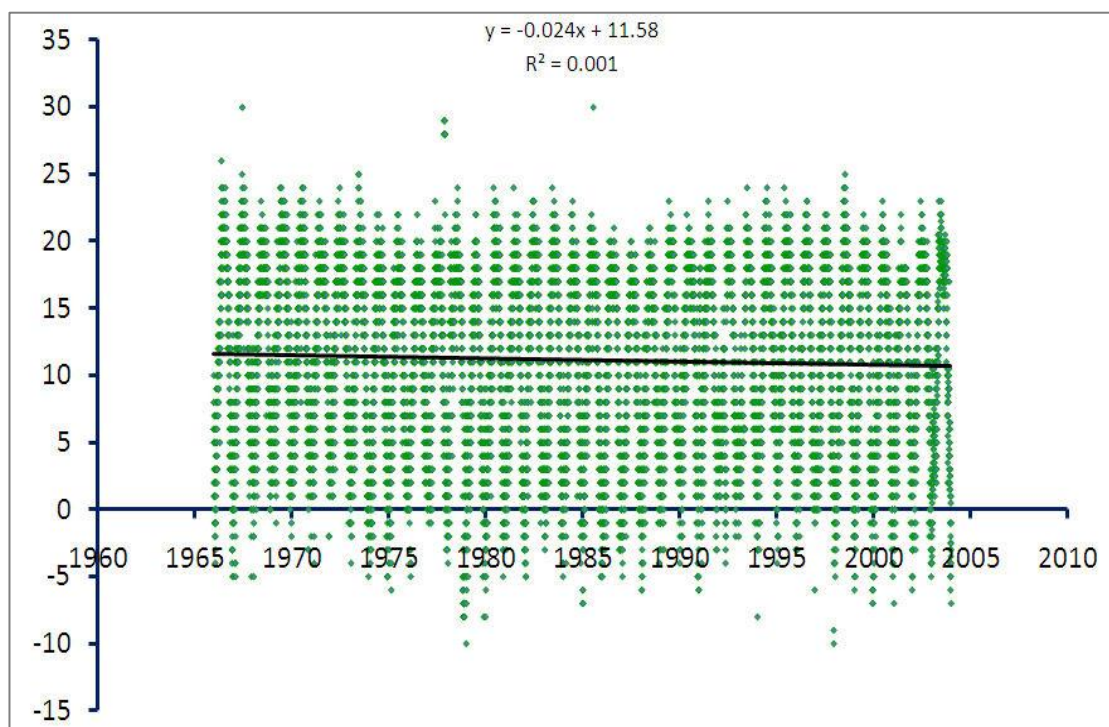


Figura 34. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.

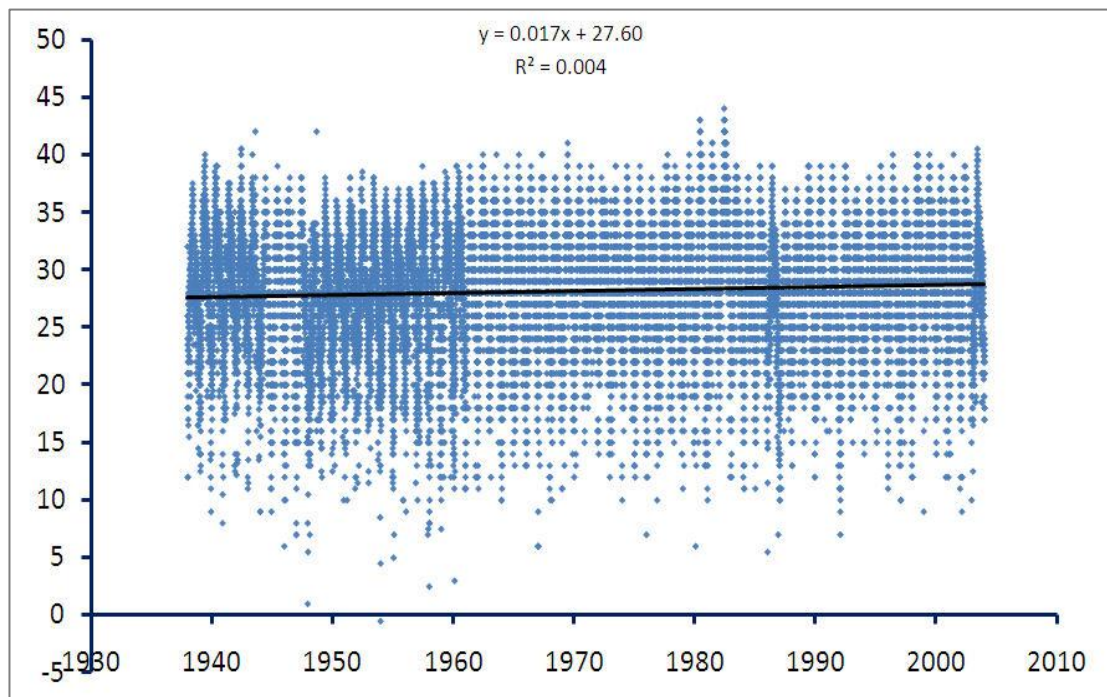


Figura 35. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.

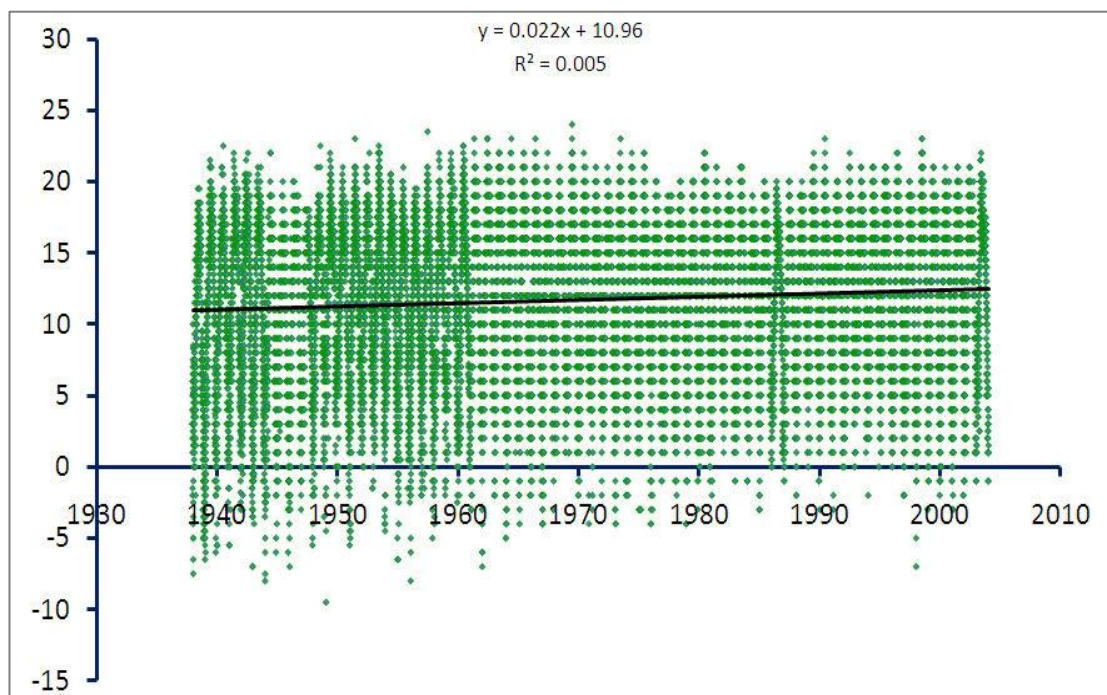


Figura 36. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.

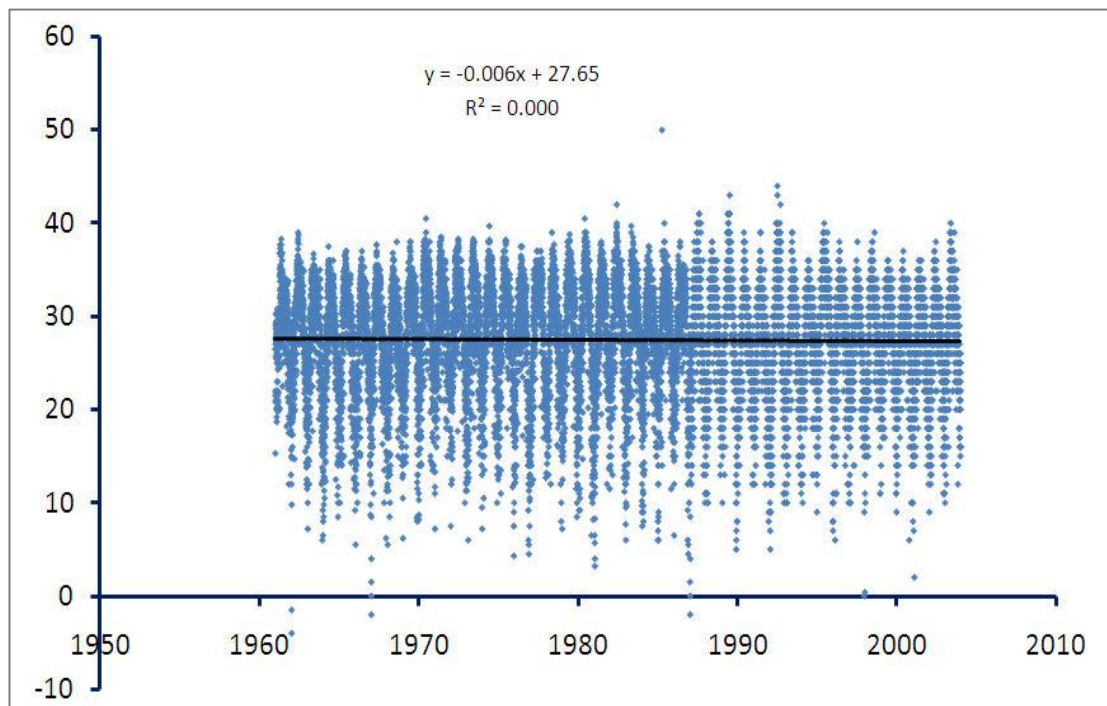


Figura 37. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

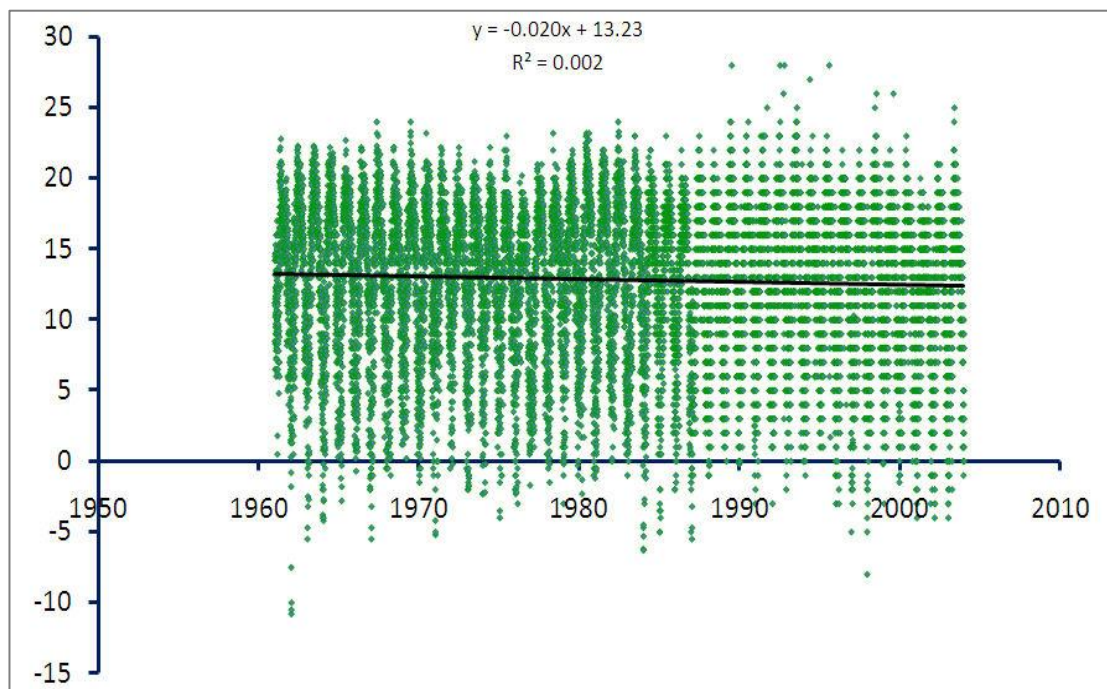


Figura 38. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

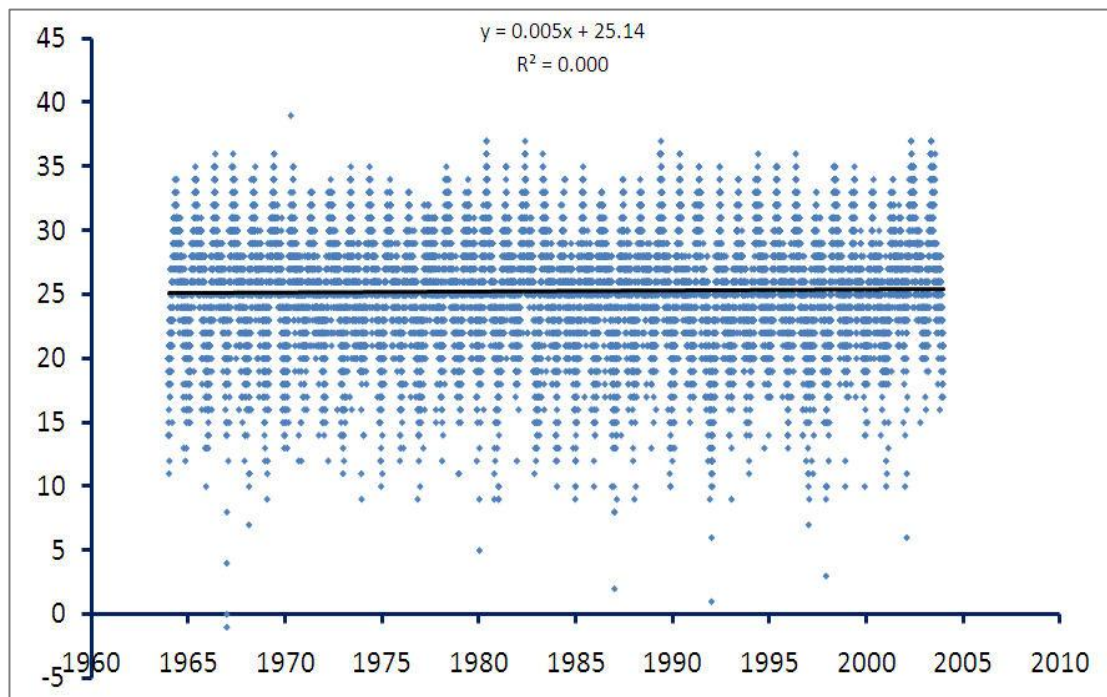


Figura 39. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.

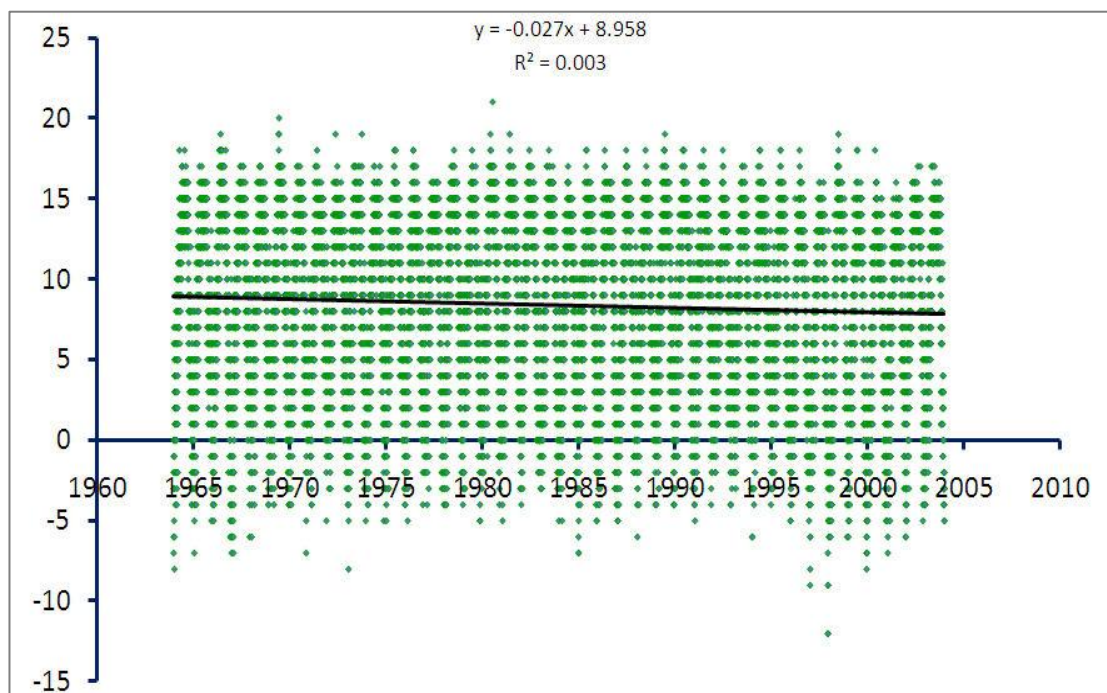


Figura 40. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.

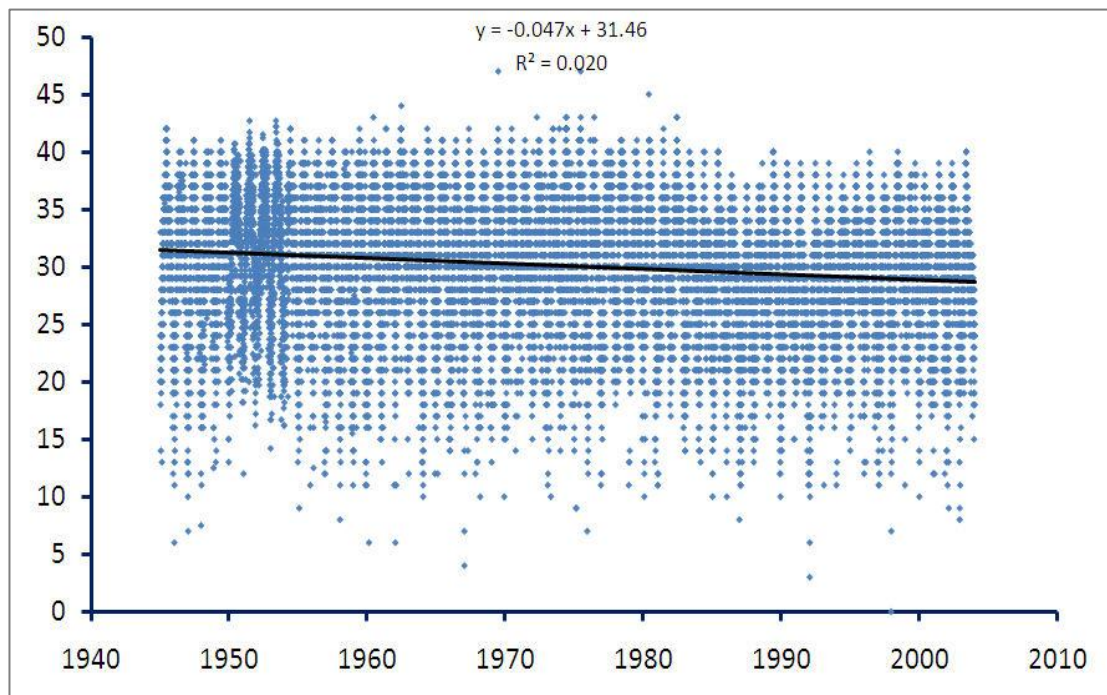


Figura 41. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.

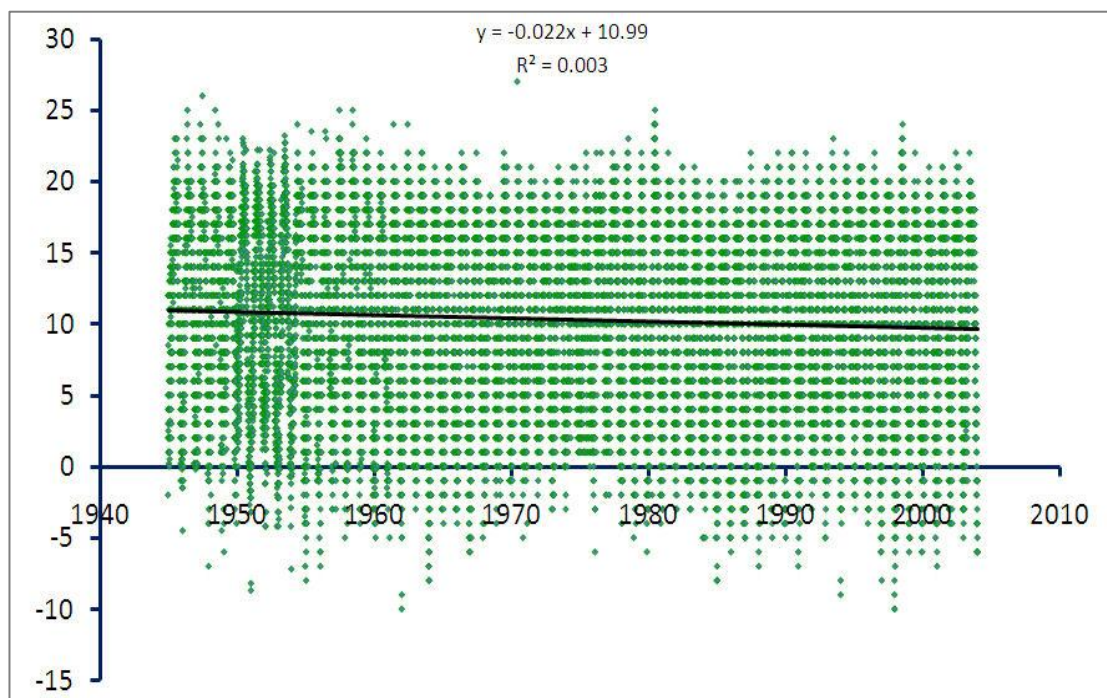


Figura 42. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.

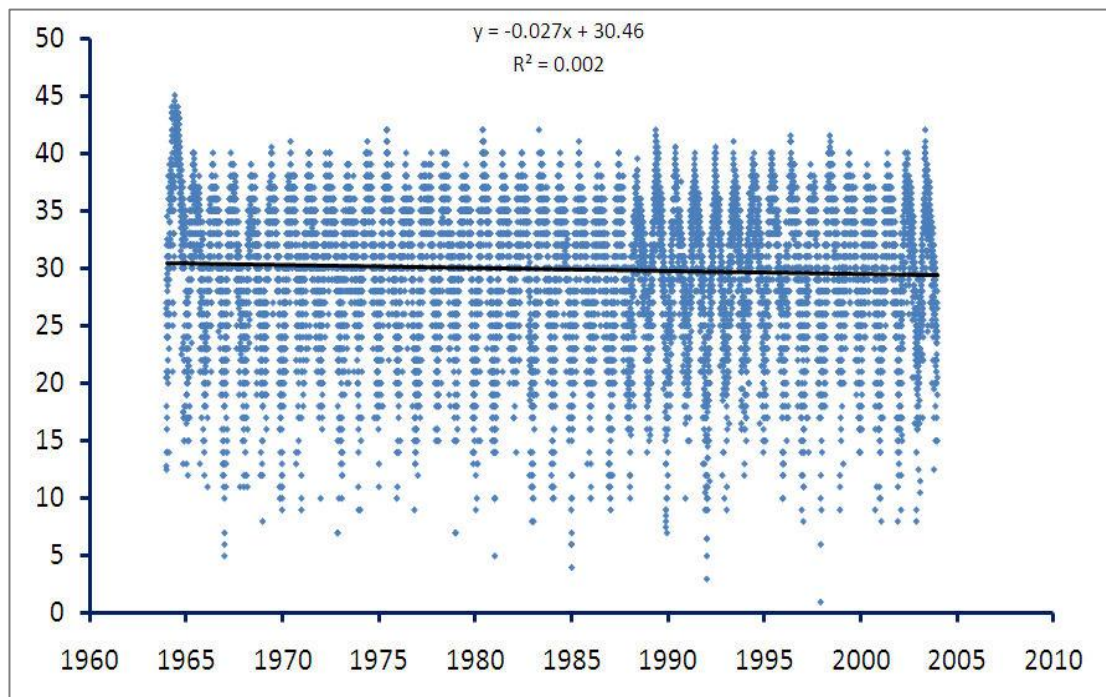


Figura 43. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

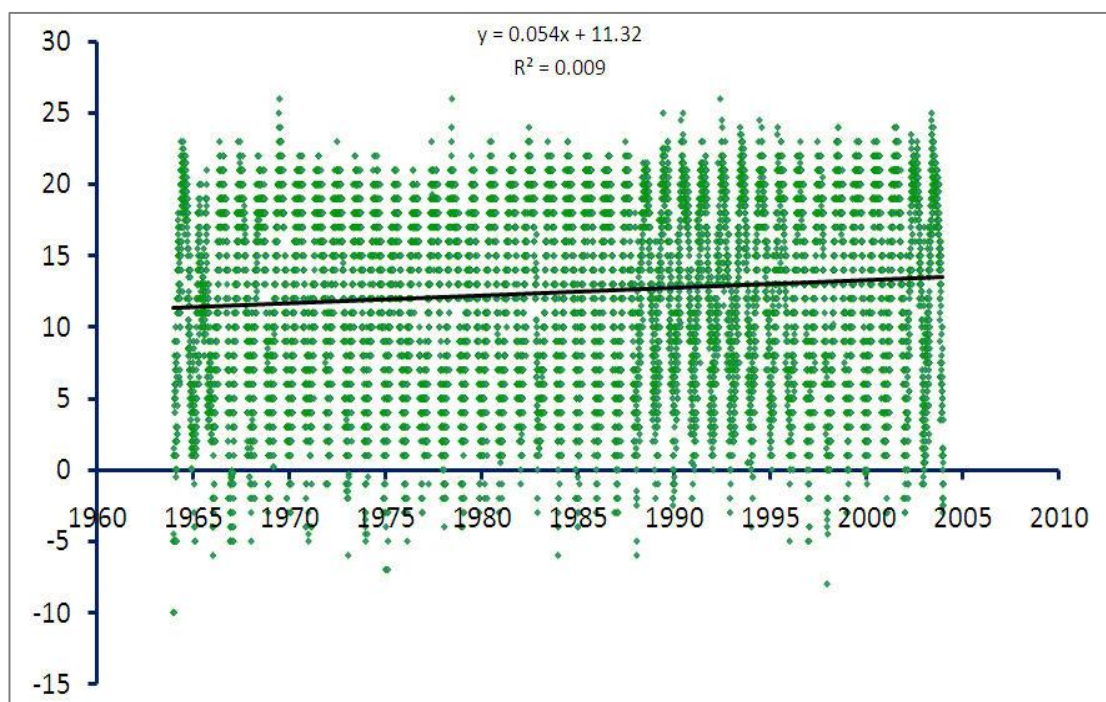


Figura 44. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

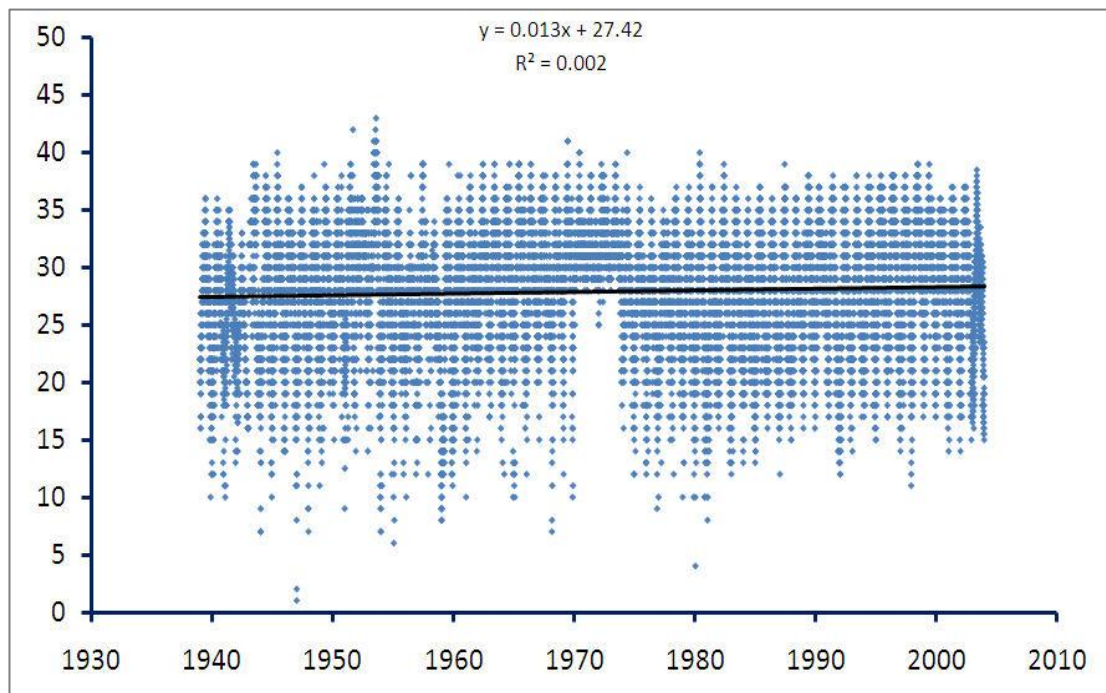


Figura 45. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Santiago Papasquiari, Santiago Papasquiari, Durango, México.

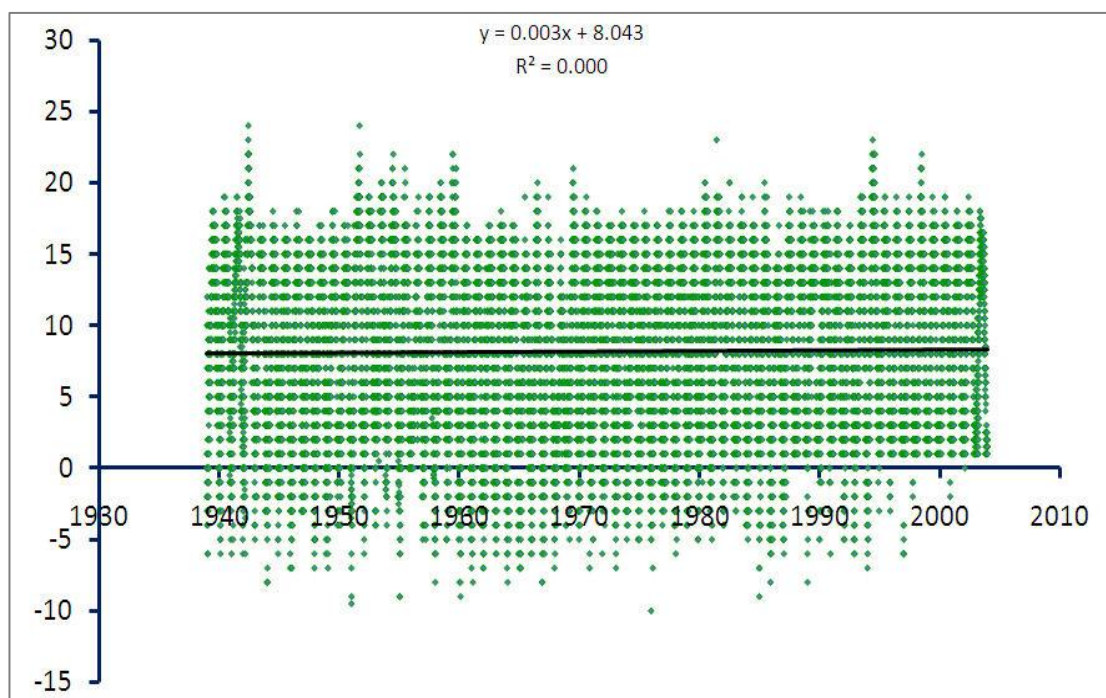


Figura 46. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Santiago Papasquiari, Santiago Papasquiari, Durango, México.

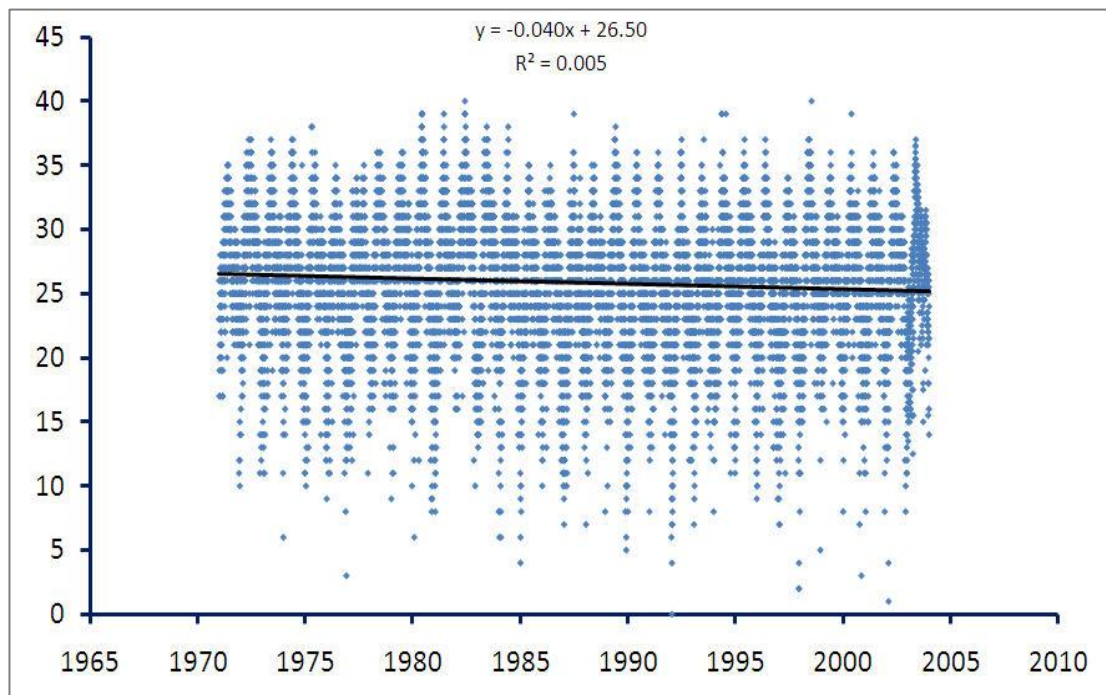


Figura 47. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Sardinas, San Bernardo, Durango, México.

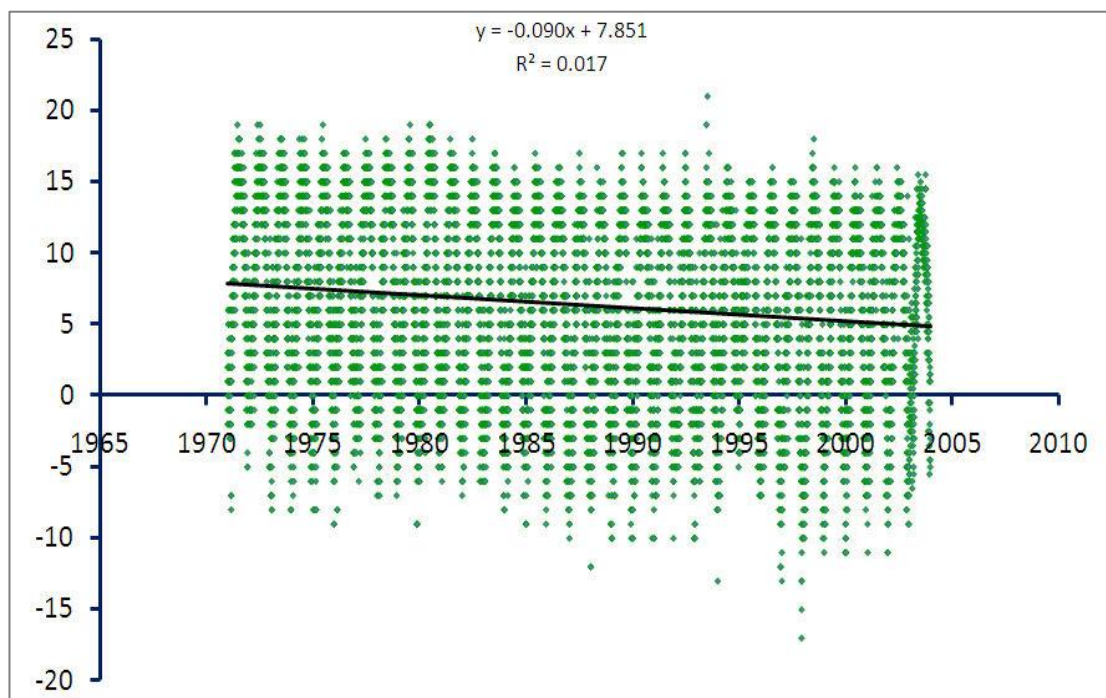


Figura 48. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Sardinas, San Bernardo, Durango, México.

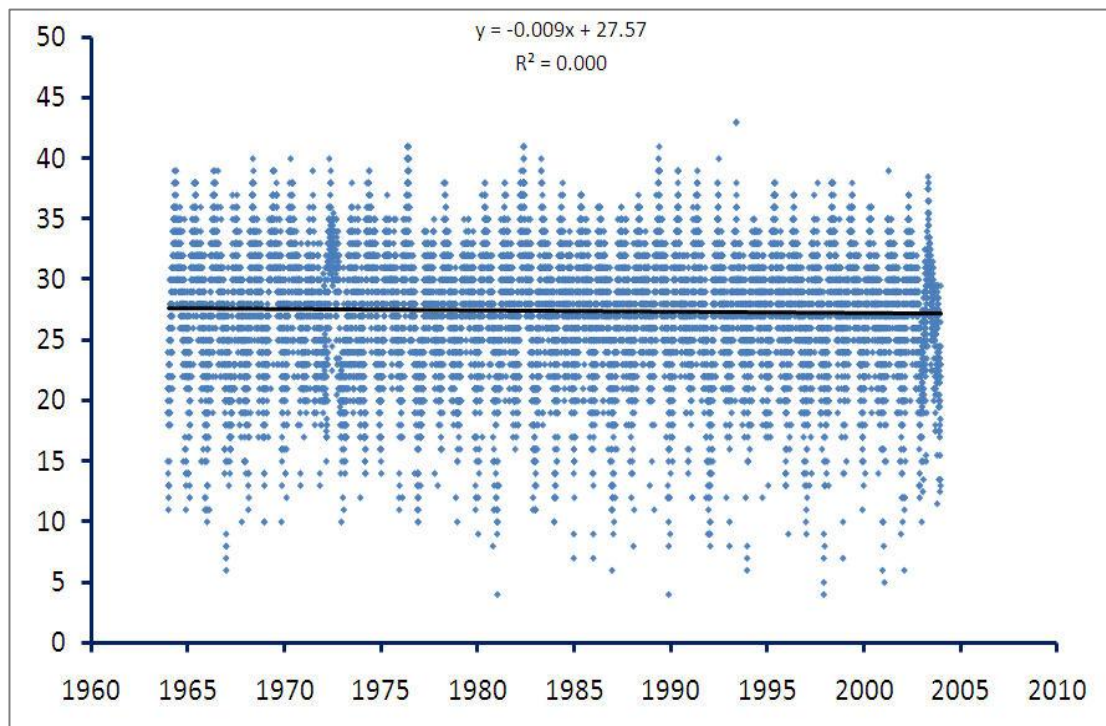


Figura 49. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.

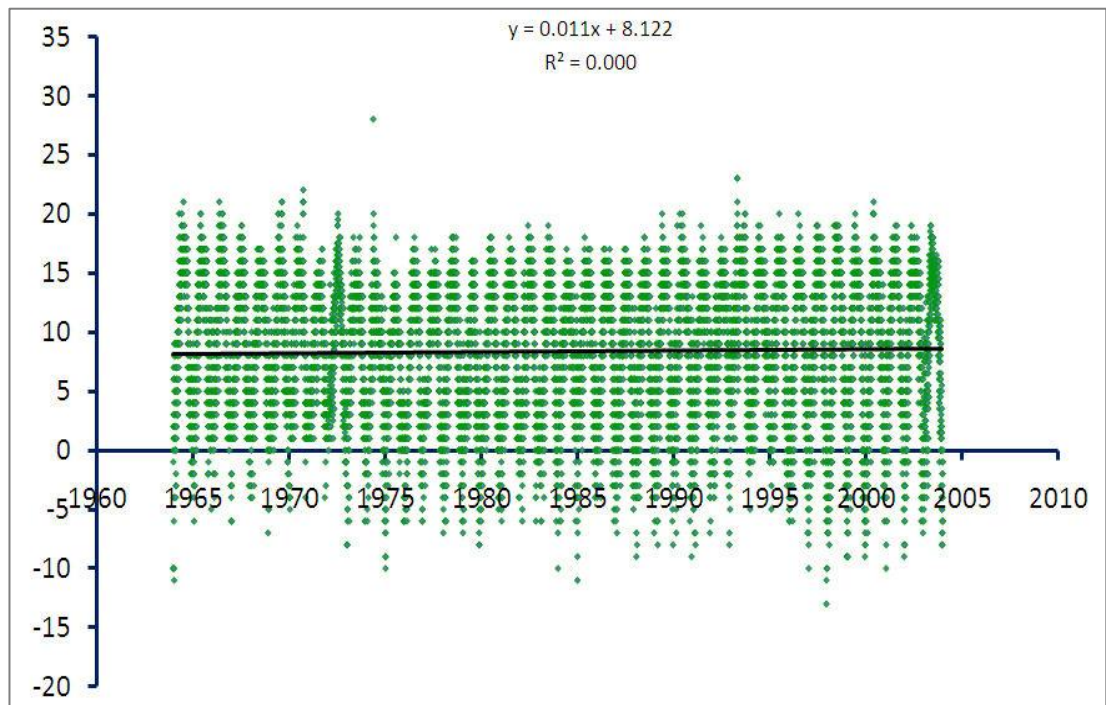


Figura 50. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.

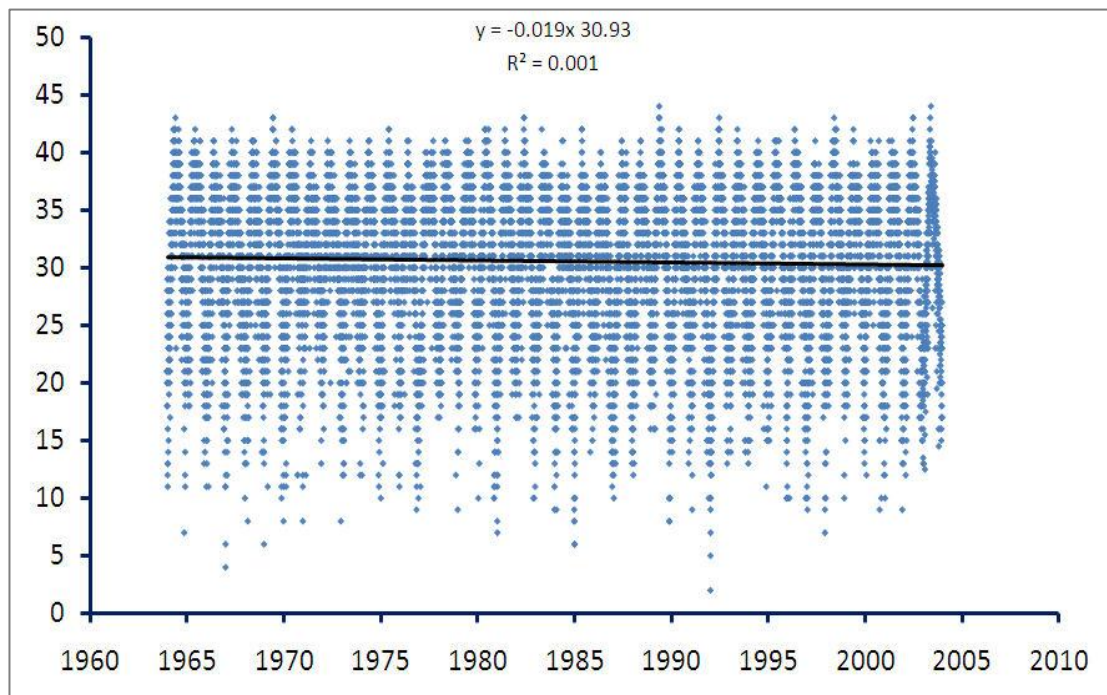


Figura 51. Regresión lineal simple para la temperatura máxima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.

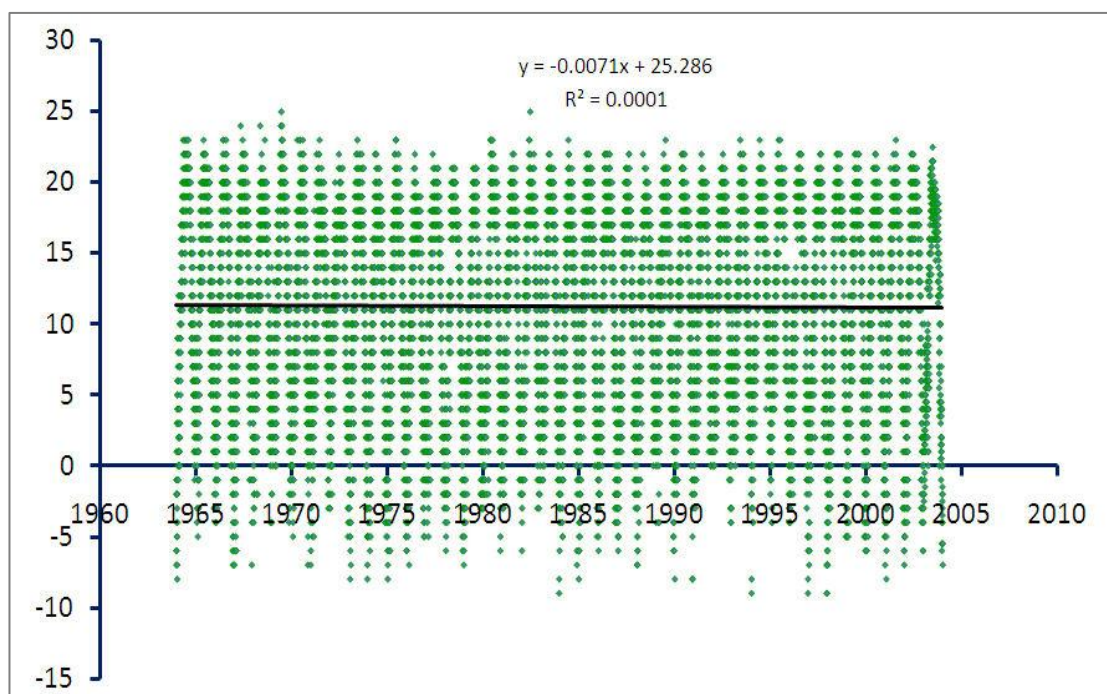


Figura 52. Regresión lineal simple para la temperatura mínima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.

Anexo 2

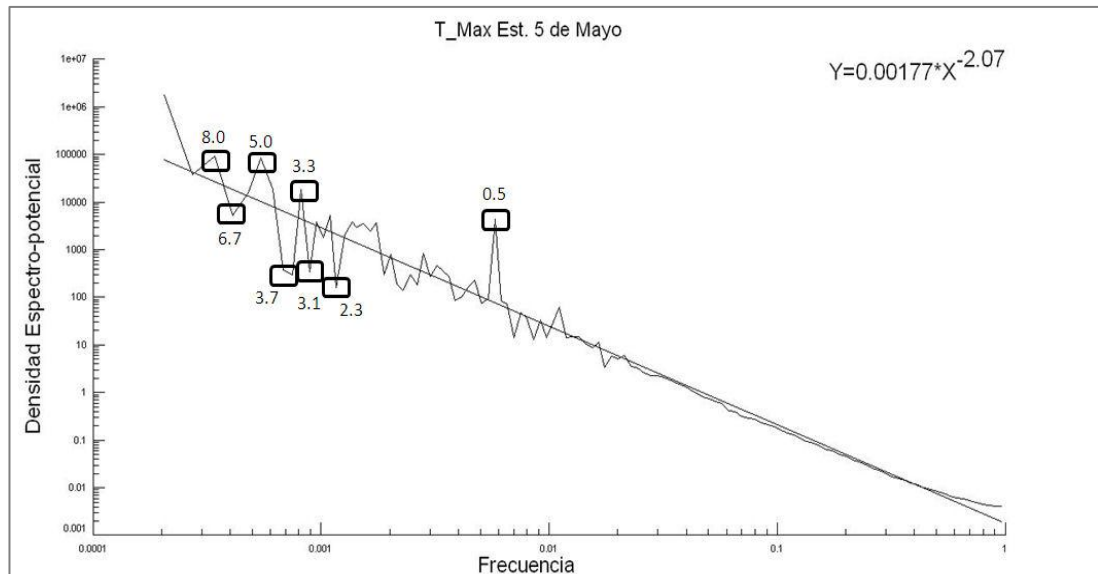


Figura 53. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.

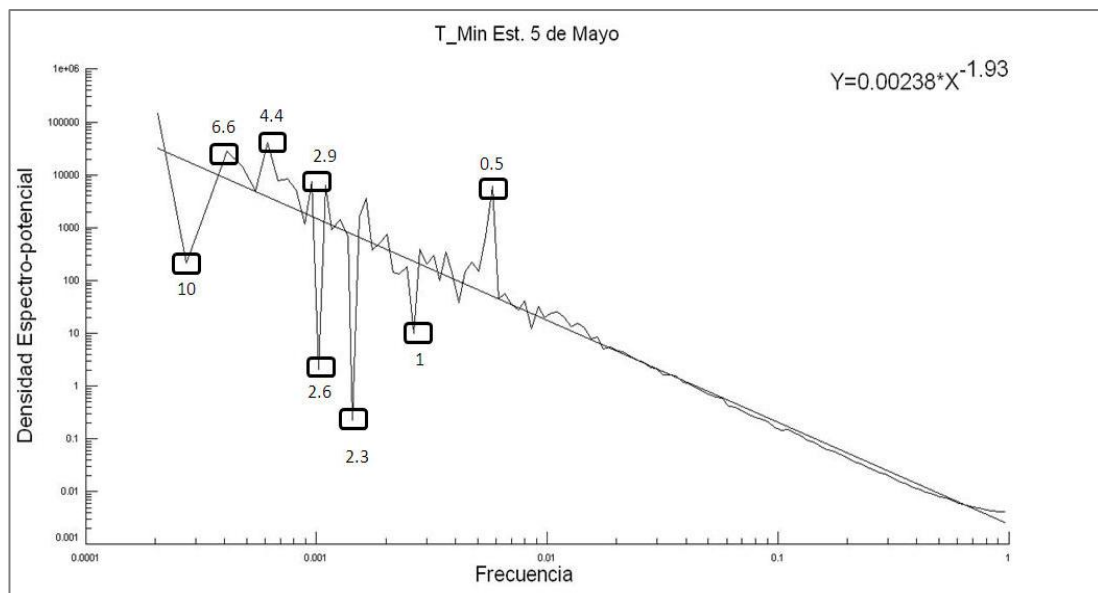


Figura 54. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación 5 de mayo, San Pedro del Gallo, Durango, México.

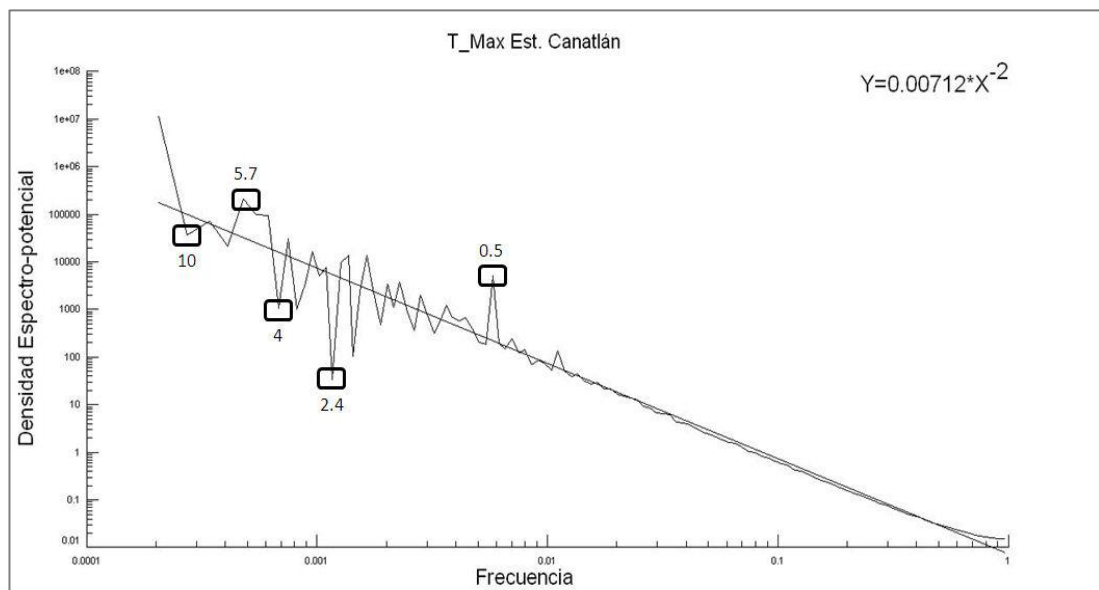


Figura 55. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.

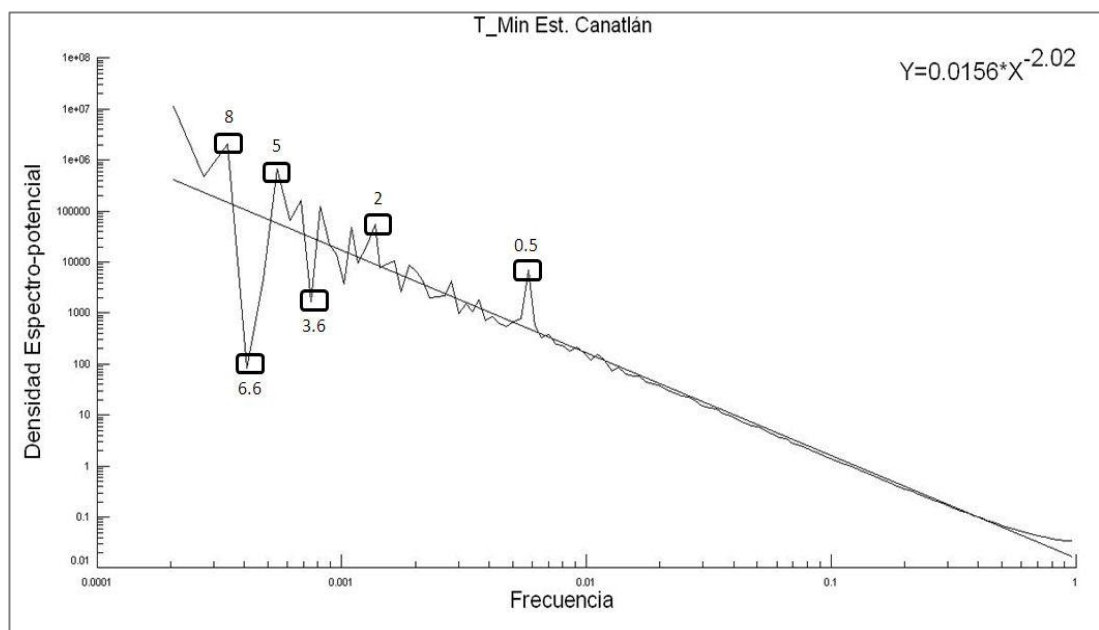


Figura 56. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Canatlán, Canatlán, Durango, México.

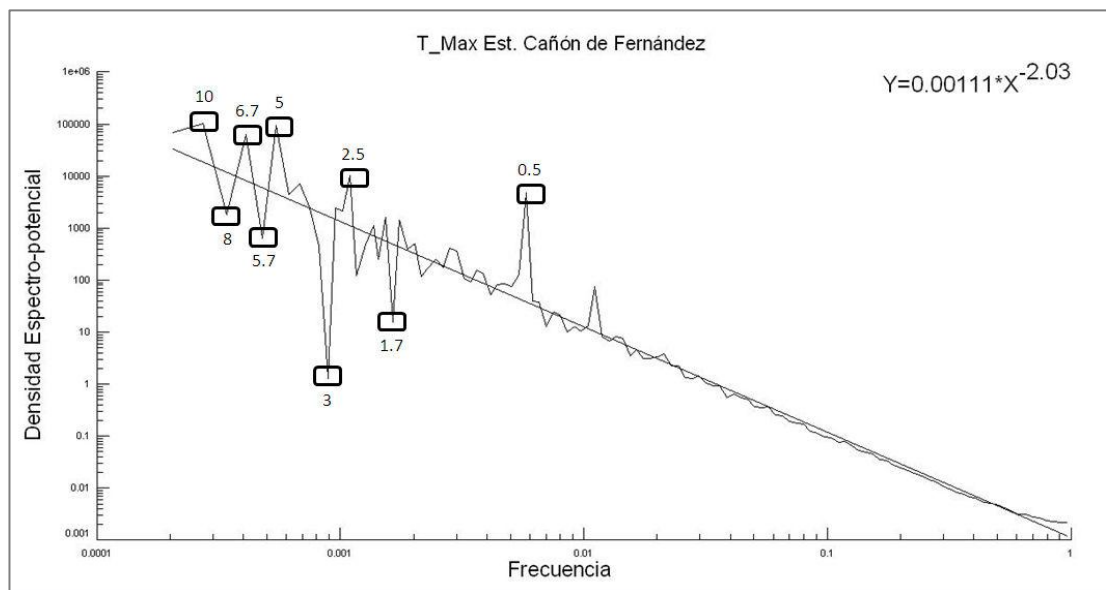


Figura 57. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.

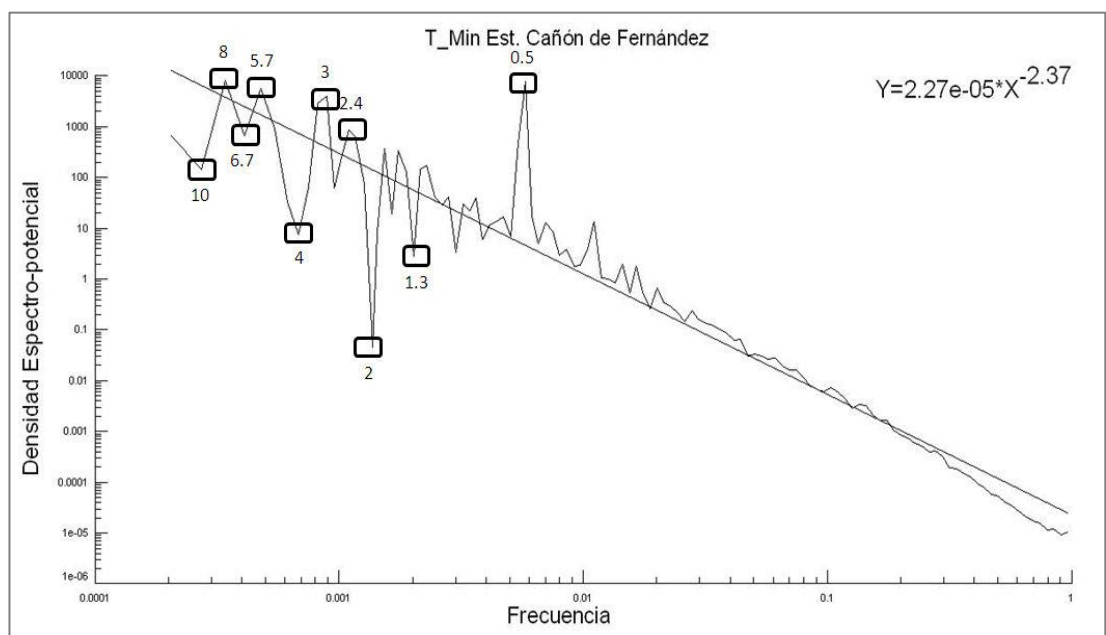


Figura 58. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango, México.

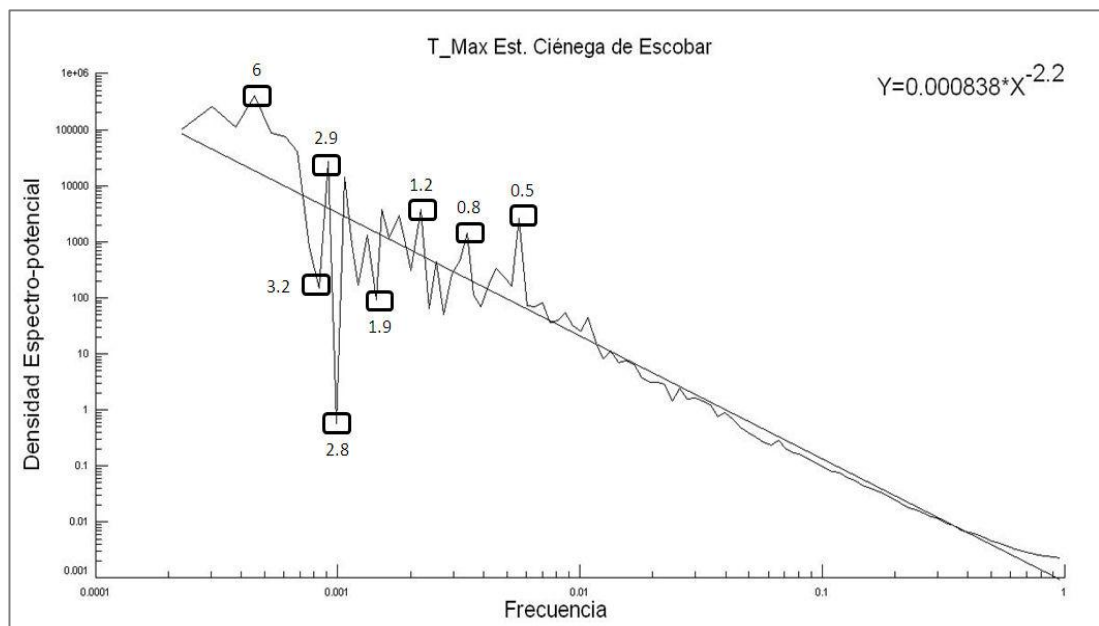


Figura 59. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.

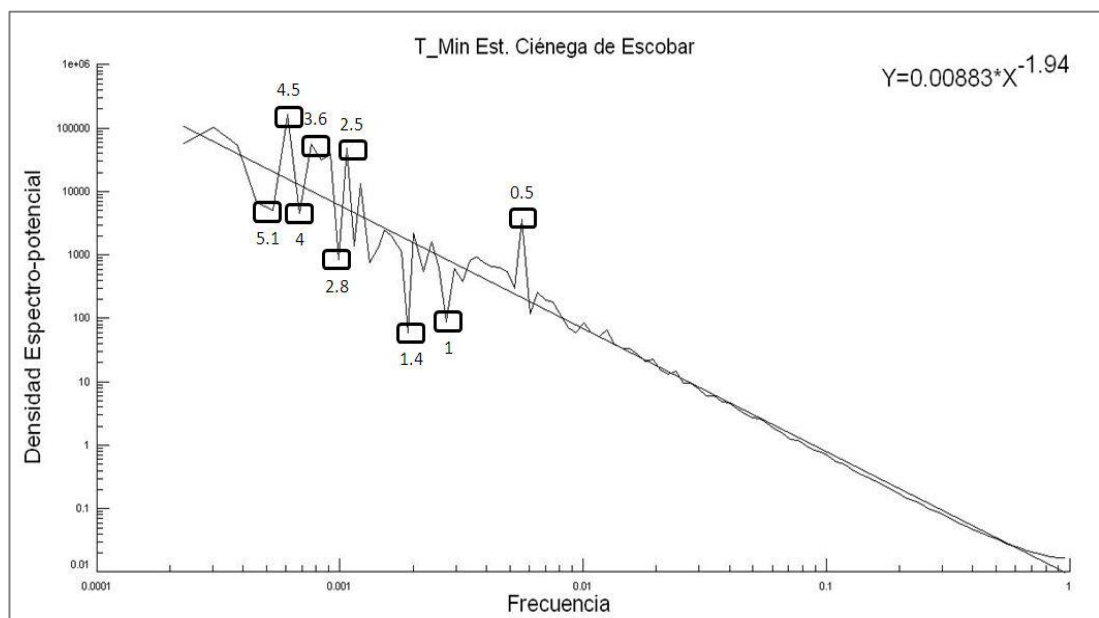


Figura 60. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Ciénega de Escobar, Tepehuanes, Durango, México.

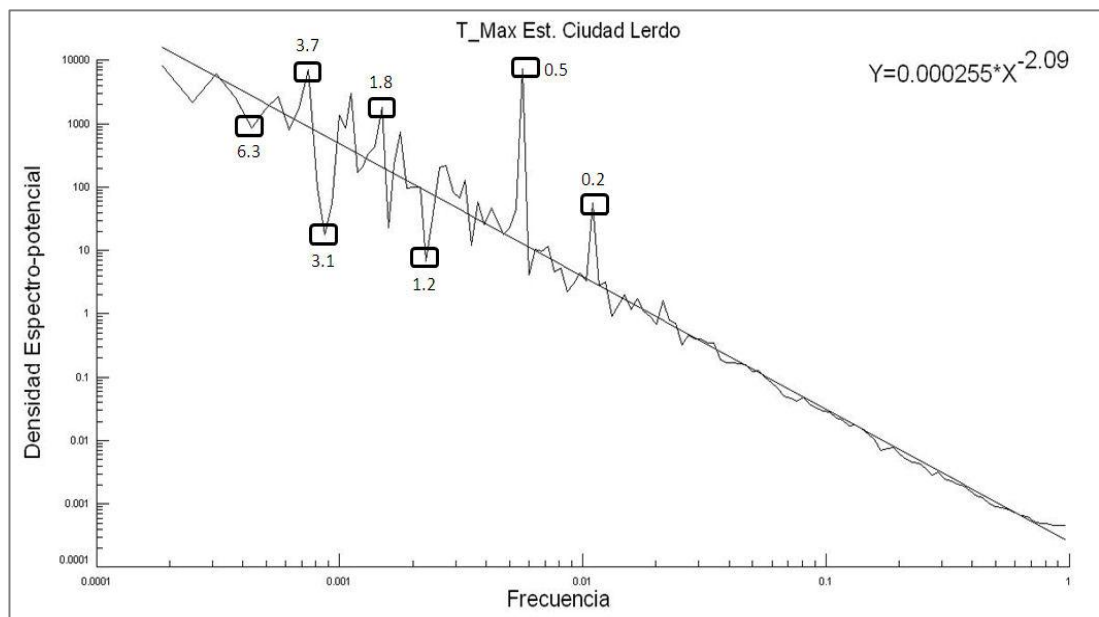


Figura 61. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.

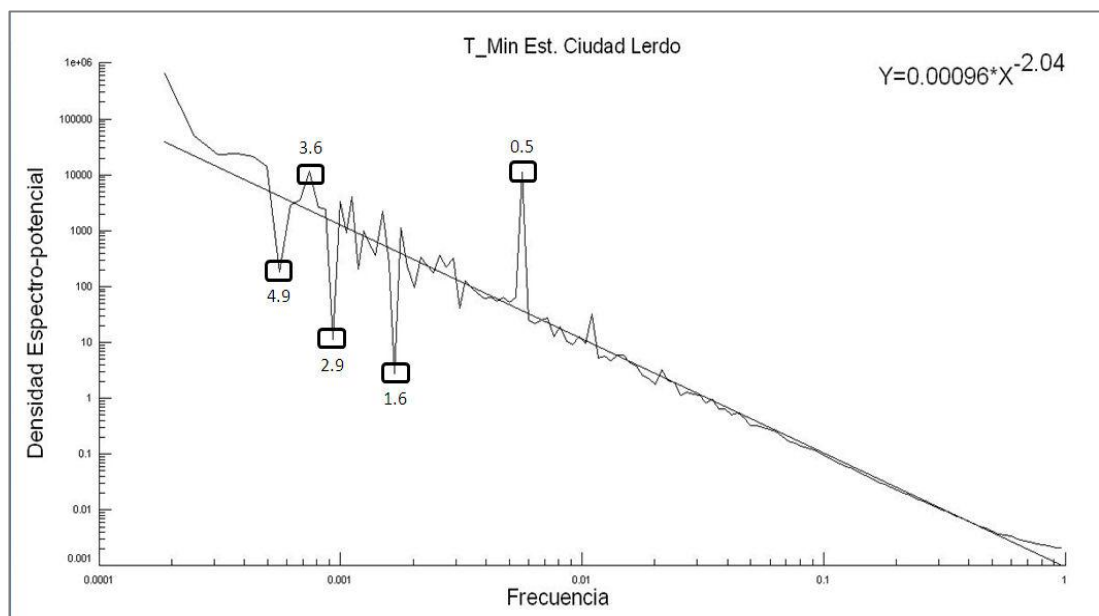


Figura 62. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango, México.

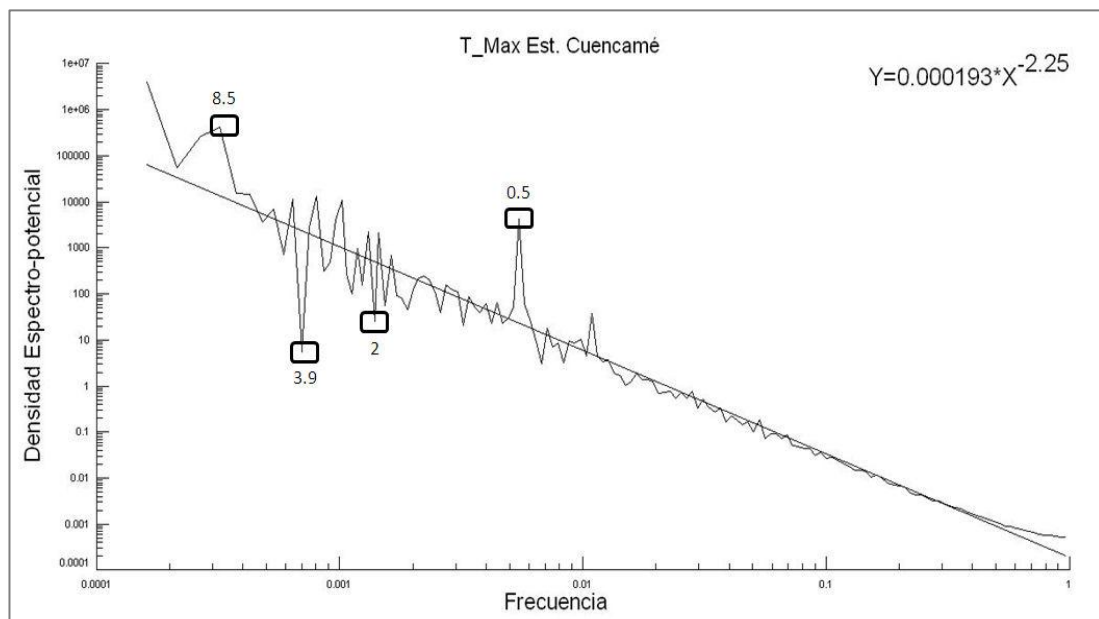


Figura 63. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.

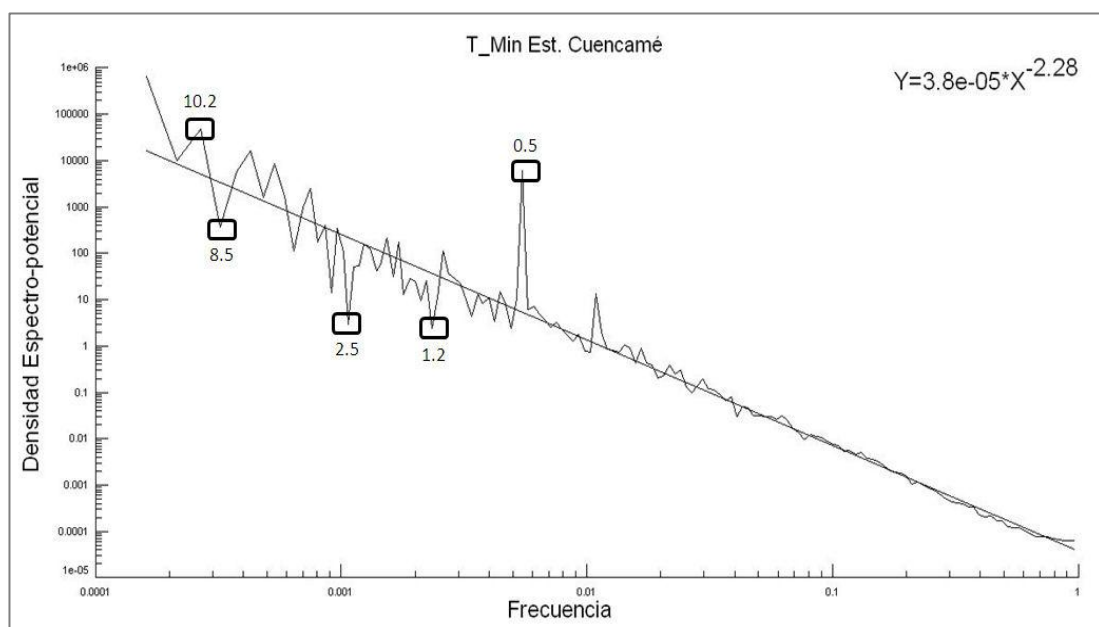


Figura 64. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Cuencamé, Cuencamé, Durango, México.

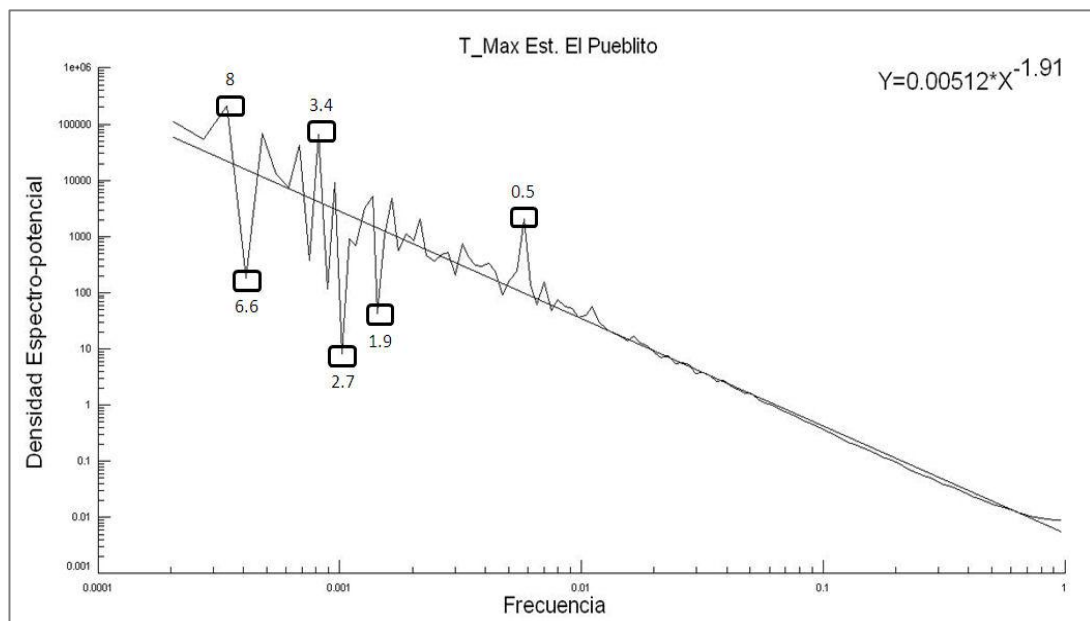


Figura 65. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.

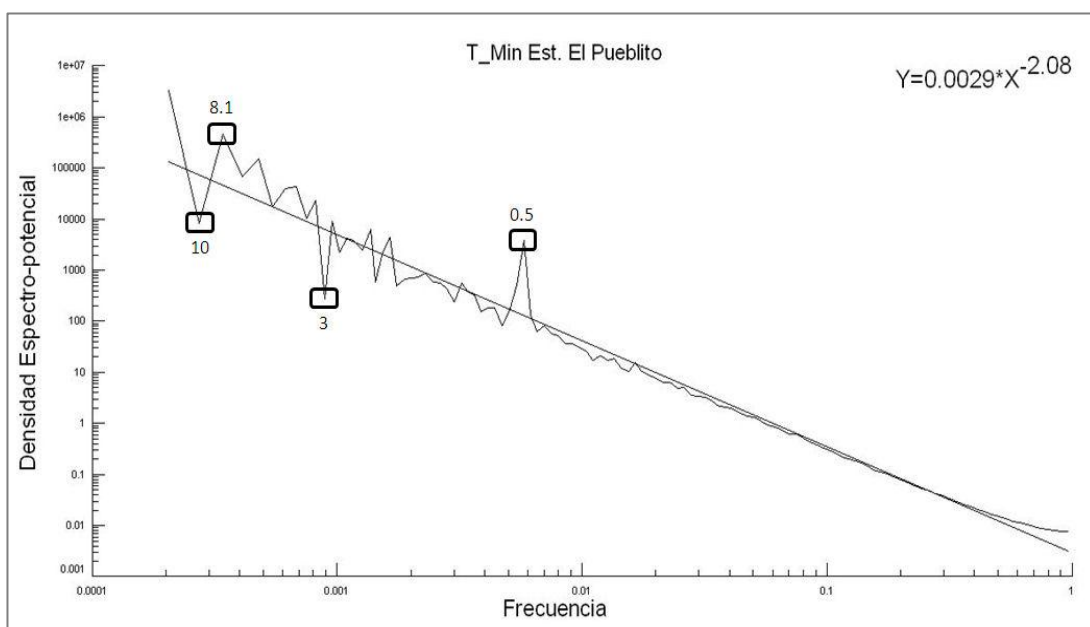


Figura 66. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación El Pueblito, Durango, Durango, México.

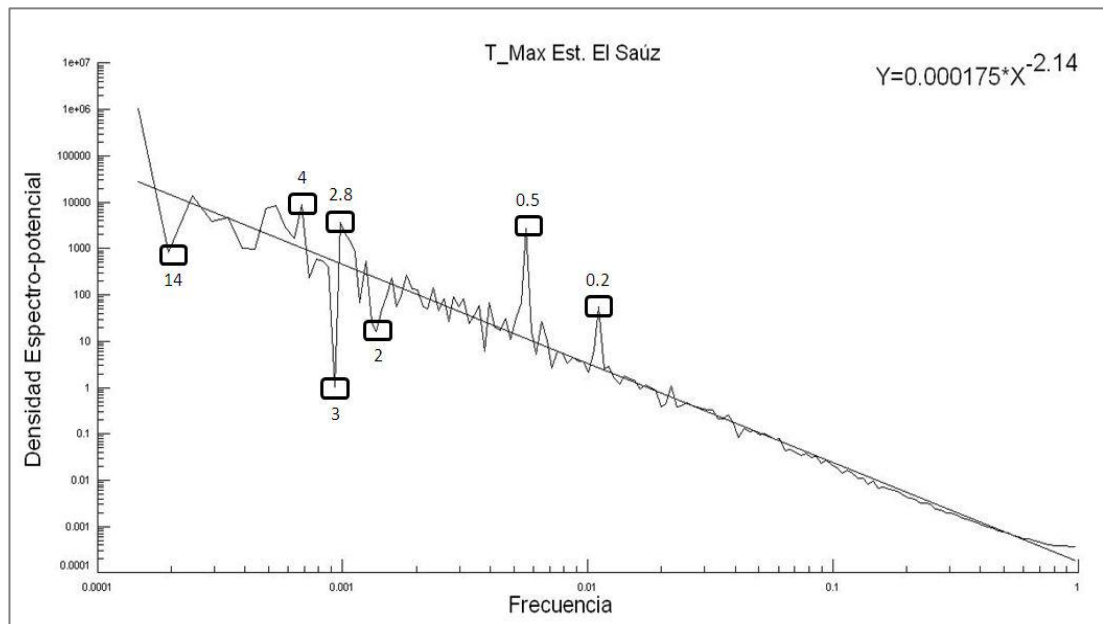


Figura 67. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.

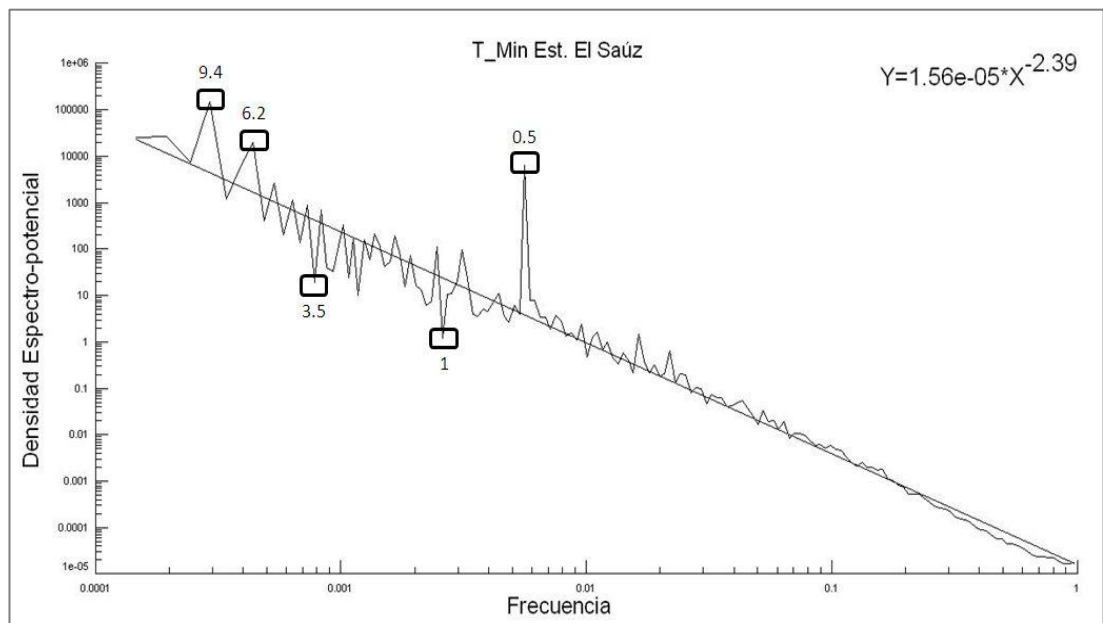


Figura 68. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación El Sauz, General Francisco R. Murguía, Zacatecas, México.

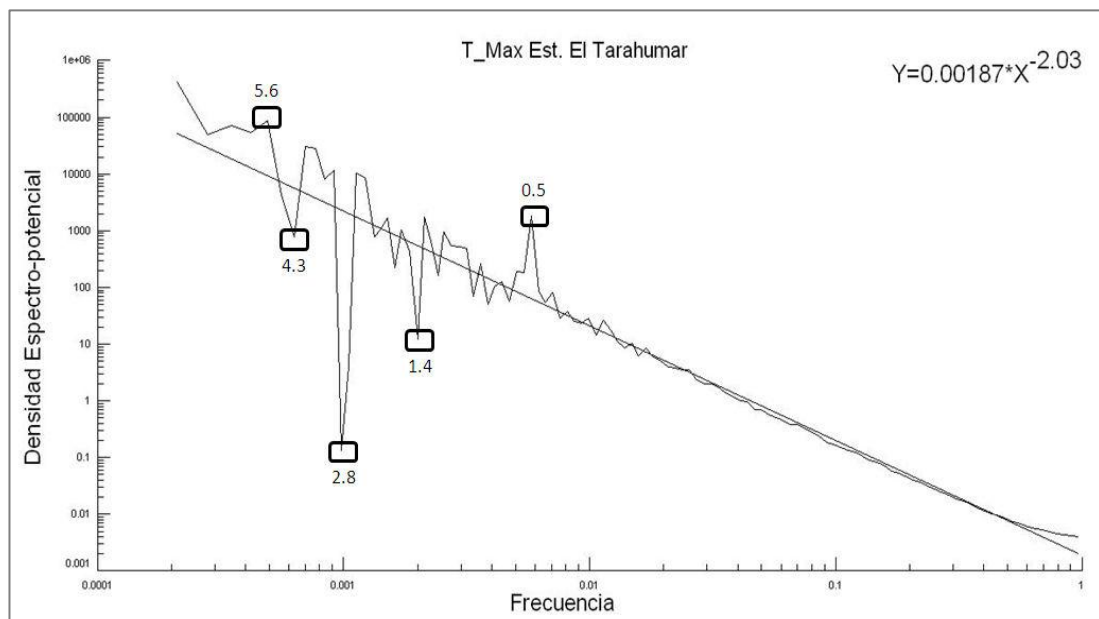


Figura 69. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.

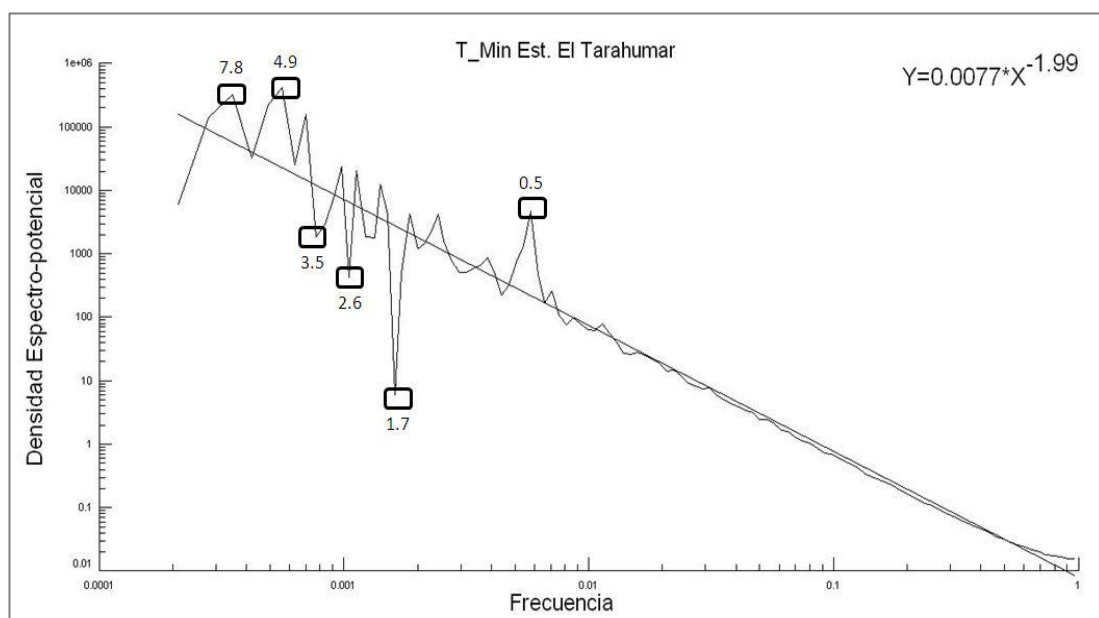


Figura 70. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación El Tarahumar, Tepehuanes, Durango, México.

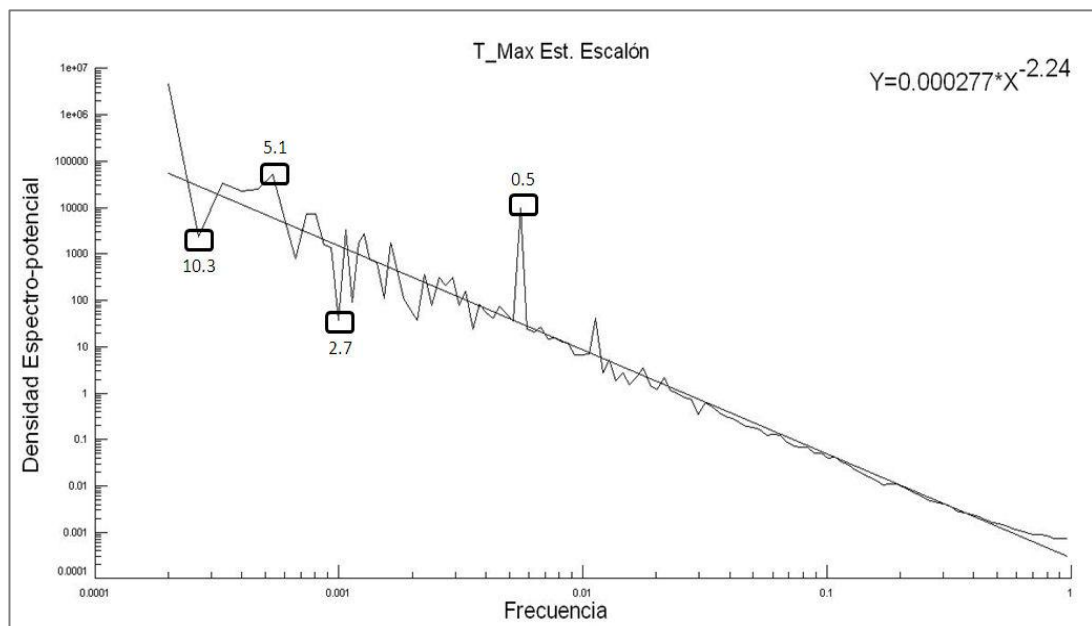


Figura 71. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.

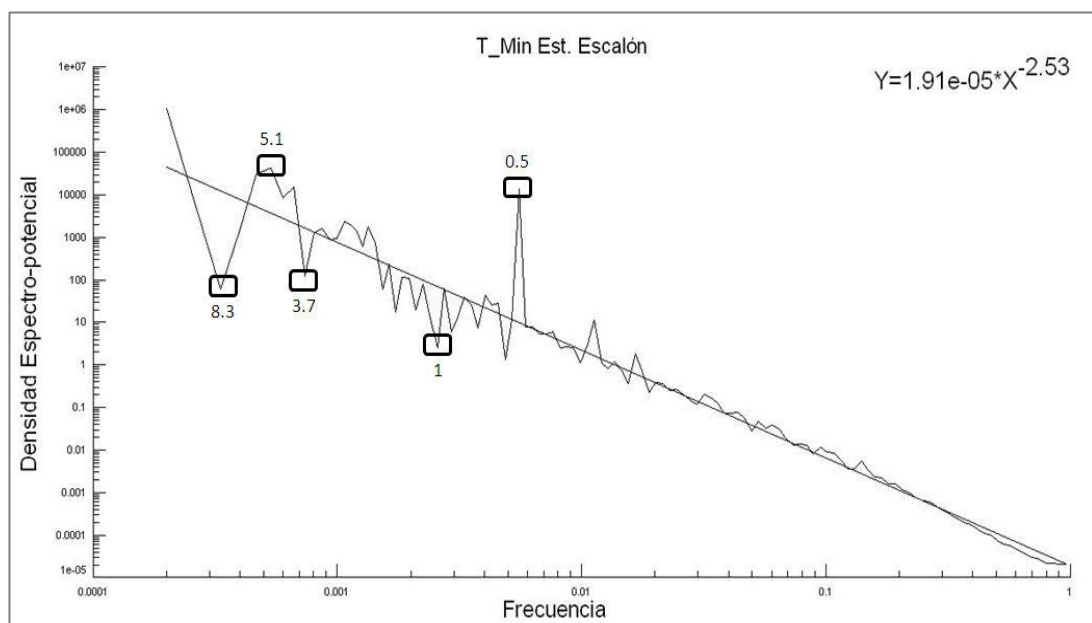


Figura 72. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Escalón, Jiménez, Chihuahua, México.

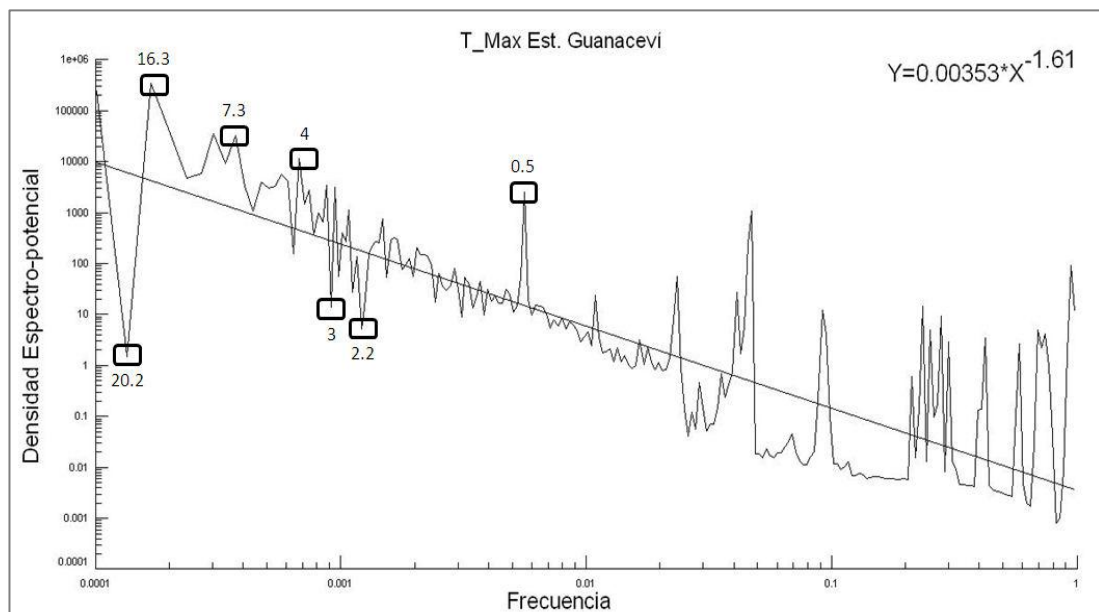


Figura 73. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.

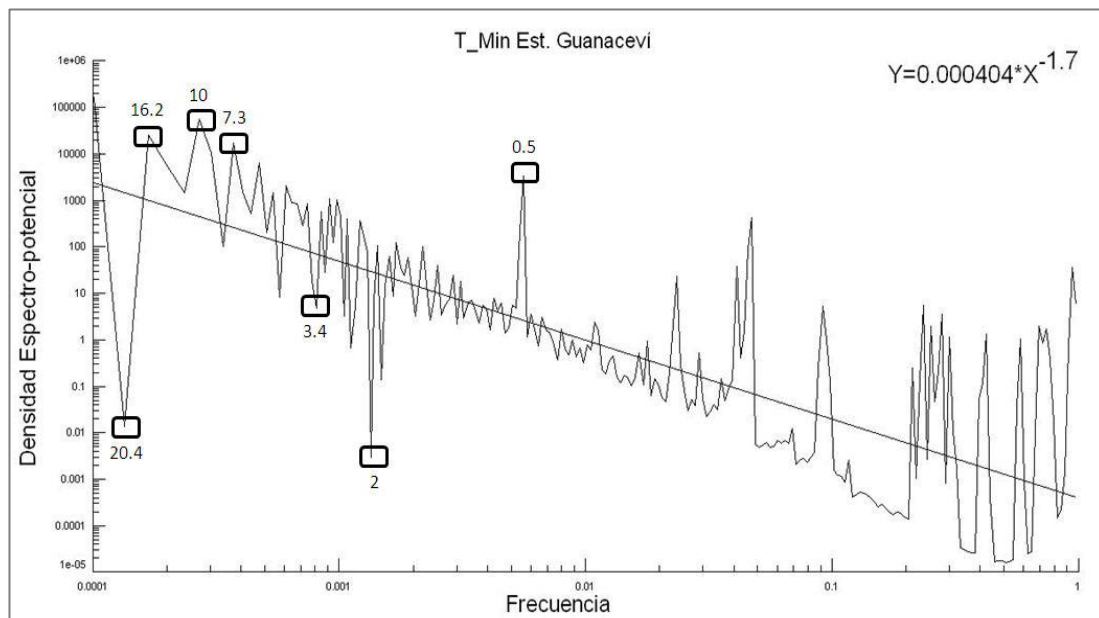


Figura 74. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Guanaceví, Guanaceví, Durango, México.

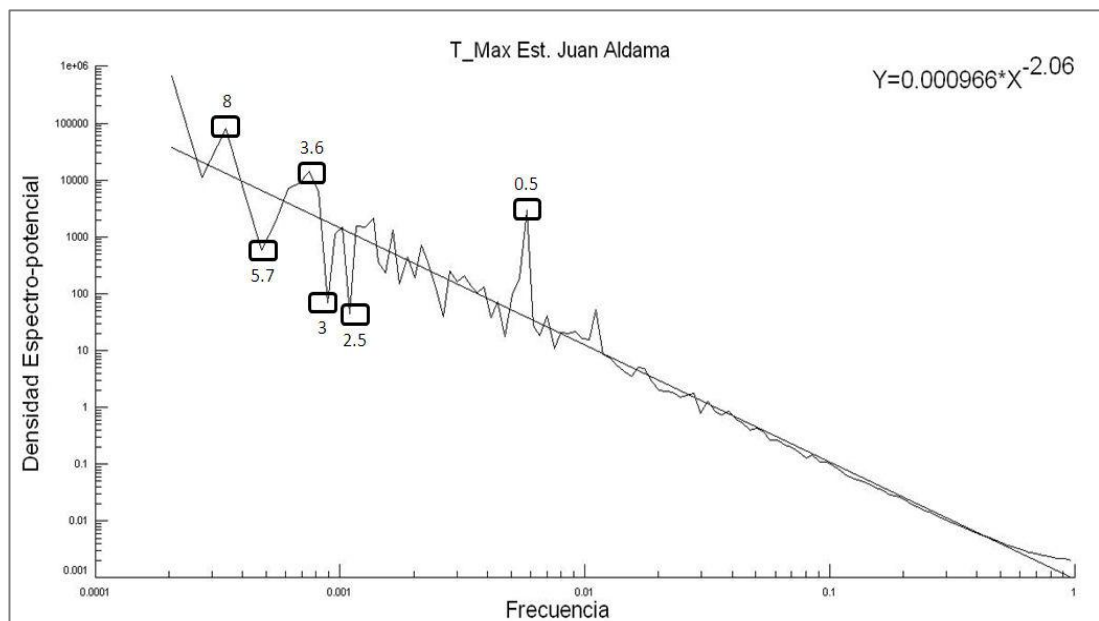


Figura 75. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.

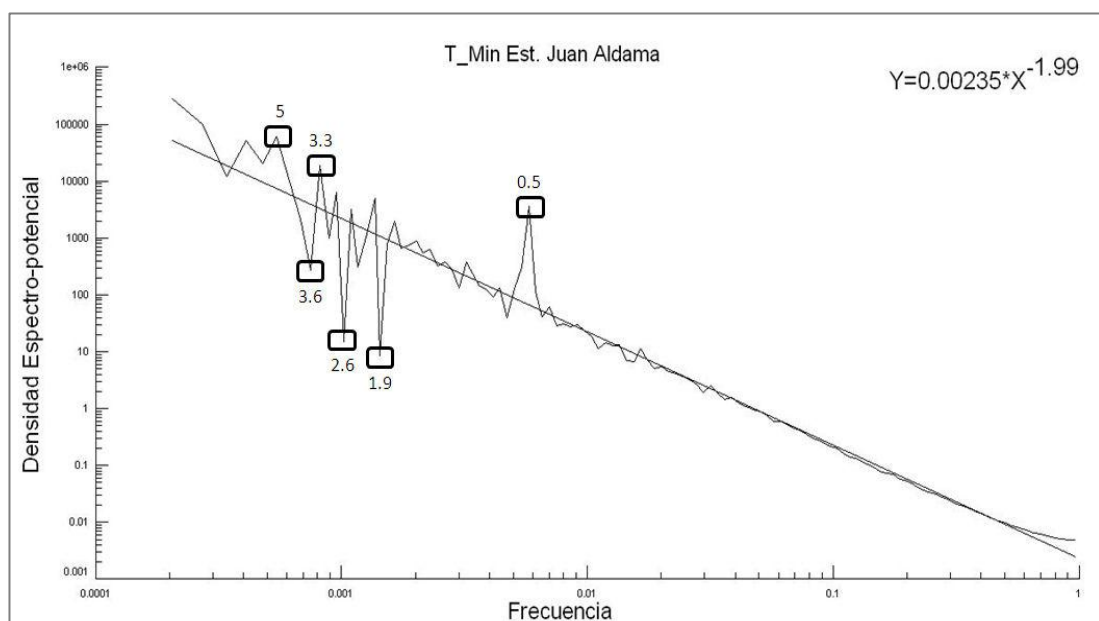


Figura 76. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Juan Aldama, Juan Aldama, Zacatecas, México.

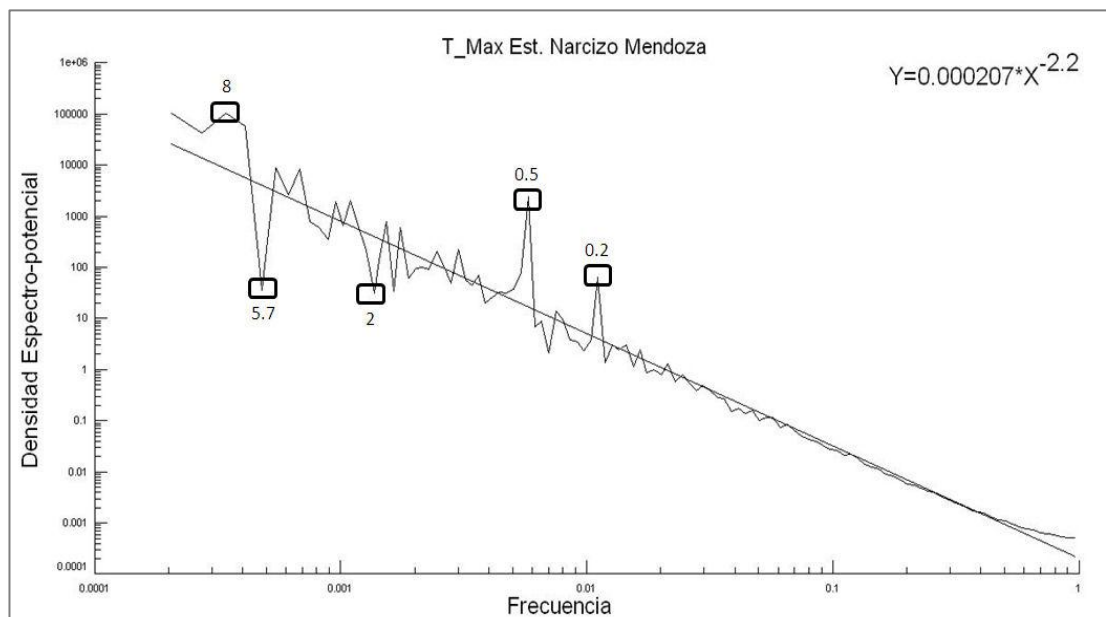


Figura 77. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.

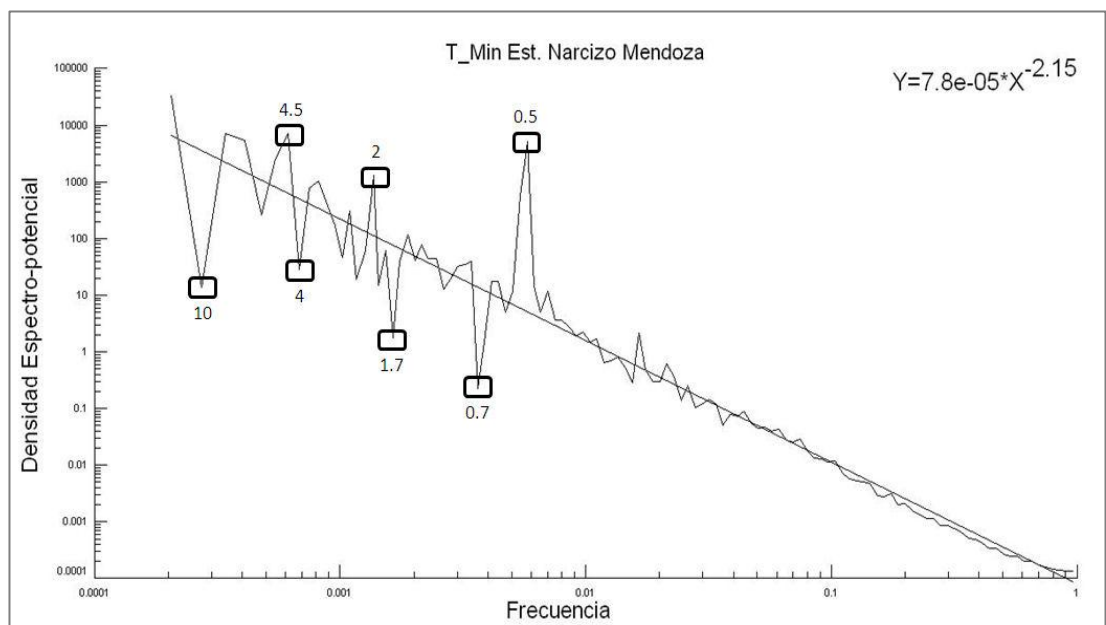


Figura 78. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Narciso Mendoza, Poanas, Durango, México.

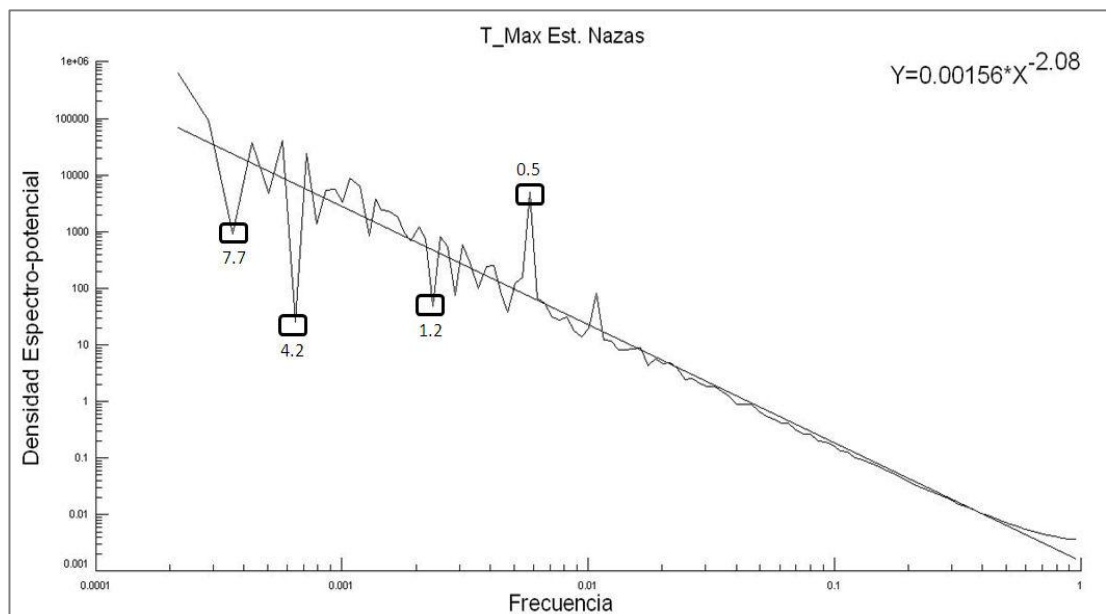


Figura 79. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.

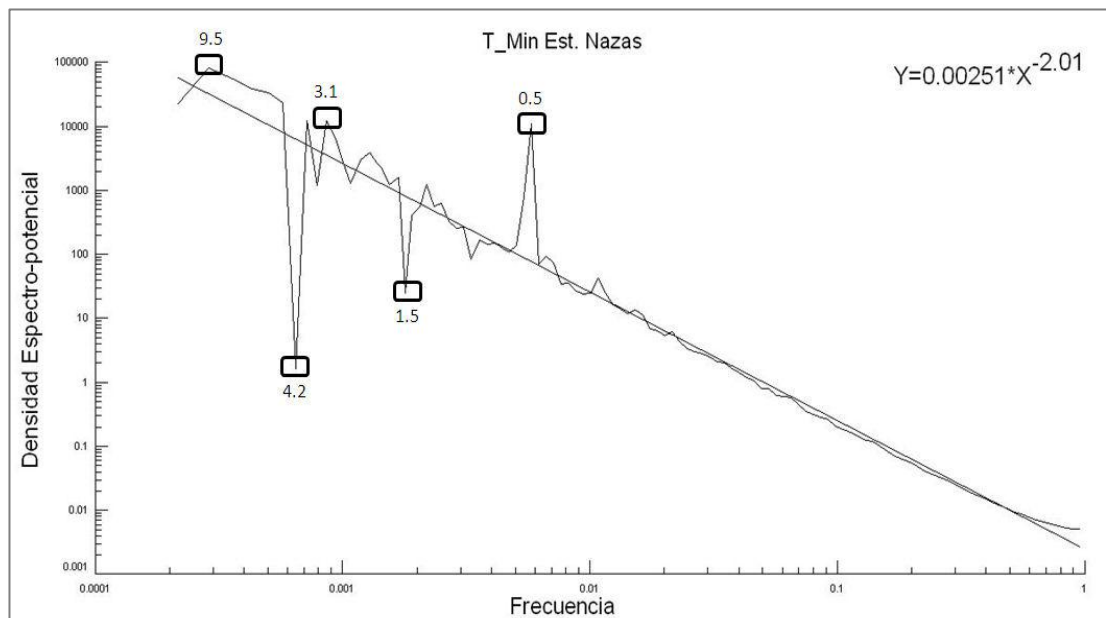


Figura 80. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Nazas, Nazas, Durango, México.

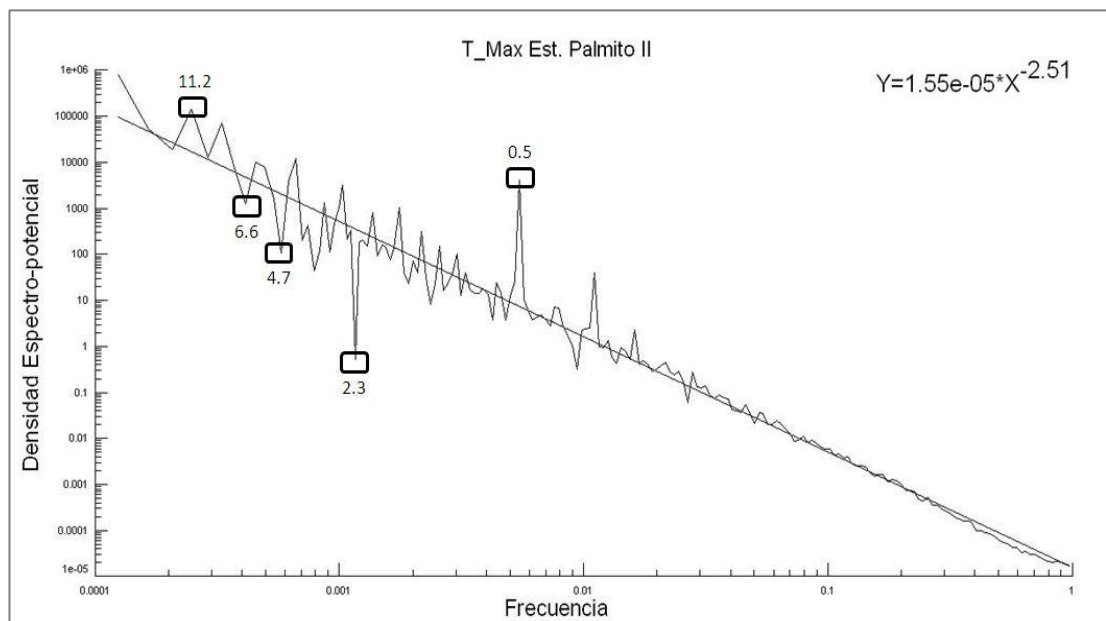


Figura 81. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.

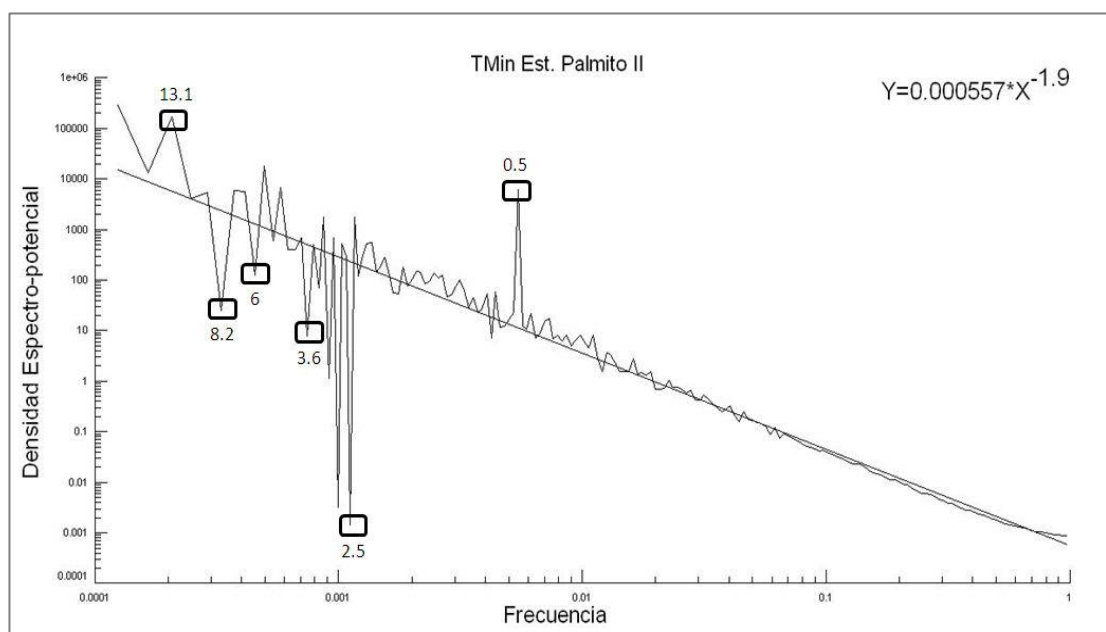


Figura 82. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Palmito II, Indé, Durango, México.

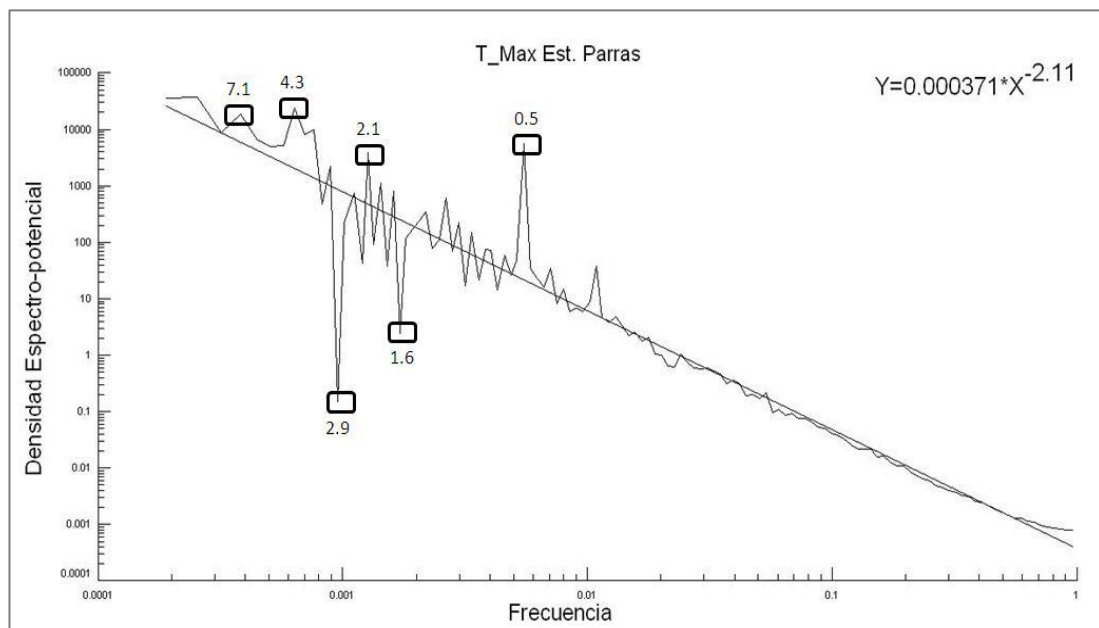


Figura 83. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

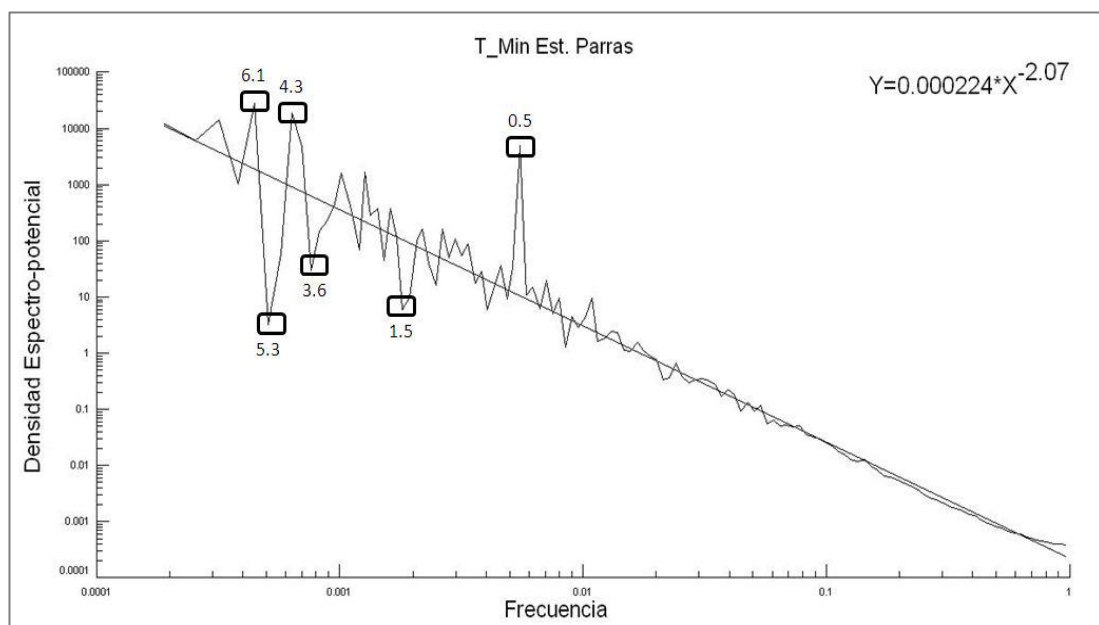


Figura 84. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Parras, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

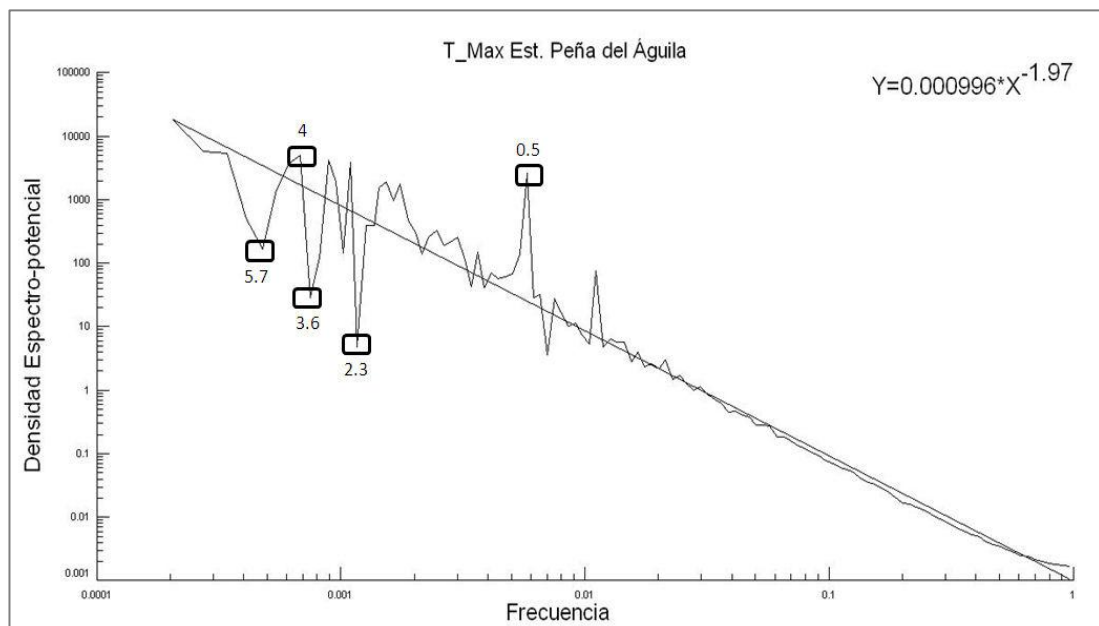


Figura 85. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.

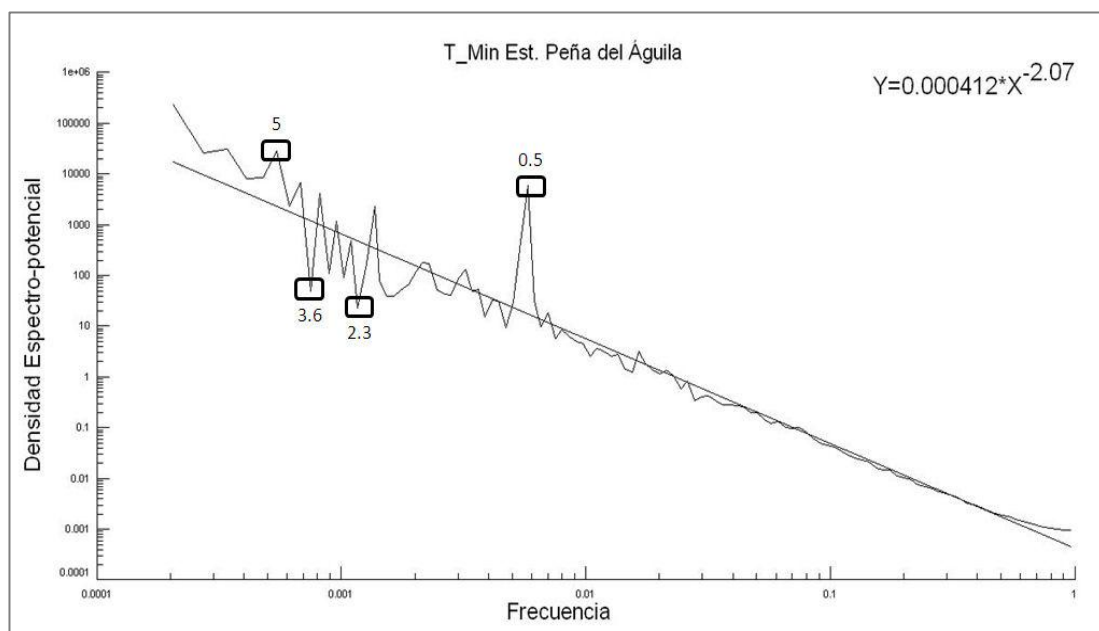


Figura 86. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Peña del Águila, Durango, Durango, México.

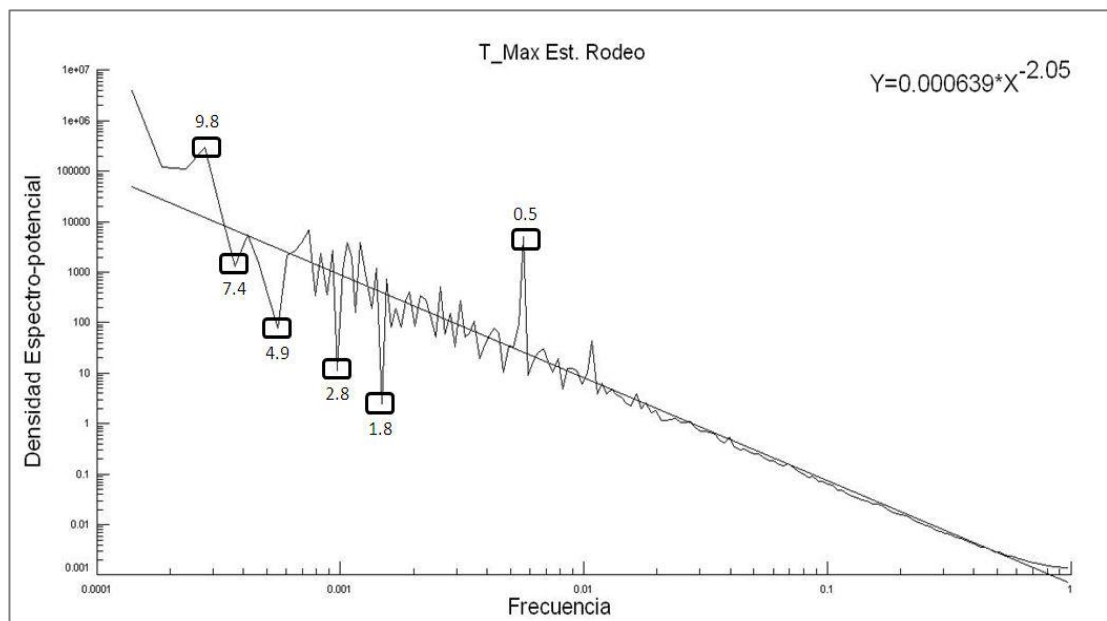


Figura 87. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.

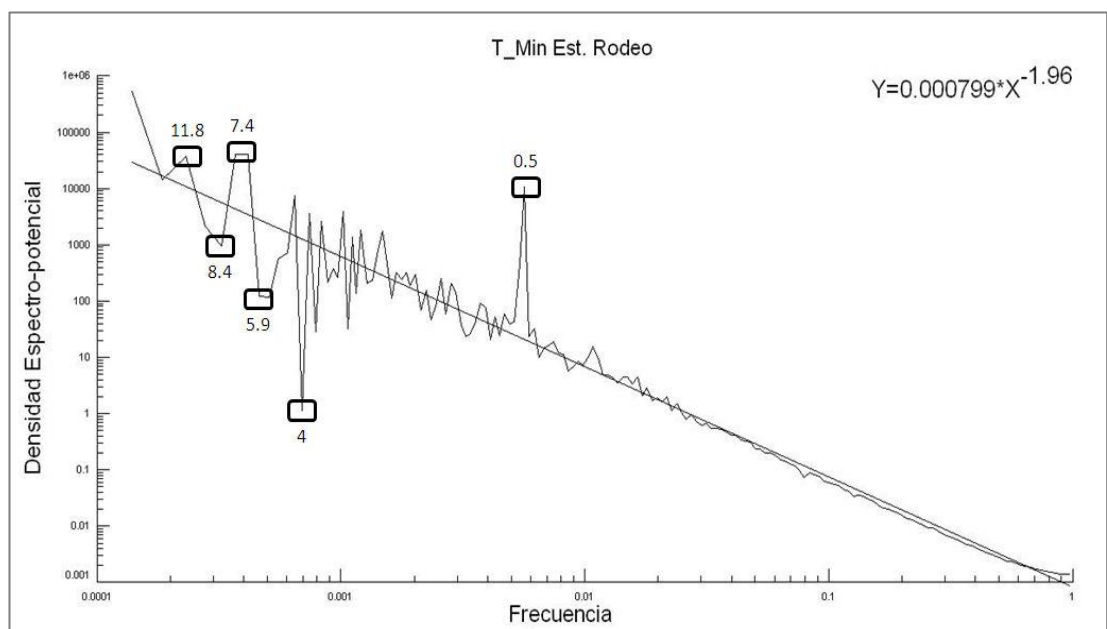


Figura 88. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Rodeo, Rodeo, Durango, Durango, México.

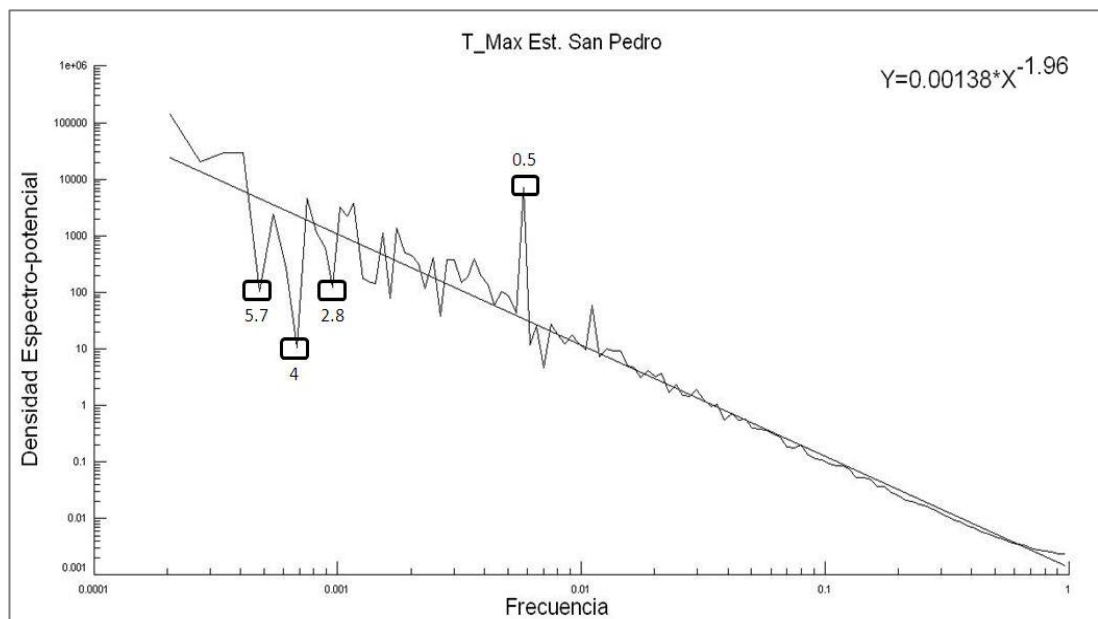


Figura 89. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

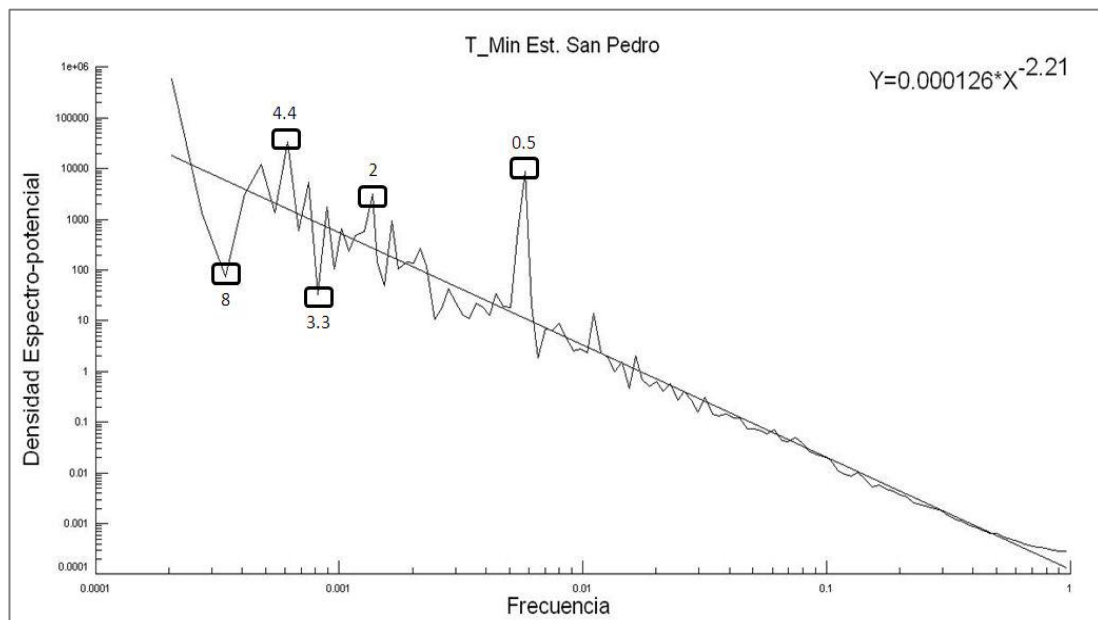


Figura 90. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación San Pedro, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

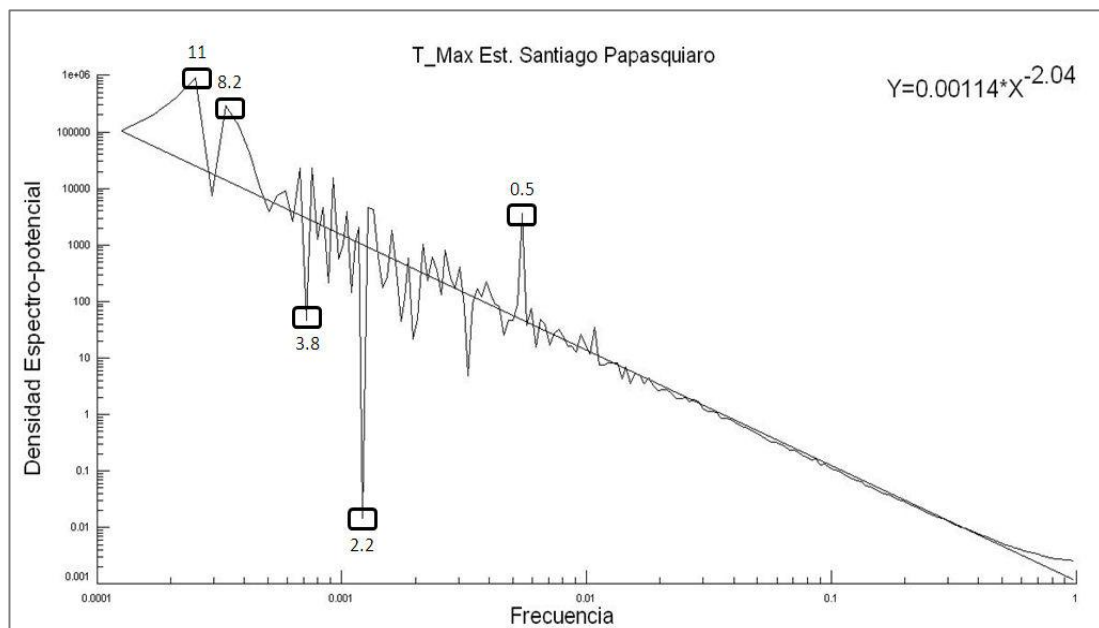


Figura 91. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Santiago Papasquiario, Santiago Papasquiario, Durango, México.

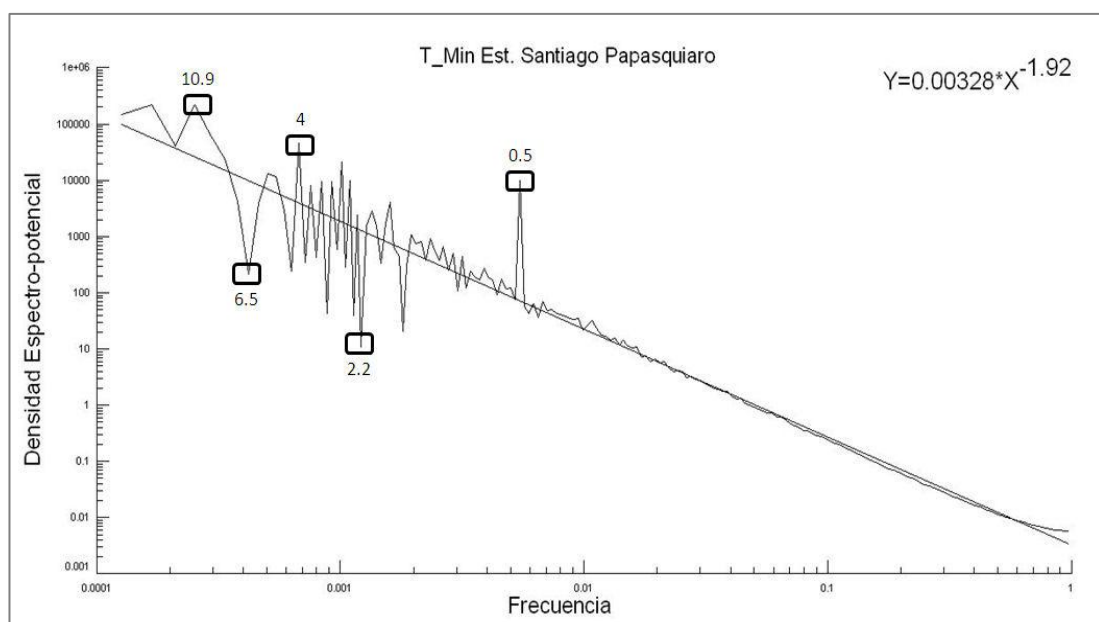


Figura 92. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Santiago Papasquiario, Santiago Papasquiario, Durango, México.

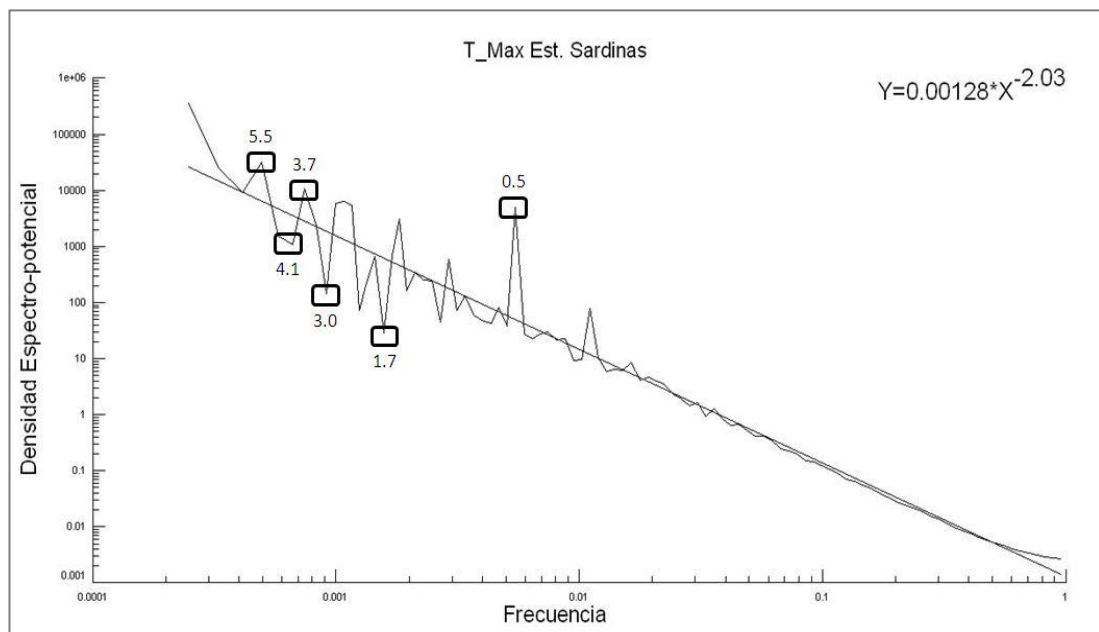


Figura 93. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Sardinas, San Bernardo, Durango, México.

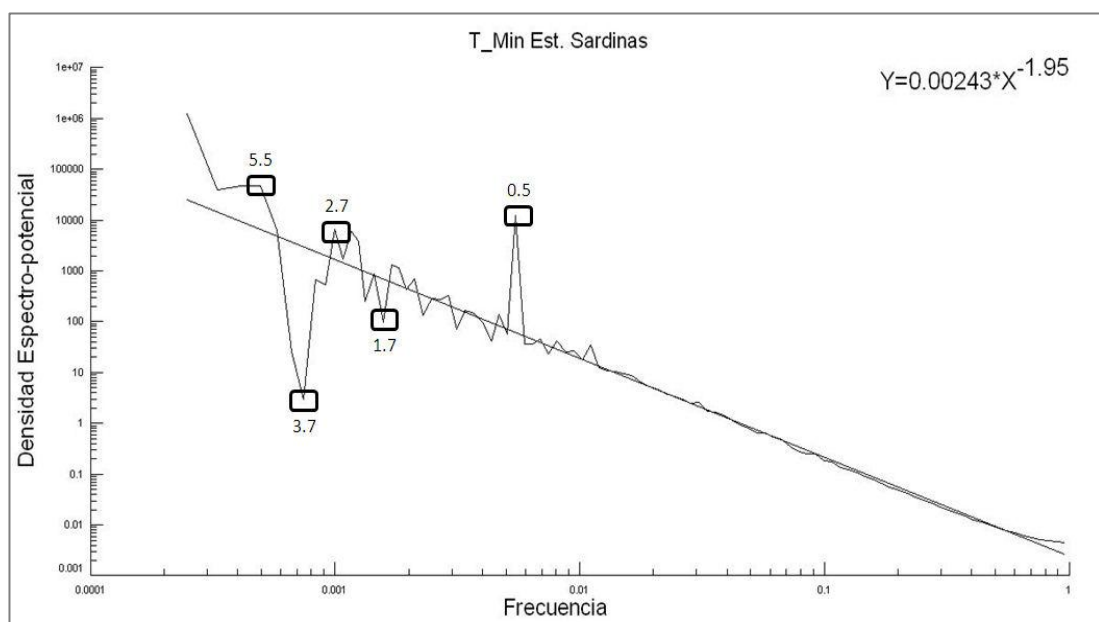


Figura 94. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Sardinas, San Bernardo, Durango, México.

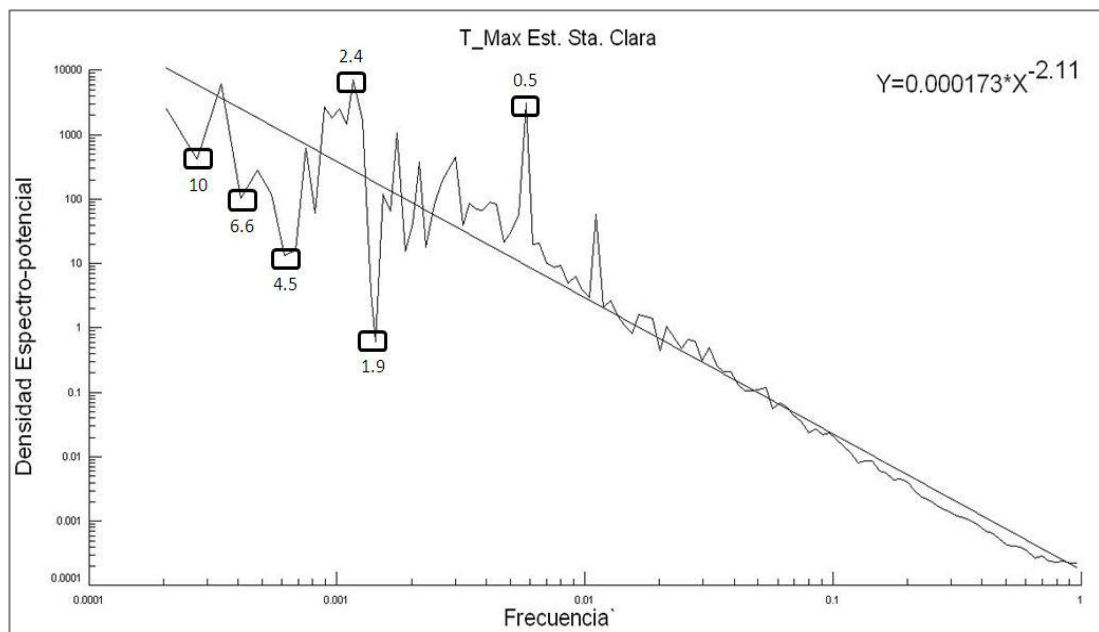


Figura 95. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.

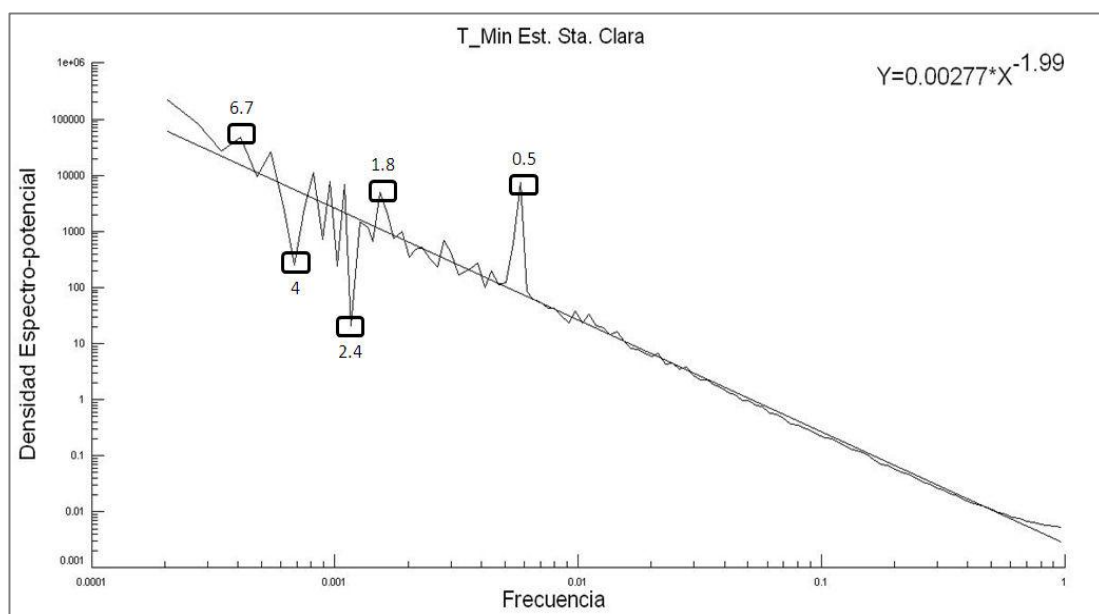


Figura 96. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Santa Clara, Santa Clara, Durango, México.

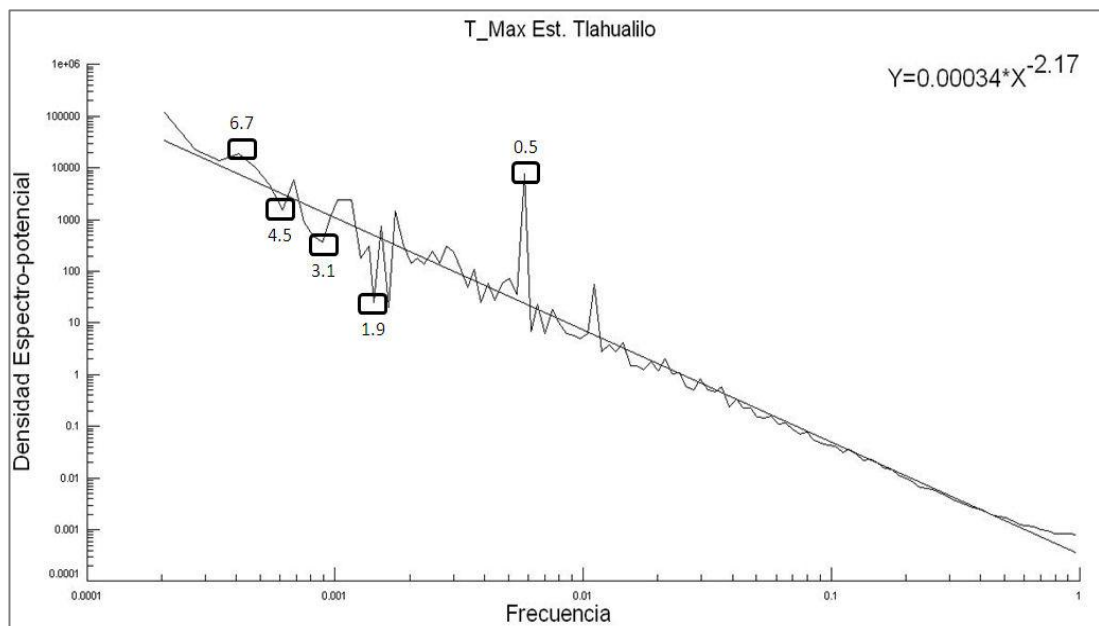


Figura 97. Espectro potencial para la temperatura máxima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.

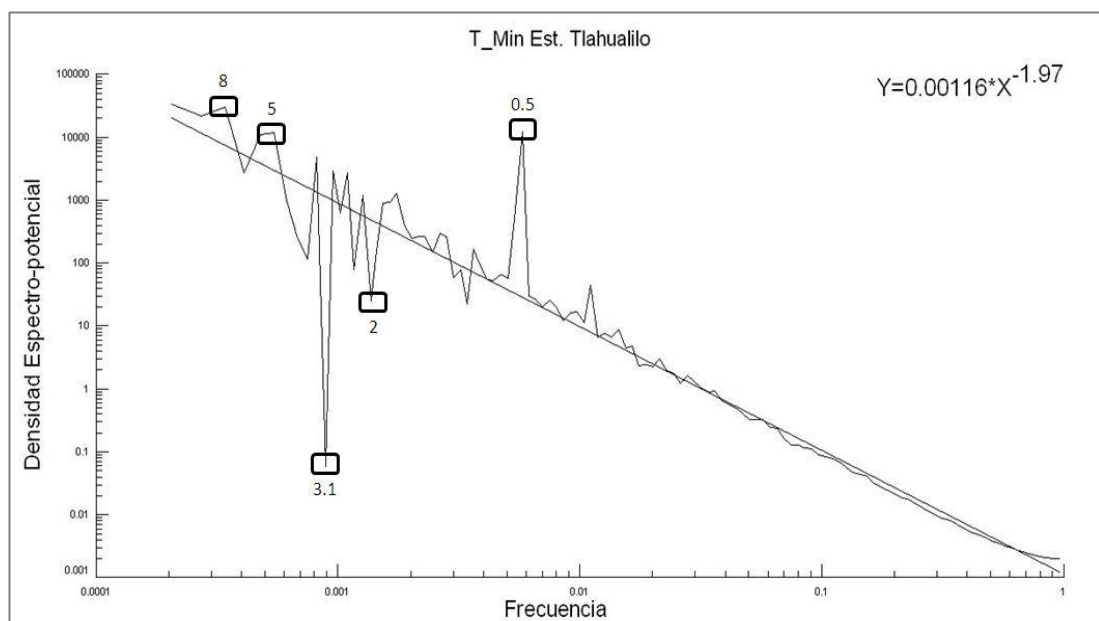


Figura 98. Espectro potencial para la temperatura mínima registrada en la estación Tlahualilo, Tlahualilo, Durango, México.