



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

**“ESTIMACIÓN Y MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE LA RADIACIÓN SOLAR
EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO EN EL AÑO 2012”**

TESIS DE GRADO

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA**

PRESENTADO POR

CRISTINA ESTEFANÍA RAMOS ARAUJO

NATALIA ALEXANDRA PÉREZ LONDO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente por el apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo.

Al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables INER.

Al Dr. Luis Vera Rojas por su valiosa colaboración y asesoramiento en la dirección de la presente tesis.

A la Ing. Isabel Escudero por la aportación con sus conocimientos y miembro de la Tesis.

Al Dr. Celso Recalde, colaborador permanente de la Tesis y por el aporte brindado en la elaboración del trabajo de investigación.

Al Ing. Diego Vaca por el aporte y apoyo incondicional al proyecto de investigación.

DEDICATORIA ESTEFANÍA RAMOS

A Dios porque ha sido mi guía y fortaleza para cumplir mis metas.

A mis padres Ángel y Narciza que me dieron la vida y siempre han estado a mi lado, siendo sus enseñanzas el pilar fundamental.

A mis hermanos Ángeles y Xavier, a mi abuelita Eva, a mis tíos y amigos que me han estrechado su mano en los momentos difíciles.

A los distinguidos docentes de la Facultad de Ciencias por haber compartido sus sabios conocimientos y experiencias durante mi formación.

DEDICATORIA NATALIA PÉREZ

A mis padres por su lucha por mi bienestar, brindándome comprensión, paciencia y toda su confianza en mí.

A mis hermanos Pablo y Mateo (+) por brindarme su apoyo incondicional.

A mis distinguidos docentes de la Facultad de Ciencias por haber compartido sus sabios conocimientos y experiencias durante mi formación.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

FIRMA

FECHA

Ing. César Ávalos
**DECANO (E) DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Dra. Jheny Orbe
**DIRECTORA DE ESCUELA
DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**

Dr. Luis Vera Rojas
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Isabel Escudero
MIEMBRO DE TRIBUNAL

Ing. Eduardo Tenelanda
**COORDINADOR CENTRO
DE DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE TESIS ESCRITA

Yo, Cristina Estefanía Ramos Araujo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

CRISTINA ESTEFANÍA RAMOS ARAUJO

Yo, Natalia Alexandra Pérez Londo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

NATALIA ALEXANDRA PÉREZ LONDO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
°C	Grados Centígrados
He	Heliofanía
HR	Humedad Relativa
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IGM	Instituto Geográfico Militar
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
m/s	Metros sobre segundos
MBH	Modelo Basado en Heliofanía
MBT	Modelo Basado en Temperaturas
MBTV	Modelo Basado en Temperaturas y Velocidad del Viento
mm	Milímetros
Nu	Nubosidad
PA	Presión Atmosférica
PR	Precipitación
RD	Radiación Difusa
RE	Radiación Extraterrestre
REA	Radiación Extraterrestre con Atmósfera
RESA	Radiación Extraterrestre sin Atmósfera
RS	Radiación Solar
RSG	Radiación Solar Global
RT	Radiación Terrestre
Tmax	Temperatura máxima

Tmin	Temperatura mínima
UNACH	Universidad Nacional de Chimborazo
UTM	Sistema de Coordenadas Universal
Vv	Transversal de Mercato
w/m ²	Velocidad del viento
W*h/m ²	Watts sobre metros cuadrados
	Watts por hora sobre metros cuadrados

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
SUMMARY	II
INTRODUCCIÓN	III
ANTECEDENTES.....	IV
JUSTIFICACIÓN	V
OBJETIVOS	VI
GENERAL	VI
ESPECÍFICOS	VI
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Modelos de radiación solar global	1
1.1.1 <i>Modelo de radiación solar basado en heliofanía</i>	1
1.1.2 <i>Modelo de radiación solar basado en temperaturas</i>	1
1.1.3 <i>Modelos basados en temperaturas y otras variables</i>	3
1.1.4 <i>Modelo de Richardson y Reddy</i>	3
1.2 Modelo para la obtención de radiación solar extraterrestre	4
1.3 Validación del modelo	5
1.4 Detección de datos atípicos.....	5
1.4.1 <i>Detección de datos atípicos univariantes</i>	5
1.4.2 <i>Detección de datos atípicos bivariantes</i>	5
1.4.3 <i>Detección de datos atípicos multivariantes</i>	6
1.4.4 <i>Contraste de datos atípicos</i>	6
1.5 Análisis de regresión.....	7
1.5.1 <i>Regresión lineal simple</i>	7
1.5.2 <i>Regresión lineal múltiple</i>	8
1.6 Modelos geoestadísticos.....	8
1.6.1 <i>Tipos de Kriging</i>	9
1.7 Marco legal	10
CAPÍTULO II	11
2. PARTE EXPERIMENTAL	11
2.1 Área de estudio.....	11

2.1.1	<i>Determinación del lugar de muestreo para la obtención de datos meteorológicos</i>	11
2.1.2	<i>Determinación de la muestra para el cálculo de los coeficientes empíricos del modelo</i>	13
2.1.3	<i>Determinación de la muestra para el cálculo del modelo geoestadístico.....</i>	14
2.2	Análisis de datos atípicos	15
2.3	Comprobación de los supuestos de hipótesis	29
2.4	Análisis de correlación	36
2.5	Aplicación de los modelos	37
2.5.1	<i>Modelo de Angstrom – Prescott</i>	37
2.5.2	<i>Modelo de Hargreaves</i>	40
2.5.3	<i>Modelo de García</i>	42
2.5.4	<i>Modelo de Bristow y Campbell</i>	44
2.5.5	<i>Modelo de Hunt</i>	46
2.5.6	<i>Modelo de Richardson Reddy</i>	47
2.6	Validación de los Modelos	48
2.7	Aplicación del modelo de estimación de radiación solar global	48
2.8	Modelación Geoestadística	56
2.9	Técnicas	73
2.10	Planteamiento de Hipótesis	74
CAPITULO III		75
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
3.1	RESULTADOS.....	75
Modelos para estimar radiación solar global.....		80
Coeficientes empíricos obtenidos por los modelos		86
Zonas donde se podría estimar la RSG con los coeficientes encontrados.....		87
Modelo geoestadístico.....		88
3.2	DISCUSIÓN	103
Comprobación de hipótesis		103
CAPITULO IV		104
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
4.1	CONCLUSIONES	104
4.2	RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFÍA		106
ANEXOS		110

ANEXO 1. Datos atípicos de la matriz MBH del año 2009	110
ANEXO 2. Datos sospechosos de ser atípicos correspondientes a la matriz MBH.....	110
ANEXO 3. Datos atípicos de la matriz MBH del año 2010	111
ANEXO 4. Datos atípicos de la matriz MBTV del año 2009.....	111
ANEXO 5. Digitalización de los datos meteorológicos de la estación de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.....	112
ANEXO 6. Datos meteorológicos de la estación de la Facultad Ciencias de la ESPOCH	112
ANEXO 7. Datos de las estaciones meteorológicas del INER	113
ANEXO 8. Datos de las estaciones del INAMHI	113
ANEXO 9. Reporte del software de plagio Urkund.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Estaciones meteorológicas convencionales del INAMHI del año 2012	12
TABLA 2. Estaciones meteorológicas automáticas del INER.....	12
TABLA 4. Descripción de las estaciones meteorológicas de la ESPOCH	13
TABLA 5. Prueba de normalidad de radiación terrestre.....	29
TABLA 6. Prueba de normalidad de temperatura.....	30
TABLA 7. Prueba de normalidad de heliofanía.....	31
TABLA 8. Prueba de normalidad de precipitación.....	32
TABLA 9. Prueba de normalidad de velocidad de viento	33
TABLA 10. Prueba de normalidad de las variables por año.....	34
TABLA 11. Prueba de normalidad multivariante de los datos del año 2009.....	35
TABLA 12. Prueba de normalidad multivariante de los datos del año 2010.....	35
TABLA 13. Prueba de normalidad multivariante de los datos del año 2011.....	35
TABLA 14. Quintiles de correlación	36
TABLA 15. Matriz de correlación de las variables meteorológicas	37
TABLA 16. Coeficientes del modelo de Prescott por año	39
TABLA 17. Coeficientes del modelo de Hargreaves por año.....	42
TABLA 18. Coeficientes del modelo de García por año	44
TABLA 19. Coeficientes del modelo de Campbell por año	45
TABLA 20. Coeficientes para el modelo de Hunt considerando atmósfera	46
TABLA 210. Coeficientes para el modelo de Hunt sin considerar la atmósfera	46
TABLA 221. Coeficientes para el modelo de Richardson Reddy considerando atmósfera	47
TABLA 232. Coeficientes para el modelo de Richardson Reddy sin considerar atmósfera	47
TABLA 24. Coeficientes de correlación y determinación de los modelos estimados	48
TABLA 25. Análisis de varianza para temperatura máxima	49
TABLA 26. Diferencia significativa de Tukey para temperatura máxima	49
TABLA 27. Análisis de varianza para temperatura mínima	50
TABLA 28. Diferencia significativa de Tukey para temperatura mínima.....	51
TABLA 29. Análisis de varianza para precipitación	51
TABLA 30. Diferencia significativa de Tukey para precipitación	52
TABLA 31. Análisis de varianza para velocidad de viento	53
TABLA 32. Diferencia significativa de Tukey para velocidad de viento.....	53
TABLA 332. Análisis de variancia de radiación solar global.....	54
TABLA 343. Diferencia significativa de Tukey para radiación solar promedio	55
TABLA 354. Prueba de normalidad de las estaciones meteorológicas del INER	56
TABLA 36. Prueba de normalidad multivariante de RSG en las estaciones del INER	57
TABLA 37. Coeficientes de correlación y determinación de los modelos de estimación.....	85
TABLA 38. Matriz de correlaciones de las estaciones meteorológicas del INER.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. Mapa de ubicación de las estaciones automáticas en Chimborazo.....	15
GRÁFICO 2. Diagrama de caja de radiación terrestre de la estación de la Facultad de Ciencias	16
GRÁFICO 3. Diagrama de caja de temperatura máxima de la estación de la Facultad de Ciencias.....	16
GRÁFICO 4. Diagrama de caja de temperatura mínima de la estación de la Facultad de Ciencias.....	17
GRÁFICO 5. Diagrama de caja de heliofanía de la estación de la Facultad de Recursos Naturales	17
GRÁFICO 6. Diagrama de caja de precipitación de la estación de la Facultad de Ciencias	17
GRÁFICO 7. Diagrama de caja de velocidad de viento de la estación de la Facultad de Ciencias	18
GRÁFICO 8. Diagrama de líneas de radiación terrestre y radiación extraterrestre.....	19
GRÁFICO 9. Diagrama de líneas de temperatura máxima entre la estación automática y la convencional de la ESPOCH	19
GRÁFICO 10. Diagrama de líneas de temperatura mínima entre la estación automática y convencional de la ESPOCH	20
GRÁFICO 11. Diagrama de líneas de precipitación entre la estación automática y convencional de la ESPOCH	20
GRÁFICO 12. Diagrama de líneas de velocidad de viento entre la estación automática y convencional de la ESPOCH	21
GRÁFICO 13. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y heliofanía	21
GRÁFICO 14. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura máxima.....	22
GRÁFICO 15. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura mínima	22
GRÁFICO 16. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y precipitación.....	23
GRÁFICO 17. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y precipitación sin datos atípicos	23
GRÁFICO 18. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y velocidad de viento	24
GRÁFICO 19. Diagrama de caja múltiple de las estaciones meteorológicas automáticas del INER	27
GRÁFICO 20. Diagrama de líneas de radiación solar terrestre y extraterrestre.....	28
GRÁFICO 21. Diagrama de líneas de radiación solar terrestre y extraterrestre sin datos atípicos	28
GRÁFICO 22. Diagrama de caja múltiple de las estaciones meteorológicas automáticas de la provincia sin datos atípicos	29
GRÁFICO 23. Q-Q e histograma normal de radiación terrestre.....	30
GRÁFICO 24. Q-Q e histograma normal de temperatura	31
GRÁFICO 25. Q-Q e histograma normal de heliofanía.....	32
GRÁFICO 26. Q-Q e histograma normal de precipitación.....	33
GRÁFICO 27. Q-Q e histograma normal de velocidad de viento	34
GRÁFICO 28. Modelo de Angstrom-Prescott considerando atmósfera.....	38
GRÁFICO 29. Modelo de Angstrom- Prescott sin considerar atmósfera.....	39

GRÁFICO 30. Modelo de Hargreaves considerando atmósfera.....	40
GRÁFICO 31. Modelo Hargreaves sin considerar atmósfera.....	41
GRÁFICO 32. Modelo de García considerando atmósfera	42
GRÁFICO 33. Modelo de García sin considerar atmósfera	43
GRÁFICO 34. Modelo de Bristow y Campbell considerando atmósfera.....	44
GRÁFICO 35. Modelo de Bristow y Campbell sin considerar atmósfera.....	45
GRÁFICO 36. Diferencia significativa de Tukey para temperatura máxima	50
GRÁFICO 37. Diferencia significativa de Tukey para temperatura mínima.....	51
GRÁFICO 38. Diferencia significativa de Tukey para precipitación	52
GRÁFICO 39. Diferencia significativa de Tukey para velocidad de viento.....	54
GRÁFICO 40. Diferencia significativa de Tukey para radiación solar promedio	55
GRÁFICO 41. Variograma experimental de insolación de enero.....	57
GRÁFICO 42. Variograma experimental insolación febrero	58
GRÁFICO 43. Variograma experimental insolación de marzo	58
GRÁFICO 44. Variograma experimental radiación promedio de enero.....	58
GRÁFICO 45. Variograma experimental de radiación promedio febrero.....	59
GRÁFICO 46. Variograma experimental de radiación promedio marzo	59
GRÁFICO 47. Variograma promedio trimestral de radiación	59
GRÁFICO 48. Variograma insolación trimestral de radiación.....	60
GRÁFICO 49. Radiación solar promedio para el año 2012	61
GRÁFICO 50. Mapa de radiación promedio de Enero	62
GRÁFICO 51. Mapa de radiación promedio de Febrero	63
GRÁFICO 52. Mapa de promedio de radiación de Marzo	64
GRÁFICO 53. Mapa de radiación promedio trimestral.....	65
GRÁFICO 54. Mapa de insolación de Enero.....	66
GRÁFICO 55. Insolación del mes de Febrero	67
GRÁFICO 56. Insolación del mes de Marzo	68
GRÁFICO 57. Insolación trimestral	69
GRÁFICO 58. Promedio de radiación trimestral en superficie 3D	70
GRÁFICO 59. Insolación trimestral en superficie 3D.....	70
GRÁFICO 60. Mapa de curvas de nivel de Chimborazo.....	71
GRÁFICO 61. Mapa de curvas de nivel	71
GRÁFICO 62. Mapa de curvas de nivel de la provincia de Chimborazo	72
GRÁFICO 63. Diagramas de caja de las variables meteorológicas limpias de atípicos.....	76
GRÁFICO 64. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y heliofanía	77
GRÁFICO 65. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura máxima.....	77
GRÁFICO 66. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura mínima	78
GRÁFICO 67. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y precipitación sin datos atípicos	78
GRÁFICO 68. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y velocidad de viento	79
GRÁFICO 69. Diagrama de cajas múltiple de las variables meteorológica del INER limpias de atípicos	80
GRÁFICO 70. Modelo de Angstrom-PreScott considerando atmósfera.....	81
GRÁFICO 71. Modelo de Hargreaves considerando atmósfera.....	82
GRÁFICO 72. Modelo de García considerando atmósfera	83

GRÁFICO 73. Modelo de Bristow y Campbell considerando atmósfera.....	84
GRÁFICO 74. Mapa de radiación promedio del año 2012 de Chimborazo	89
GRÁFICO 75. Mapa de radiación promedio de Enero	91
GRÁFICO 76. Mapa de radiación promedio de Febrero	92
GRÁFICO 77. Mapa de promedio de radiación de Marzo	93
GRÁFICO 78. Mapa de radiación promedio trimestral	94
GRÁFICO 79. Mapa de insolación de Enero.....	95
GRÁFICO 80. Insolación del mes de Febrero	96
GRÁFICO 81. Insolación del mes de Marzo	97
GRÁFICO 82. Insolación trimestral	98
GRÁFICO 83. Promedio de radiación trimestral en superficie 3D	99
GRÁFICO 84. Insolación trimestral en superficie 3D.....	100
GRÁFICO 85. Mapa de curvas de nivel de Chimborazo.....	101
GRÁFICO 86. Mapa de curvas de nivel de la provincia	101
GRÁFICO 87. Mapa de curvas de nivel de la provincia de Chimborazo	102

RESUMEN

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología no registra datos de radiación solar global, por ello esta investigación está basada en la estimación y modelación geoestadística de la radiación solar en la provincia de Chimborazo durante el año 2012. La investigación se llevó a cabo con el apoyo del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente de la ESPOCH. Empleando métodos estadísticos univariantes y multivariantes se detectaron datos atípicos inmersos en la muestra, mediante un análisis de regresión lineal simple y múltiple se obtuvieron los coeficientes estimados del modelo de radiación solar y finalmente se utilizó el método geoestadístico kriging ordinario para la modelación espacial de radiación solar global. Se determinó que el mejor modelo de regresión para estimar radiación solar global en la ciudad de Riobamba es el modelo de Ansgtrom-Prescott basado en heliofanía que explica aproximadamente el 80% de la variabilidad total de la radiación solar global, y el mejor modelo geoestadístico para estimar dicha radiación es el kriging ordinario lineal que explica aproximadamente el 68% de la variabilidad espacial de radiación. Se concluyó que se puede estimar la radiación solar global con el modelo de Ansgtrom-Prescott y el modelo kriging ordinario para la modelación geoestadística, sin embargo se recomienda que las zonas en donde se aplique el modelo de Ansgtrom-Prescott tengan características topográficas similares a aquellas de la ciudad de Riobamba.

SUMMARY

The National Institute of Meteorology and Hydrology is no recording global solar radiation data, therefore this research is based on estimation and geostatistical modeling of solar radiation in the province of Chimborazo in 2012. With the support of Group of Alternative Energy and Environment of ESPOCH. This research was carried out by using statistical methods like univariate and multivariate in order to detect outliers inside the sample, by means of simple and multiple linear regression analysis to obtain estimated coefficients for solar radiation model and finally ordinary kriging geostatistical method was used for spatial modeling of global solar radiation. It was determined that the best regression model for estimating global solar radiation in Riobamba city is the Angstrom- Prescott model based on heliophany which explains approximately 80% of total variability from global solar radiation, and the best geostatistical model is lineal ordinary kriging which explains approximately 68% of spatial variability from radiation. It was concluded that it can estimate the global solar radiation with the Angstrom-Prescott model and an ordinary linear kriging model for the geostatistical modeling, however it is recommended that the area where the Prescott model is applied, should have topographical characteristics like Riobamba city.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de la vida enmarcados al desarrollo son efectuados por la energía, no obstante la energía que mueve a todo el planeta se debe al sol, por ello es relevante medir este recurso renovable amigable con el ambiente.

Sin embargo este recurso ha sido medido por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en pocas zonas de la provincia de Chimborazo y en cortos períodos de tiempo, existiendo escasa información para conocer la cantidad real de radiación solar global que llega a la superficie de la Tierra.

De la misma manera por la cantidad pequeña de estaciones meteorológicas que miden el recurso solar se ha convertido en un problema trascendental por mucho tiempo conocer el comportamiento espacial de radiación solar sobre el área de Chimborazo.

Para ello en este trabajo de investigación se ha propuesto varios modelos para estimar radiación solar en base a variables meteorológicas cuya información está disponible en estaciones meteorológicas de la ESPOCH, de la Facultad de Ciencias, una estación automática con datos del período 12 de junio de 2007 al 18 de abril de 2012, y de la Facultad de Recursos Naturales, una estación convencional con datos desde el año 1982; cabe recalcar que también se ha recolectado información de 13 estaciones meteorológicas que forman parte de una red de estaciones meteorológicas en la provincia de Chimborazo que lidera la SENESCYT, el INER y la ESPOCH.

Se ha realizado un análisis univariante, bivariante y multivariante para detectar la posible presencia de datos atípicos en la muestra, que de existir alterarían los resultados del estudio. Se ha determinado modelos basados en heliofanía, temperatura y velocidad de viento que estiman la radiación solar terrestre, sin embargo también se obtuvo el modelo Geoestadístico que nos indica el comportamiento espacial de la radiación solar en la provincia de Chimborazo.

ANTECEDENTES

La energía que se utiliza en la Tierra proviene principalmente del sol, por este motivo el hombre ha querido aprovechar este recurso para el desarrollo de sus actividades. Por ello, el INAMHI ha instalado dispositivos de heliógrafos tipo Campbell Stokes que miden el total de horas sol que se recibe.

En Ecuador, la National Renewable Energy Laboratory (NREL) generó la información base para el desarrollo del “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, elaborada por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). En este documento se muestran los mapas de Insolación Global, Insolación Difusa e Insolación Directa con sus diferentes isohelias, basados en el modelo. (Mayers, 2013)

El objetivo fue evaluar la radiación solar para ubicar los sitios que permitan ubicar proyectos locales más específicos que permitan utilizar la tecnología solar para obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones. (CONELEC, 2008)

En la ESPOCH se han realizado diferentes proyectos de investigación en donde el recurso solar se ha utilizado para el diseño e implementación de sistemas de calentamiento solar de agua y generación fotovoltaica de electricidad. (Chavez, 2013), (Llingín & Tinajero, 2010), (Martínez, 2011)

Por otro lado, el INER, la SENESCYT y la ESPOCH, a principios del 2014, instaló estaciones meteorológicas cubriendo diferentes zonas en la provincia de Chimborazo, en donde están 2 piranómetros de tipo CMP6 con un rango de 0 a 1500 W/m² con un intervalo de medición de 10 segundos que miden radiación global y difusa conectada a una red que transmite estos datos cada hora a un repositorio.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene relevancia significativa debido a que los métodos geoestadísticos son una herramienta de gran utilidad en la modelación e interpretación de fenómenos como radiación solar con fines de investigación energética. La variable Radiación Solar Global (RSG) no es medida en las estaciones meteorológicas dirigidas por el INAMHI, por lo que nace la necesidad de estimar esta variable dependiente en base a otras variables meteorológicas, siendo las siguientes las más relevantes: Heliofanía (He), Temperatura Ambiente, Humedad Relativa (HR) y Nubosidad (Nu). Todas las correlaciones propuestas se han calculado a partir de datos simultáneos de las variables meteorológicas consideradas.

Adicionalmente el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) respalda la iniciativa, puesto que está enmarcado dentro del proyecto: “MÉTODOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y COMPLETACIÓN DE DATOS FALTANTES EN PARÁMETROS METEOROLÓGICOS RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES”, que se lleva en conjunto con la ESPOCH por medio del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente que motiva al desarrollo de la investigación del recurso solar para encontrar solución a problemas y la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) de Cuenca. De esta forma se podrá conocer el comportamiento de la variable radiación solar para medir el potencial energético en la provincia de Chimborazo.

Es importante indicar que el uso de la energía solar ha aumentado en todo el mundo con tecnologías dirigidas al aprovechamiento de fuentes energéticas limpias y amigables con el ambiente reemplazando los combustibles fósiles motivada por las preocupaciones ambientales.

OBJETIVOS

GENERAL

- Estimar la radiación solar y modelar mediante métodos geoestadísticos su comportamiento en la provincia de Chimborazo en el año 2012.

ESPECÍFICOS

- Definir y depurar la base de datos de las regiones geográficas donde están ubicadas las estaciones meteorológicas.
- Identificar los factores relevantes que influyen en la radiación solar para su estimación.
- Realizar el análisis geoestadístico para la construcción del modelo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Modelos de radiación solar global

1.1.1 Modelo de radiación solar basado en heliofanía

El modelo de Angstrom-Prescott determinado por el coeficiente de transmisibilidad atmosférica está basado en He. Mostrándose en la siguiente ecuación:

$$\frac{RT}{RE} = a_p + b_p \frac{n}{N} \quad (1)$$

donde:

$RT =$ Radiación Terrestre

$RE =$ Radiación Extraterrestre

$a_p + b_p =$ Coeficientes empíricos

$n =$ Total de Brillo Solar Experimental

$N =$ Total de Brillo Solar Teórico

Este modelo es muy utilizado ya que inició por Angstrom en 1924 fue modificado por Prescott en 1940, y es utilizado hasta en recientes investigaciones, está determinado como el modelo de mejor precisión para estimar radiación solar. (Badescu, 2008), (Baigorria & Villeas, 2004), (Bakirci, 2009), (Ajayi & otros, 2013), (Evrendilek & Ertekin, 2007)

1.1.2 Modelo de radiación solar basado en temperaturas

La relación de temperatura con radiación solar se da en la variación de temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) diaria. Esta relación está enmarcada en el calor sensible y latente, el calor sensible depende de la radiación solar que entra a la atmósfera por ello se presenta la Tmax y en las noches el calor latente se dispersa con una amplia longitud

de onda en el espacio, este fenómeno físico y la disponibilidad de información, se ha propuesto los siguientes modelos:

1.1.2.1 Modelo de Hargreaves

Propuesto por Hargreaves y Samani (1982), es un modelo de regresión lineal entre la relativa radiación solar y la raíz cuadrada de ΔT :

$$\frac{RT}{RE} = a_H + b_H \Delta T^{0.5} \quad (2)$$

1.1.2.2 Modelo de García

Propuesto por García (1994), este modelo es una adaptación de Angstrom-Prescott:

$$\frac{RT}{RE} = a_G + b_G \frac{\Delta T}{N} \quad (3)$$

donde:

RT = Radiación Terrestre

RE = Radiación Extraterrestre

$a + b$ = Coeficientes empíricos

ΔT = Diferencia de temperaturas: $T_{max} - T_{min}$

N = Total de Brillo Solar Teórico

1.1.2.1 Modelo de Bristow-Campbell

Este modelo fue propuesto por Bristow y Campbell (1984) con el cual se estima la cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre como una función de la diferencia entre la máxima y mínima temperatura:

$$\frac{R_T}{R_E} = a_B [1 - \exp(-b_B \Delta T^{c_B})] \quad (4)$$

donde a_B , b_B y c_B son coeficientes determinados por el análisis de regresión, cabe recalcar que el coeficiente a_B representa el máximo valor de transmitancia atmosférica y

los coeficientes b_B, c_B determinan el efecto de incremento en ΔT . Estos modelos son representativos a nivel mundial por ser la temperatura un parámetro registrado en todas las estaciones meteorológicas. (Badescu, 2008), (Bakirci, 2009), (Ajayi & otros, 2013), (Evrendilek & Ertekin, 2007), (Mayers, 2013)

1.1.3 Modelos basados en temperaturas y otras variables

En la estimación de radiación solar basándose en temperaturas se ha establecido que estos modelos mejoran al añadir otras variables como precipitación o velocidad de viento, estas variables tienen una relación lineal con radiación.

1.1.3.1 Modelo de Hunt

Hunt ha demostrado que usando las variables meteorológicas como Tmax, Tmin, PR, junto con la RE, es bastante factible utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{RT}{RE} = a_H + b_H(\Delta T)^{0.5} + c_H T_{max} + d_H PR + e_H PR^2 \quad (5)$$

donde a_H, b_H, c_H, d_H, e_H son coeficientes empíricos obtenidos de un análisis de regresión múltiple.

1.1.4 Modelo de Richardson y Reddy

Richardson y Reddy introdujeron a los modelos anteriores la variable de velocidad de viento y determinaron el modelo:

$$\frac{RT}{RE} = a_R + b_R T_{min} + c_R T_{max} + d_R PR + e_R Vv \quad (6)$$

donde a_R, b_R, c_R, d_R, e_R son coeficientes empíricos determinados por una regresión lineal múltiple. Estos modelos han sido aplicados en diferentes investigaciones pues las variables son comunes y disponibles. (Almorox, 2009)

1.2 Modelo para la obtención de radiación solar extraterrestre

Para la obtención de la radiación solar extraterrestre, conocemos que el sol emite energía, la forma que toma esta energía es de una onda, y hace un largo recorrido para llegar a la superficie terrestre atravesando la atmósfera, partículas y las nubes del cielo, de toda esta energía solo un pequeño porcentaje llega a la superficie terrestre.

Para calcular la cantidad del recurso solar que emite este cuerpo celeste se considera que la cantidad de energía emitida es constante, se toma en cuenta la distancia de la Tierra al sol en su trayectoria alrededor del sol que es de aproximadamente 365 días. Tomando esta consideración se ha determinado la radiación extraterrestre por la ecuación de Spencer con sus respectivas correcciones:

$$G_{on} = G_{sc}(1.000110 + 0.034222\cos B + 0.001280\sin B + 0.000719\cos 2B + 0.000077\sin 2B) \quad (7)$$

De la misma manera cuando la Tierra Gira alrededor del sol, existe una inclinación para delante o para atrás, que dura aproximadamente 3 meses, los cuales son determinados por las estaciones climáticas, en nuestra zona horaria por estar cerca de la línea ecuatorial, esta inclinación varía alrededor de 20 minutos entre el día más largo y más corto, siendo 12 el total aproximado de horas sol que se recibe.

Del mismo modo como la ecuación 7, el movimiento angular que toma el sol de este a oeste por el movimiento de la Tierra, se tiene la siguiente ecuación que toma en cuenta el movimiento angular que toma el sol de norte a sur por el movimiento de la Tierra. (Badescu, 2008), (Duffie & Beckman, 2013)

$$\delta = \left(\frac{180}{\pi}\right)(0.006918 - 0.399912\cos B + 0.070257\sin B - 0.006758\cos 2B + 0.000907\sin 2B - 0.002697\cos 3B + 0.00148\sin 3B) \quad (8)$$

1.3 Validación del modelo

Los modelos descritos en el apartado 1.1, fueron validados con el coeficiente de determinación R^2 , las relaciones lineales determinadas por el coeficiente de correlación.

1.4 Detección de datos atípicos

Las observaciones que parecen ser distintos a las demás ya sea por errores en la medición, transcripción, cambios en el instrumento, son llamados datos anómalos, éstos son un problema pues distorsionan las medias y desviaciones típicas de las variables y destruyen las relaciones existentes entre ellas.

1.4.1 Detección de datos atípicos univariantes

Para detectar datos anómalos univariantes una técnica visual utilizada es mediante gráficas de caja, ya que estas son muy útiles para identificar posibles datos anómalos, además se conoce que la curtosis es un indicador muy sensible ante la presencia de anómalos, ayudándonos a identificarlos a medida que este varíe drásticamente, por ello se utiliza el siguiente algoritmo basado en la mediana y la meda, donde se detecta los valores extremos.

$$\frac{|x_i - med(x)|}{MEDA(X)} > 4 \text{ o } 5 \quad (9)$$

Si los datos superaban estos valores se los considera atípicos.

1.4.2 Detección de datos atípicos bivariantes

Para detectar atípicos bivariantes se realiza diagramas de dispersión en pares de variables y así observar gráficamente si existen pares de observaciones muy alejados del conjunto de datos.

1.4.3 *Detección de datos atípicos multivariantes*

Para detectar atípicos multivariantes una solución propuesta por Peña y Prieto (2001) es proyectar los datos sobre direcciones específicas de manera que tienen alta probabilidad de mostrar los atípicos. El coeficiente de curtosis es un indicador ya que este aumenta en presencia de pequeños grupos de atípicos. Por esta razón se calcula las direcciones donde los puntos proyectados tengan máxima y mínima curtosis.

Se considera como sospechosos aquellos puntos que en cualquiera de las $2p$ direcciones estén alejados del resto y esto se verifica con la ecuación:

$$\frac{|y_i^{(j)} - \text{med}(y^{(j)})|}{\text{Meda}(y^{(j)})} > 5 \quad (10)$$

Una vez que se haya identificado a todos los sospechosos, se obtiene el vector de medias y la matriz de covarianzas de los datos limpios y las distancias de Mahalanobis de los datos sospechosos con:

$$d_R^2(x_i, \bar{x}_R) = (x_i, \bar{x}_R) S_R^{-1} (x_i, \bar{x}_R)' \quad (11)$$

Se considera atípicos a los valores cuyas distancias del vector de medias sean mayores que $p + 3\sqrt{2p}$, siendo p el valor promedio de las distancias de Mahalanobis, y el resto se regresará a la base de datos. Los datos determinados como atípicos se estudiarán minuciosamente para determinar sus causas. (Peña, Análisis de Datos Multivariantes, 2002)

1.4.4 *Contraste de datos atípicos*

Para contrastar si una observación de una muestra de datos es atípica se prueba la hipótesis nula que el dato viene de la misma población normal y la hipótesis alternativa que el dato sospechoso ha sido generado por otra población desconocida.

Para aplicar este contraste se establece:

$$H_0: E(x_i) = \mu_i = \mu$$

frente a

$$H_1: E(x_i) = \mu_i \neq \mu$$

donde el estadístico de prueba es:

$$\lambda = n * \log \frac{|T|}{|W_{(i)}|} \quad (12)$$

y

$$\frac{|T|}{|W_{(i)}|} = 1 + \frac{1}{n} D^2(x_i, \bar{x}_{(i)}) \quad (13)$$

donde

$$D^2(x_i, \bar{x}_{(i)}) = (x_i, \bar{x}_{(i)})' S_{(i)}^{-1} (x_i, \bar{x}_{(i)}) \quad (14)$$

Por lo tanto para este test se calcula las distancias de Mahalanobis de los datos sospechosos y se los ordena y se contrasta si el más próximo puede incorporarse a la muestra, si se rechaza esta incorporación todos los datos sospechosos son declarados atípicos, caso contrario se incorpora el dato y se vuelven a calcular los parámetros y las distancias de Mahalanobis y se aplica de nuevo el procedimiento.

1.5 Análisis de regresión

1.5.1 Regresión lineal simple

La regresión lineal simple se utiliza cuando tenemos una variable dependiente Y y una variable independiente X que se cree tiene influencia en Y . Se puede escribir el modelo de regresión lineal simple como sigue:

$$Y = a + bX + \varepsilon_i \quad (15)$$

donde: ε_i es el error aleatorio que necesariamente debe tener una media de cero. De la misma manera se obtendrá el modelo de regresión lineal estimado:

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}X \quad (16)$$

donde \hat{a} y \hat{b} son estimaciones de los parámetros determinadas por el conjunto de datos.

Método de mínimos cuadrados

Por medio de este método se encuentra las estimaciones \hat{a} y \hat{b} de a y b de modo que la suma de los cuadrados de los residuos sea mínima. Estos coeficientes se los calcula por las fórmulas:

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (17)$$

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \quad (18)$$

1.5.2 Regresión lineal múltiple

La regresión múltiple es utilizada cuando se tiene una variable dependiente Y , y varias variables independientes. El modelo de regresión múltiple se toma como una función lineal:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (19)$$

donde ε es el error aleatorio. De aquí se obtiene el modelo de regresión estimado:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \dots + \hat{\beta}_k X_k \quad (20)$$

que es utilizado para realizar estimaciones. (Walpole, 1999)

1.6 Modelos geoestadísticos

Las relaciones espaciales de las variables es importante estudiarlas para conocer el comportamiento espacial de muchos fenómenos físicos por medio de métodos estadísticos y probabilísticos para poder predecirlos.

El kriging es un método nombrado así por su creador Danie G. Krige donde se considera una estimación muy robusta ya que se basa en la función continua que explica el comportamiento de la variable en las distintas direcciones del espacio. (Gallardo, 2006)

1.6.1 Tipos de Kriging

1.6.1.1 Kriging simple

El modelo establecido en este caso es igual a la media más un error aleatorio con media cero. La diferencia es que en este caso los errores no son independientes. El predictor de la variable de estudio es:

$$Z^*(x_0) = m + [\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)] = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) \quad (21)$$

1.6.1.2 Kriging ordinario

El método kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias así:

$$\begin{aligned} Z^*(x_0) &= \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots + \lambda_n Z(x_n) \\ &= \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \end{aligned} \quad (22)$$

en donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable.

1.6.1.3 Kriging universal

Este tipo de kriging se lo utiliza cuando los datos presentan una tendencia fuerte, no se puede considerar a la media como constante y la ecuación es:

$$m(x) = \sum_{j=0}^k a_j(x) f_j(x) \quad (23)$$

Esos son los modelos más utilizados en la geoestadística. (Benavides, Montes, & otros, 2007), (Gallardo, 2006), (Giraldo Henao, 2003), (Rehman & Saleem, 2000)

1.7 Marco legal

El presente trabajo de investigación se busca la obtención de energías renovables, basándose en el aprovechamiento del recurso solar y que además se halla enmarcada dentro de la Constitución de la Republica del Ecuador, Titulo VII, Regimen del Buen Vivir, Capítulo segundo, Sección séptima, (Ecuador-Constitución, 2008):

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

También la presente tesis tiene su reflejo inmediato en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013- 2017. De acuerdo a las políticas y lineamientos estratégicos del Plan Nacional del Buen Vivir, los objetivos de interés son, (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017):

Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global. Con sus concernientes literales: 7.7.a, 7.7.b, 7.7.c, 7.7.d, 7.8.b, 7.8.f, 7.10.h

Objetivo 10. Impulsar la transformación de la matriz productiva.

Objetivo 11. Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica. Con sus concernientes literales: 11.1b, 11.1d, 11.1h, 11.1.i, 11.1.j, 11.1.t; 11.2.1 y 11.5.j.

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Área de estudio

La provincia de Chimborazo se encuentra entre una altura de 156 m en el cantón Cumandá hasta los 6310 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) que corresponde a la cumbre del volcán Chimborazo en donde los asentos poblacionales están de 2200 a 3300 m.s.n.m, con una extensión territorial cercana a los 6500 km² según el Instituto Geográfico Militar (IGM). Esta descripción altitudinal da origen a grandiosos paisajes como el 80.73% del Parque Nacional Sangay ya que el uso de suelo está enmarcado en un 57.16% en bosques y un 9.3% en cultivos. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chimborazo, 2011)

La vegetación de páramo es de 31.25%, seguidos de cultivos de altura con un 16.20%, drenados por la cuenca del río Pastaza y Guayas y la subcuenca del río Chambo y la microcuenca del río Chanchan que son las más contribuyentes, sin embargo la contaminación fuerte sólo cubre un 19% contra el 46.71% del territorio sin contaminación. Cubierto con el 58.73% de un clima ecuatorial de alta montaña, con un 23.85% de clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo y el 12% de clima ecuatorial mesotérmico seco y el resto con un clima nieval y tropical. Tiene una población total de 458581 habitantes, según datos del Censo de población y vivienda 2010 del (INEC). (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chimborazo, 2011)

2.1.1 Determinación del lugar de muestreo para la obtención de datos meteorológicos

Según el INAMHI en la provincia de Chimborazo se ha establecido 72 estaciones de las cuales 50 son meteorológicas y 22 son hidrológicas, de éstas, 20 están en funcionamiento y de éstas se ha logrado recopilar los datos de 5 estaciones ya que éstas poseen los datos de las variables: He, Tmax, Tmin, PR, Vv. Se ha recolectado información sólo de estas cinco porque son las únicas que presentan continuidad de datos en el año 2012, las demás

constan con información aleatoria en periodos de tiempo diferentes. En la siguiente tabla se muestra el código, el nombre, latitud y longitud de las estaciones meteorológicas de las cuales se ha recolectado los datos para este estudio.

TABLA 1. Estaciones meteorológicas convencionales del INAMHI del año 2012

Código de la estación	Nombre de la estación	Coordenadas(UTM)		Altitud (m.s.n.m)
		Longitud	Latitud	
M0133	Guaslán	760216E	9809636N	2850
M0136	Chunchi	730920E	9748346N	2177
M1036	ESPOCH	757545E	9817389N	2740
M1130	Shiry XII	750304E	9795360N	3028
M1209	Totorillas	753371E	9777104N	3210

Fuente: INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Además se recolectó información de 13 estaciones meteorológicas automáticas que forman parte de la red de estaciones meteorológicas de la provincia de Chimborazo que han estado midiendo el recurso solar desde noviembre del 2013 alrededor de la provincia de Chimborazo.

TABLA 2. Estaciones meteorológicas automáticas del INER

No	Nombre de la estación	Coordenadas (UTM)		Altura (m.s.n.m)
		Longitud	Latitud	
1	San Juan	746596E	9818849N	3232
2	Quimiag	770084E	9816393N	2709
3	Urbina	754533E	9835326N	3642
4	Multitud	722699E	9764910N	1483
5	Cumandá	706262E	9755580N	331
6	ESPOCH	758398E	9816965N	2754
7	Tunshi	764087E	9806678N	2840
8	Alao	773499E	9793173N	3064
9	Pistishí	749112E	9761342N	3571
10	Atillo	772610E	9758048N	3467
11	Unach	762268E	9817296N	2820
12	Achupallas	748006E	9747233N	3376
13	Jubal	756205E	9734269N	3462

Fuente: INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

2.1.2 *Determinación de la muestra para el cálculo de los coeficientes empíricos del modelo*

En el año 2007 se instaló una estación meteorológica automática en la Facultad de Ciencias; en la Facultad de Recursos Naturales ya existía una estación convencional instalada por el INAMHI en el año de 1982; cabe indicar que las estaciones están ubicadas en la zona andina, en el hemisferio sur, en un sitio regular, libre de obstrucciones externas y viable para el mantenimiento y monitoreo, con las siguientes características:

TABLA 3. Descripción de las estaciones meteorológicas de la ESPOCH

Tipo de estación	Longitud (UTM)	Latitud (UTM)	Altura (m.s.n.m)	Instrumentos	Registro datos	calibración
Ciencias (Automática)	758398E	9816967N	2853	Piranómetro	Data logger NRG Symphonie	Error típico del 5%
				Pluviómetro		
				Termómetro		
				Anemómetro		
Recursos Naturales (Convencional)	757545E	9817389N	2853	Heliógrafo	En registros validados por el INAMHI	Error típico del 5%
				Termómetro		

Fuente: INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

La distancia que separa a estas estaciones es de 954 m aproximadamente. Cabe recalcar que la estación convencional está registrada por el INAMHI con No 14, código MA10, de donde se obtiene también datos de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, punto de rocío, nubosidad, precipitación, velocidad y dirección de viento archivadas manualmente según las horas sinópticas 07h00, 10h00, 13h00, 16h00 y 19h00, y datos de horas sol, los cuales fueron digitalizados desde los registros. Se tomó estas dos estaciones como pilotos para el cálculo de los coeficientes empíricos para la estimación de RSG, la comparación de ambas determinará la depuración de las bases de datos por ser éstas las estaciones más completas de la provincia en un período de 6 años con una pérdida de información de aproximadamente 31%.

Se tomó los datos de la estación meteorológica automática de Ciencias, correspondientes al período 12 de junio de 2007 al 18 de abril de 2012, con variables de: Tmax, Tmin, HR, Vv, PA, PR y RSG, tomadas cada 10 minutos, a estos datos se añadió otras variables

como H_e , N_u , T_{pro} , T_{max} y T_{min} , estas dos últimas tomadas en horas sinópticas en la estación meteorológica manual de Recursos Naturales.

Se procedió a obtener los promedios diarios de las variables tomando en cuenta la cantidad de datos por día y además los máximos y mínimos de la temperatura. Para H_e y RSG se tomó en cuenta las 12 horas teóricas que se recibe del sol.

La cantidad de datos en este período de tiempo debió ser 2192 días, sin embargo se perdió información al presentarse daños y mantenimiento de los equipos, superación máxima de la capacidad de almacenamiento de la memoria, días feriados, que dieron origen a datos faltantes, quedando así 1498 días que es el 73.90% utilizado para los modelos basados en temperaturas y velocidad de viento (MBTV) y 1353 que es el 66.75% del total tomado para el modelo basado en heliofanía (MBH).

Para mayor confiabilidad en la aplicación de los modelos, se ha dividido la información en dos matrices, para aplicación del MBTV, MBH debido a la cantidad diferente de datos. Las matrices sin datos faltantes, se las dividió y se determinó los años 2009 al 2011 correspondientes al 66.58% para el MBTV y 64.19% para el MBH porque tenían menos pérdida de información para la aplicación de los modelos y los años 2007, 2008 y 2012 para la validación del mismo correspondiente al 33.42% para el MBTV y el 35.81% para el MBH.

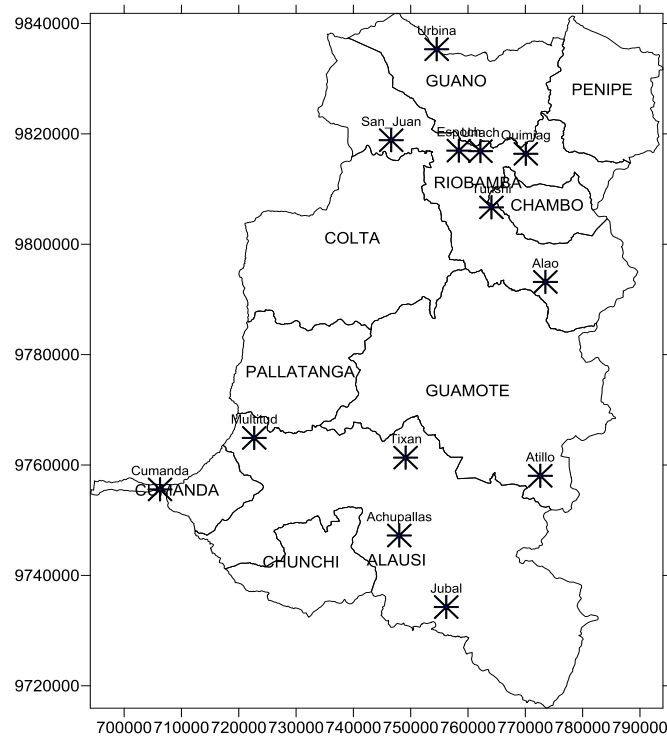
2.1.3 Determinación de la muestra para el cálculo del modelo geoestadístico

Se ha determinado que en la provincia de Chimborazo no existe suficiente información para estimar radiación solar en el año 2012, tampoco para otro período de tiempo así que se ha tomado datos reales de estaciones meteorológicas que miden este recurso desde noviembre del 2013 alrededor de la provincia.

Se ha recolectado los datos de 13 estaciones meteorológicas automáticas que miden radiación solar global y difusa cada minuto con un piranómetro tipo CMP6 con un rango de medición de 0 a 1500 w/m^2 que envían la información a un data logger marca Vaisala y son transferidos cada hora por GPRS o GOES a un servidor en la ESPOCH Y UNACH.

Los datos corresponden al período desde enero hasta marzo de 2014, teniendo un total de 1170 datos diarios de RSG. Se observa en la siguiente gráfica la ubicación de las estaciones meteorológicas automáticas sobre el área de Chimborazo.

GRÁFICO 1. Mapa de ubicación de las estaciones automáticas en Chimborazo



Fuente: Datos INER- ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

2.2 Análisis de datos atípicos

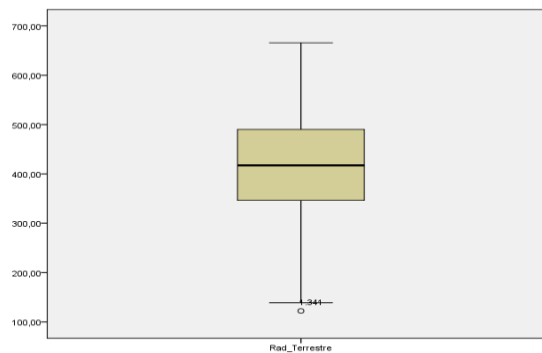
La detección de datos anómalos es relevante para el análisis de variables meteorológicas para garantizar la interpretación de los resultados. (Baigorria & Villeas, 2004), el método programación cuadrática para identificar estos valores ha sido utilizado obteniendo como anómalos los valores de más baja probabilidad de ocurrencia. (Badescu, 2008) Para la detección de datos atípicos se ha aplicado el método de las direcciones de máxima y mínima curtosis.

2.2.1.1 Detección de datos atípicos univariantes

Estación de Ciencias y Recursos Naturales de la ESPOCH

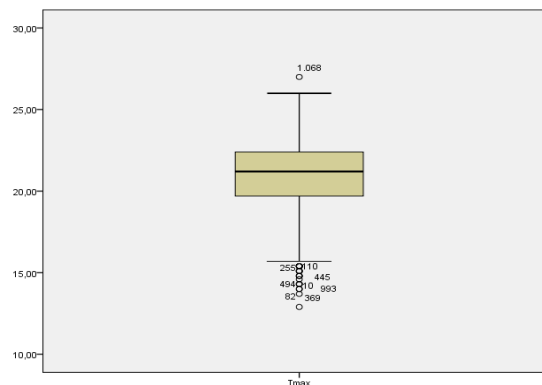
Para las matrices de datos se tomó toda la información correspondientes al período del 12 de junio de 2007 al 18 de abril de 2012 de las variables de RSG en w/m^2 , He en horas sol, Tmax, Tpro y Tmin en $^{\circ}C$, PR en mm y Vv en m/s, se realizó diagramas de caja y líneas individuales de cada variable para observar el comportamiento de estas variables obteniendo las siguientes gráficas:

GRÁFICO 2. Diagrama de caja de radiación terrestre de la estación de la Facultad de Ciencias



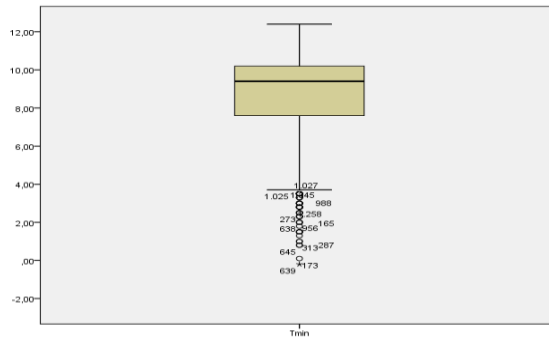
Fuente: Datos ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 3. Diagrama de caja de temperatura máxima de la estación de la Facultad de Ciencias



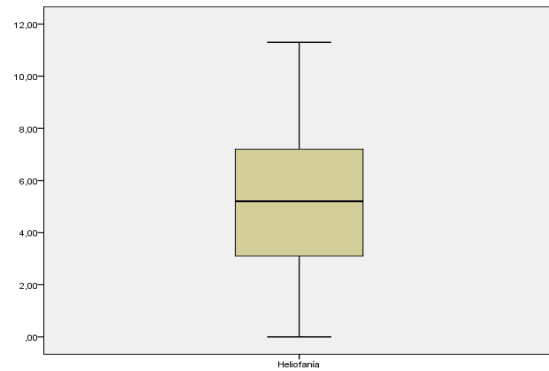
Fuente: Datos ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 4. Diagrama de caja de temperatura mínima de la estación de la Facultad de Ciencias



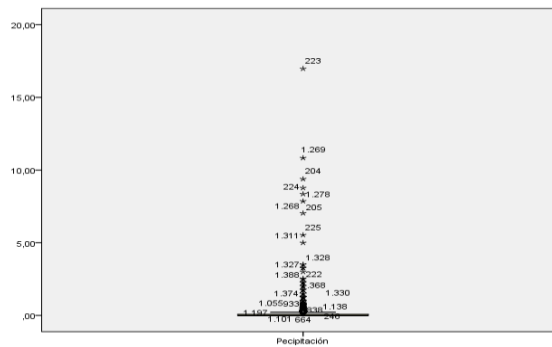
Fuente: Datos ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 5. Diagrama de caja de heliofanía de la estación de la Facultad de Recursos Naturales



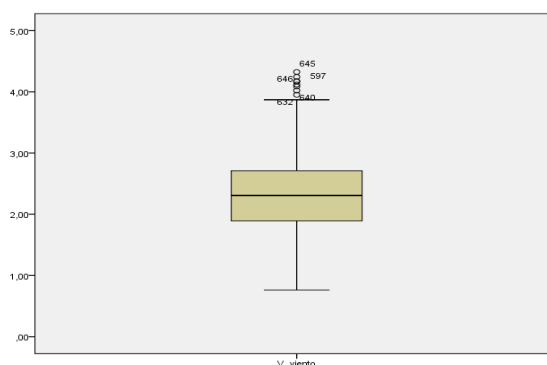
Fuente: Datos INAMHI
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 6. Diagrama de caja de precipitación de la estación de la Facultad de Ciencias



Fuente: Datos ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 7. Diagrama de caja de velocidad de viento de la estación de la Facultad de Ciencias



Fuente: Datos ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

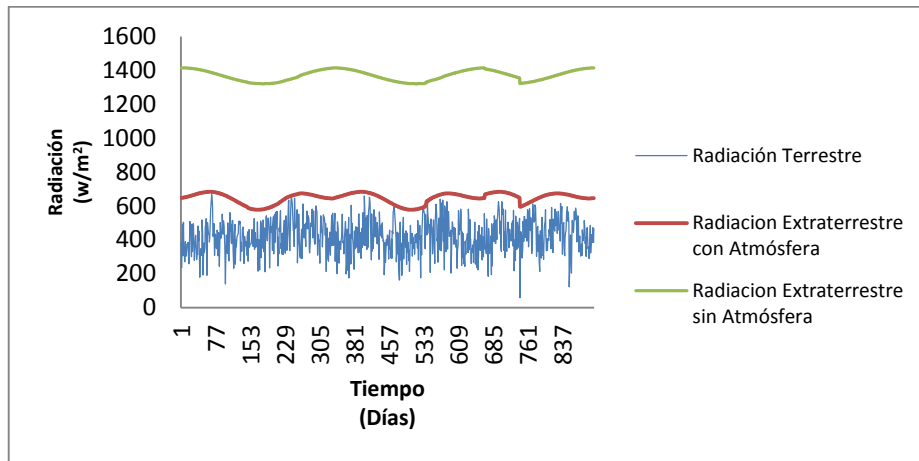
Se observa datos anómalos en 5 de las variables, para verificar qué sucede con estos valores extremos se calculó el coeficiente de curtosis y como se explica en el apartado 1.4.1 los individuos mayores a 4 o 5 serán considerados atípicos.

Se detectó un atípico en RSG, 10 en Tmax, 41 en Tmin, 20 en PR y 15 en Vv, así que se procedió a revisar las causas de estas anomalías, y se detectó bajas temperaturas de hasta menor a 0 °C, y altas de hasta 27 °C que son admisibles por la altitud de la zona pero estos datos anómalos fueron separados para estudiarlos a profundidad por estar muy separados del resto de datos. Sin embargo se procedió a realizar una comparación de las variables de las estaciones automática de Ciencias y convencional de Recursos Naturales.

Radiación Terrestre

De la misma manera se realizó una comparación de la RT y la RE, ya que por definición la RT no puede ser mayor a la RE, debido a pérdida de energía al llegar a la superficie de la Tierra por el efecto de la atmósfera, las partículas suspendidas en el aire y las nubes, así observamos la siguiente gráfica:

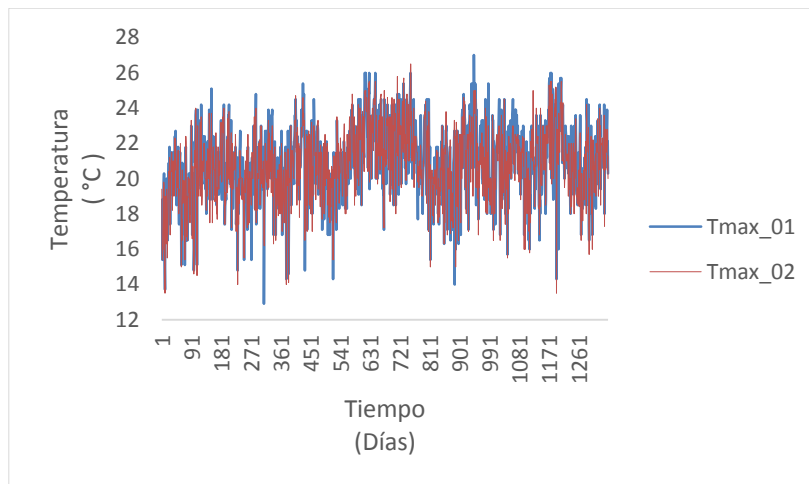
GRÁFICO 8. Diagrama de líneas de radiación terrestre y radiación extraterrestre



Fuente: Datos ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

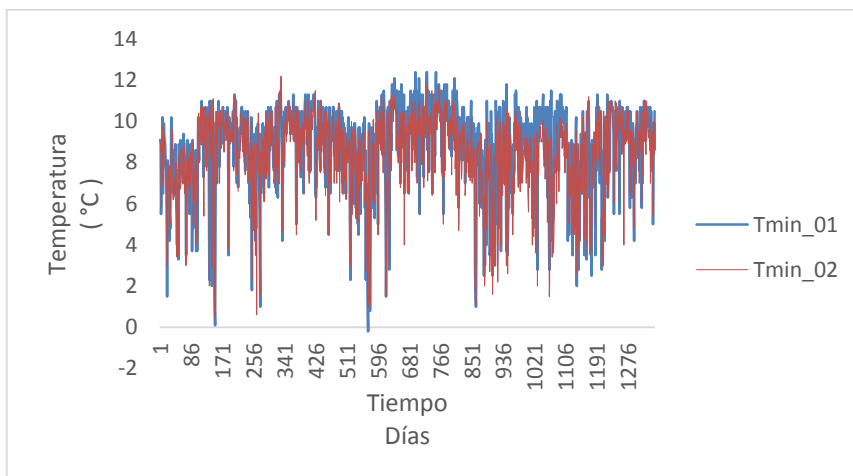
Se verifica en la gráfica que los valores de RT son menores a los de RE, por ello no se considera datos anómalos univariantes de RT.

GRÁFICO 9. Diagrama de líneas de temperatura máxima entre la estación automática y la convencional de la ESPOCH



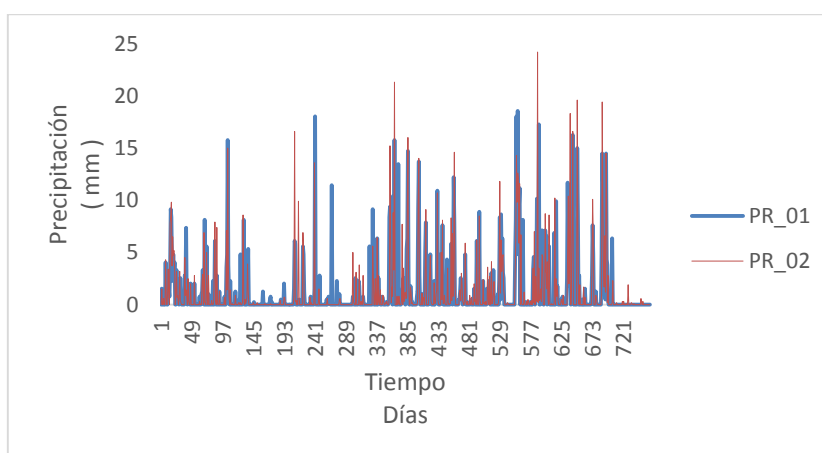
Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 10. Diagrama de líneas de temperatura mínima entre la estación automática y convencional de la ESPOCH



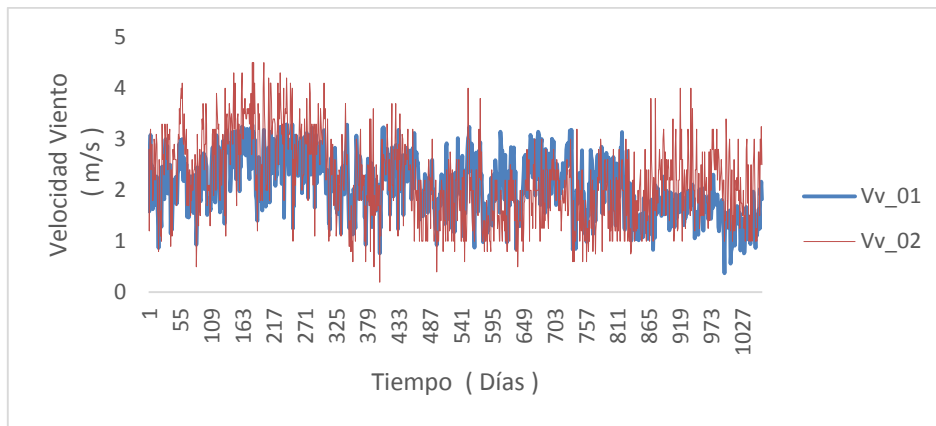
Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 11. Diagrama de líneas de precipitación entre la estación automática y convencional de la ESPOCH



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

GRÁFICO 12. Diagrama de líneas de velocidad de viento entre la estación automática y convencional de la ESPOCH



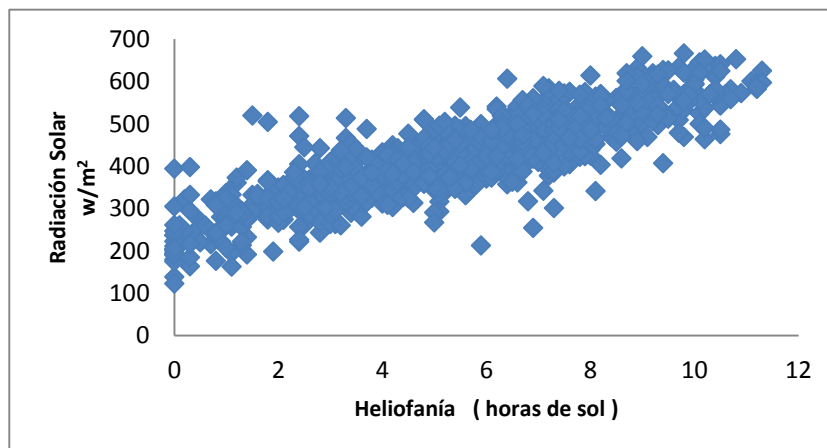
Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se verificó que el comportamiento de las variables es análogo en las dos estaciones meteorológicas con una pequeña diferencia que es justificable por el porcentaje de error que presenta el instrumento de medición y por la distancia de separación.

2.2.1.2 Detección de datos atípicos bivariantes

Se realizó diagramas de dispersión en pares de variables para detectar datos anómalos bivariantes.

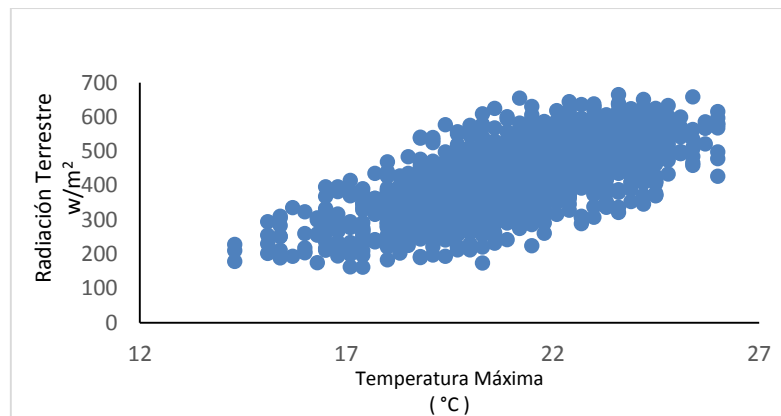
GRÁFICO 13. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y heliofanía



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Los valores con 0 horas sol, pero con radiación registrada en el día han sido separados de la matriz debido a que He sólo registra la radiación solar directa, mas no la difusa presente en días nublados o con lluvia. La exclusión de estos datos atípicos contribuirá a obtener una buena bondad de ajuste en el modelo. Se observa que las variables tienen una relación de carácter lineal.

GRÁFICO 14. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura máxima

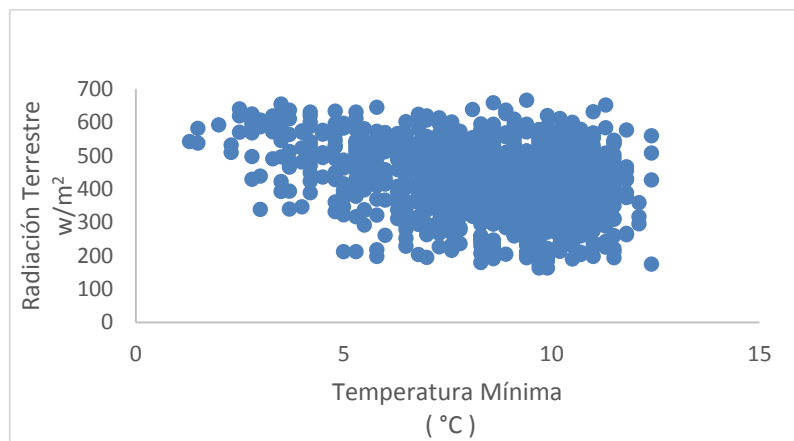


Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Al parecer no se observa la presencia de atípicos bivariantes pues todos los datos están agrupados en una sola nube de puntos. Se observa que las variables tienen una relación de carácter no lineal.

GRÁFICO 15. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura mínima

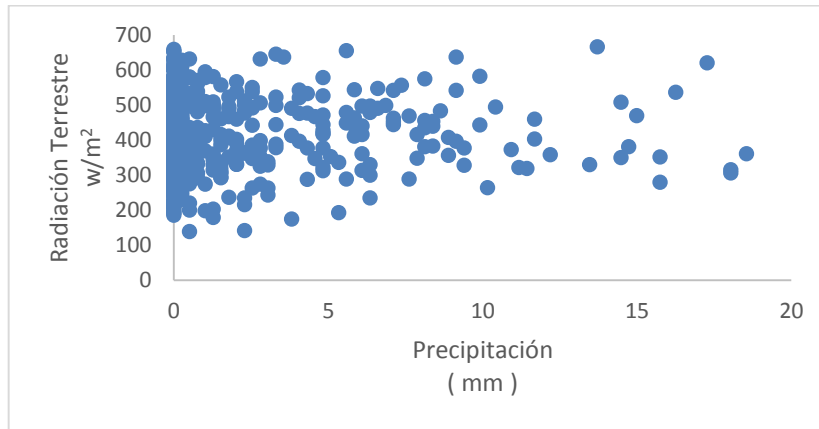


Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Al parecer no se determina datos anómalos porque los datos están agrupados en una sola nube de puntos. Se observa que las variables tienen una relación de carácter no lineal.

GRÁFICO 16. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y precipitación

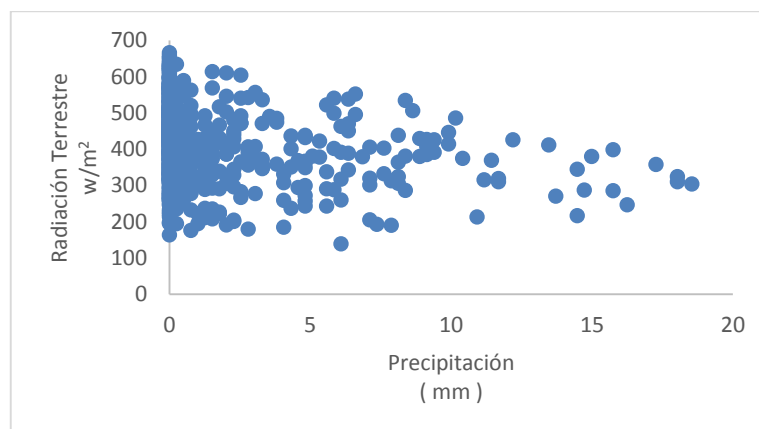


Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa la presencia de datos anómalos en cantidades grandes de precipitación, es incoherente que existan cantidades grandes de radiación por la presencia de nubosidad. Se detectó una cantidad pequeña de datos atípicos bivariantes quitándolos de la base de datos lo que da origen a la siguiente gráfica:

GRÁFICO 17. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y precipitación sin datos atípicos

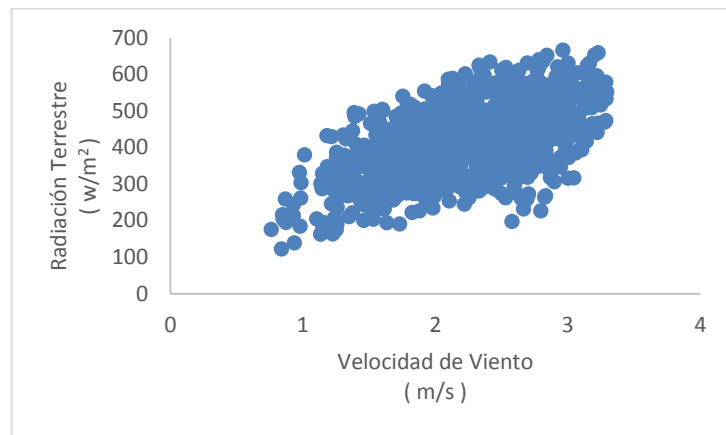


Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa en la gráfica que hay ausencia de datos atípicos, los datos están agrupados en una nube de puntos. Se observa que las variables tienen una relación de carácter no lineal.

GRÁFICO 18. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y velocidad de viento



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

En el gráfico se aprecia que no existe presencia de datos anómalos bivariantes, los datos están agrupados en una nube de puntos. Se observa que las variables tienen una relación de carácter no lineal.

2.2.1.3 Detección de datos atípicos multivariantes

Para este análisis se consideró dos matrices de datos: MBH y MBTV, cada una de ellas representa las variables a utilizarse en los modelos con una cantidad distinta de datos correspondiente a los años 2009 y 2010 que son los períodos con un 87.9% y 84.7% de la información recopilada.

Se utilizó el método de las direcciones de máxima y mínima curtosis para descartar los datos atípicos y garantizar los resultados del análisis.

Matriz MBH año 2009

En la primera corrida las direcciones de máxima y mínima curtosis, obtenidas con el algoritmo en Matlab (Peña, Análisis de Datos Multivariantes, 2002), nos dio 16 datos

sospechosos descritos en el ANEXO 1. Se procedió a realizar la segunda corrida con la matriz limpia de los datos sospechosos encontrados y no se detectó más datos sospechosos.

Matriz MBH año 2010

En la primera corrida con las direcciones de máxima y mínima curtosis se obtuvo 9 datos sospechosos los cuales fueron extraídos de la muestra para proceder a realizar la segunda corrida en la que se obtuvo 4 datos sospechosos que son removidos de la matriz y se calcula las direcciones de máxima y mínima curtosis con la nueva matriz y no se detecta más datos sospechosos, encontrándose un total de 13 datos sospechosos descritos en el ANEXO 2.

Se obtuvo el vector de medias de la matriz limpia y juntamente con los datos sospechosos se procedió a calcular las distancias de Mahalanobis para conocer cuál de estos está realmente lejos del vector de medias del conjunto de datos limpios sin sospechosos.

Para el año 2009 y 2010 no se consideró atípico alguno de los datos sospechosos, el análisis descriptivo sugiere que se incorpore estos datos a la muestra. Se procedió entonces a realizar el contraste de datos atípicos para verificar la cantidad real de anómalos:

H_0 : *El dato no es atípico*

H_1 : *El dato es atípico*

De allí se tomó las distancias de Mahalanobis, se ordenó de menor a mayor y se procedió a obtener el estadístico de prueba para los datos del año 2009 y el valor p para el valor más próximo es de 0.028, así que se rechaza H_0 y decimos que el dato es atípico y por consiguiente el resto de datos sospechosos son considerados como atípicos.

De la misma manera se procedió a ordenar las distancias de Mahalanobis correspondiente al año 2010 y se obtuvo un valor p de 0.140, así que no se rechaza H_0 y decimos que el dato no es atípico y se procede a incorporarlo a la muestra. Con la nueva matriz de datos se procede a obtener el vector de medias, la matriz de varianzas y covarianzas y se calcula

las distancias de Mahalanobis para los datos sospechosos restantes, se los ordena y se obtiene un valor p de 0.021 así que se rechaza H_0 y decimos que el dato es atípico; considerando que este dato es el más cercano se concluye que todos los datos sospechosos son atípicos como se puede apreciar en el ANEXO 3.

Matriz MBTV año 2009

Se realizó la primera corrida con las direcciones de máxima y mínima curtosis y se detectó 2 datos sospechosos, se procedió a quitarlos de la muestra y se procedió a realizar la segunda corrida y no se detectó más datos sospechosos obteniéndose así 2 individuos como sospechosos de ser atípicos.

Matriz MBTV año 2010

Se realizó la primera corrida con las direcciones de máxima y mínima curtosis y no se detectó datos sospechosos de ser atípicos, considerándose así a la matriz limpia.

Se obtuvo un total de 2 datos sospechosos correspondientes al año 2009, que fueron separados de la muestra y se obtuvo las distancias de Mahalanobis para determinar de forma descriptiva cuál de estos datos son realmente atípicos y se determinó que ninguno de ellos es atípico. Para verificar este resultado se realiza un contraste de datos atípicos:

H_0 : *El dato no es atípico*

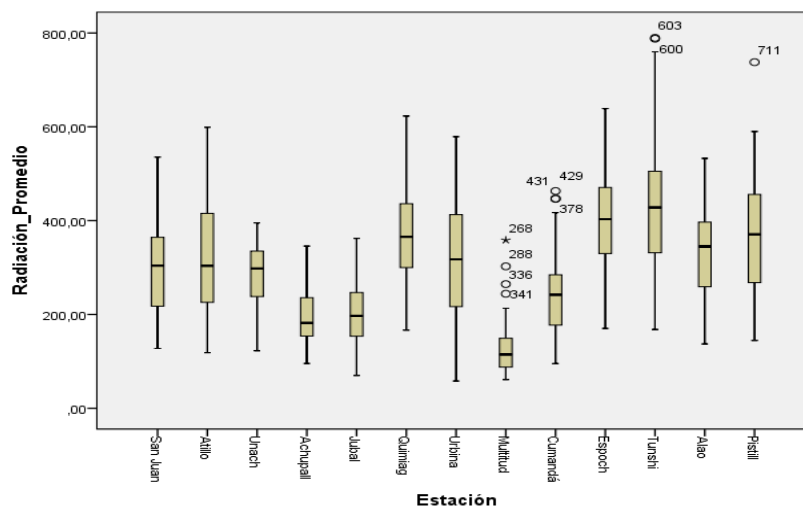
H_1 : *El dato es atípico*

Se ordenó las distancias de Mahalanobis y se comparó el dato más cercano y se obtuvo un valor p de 0.012, así que se rechaza H_0 y se concluye que el dato es atípico y por ende todo el resto de datos sospechosos que se lo aprecia en el ANEXO 4.

2.2.1.4 Detección de datos atípicos de las 13 estaciones meteorológicas

Para la detección de datos atípicos de la variable RSG en todas las estaciones de la provincia que miden este recurso se ha utilizado los métodos descriptivos descritos en el apartado 1.4.1.

GRÁFICO 19. Diagrama de caja múltiple de las estaciones meteorológicas automáticas del INER



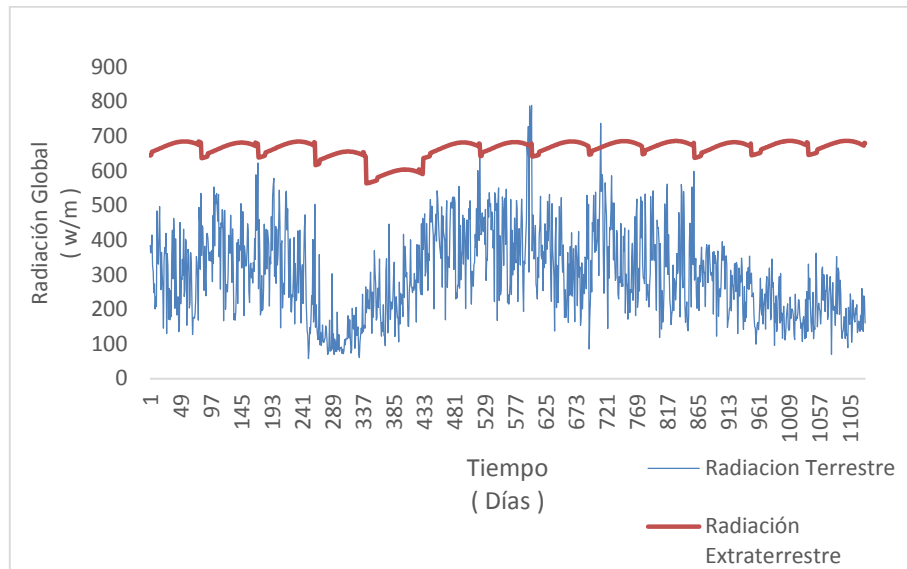
Fuente: Datos INER- ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Como observamos en la gráfica de cajas, existe presencia de datos atípicos que podrían afectar análisis posteriores en las estaciones de Multitud, Cumandá, Tunshi y Pistishí. Para corroborar los resultados de las gráficas de caja se procedió aplicar el método para detección de atípicos univariantes descrito en el apartado 1.4.1, se obtuvo que en la estación de Multitud existen 4 datos atípicos correspondientes a las fechas: 16 de enero, 4 de febrero, 26 y 31 de marzo; en la estación de Tunshi los días: 28 y 31 de marzo y la en la estación de Pistishí el día 25 de enero; todos estos datos han sido separados de la muestra porque se ha verificado en los datos crudos tomados por hora y por minuto que sus anomalías se deben a pruebas de trasmisión en los sensores.

De la misma manera se comparó estos datos con la radiación extraterrestre para verificar el comportamiento extraño de estos individuos y se observó que la radiación terrestre supera a la radiación extraterrestre en algunos casos como se observa en el gráfico 20.

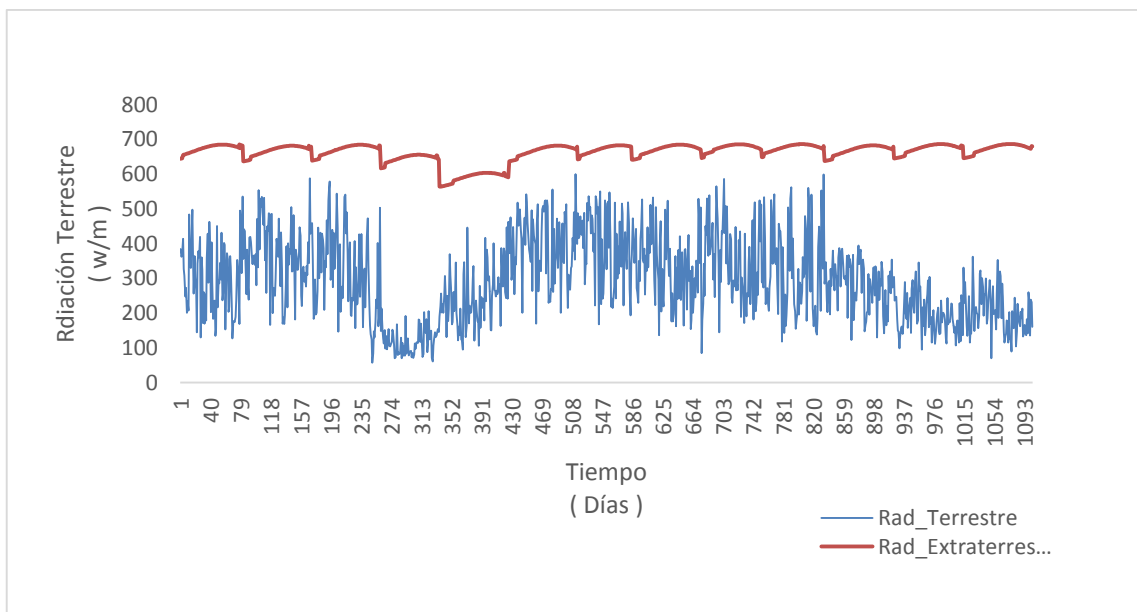
GRÁFICO 20. Diagrama de líneas de radiación solar terrestre y extraterrestre



Fuente: Datos INER- ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

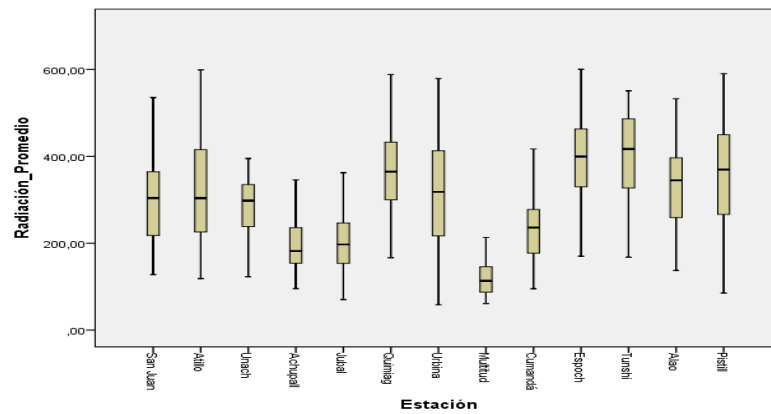
Después de la limpieza de los datos se separó de la muestra el 1.2%, quedando el 95.2% de la muestra siendo ésta representativa, lo que se observa en los gráficos 21 y 22.

GRÁFICO 21. Diagrama de líneas de radiación solar terrestre y extraterrestre sin datos atípicos



Fuente: Datos INER- ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 22. Diagrama de caja múltiple de las estaciones meteorológicas automáticas de la provincia sin datos atípicos



Fuente: Datos INER- ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

2.3 Comprobación de los supuestos de hipótesis

Normalidad

Para comparar el supuesto de normalidad de las variables Radiación Solar Terrestre, Temperatura, Heliofanía, Velocidad de viento y Precipitación se procede a aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov en el software SPSS obteniendo los siguientes resultados:

Radiación Solar Global Terrestre:

TABLA 4. Prueba de normalidad de radiación terrestre

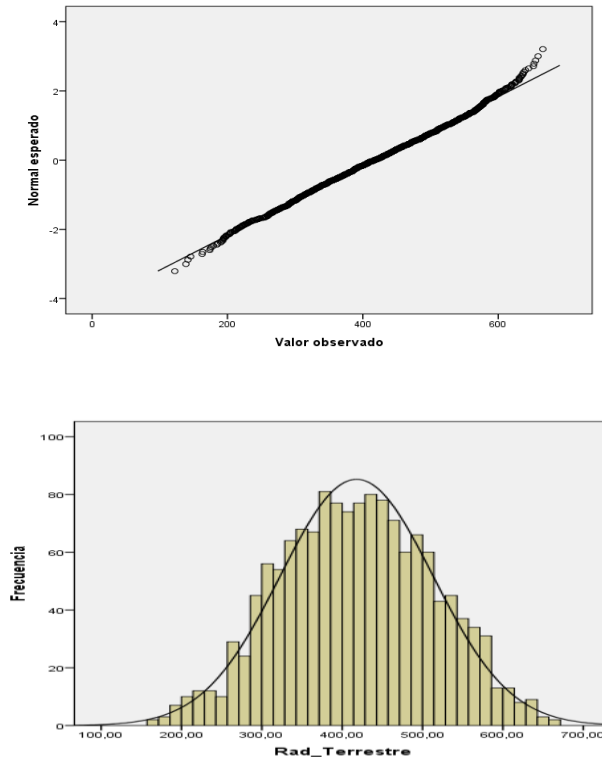
	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Radiación Terrestre	0.022	1501	0.090

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Como el valor p es mayor que el nivel de significancia 0.05 se concluye que la muestra de radiación solar terrestre proviene de una distribución normal. Los siguientes gráficos corroboran lo antes mencionado:

GRÁFICO 23. Q-Q e histograma normal de radiación terrestre



Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Temperatura

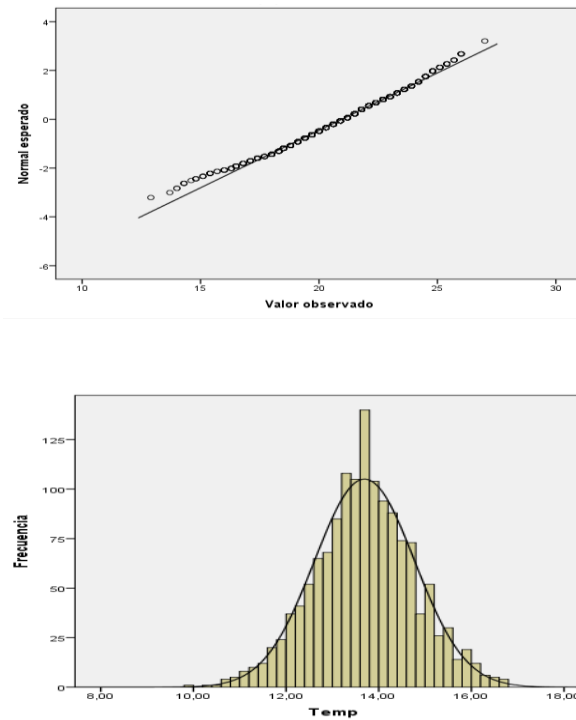
TABLA 5. Prueba de normalidad de temperatura

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura	0.046	1502	0.722
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Como el valor p es mayor que el nivel de significancia 0.05 se concluye que la muestra de temperatura proviene de una distribución normal. Los siguientes gráficos corroboran lo antes mencionado:

GRÁFICO 24. Q-Q e histograma normal de temperatura



Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Heliofanía

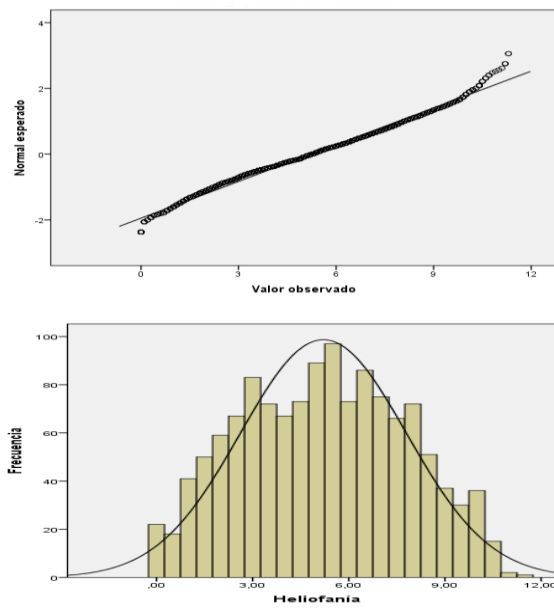
TABLA 6. Prueba de normalidad de heliofanía

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
He	0.047	1344	0.065
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: Datos ESPOCH,
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Como el valor p es mayor que el nivel de significancia 0.05 se concluye que la muestra de heliofanía proviene de una distribución normal. Los siguientes gráficos corroboran lo antes mencionado:

GRÁFICO 25. Q-Q e histograma normal de heliofanía



Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Precipitación

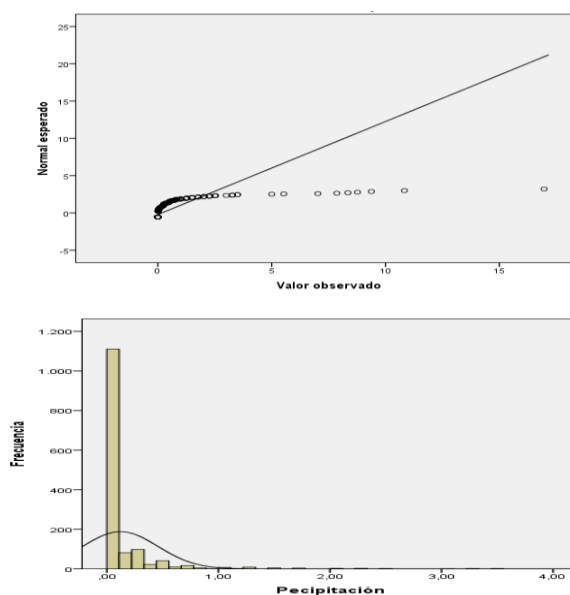
TABLA 7. Prueba de normalidad de precipitación

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
PR	0.416	1502	0.00
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Como el valor p es menor que el nivel de significancia 0.05 se concluye que la muestra de precipitación no proviene de una distribución normal. Los siguientes gráficos corroboran lo antes mencionado:

GRÁFICO 26. Q-Q e histograma normal de precipitación



Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

La variable precipitación no presenta una distribución normal, esta variable está considerada como una variable que sigue una distribución binomial dónde 1 representa la probabilidad que llueva y 0 la probabilidad que no.

Velocidad de viento

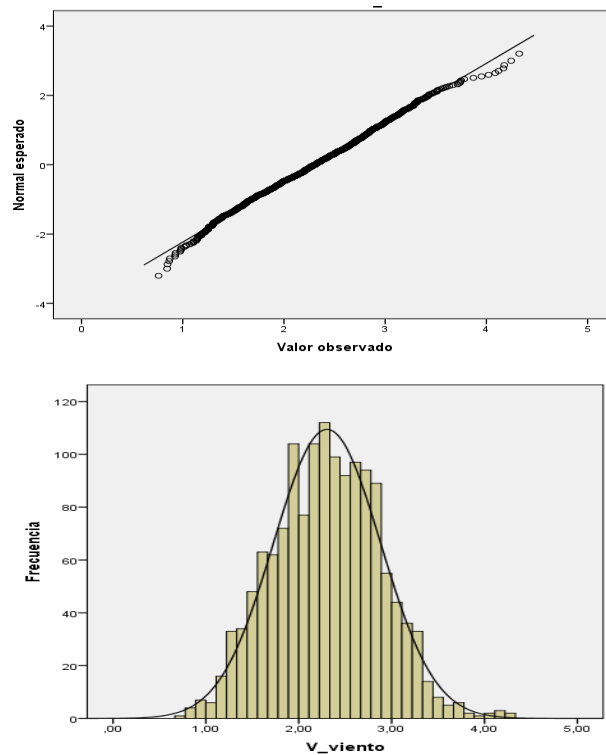
TABLA 8. Prueba de normalidad de velocidad de viento

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	Gl	Sig.
Vv	0.19	1502	0.2
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Como el valor p es mayor que el nivel de significancia 0.05 se concluye que la muestra de velocidad de viento proviene de una distribución normal. Los siguientes gráficos corroboran lo antes mencionado:

GRÁFICO 27. Q-Q e histograma normal de velocidad de viento



Fuente: Datos INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Las variables presentan normalidad en los años que tienen menor pérdida de información como se observa en la siguiente tabla:

TABLA 9. Prueba de normalidad de las variables por año

AÑO	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
2007	0.057	176	0.020
2008	0.047	155	0.040
2009	0.038	321	0.200*
2010	0.040	309	0.200*
2011	0.065	216	0.029
2012	0.082	101	0.040

Fuente: Datos INER- ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Además se comprobó que la variable aleatoria vectorial constituida por las variables RT, He, Temperatura y Vv sigue distribución normal multivariante como se muestra en la siguiente tabla obtenida desde el software LISREL 9.1.

TABLA 10. Prueba de normalidad multivariante de los datos del año 2009

Test of Multivariate Normality for Continuous Variables							
Skewness			Kurtosis			Skewness and Kurtosis	
Value	Z-Score	P-Value	Value	Z-Score	P-Value	Chi-Square	P-Value
0.173	1.603	0.109	7.833	-0.181	0.856	2.602	0.272

Fuente: Datos INER- ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

El valor p sugiere que los datos provienen de una distribución normal multivariante.

TABLA 11. Prueba de normalidad multivariante de los datos del año 2010

Test of Multivariate Normality for Continuous Variables							
Skewness			Kurtosis			Skewness and Kurtosis	
Value	Z-Score	P-Value	Value	Z-Score	P-Value	Chi-Square	P-Value
0.029	-0.963	0.336	7.445	-1.142	0.253	2.232	0.328

Fuente: Datos INER- ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

El valor p sugiere que los datos provienen de una distribución normal multivariante.

TABLA 12. Prueba de normalidad multivariante de los datos del año 2011

Test of Multivariate Normality for Continuous Variables							
Skewness			Kurtosis			Skewness and Kurtosis	
Value	Z-Score	P-Value	Value	Z-Score	P-Value	Chi-Square	P-Value
1.487	6.02	0	8.328	0.803	0.422	36.879	0

Fuente: Datos INER- ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa que en el año 2011 no existe normalidad multivariante, esto se debe posiblemente a que en este año existe aproximadamente el 60% de la información, por ello no se considera realizar una detección de atípicos multivariantes.

Obtención de los datos de radiación extraterrestre

Para obtener la RE tanto considerando atmósfera como excluyéndola, se tomó los datos de una investigación basada en el modelo de Spencer. El movimiento solar es oscilante y

por esa razón empieza a existir radiación solar a diferentes hora cada día, como dice la literatura en la zona ecuatorial la diferencia entre día más corto y el más largo es de 20 minutos, por ese motivo se ajustó al modelo a 12 horas para eliminar los valores inadmisibles obtenidos dentro del modelo.

Se obtuvo el promedio diario de la cantidad de radiación que debería recibir la Tierra, tomando en cuenta la influencia de la atmósfera y sin ella, además considerando la posición del lugar, su longitud, latitud y altitud. (Duffie & Beckman, 2013)

2.4 Análisis de correlación

Este análisis determina, mediante el coeficiente de correlación, qué tan relacionadas linealmente se encuentran las variables en estudio. Dicho coeficiente varía entre -1 y 1: si el módulo del coeficiente está alrededor de 0.80 se concluye que hay una relación lineal relativamente fuerte entre las variables, si el módulo del coeficiente está alrededor de 0.30 se concluye que hay una relación lineal relativamente débil entre las variables mientras que una aproximación a 0 indicaría que las variables están incorreladas. Se ha determinado las correlaciones en quintiles descritas en porcentajes así:

TABLA 13. Quintiles de correlación

Rango	Relación
0 a 0.20	Muy débil
0.20 a 0.40	Débil
0.40 a 0.60	Buena
0.60 a 0.80	Muy buena
0.80 a 1.00	Fuerte

Fuente: Control Estadístico de Calidad.
Cesar Pérez.

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

TABLA 14. Matriz de correlación de las variables meteorológicas

	<i>RSG</i>	<i>He</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>PR</i>	<i>Vv</i>	<i>HR</i>	<i>Nu</i>
RSG	1							
He	0.864241	1						
Tmax	0.724527	0.64174	1					
Tmin	-0.336951	-0.3582	-0.1879	1				
PR	-0.053312	-0.0794	-0.0054	0.0078131	1			
Vv	0.532185	0.5392	0.25553	-0.167409	-0.23767	1		
HR	-0.432202	-0.3924	-0.4435	0.4084681	-0.05897	-0.27602	1	
Nu	-0.640848	-0.6644	-0.4514	0.4532661	0.050455	-0.42511	0.428911128	1

Fuente: Datos INAMHI, INER- ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

RSG tiene una correlación lineal muy fuerte con He, correlación muy buena con Tmax y Nu y una correlación buena con Vv. Por esta razón se ha investigado los modelos que tienen inmersos estas variables para tener una buena bondad de ajuste.

2.5 Aplicación de los modelos

2.5.1 Modelo de Angstrom – Prescott

Se aplicó la ecuación 1 descrita en el apartado 1.1.1 debido a que en la literatura este modelo es uno de los más representativos para obtener RSG desde He. (Baigorria & Villeas, 2004), (Mayers, 2013), (Sahin, 2007), (Bakirci, 2009), (Badescu, 2008), (Evrendilek & Ertekin, 2007), (Ajayi & otros, 2013), (EL-SEBAIL, 2010), (Li, Ma, & otros, 2001), estos datos están disponibles en las estaciones meteorológicas, en la práctica se aplica con datos mensuales (Sahin, 2007), (Badescu, 2008), pero en este estudio se aplica con datos diarios debido a la disponibilidad de información cada 10 minutos de RSG y el total de horas sol de He.

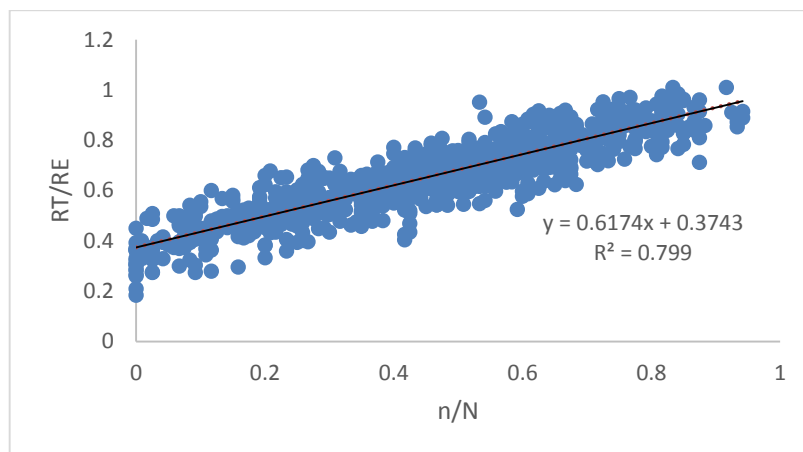
Mediante una regresión lineal se obtuvo los coeficientes de transmitancia atmosférica determinando la cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre. Se fija así que 1 representa que toda la cantidad de energía procedente del sol alcanza la superficie y 0 que la energía no alcanzó la superficie. Estableciendo así la cantidad de energía solar global aproximada que llega a la superficie de la Tierra.

La RE se la consideró con y sin atmósfera, la primera resulta de la interacción de los rayos de luz con los gases, partículas y aerosoles contenidos en la misma provocando la dispersión y absorción de estos de forma aleatoria que influyen la variación de energía que alcanza la superficie terrestre. Para obtener los modelos de estimación vamos a basarnos en el coeficiente de transmitancia atmosférica τ que es RT/RE .

Los coeficientes para el modelo considerando la atmósfera son $a = 0.3743$ y $b = 0.6174$, obteniendo el modelo de estimación:

$$\hat{\tau} = 0.3743 + 0.6174 * \frac{n}{N} \quad (25)$$

GRÁFICO 28. Modelo de Angstrom-Prescott considerando atmósfera



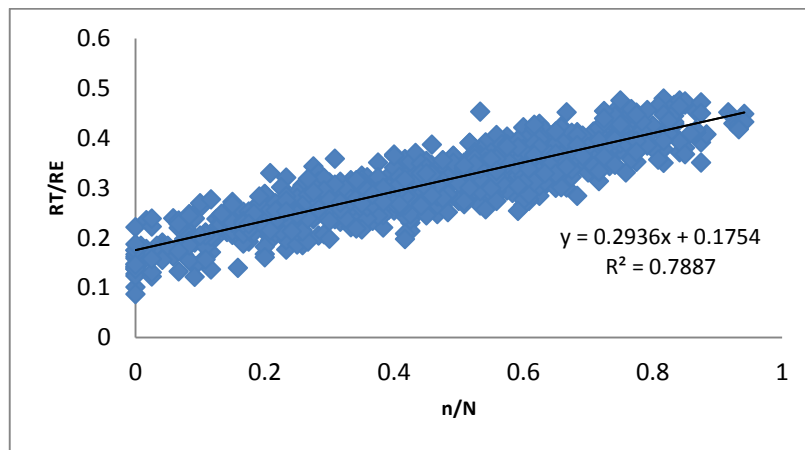
Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

En la gráfica se observa que la variable transmitancia atmosférica tiene una relación lineal fuerte con la variable He, la calidad predictiva del modelo es excelente, porque los datos de transmitancia atmosférica se ajustan en un 80% al modelo de regresión.

Y los coeficientes del modelo sin considerar atmósfera son $a = 0.1754$ y $b = 0.2936$. El modelo de estimación:

$$\hat{\tau} = 0.1754 + 0.2936 * \frac{n}{N} \quad (26)$$

GRÁFICO 29. Modelo de Angstrom- Prescott sin considerar atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

En la gráfica se observa que existe una relación lineal fuerte del coeficiente de transmitancia atmosférica y He, la relación es directamente proporcional a medida que crece He, crece también el coeficiente de transmitancia atmosférica. Este modelo tiene una calidad predictiva excelente porque los datos del coeficiente de transmitancia atmosférica se ajustan en un 80% al modelo de regresión. Cabe recalcar que se ha considerado en obtener el modelo de radiación solar propuesto por Prescott considerando atmósfera y sin considerarla para los 3 años de estudio.

TABLA 15. Coeficientes del modelo de Prescott por año

MODELO DE PRESCOTT						
Año	Con Atmósfera			Sin Atmósfera		
	A	b	r2	a	b	r2
2009	0.382	0.050	0.79	0.180	0.024	0.77
2010	0.374	0.050	0.72	0.173	0.024	0.72
2011	0.405	0.047	0.78	0.193	0.023	0.76
Global	0.374	0.617	0.79	0.175	0.294	0.78

Fuente: Datos INAMHI, INER- ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa que no existe una diferencia significativa entre los coeficientes de cada año con el coeficiente global.

Modelo basado en temperaturas

Este modelo ha sido desarrollado por Hargreaves en 1985, y García en 1994, son utilizados en la literatura por la disponibilidad de la información. (Badescu, 2008), (Baigorria & Villeas, 2004), (Evrendilek & Ertekin, 2007)

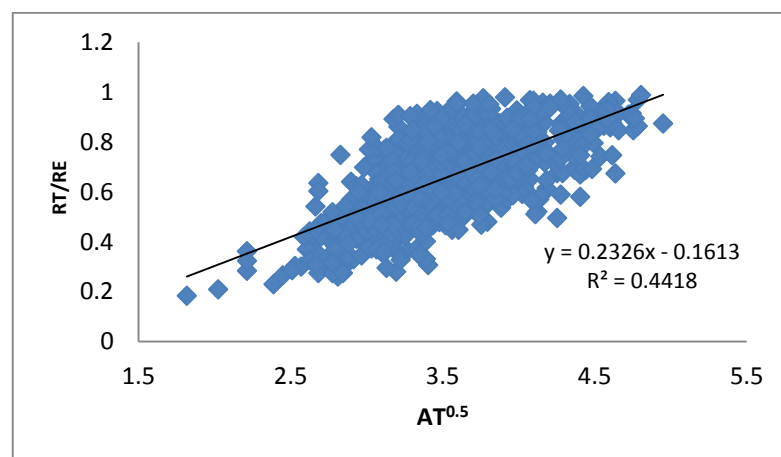
En este estudio se aplica este modelo a 997 días dentro del período 12 de junio de 2007 al 18 de abril de 2012. Este modelo se aplicó para las temperaturas extremas de la estación automática de Ciencias y para la estación convencional de Recursos Naturales. La temperatura es un indicador para conocer cuánto de radiación recibe la tierra en el día, mientras mayor temperatura exista se dice que mayor radiación recibe la Tierra.

2.5.2 Modelo de Hargreaves

Tomando en consideración la presencia de la atmósfera se obtuvo los siguientes coeficientes: $a = -0.162$ y $b = 0.233$. Y así obtenemos el modelo de estimación:

$$\hat{t} = -0.162 + 0.233 * \Delta T^{0.5} \quad (27)$$

GRÁFICO 30. Modelo de Hargreaves considerando atmósfera



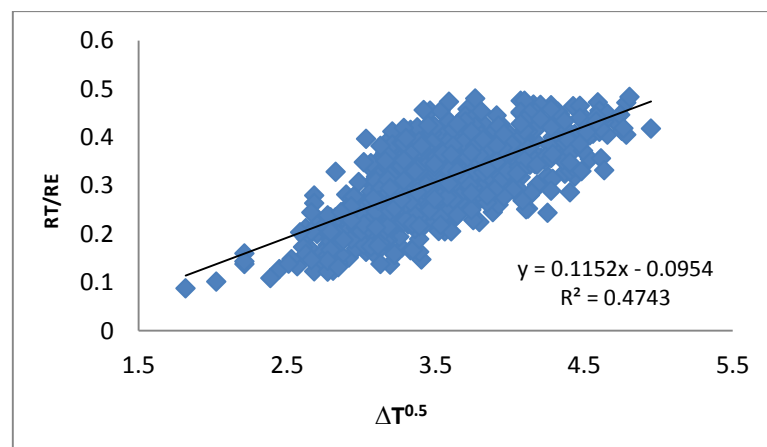
Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa la nube de datos y se puede decir que no se evidencia una tendencia lineal, a pesar que la relación lineal de RSG y temperaturas extremas sea muy bueno, los datos de transmitancia atmosférica se ajusta al modelo en apenas un 44%, siendo buena la calidad predictiva del modelo para estimar la transmitancia atmosférica.

Y sin considerar la atmósfera se obtuvo los coeficientes: $a = -0.095$ y $b = 0.115$. El modelo para la estimación es:

$$\hat{t} = -0.095 + 0.115 * \Delta T^{0.5} \quad (28)$$

GRÁFICO 31. Modelo Hargreaves sin considerar atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa en la gráfica que la transmitancia atmosférica no tiene una relación lineal con la raíz de diferencia de temperaturas extremas. La calidad predictiva de este modelo es buena en cuanto sólo explica el 47% de la variabilidad de transmisibilidad. Sin embargo se ha obtenido los coeficientes para el modelo en base a los años de estudio como se observa en la tabla 16.

TABLA 16. Coeficientes del modelo de Hargreaves por año

MODELO DE HARGREAVES						
Año	Con Atmósfera			Sin Atmósfera		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²
2009	-0.313	0.282	0.40	-0.162	0.137	0.43
2010	-0.224	0.250	0.38	-0.133	0.125	0.42
2011	-0.111	0.217	0.38	-0.057	0.105	0.38
Global	-0.162	0.233	0.44	-0.095	0.115	0.47

Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

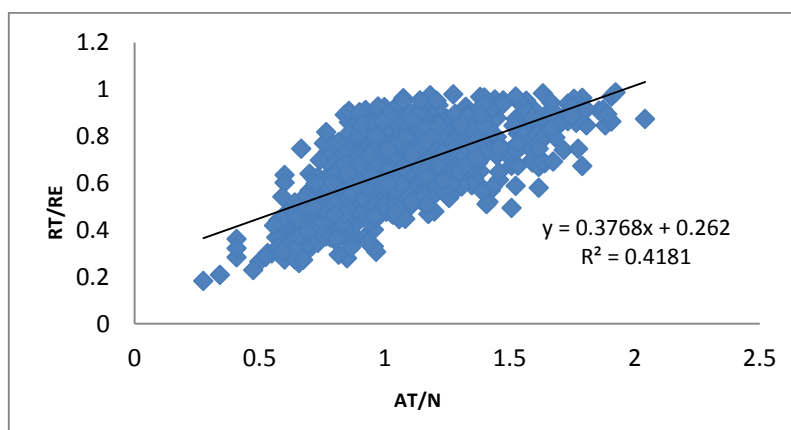
Observando los coeficientes en este modelo, el coeficiente *a* va subiendo al paso de los años mientras que el coeficiente *b* va disminuyendo.

2.5.3 Modelo de García

Considerando la atmósfera se obtuvo los coeficientes: $a = 0,262$ y $b = 0,377$. El modelo es el siguiente:

$$\hat{t} = 0,262 + 0,377 * \frac{\Delta T}{N} \quad (29)$$

GRÁFICO 32. Modelo de García considerando atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

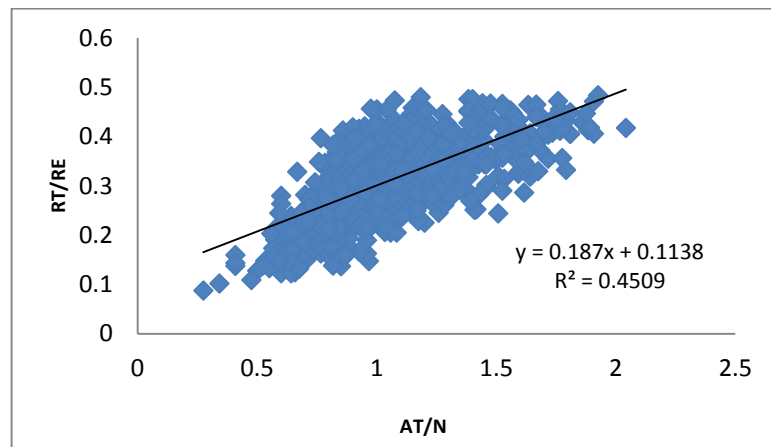
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Se observa en la gráfica que la transmitancia atmosférica no tiene una relación lineal con la diferencia de temperaturas extremas sobre las horas sol teóricas. La calidad predictiva de este modelo de regresión es buena en cuanto sólo explica el 42% de la variabilidad de transmisibilidad.

Y sin considerar la atmósfera se obtuvo los coeficientes: $a = 0.114$ y $b = 0.187$. Y así se determina el modelo siguiente:

$$\hat{t} = 0,114 + 0,187 * \frac{\Delta T}{N} \quad (30)$$

GRÁFICO 33. Modelo de García sin considerar atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

En el gráfico se observa que la variable coeficiente de transmitancia atmosférica no tiene una relación lineal con la diferencia de temperaturas sobre el total de horas sol teóricas. La calidad predictiva de este modelo es buena porque explica el 45% de la variabilidad de transmisibilidad atmosférica. Sin embargo se ha determinado los coeficientes para el modelo según los años de estudio como se muestra en la tabla 17.

TABLA 17. Coeficientes del modelo de García por año

MODELO DE GARCÍA						
Año	Con Atmósfera			Sin Atmósfera		
	a	b	r2	a	b	r2
2009	0.173	0.488	0.39	0.073	0.237	0.42
2010	0.216	0.420	0.36	0.087	0.211	0.41
2011	0.287	0.351	0.36	0.135	0.169	0.36
Global	0.262	0.377	0.42	0.114	0.187	0.45

Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

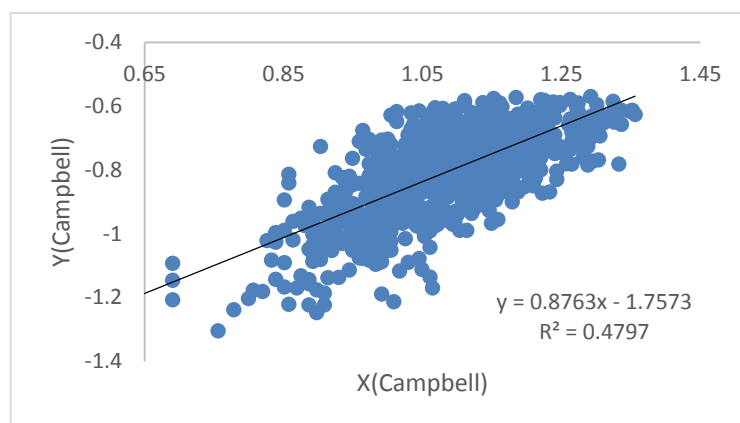
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

2.5.4 Modelo de Bristow y Campbell

Considerando la atmósfera tenemos los siguientes coeficientes $a = 0.469$, $b = 0.245$ y $c = 0.876$. Y se obtuvo el modelo:

$$\hat{t} = 0.469[1 - \exp(-0.245\Delta T^{0.876})] \quad (31)$$

GRÁFICO 34. Modelo de Bristow y Campbell considerando atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

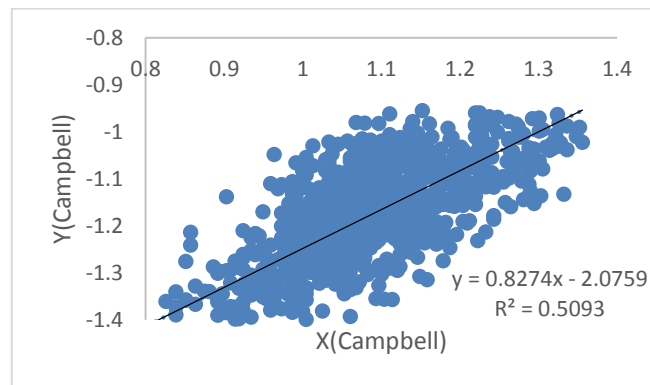
En el gráfico se observa que la variable Y(Campbell) no tiene una relación lineal con X(Campbell). La calidad predictiva del modelo de regresión es buena porque explica el 48% de la variabilidad de Y(Campbell).

Siendo $X(\text{Campbell}) = \log(\Delta T)$ y $Y(\text{Campbell}) = \log\left[-\log\left(1 - \frac{RT}{RE*(a+b)_p}\right)\right]$

Sin considerar atmósfera se obtuvo los siguientes coeficientes: $a = 0.469, b = 0.317$ y $c = 0.827$ y se obtuvo el modelo:

$$\hat{t} = 0.469[1 - \exp(-0.317\Delta T^{0.827})] \quad (32)$$

GRÁFICO 35. Modelo de Bristow y Campbell sin considerar atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

En el gráfico se observa que la variable Y(Campbell) no tiene una relación lineal con X(Campbell). La calidad predictiva del modelo de regresión es buena porque explica el 51% de la variabilidad de Y(Campbell). Sin embargo se ha considerado los coeficientes para el modelo según los años como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 18. Coeficientes del modelo de Campbell por año

MODELO DE CAMPBELL								
Año	Con Atmósfera				Sin Atmósfera			
	A	b	c	r2	a	b	c	r2
2009	0.432	0.253	0.878	0.49	0.432	0.323	0.828	0.52
2010	0.424	0.261	0.885	0.46	0.424	0.336	0.863	0.50
2011	0.452	0.239	0.834	0.51	0.452	0.308	0.769	0.52
Global	0.469	0.245	0.876	0.48	0.469	0.317	0.827	0.51

Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Modelo basado en temperaturas, precipitación y velocidad de viento

2.5.5 Modelo de Hunt

Este modelo ha sido aplicado para lugares donde existe la disponibilidad de datos de temperaturas extremas y precipitación. Para la obtención de los coeficientes para el modelo se ha realizado una regresión lineal múltiple con datos correspondiente a los años 2009, 2010 y 2011. Los coeficientes encontrados fueron:

TABLA 19. Coeficientes para el modelo de Hunt considerando atmósfera

a	-0.375095136
b	0.139168026
c	0.025192361
d	-0.002366296
e	2.9939E-05

Fuente: Datos INAMHI
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Y el modelo es:

$$\hat{\tau} = -0.375 + 0.139 * \Delta T^{0.5} + 0.025 * Tmax - 0.002 * PR + 2.9E - 05 * PR^2 \quad (33)$$

Sin considerar Atmósfera:

TABLA 200. Coeficientes para el modelo de Hunt sin considerar la atmósfera

a	-0.208415348
b	0.064591319
c	0.013580552
d	-0.001166325
e	1.40964E-05

Fuente: Datos INAMHI
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

El modelo es:

$$\hat{\tau} = -0.208 + 0.064 * \Delta T^{0.5} + 0.013 * Tmax - 0.001 * PR + 1.4E - 05 * PR^2 \quad (34)$$

2.5.6 Modelo de Richardson Reddy

Este modelo está basado en temperaturas extremas, precipitación y velocidad de viento diarias. Para la obtener los coeficientes estimados para la zona se realizó un análisis de regresión múltiple.

Considerando Atmósfera:

TABLA 211. Coeficientes para el modelo de Richardson Reddy considerando atmósfera

a	-0.307387466
b	-0.014200535
c	0.039476199
d	0.00060491
e	0.104812115

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Y el modelo determinado es:

$$\hat{t} = -0.307 - 0.014 * T_{min} + 0.039 * T_{max} + 0.0006 * PR + 0.104 * V_v \quad (35)$$

Sin considerar Atmósfera:

TABLA 222. Coeficientes para el modelo de Richardson Reddy sin considerar atmósfera

a	-0.177077449
b	-0.006634329
c	0.020157606
d	0.0002327
e	0.04934497

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

El modelo encontrado es:

$$\hat{t} = -0.177 - 0.006 * T_{min} + 0.020 * T_{max} + 0.0002 * PR + 0.049 * V_v \quad (36)$$

2.6 Validación de los Modelos

Para establecer qué tanto se ajustan los datos a los modelos calculados para la estimación de RSG se ha considerado el coeficiente de determinación lineal que nos ayuda a conocer el porcentaje de la variabilidad de la respuesta explicada por el modelo.

TABLA 23. Coeficientes de correlación y determinación de los modelos estimados

Coeficientes de Validación		Prescot	Hargreaves	García	Campbell	Hunt	Reddy
Considerando Atmósfera	Coeficiente Correlación	0.86	0.67	0.65	0.69	0.72	0.79
	Coeficiente Determinación	0.8	0.44	0.42	0.48	0.51	0.62
Sin Considerar Atmósfera	Coeficiente Correlación	0.85	0.69	0.68	0.71	0.74	0.81
	Coeficiente Determinación	0.79	0.47	0.45	0.51	0.55	0.66

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Además para el modelo de Prescott, Hargreaves y García se obtuvo el promedio de los errores entre los datos reales de radiación y los estimados por los modelos de aproximadamente el 30% de los datos y se obtuvo que el error promedio del modelo basado en heliofanía es de 0.032 que es muy pequeño lo que indica que los valores observados de RSG y los predichos por el modelo están cercanos. El promedio del error para los modelos basados en temperaturas en cambio es de 0.339 lo que sugiere que los valores observados de RSG están lejos de los valores predichos por el modelo.

2.7 Aplicación del modelo de estimación de radiación solar global

Para conocer los lugares factibles donde se podría aplicar el modelo determinado se ha tomado los datos existentes de 5 las estaciones meteorológicas del INAMHI descritas en la tabla 1 del período correspondiente al año 2012 con las variables Tmax, Tmin, PR y Vv. Cabe recalcar que estas estaciones son convencionales, que registran las mediciones de los instrumentos en horas sinópticas.

El modelo estimado de RSG está influenciado por las características de Riobamba, para conocer si estas estaciones tienen características similares se contrastará la siguiente

hipótesis con un análisis de varianza de un factor para cada variable, además se aplicará el método de diferencia significativa de Tukey para conocer si existe una diferencia significativa entre las variables con respecto al lugar.

Análisis de varianza y método de Tukey

Hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

H_1 : Al menos dos son diferentes

Temperatura máxima

TABLA 24. Análisis de varianza para temperatura máxima

Tabla Anova de Temperatura Máxima					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	253017.381	4	63254.345	1160.70 2	0.000
Dentro de grupos	567092.049	10406	54.497		
Total	820109.430	10410			

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Ya que el valor p es bastante pequeño se rechaza H_0 y se concluye que existe influencia de la zona sobre la temperatura máxima. Procedemos a continuación a comparar las temperaturas medias máximas generadas por las distintas zonas.

TABLA 25. Diferencia significativa de Tukey para temperatura máxima

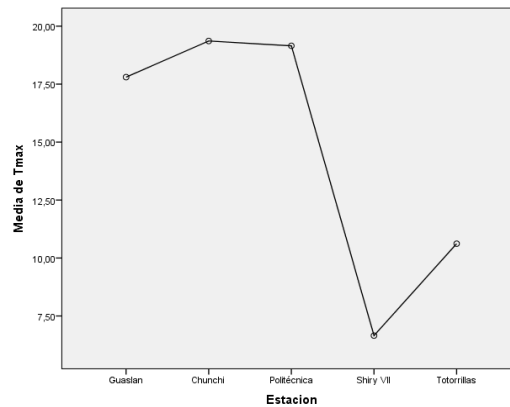
Comparación de Medias					
(I) Estación			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Epoch	Guaslan	1.35091*	0.22299	0
		Chunchi	-0.20785	0.22299	0.884
		Shiry XII	12.49957*	0.2409	0
		Totorrillas	8.53380*	0.22299	0

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Del análisis se concluye que las zonas ESPOCH y Chunchi tienen temperaturas medias máximas estadísticamente iguales, mientras que ESPOCH y el resto de lugares tienen temperaturas medias máximas significativamente diferentes. Lo dicho se puede apreciar con el siguiente gráfico:

GRÁFICO 36. Diferencia significativa de Tukey para temperatura máxima



Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Temperatura mínima

TABLA 26. Análisis de varianza para temperatura mínima

Análisis Anova para la variable Temperatura Mínima					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	19616.613	4	4904.153	1269.597	0
Dentro de grupos	30875.079	7993	3863		
Total	50491.692	7997			

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Ya que el valor p es bastante pequeño se rechaza H_0 y se concluye que existe influencia de la zona sobre la temperatura mínima. Procedemos a continuación a comparar las temperaturas medias mínimas generadas por las distintas zonas.

TABLA 27. Diferencia significativa de Tukey para temperatura mínima

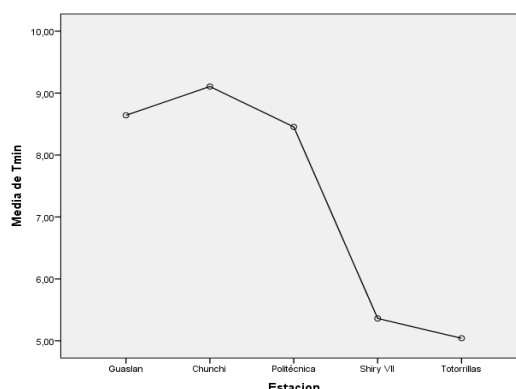
Comparación de Medias					
(I) Estación			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Epoch	Guaslan	-0.18758*	0.06313	0.025
		Chunchi	-0.65255*	0.06114	0
		Shiry XII	3.09255*	0.08437	0
		Totorrillas	3.41212*	0.07119	0

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Del análisis se concluye que la zona ESPOCH y los lugares restantes tienen temperaturas medias mínimas significativamente diferentes. Lo dicho se puede apreciar con el siguiente gráfico:

GRÁFICO 37. Diferencia significativa de Tukey para temperatura mínima



Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Precipitación

TABLA 28. Análisis de varianza para precipitación

Anova					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	931.378	4	232.845	12.929	0
Dentro de grupos	140.798.666	7818	18.010		
Total	141.730.045	7822			

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Ya que el valor p es bastante pequeño se rechaza H_0 y se concluye que existe influencia de la zona sobre la precipitación. Procedemos a continuación a comparar las precipitaciones medias generadas por las distintas zonas.

TABLA 29. Diferencia significativa de Tukey para precipitación

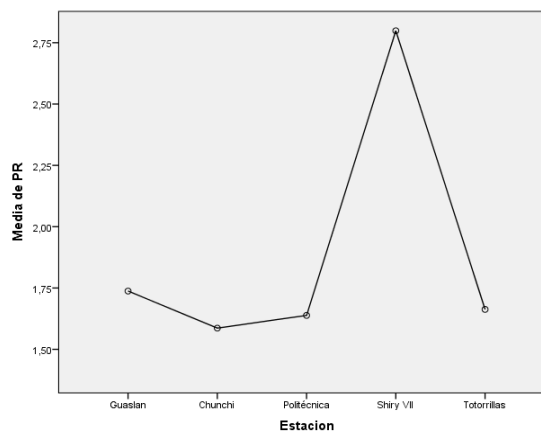
Comparación de Medias					
(I) Estacion			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Espoch	Guaslan	-0.09929	0.15472	0.968
		Chunchi	0.05179	0.15073	0.997
		Shiry XII	-1.16039*	0.19432	0
		Totorrillas	-0.02445	0.15688	1.000

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Del análisis se concluye que las zonas ESPOCH, Guaslán, Chunchi y Totorrillas tienen precipitaciones medias estadísticamente iguales, mientras que las zonas ESPOCH y Shiry XII tienen precipitaciones medias significativamente diferentes. Lo dicho se puede apreciar con el siguiente gráfico:

GRÁFICO 38. Diferencia significativa de Tukey para precipitación



Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Velocidad de viento

TABLA 30. Análisis de varianza para velocidad de viento

Anova para velocidad de viento					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	13.500.430	4	3.375.108	1.709.049	0.000
Dentro de grupos	14.517.087	7351	1.975		
Total	28.017.517	7355			

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Ya que el valor p es bastante pequeño se rechaza H_0 y se concluye que existe influencia de la zona sobre la velocidad de viento. Procedemos a continuación a comparar las velocidades de viento medias generadas por las distintas zonas.

TABLA 31. Diferencia significativa de Tukey para velocidad de viento

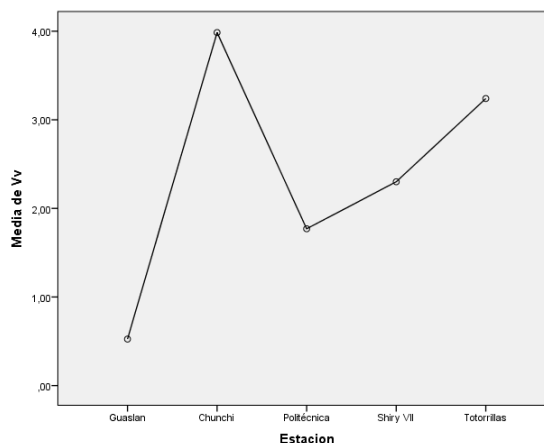
Comparacion de Medias					
(I) Estación			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Espoch	Guaslan	1.24464*	.06017	.000
		Chunchi	-2.21516*	.05907	.000
		Shiry XII	-.53094*	.07160	.000
		Totorrillas	-1.47047*	.06067	.000

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Del análisis se concluye que las zonas ESPOCH, Guaslán, Chunchi, Shiry XII y Totorrillas tienen velocidades de viento medias significativamente diferentes. Lo dicho se puede apreciar con el siguiente gráfico:

GRÁFICO 39. Diferencia significativa de Tukey para velocidad de viento



Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Sin embargo se recolectó los datos de radiación solar de 13 estaciones en la provincia de Chimborazo y se realizó el análisis de varianza para conocer si la zona influye en la variable radiación solar global.

TABLA 322. Análisis de variancia de radiación solar global

Anova de radiación solar global					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7631064.059	12	635922.005	67.157	.000
Dentro de grupos	10558215.213	1115	9469.251		
Total	18189279.272	1127			

Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Ya que el valor p es bastante pequeño se rechaza H_0 y se concluye que existe influencia de la zona sobre la radiación solar global. Procedemos a continuación a comparar las radiaciones solares globales medias generadas por las distintas zonas.

TABLA 333. Diferencia significativa de Tukey para radiación solar promedio

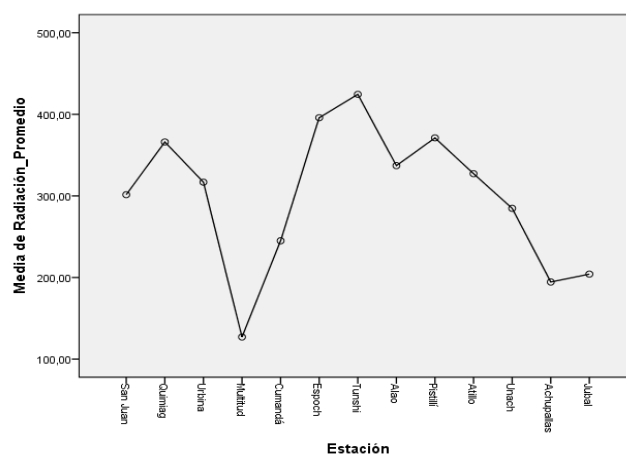
Comparacion de Medias de Tukey					
(I) Estacion		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	
HSD Tukey	Espoch	San Juan	94,33382*	14.90363	0.000
		Quimiag	29.73716	14.50613	0.699
		Urbina	79,01372*	14.50613	0.000
		Multitud	268,72676*	14.95258	0.000
		Cumandá	150,79227*	14.50613	0.000
		Tunshi	-28.60698	14.85573	0.780
		Alao	58,76499*	14.50613	0.004
		Pistishí	24.75266	14.80882	0.906
		Atillo	68,62380*	14.85573	0.000
		Unach	111,08465*	14.50613	0.000
		Achupallas	201,31178*	14.50613	0.000
		Jubal	191,68136*	14.50613	0.000

Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Del análisis se concluye que las zonas ESPOCH, Quimiag, Tunshi y Pistishí tienen radiaciones solares globales medias estadísticamente iguales, mientras que ESPOCH y el resto de zonas tienen radiaciones solares globales medias significativamente diferentes. Lo dicho se puede apreciar con el siguiente gráfico:

GRÁFICO 40. Diferencia significativa de Tukey para radiación solar promedio



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

2.8 Modelación Geoestadística

Para la creación de un modelo geoestadístico es relevante que los datos provengan de una distribución normal, la literatura muestra que la variable radiación solar es aproximadamente normal. (Badescu, 2008), para corroborar esto se realizó una prueba de hipótesis de Komogorov-Smirnov y se verificó este supuesto de hipótesis.

TABLA 344. Prueba de normalidad de las estaciones meteorológicas del INER

Estación		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estadístico	gl	Sig.
Radiación Solar Global (watts/m ²)	San Juan	0.069	81	0.200
	Quimiag	0.036	89	0.200
	Urbina	0.071	89	0.200
	Multitud	0.104	76	0.043
	Cumandá	0.075	90	0.200
	Espoch	0.063	89	0.200
	Tunshi	0.105	70	0.055
	Alao	0.049	90	0.200
	Pistishí	0.088	78	0.200
	Atillo	0.086	81	0.200
	Unach	0.090	90	0.068
	Achupallas	0.106	90	0.015
	Jubal	0.066	90	0.200

Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Del análisis se concluye que sólo las radiaciones medidas en las estaciones meteorológicas de Multitud y Achupallas no provienen de una distribución normal. Además se contrastó la prueba de normalidad multivariante con los contrastes de asimetría y curtosis multivariantes. Para esto se utilizó el programa LISREL 9.1 y se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA 35. Prueba de normalidad multivariante de RSG en las estaciones del INER

Test of Multivariate Normality for Continuous Variables							
Skewness			Kurtosis			Skewness and Kurtosis	
Value	Z-Score	P-Value	Value	Z-Score	P-Value	Chi-Square	P-Value
37.378	1.221	0.222	189.221	-0.131	0.896	1.509	0.47

Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

Puesto que el valor p es grande no se puede rechazar H_0 y se concluye que la muestra de datos multivariantes proviene de una distribución normal.

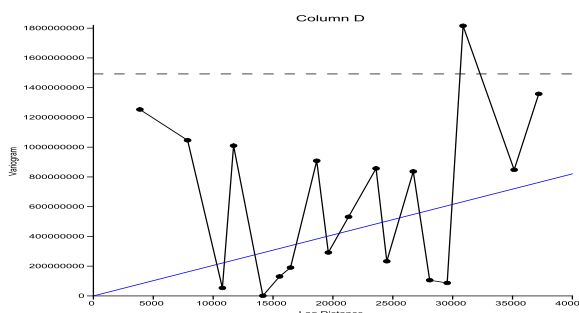
Supuesto de Estacionariedad

Decimos que una variable cumple el supuesto de estacionariedad espacial cuando tiene una distribución cuya esperanza matemática sea la misma en todos los lugares. La variable radiación solar se ha demostrado que tiene una distribución normal en todos los puntos quedando demostrado que se cumple el supuesto de estacionariedad. (Wackernagel, 2010)

Creación del Variograma Experimental

Se observa que la RSG sobre la provincia de Chimborazo es demasiado irregular, no se observa una tendencia que pueda explicar este fenómeno espacial, en la literatura se recomienda usar un modelo lineal cuando los datos no presentan una tendencia exponencial, gaussiana, esférica o cualquier otra conocida. (19). Lo dicho se observa en los siguientes variogramas:

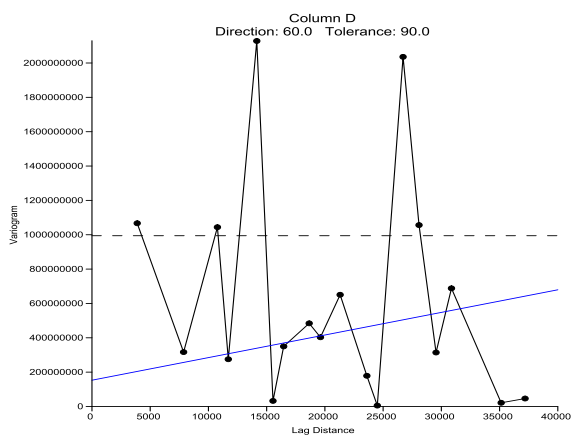
GRÁFICO 41. Variograma experimental de insolación de enero



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

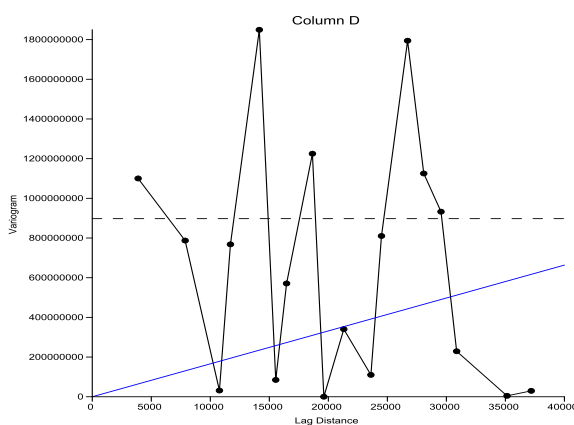
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 42. Variograma experimental insolación febrero



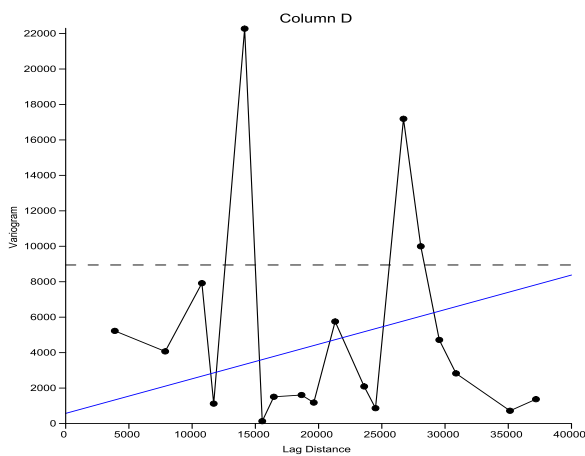
Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 43. Variograma experimental insolación de marzo



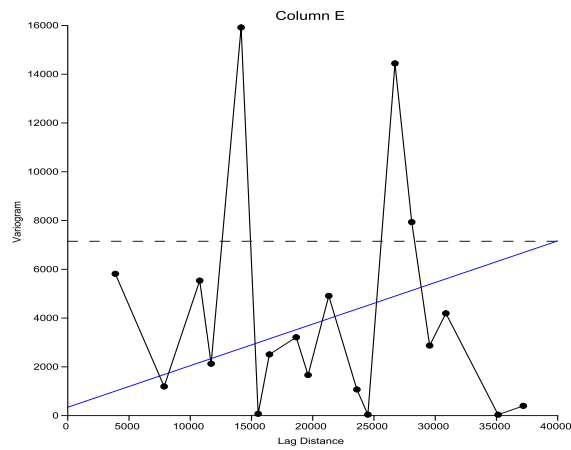
Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 44. Variograma experimental radiación promedio de enero



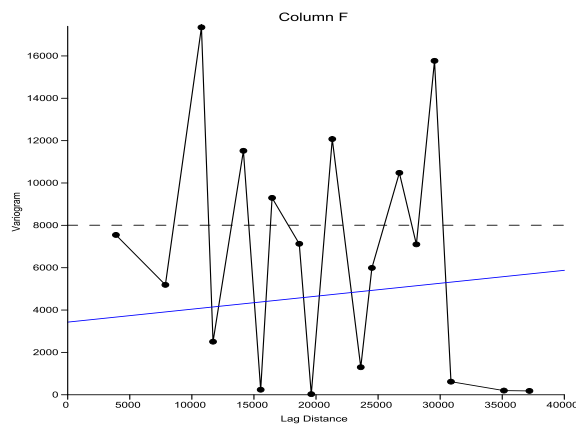
Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

GRÁFICO 45. Variograma experimental de radiación promedio febrero



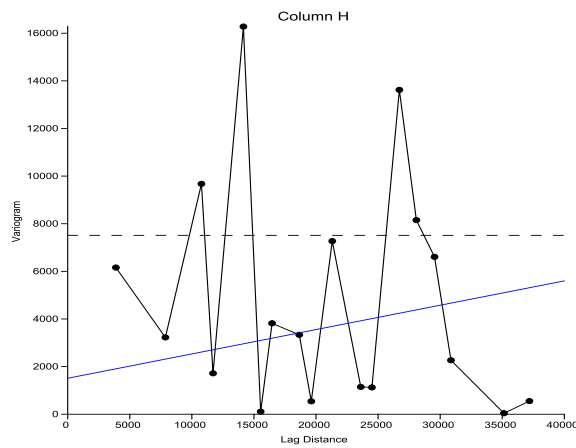
Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

GRÁFICO 46. Variograma experimental de radiación promedio marzo



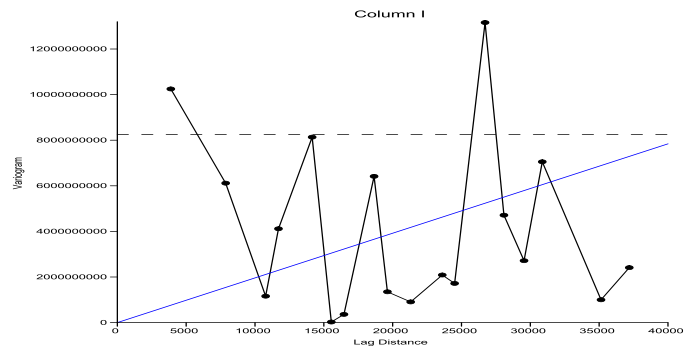
Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

GRÁFICO 47. Variograma promedio trimestral de radiación



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

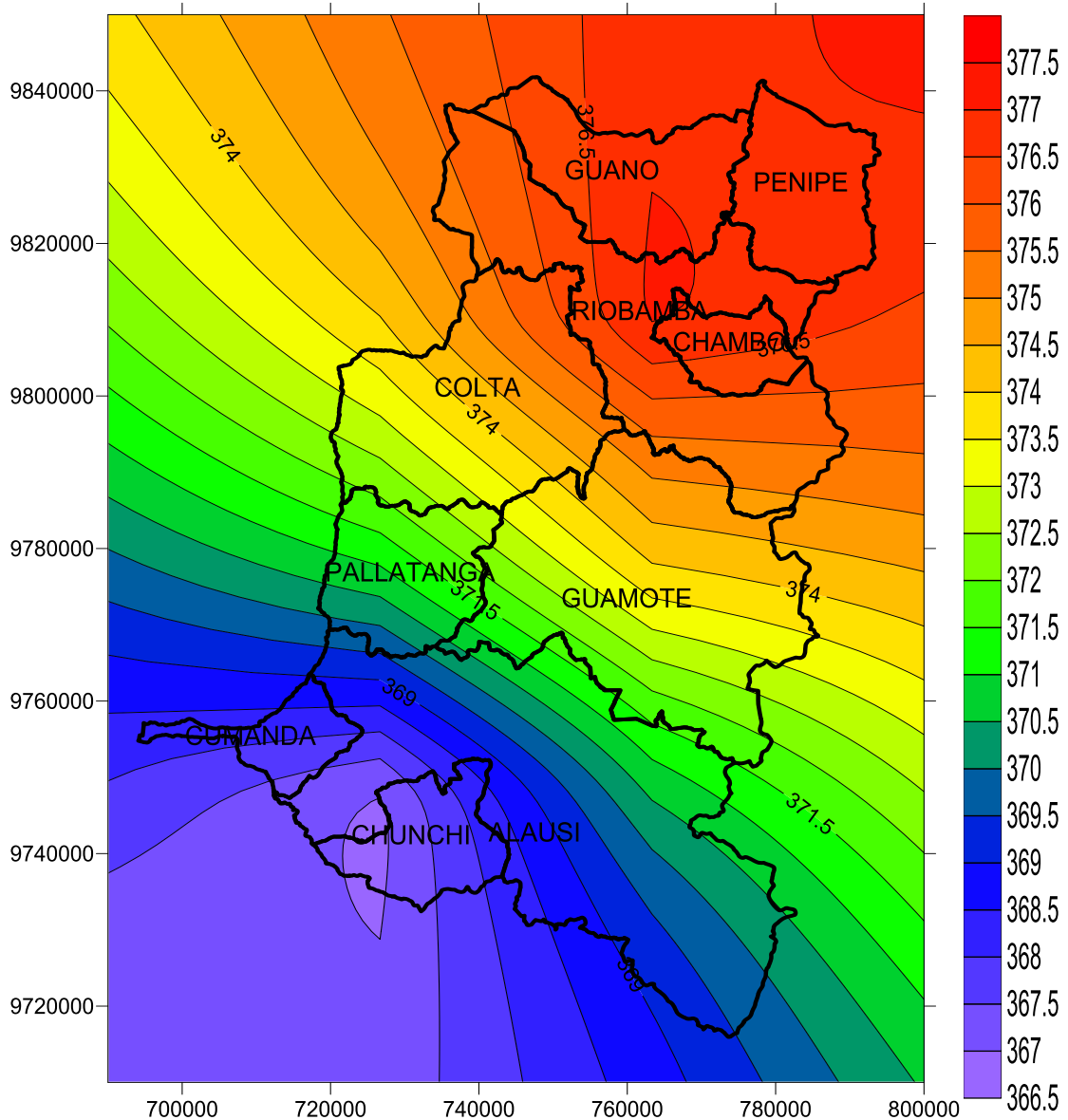
GRÁFICO 48. Variograma insolación trimestral de radiación



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos, C., Pérez, N.

La modelación geoestadística se ha basado en el Kriging ordinario, pues los datos no presentan una tendencia espacial, son estacionarios con una distribución normal aproximada en todos los puntos. (Rehman & Saleem, 2000), (Gallardo, 2006), (Giraldo Henao, 2003). A continuación se presenta el mapa geoestadístico de radiación solar global promedio en el año 2012 con 5 estaciones meteorológicas en la provincia de Chimborazo.

GRÁFICO 49. Radiación solar promedio para el año 2012

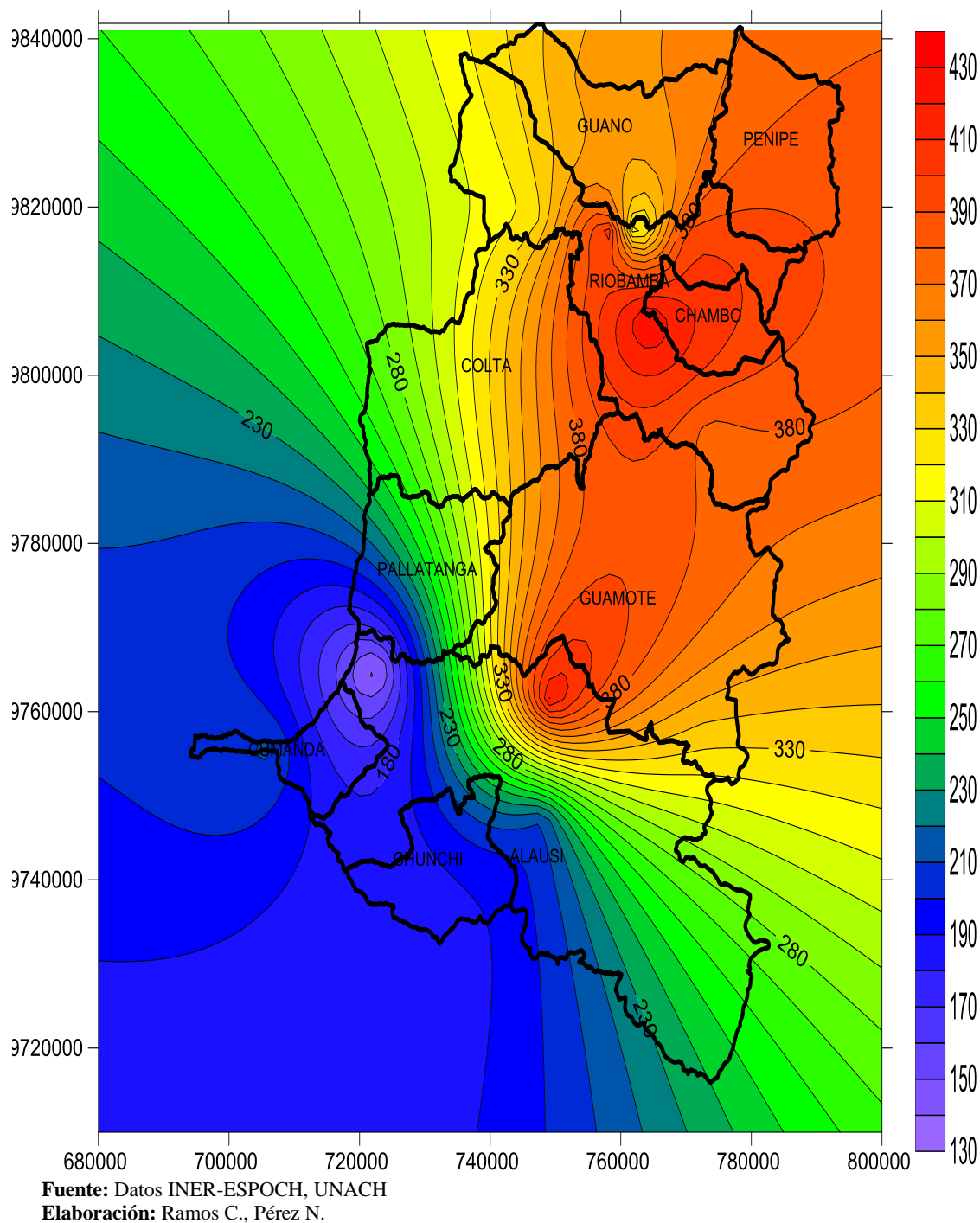


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

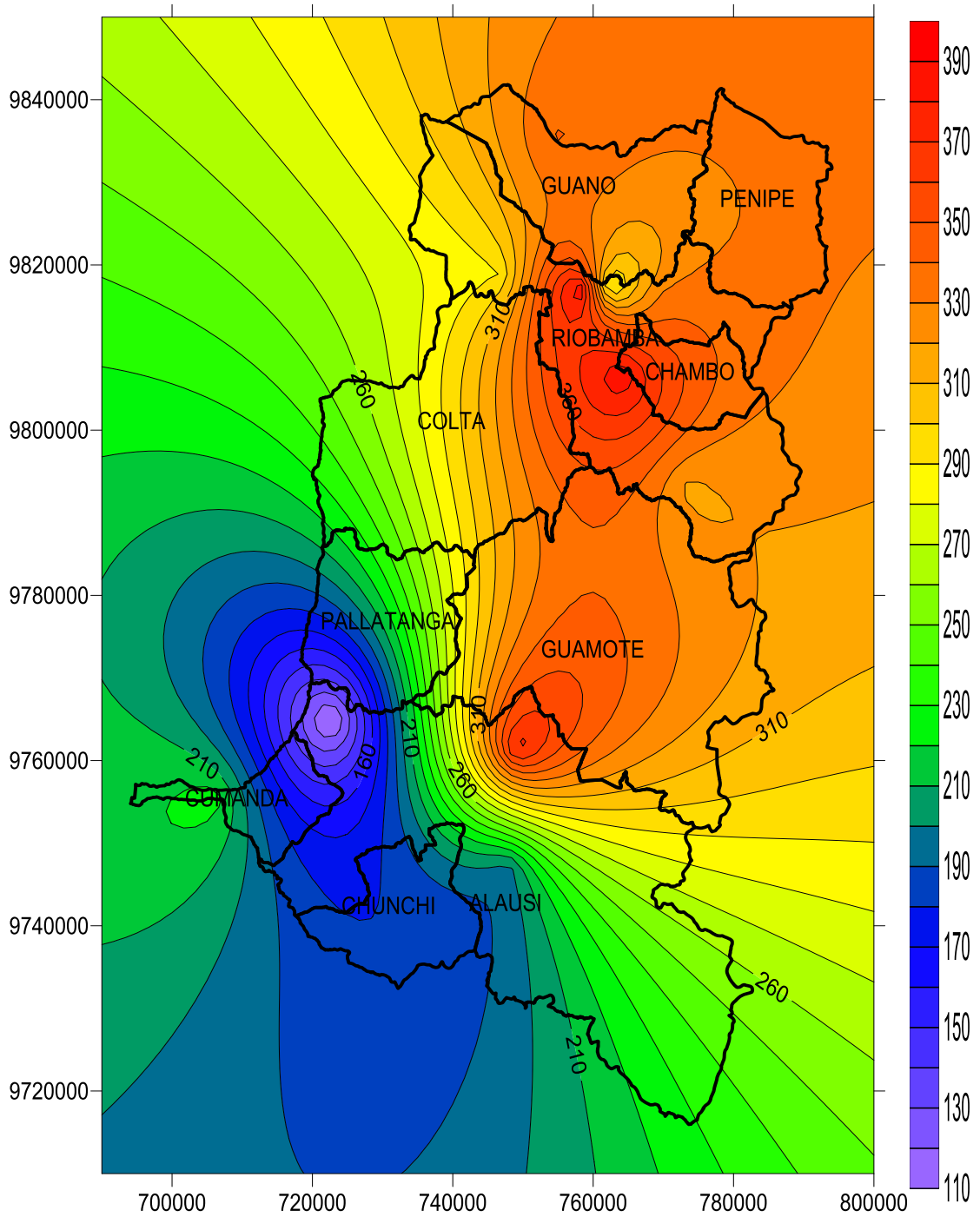
Por la escasa información en el año 2012 el modelo geoestadístico obtenido es malo porque el 40% de los datos de RSG se ajustan al modelo, no representa la RSG espacial de la provincia de Chimborazo, por ello para la modelación se ha tomado datos de 13 estaciones meteorológicas automáticas con información disponible desde noviembre de 2013. Se ha considerado realizar mapas mensuales de enero, febrero y marzo de 2014 de radiación promedio e insolación mensual, de esta forma se tendrá conocimiento del comportamiento de esta variable, adicionalmente se ha realizado un mapa trimestral de la cantidad de insolación y la radiación promedio que ha recibido la provincia.

GRÁFICO 50. Mapa de radiación promedio de Enero



Se muestra una mayor concentración de radiación para Penipe, Chambo, una parte de Riobamba y Guamote con un promedio de radiación de 430 w/m², sin embargo en la parte sur de Chimborazo perteneciente a los cantones Multitud, Cumandá, Chunchi se registra cantidades menores de radiación promedio que alcanzan de 130 a 150 w/m² determinados por la cantidad de nubosidad de la zona al encontrarse en el subtrópico.

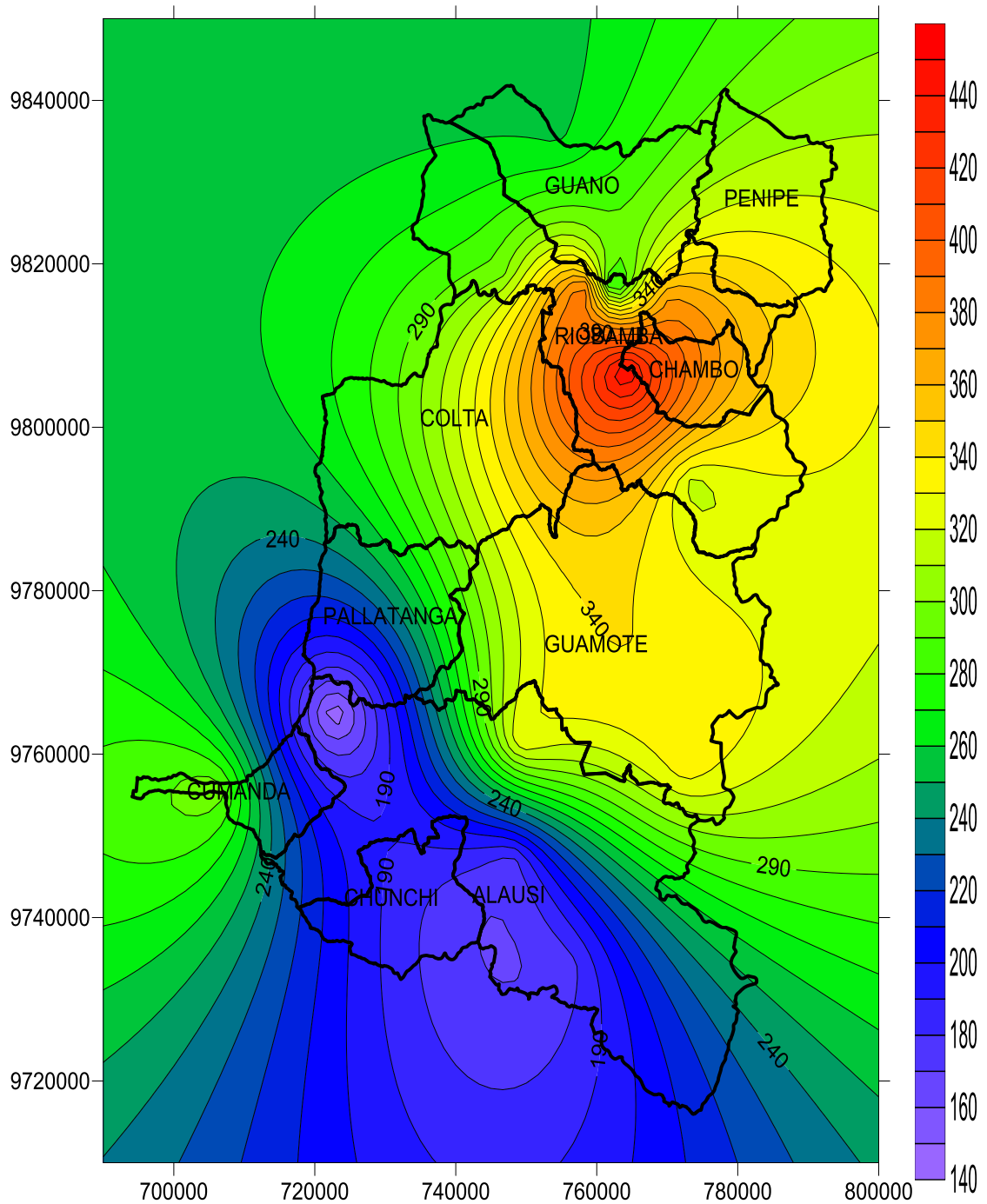
GRÁFICO 51. Mapa de radiación promedio de Febrero



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La radiación promedio mayor registrada en este mes está de 360 a 390 w/m^2 referente a los cantones de Riobamba, Chambo y Guamote; mientras que en los cantones de Multitud, Cumandá y Chunchi continúan registrándose valores bajos de radiación solar que varía entre 110 a 160 w/m^2 , los valores registrados de radiación y las zonas de influencia son menores a las del mes de enero.

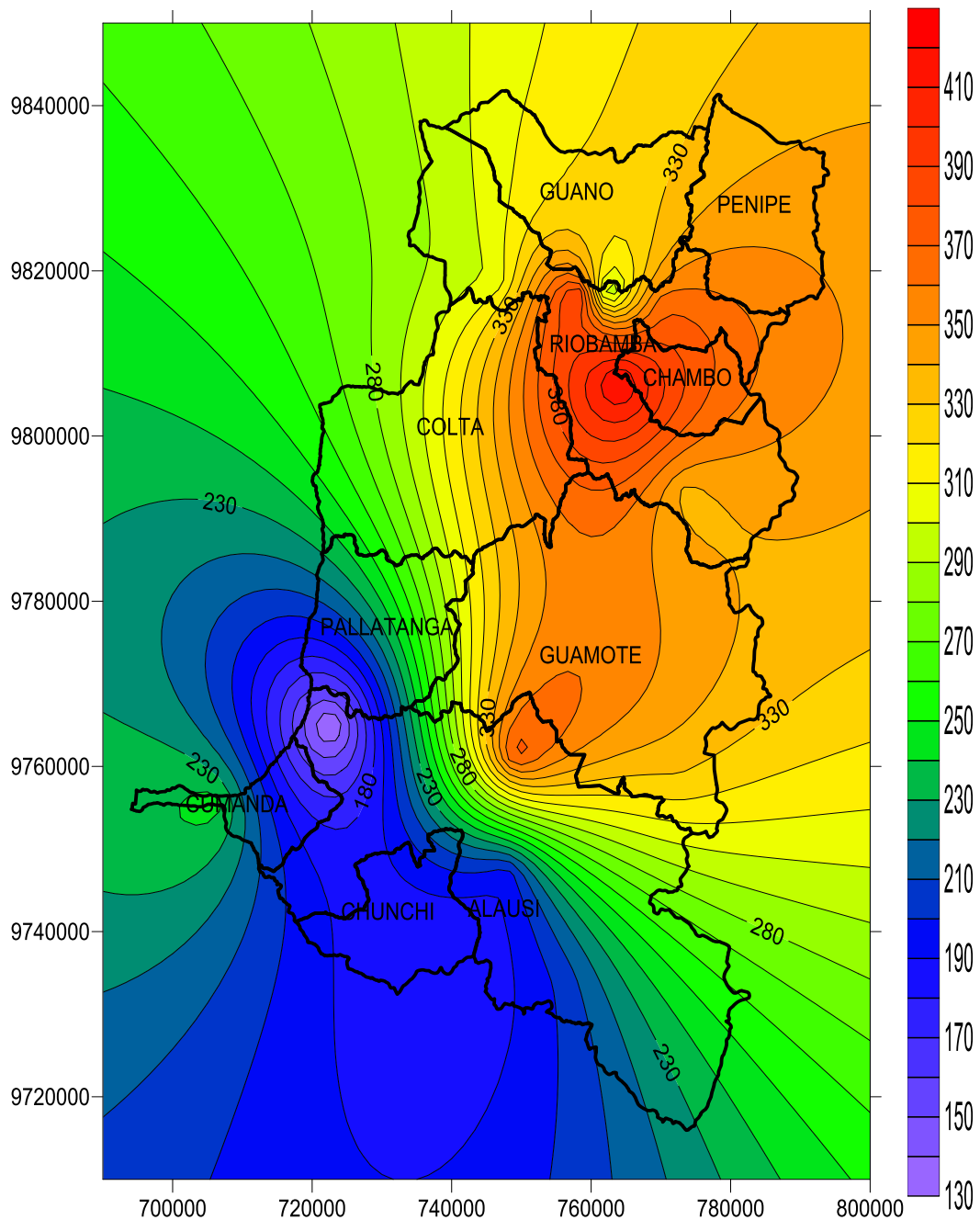
GRÁFICO 52. Mapa de promedio de radiación de Marzo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

Se determina que existe valores altos de radiación promedio que varían entre 400 a 440 w/m^2 para la parte centro de la ciudad de Riobamba y valores bajos de radiación entre 140 a 180 w/m^2 para los cantones de Multitud, parte de Pallatanga, Cumandá, Chunchi, parte de Alausí, se observa que en este mes la RSG y las zonas de influencia disminuyeron con respecto a los meses anteriores.

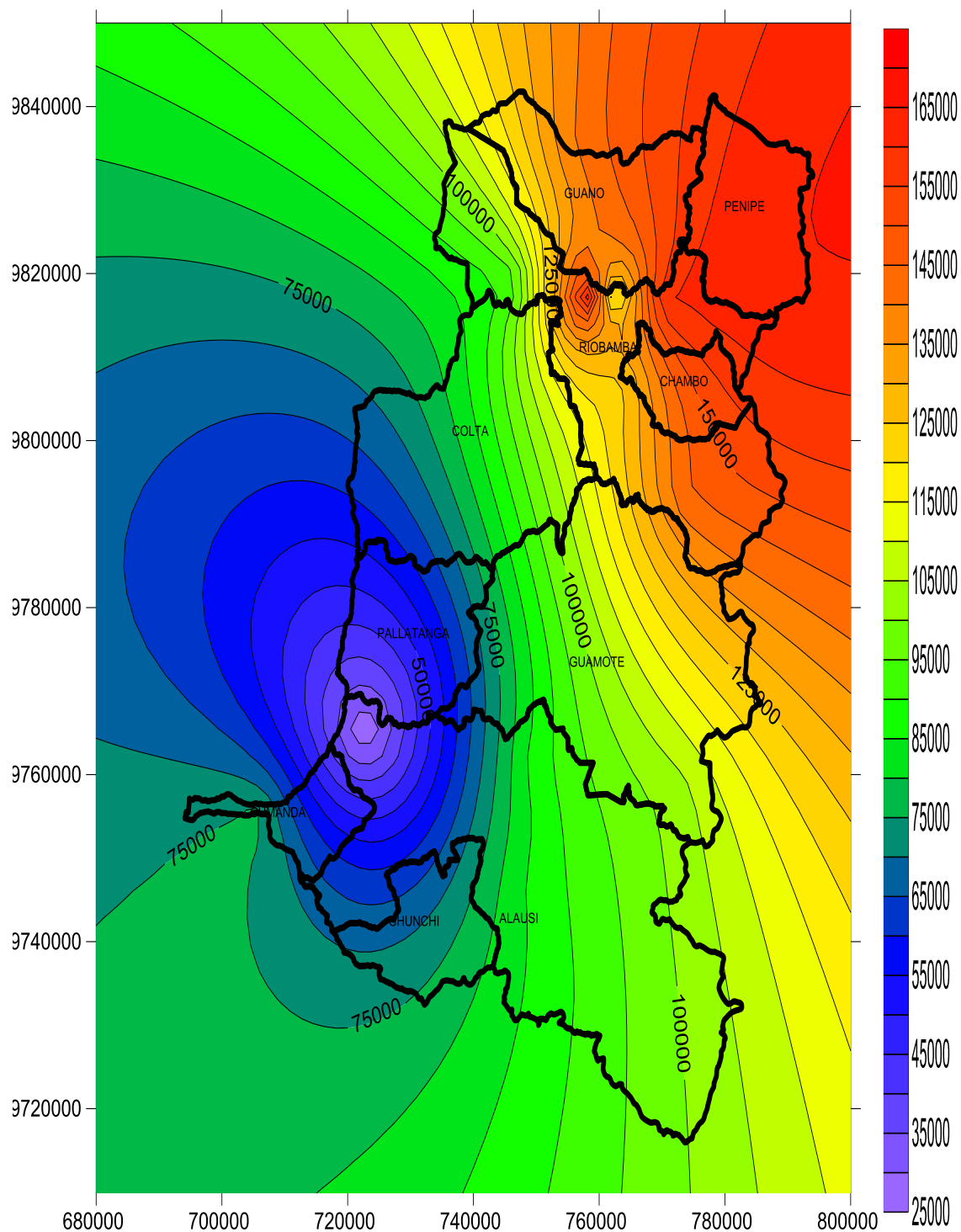
GRÁFICO 53. Mapa de radiación promedio trimestral



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La cantidad promedio de radiación alta para el primer trimestre del año varía de 380 a 410 w/m^2 sobresaliendo en la zona centro de Riobamba y parte de Chambo, mientras que la radiación promedio baja registrada para el trimestre varía de 130 a 170 w/m^2 para la parroquia Multitud, los cantones Cumandá, Chunchi, parte de Pallatanga y Alausí, determinando que las zonas de Riobamba, parte de Chambo, parte de Guano son las zonas donde se registra mayor RSG en el primer trimestre del año 2014.

GRÁFICO 54. Mapa de insolación de Enero

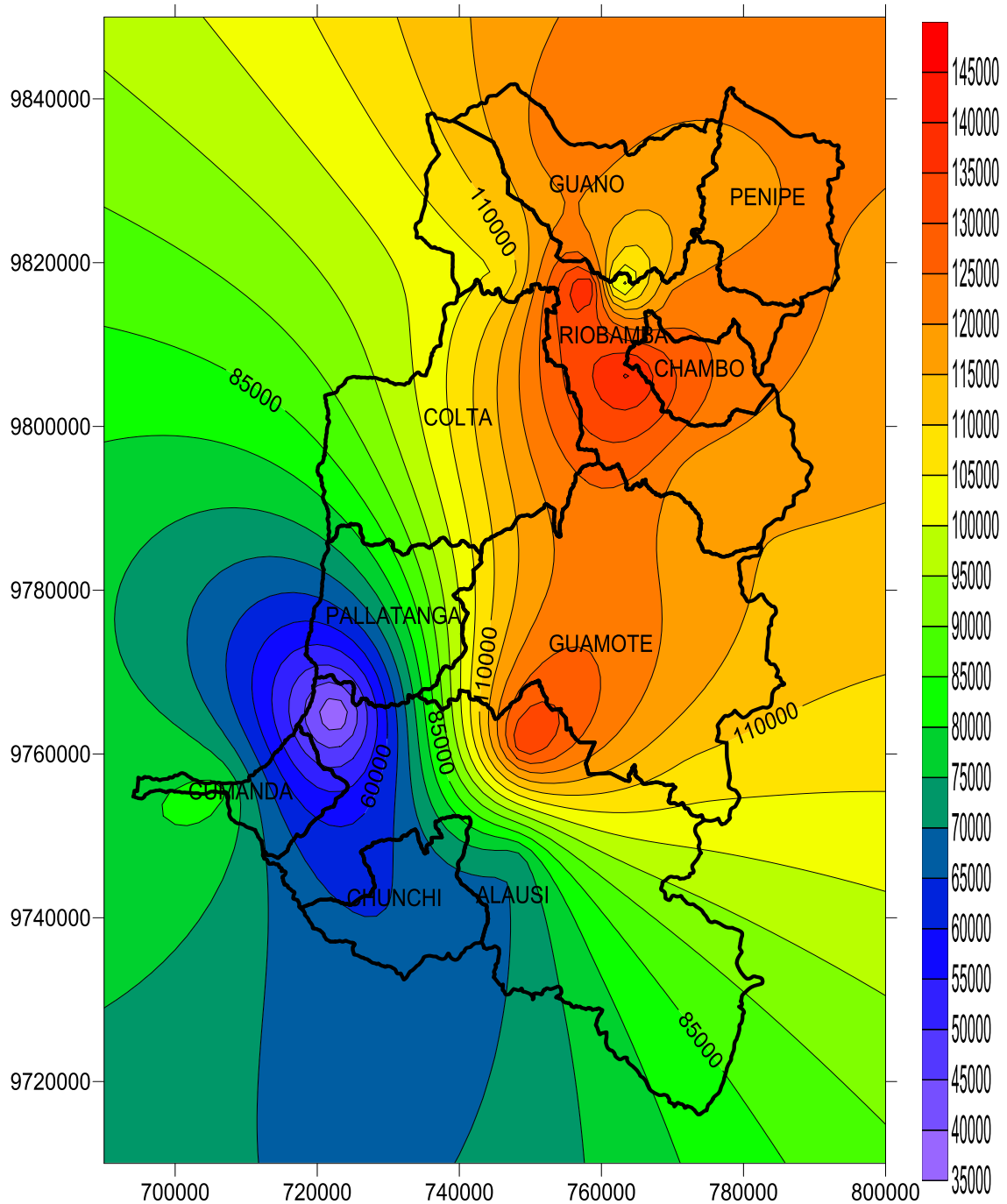


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La cantidad de insolación mayor varía de 150000 a 165000 w*h/m² para el cantón Penipe, Chambo y parte de la ciudad de Riobamba, sin embargo los valores bajos de insolación varían de 25000 a 35000 w*h/m² en la parroquia Multitud y el cantón Cumandá.

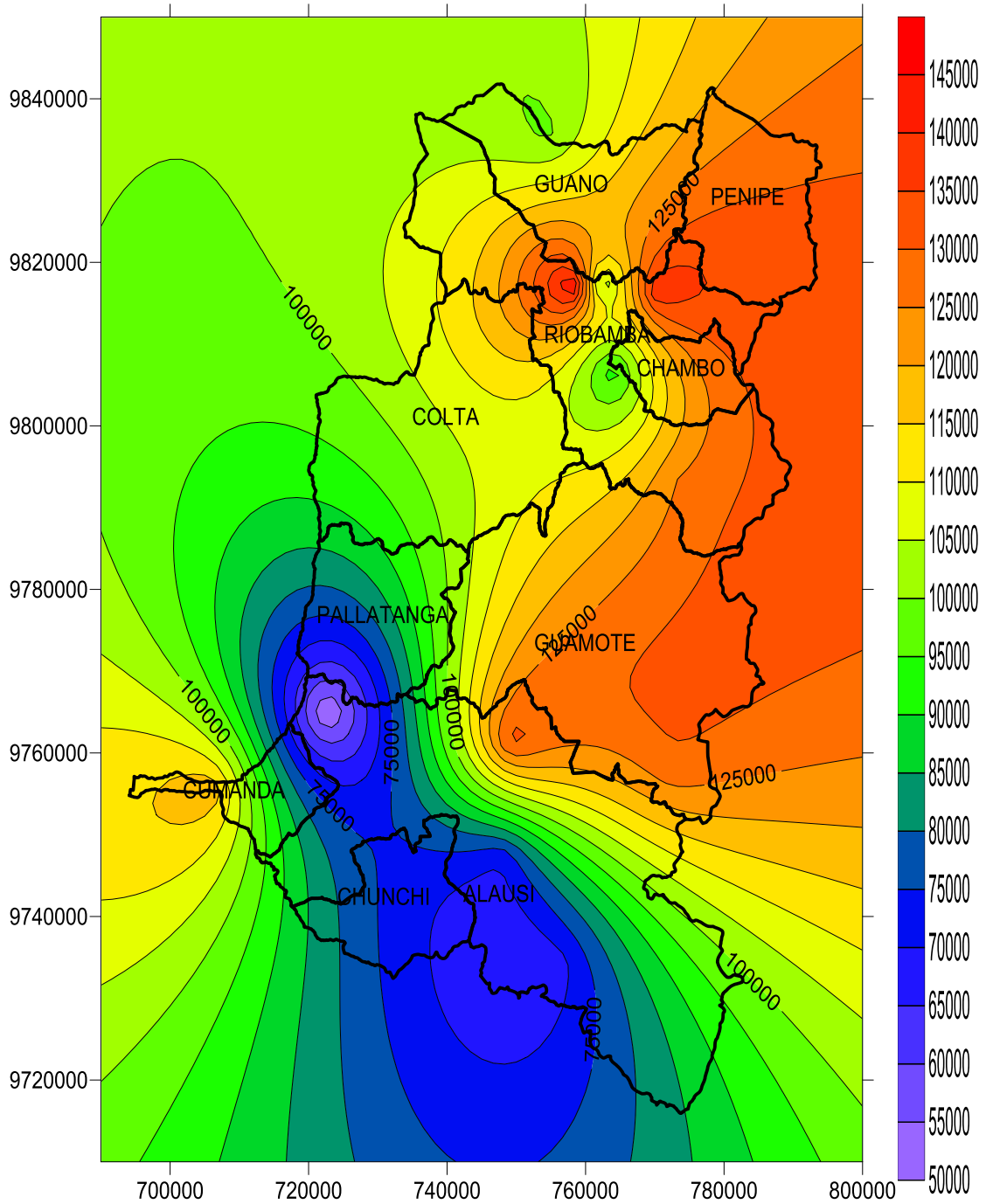
GRÁFICO 55. Insolación del mes de Febrero



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La cantidad de insolación máxima registrada en este mes varía de 140000 a 145000 $w*h/m^2$ determinado en la zona centro de la ciudad de Riobamba y en una pequeña parte de Alausí y Guamote, sin embargo la insolación menor registrada en el mes varía de 35000 a 45000 $w*h/m^2$ en la parroquia Multitud, parte del cantón Cumandá, observando la disminución de RSG y su influencia sobre las zonas con respecto al mes anterior.

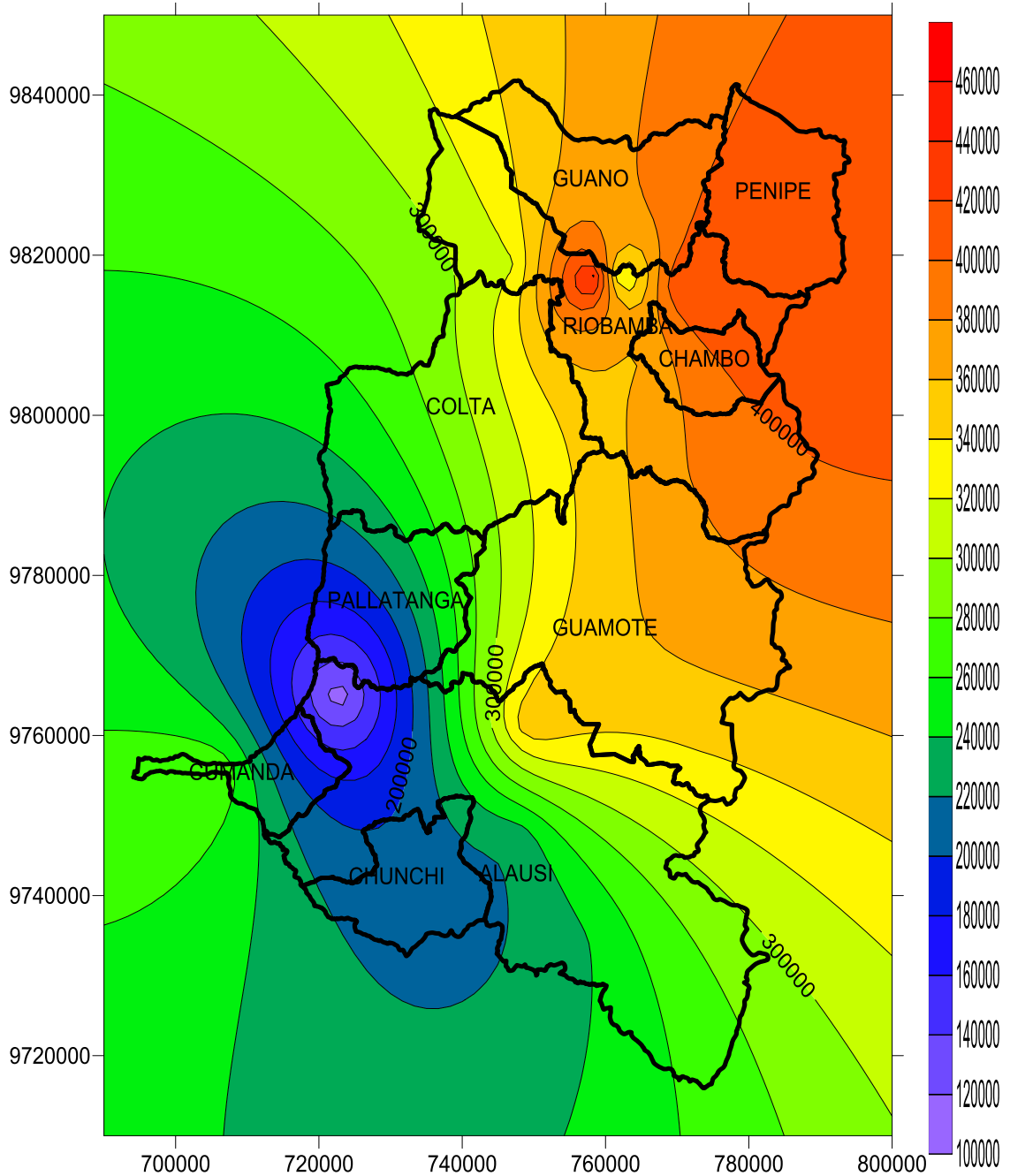
GRÁFICO 56. Insolación del mes de Marzo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

En este mes la cantidad de insolación mayor registrada varía de 140000 a 145000 $w \cdot h/m^2$ determinadas en la parte centro de la ciudad de Riobamba, parte del cantón Penipe y una pequeña parte del cantón Guamote, mientras que se registró la insolación menor que varía de 5000 a 55000 $w \cdot h/m^2$ en la parroquia Multitud, observando que en este mes se registra la menor RSG y con respecto a los dos meses anteriores.

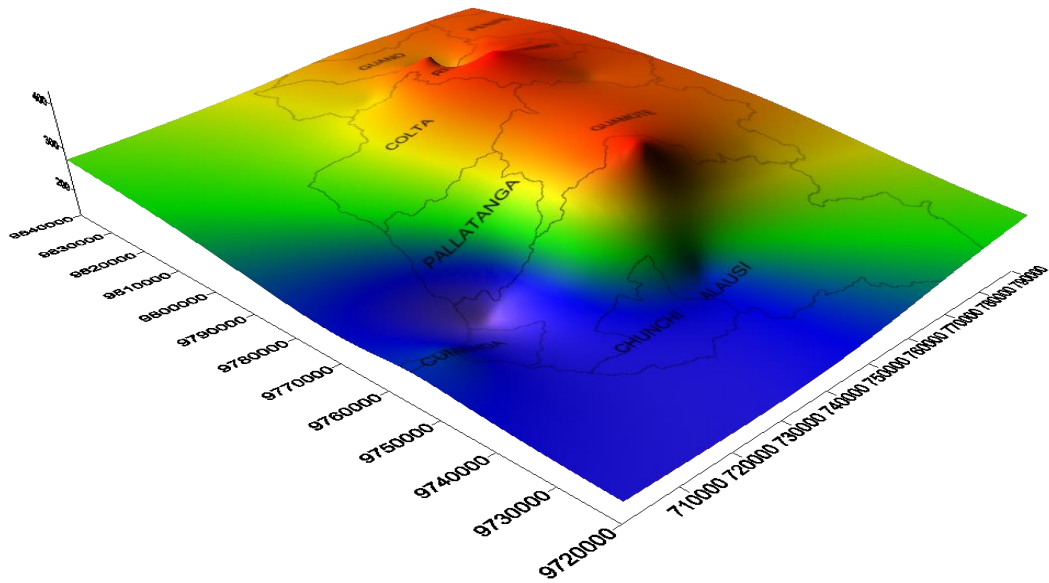
GRÁFICO 57. Insolación trimestral



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

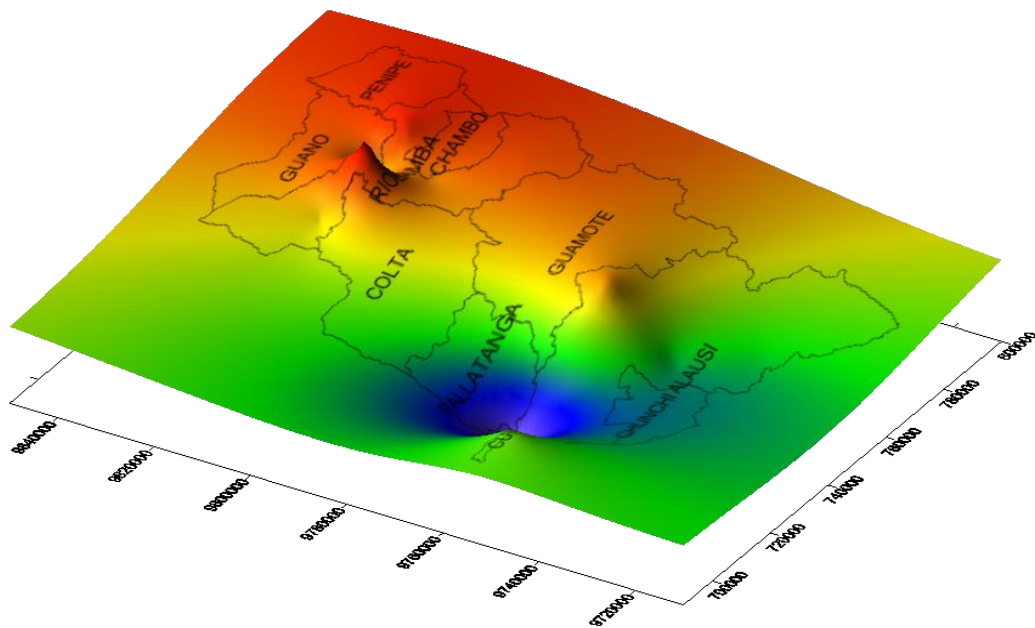
Para la insolación trimestral promedio se ha registrado en la zona centro de Riobamba, Penipe y una pequeña parte de Chambo una insolación promedio mayor que varía de 440000 a 460000 $w \cdot h/m^2$, mientras que la cantidad de insolación promedio pequeñas son registradas en la parroquia de Multitud y parte del cantón Cumandá que varían de 100000 a 120000 $w \cdot h/m^2$, determinando que la zona centro de Riobamba, Penipe y una zona pequeña de Chambo son las zonas de mayor influencia de RSG.

GRÁFICO 58. Promedio de radiación trimestral en superficie 3D



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

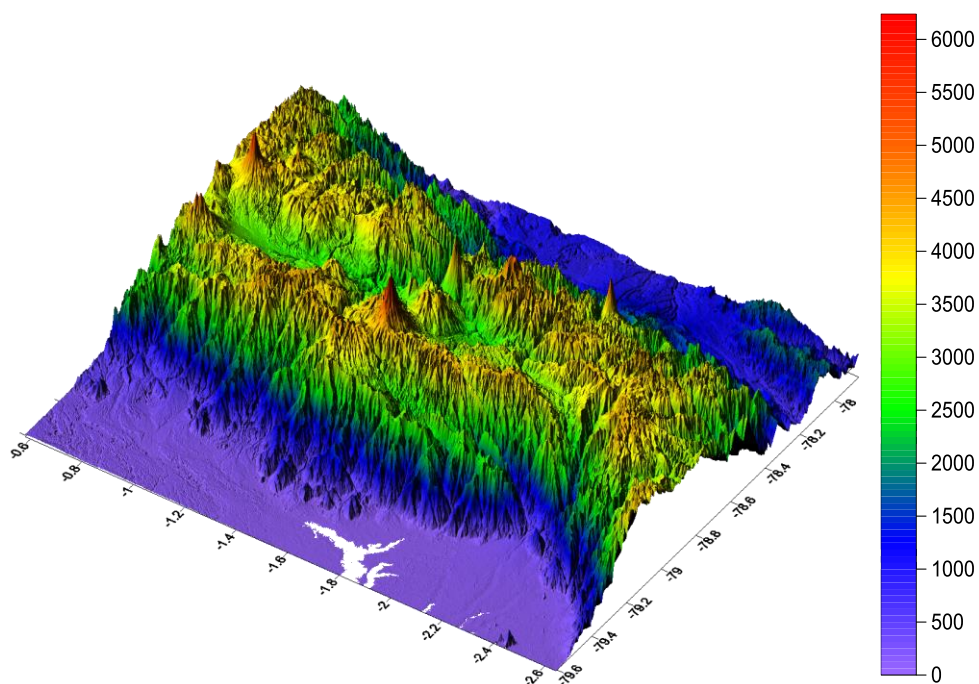
GRÁFICO 59. Insolación trimestral en superficie 3D



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

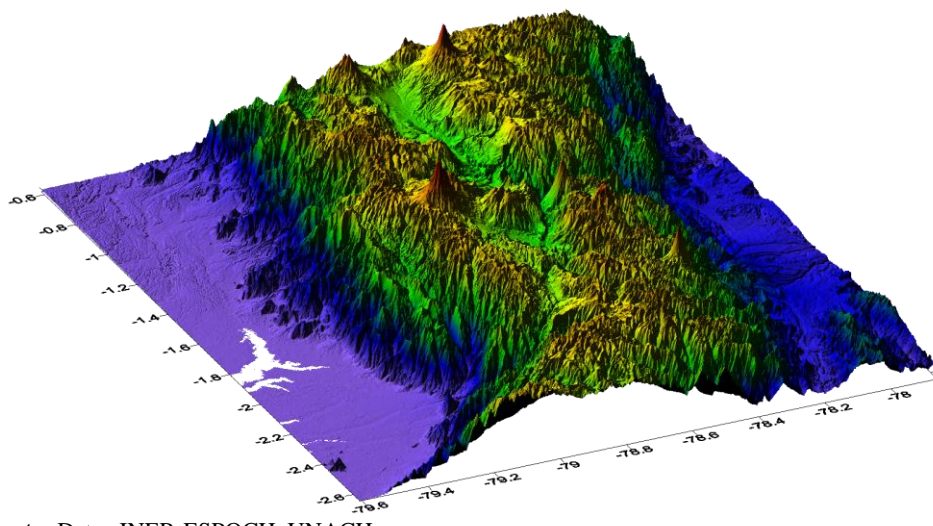
En las gráficas de RSG tridimensionales se observa que la zona centro de Riobamba tiene una alta influencia de RSG, seguido de una parte de Chambo y Guano mientras que las zonas que se encuentran en el subtrópico como Cumandá y Multitud registran ser zonas de baja influencia de RSG en los tres meses de estudio.

GRÁFICO 60. Mapa de curvas de nivel de Chimborazo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

GRÁFICO 61. Mapa de curvas de nivel

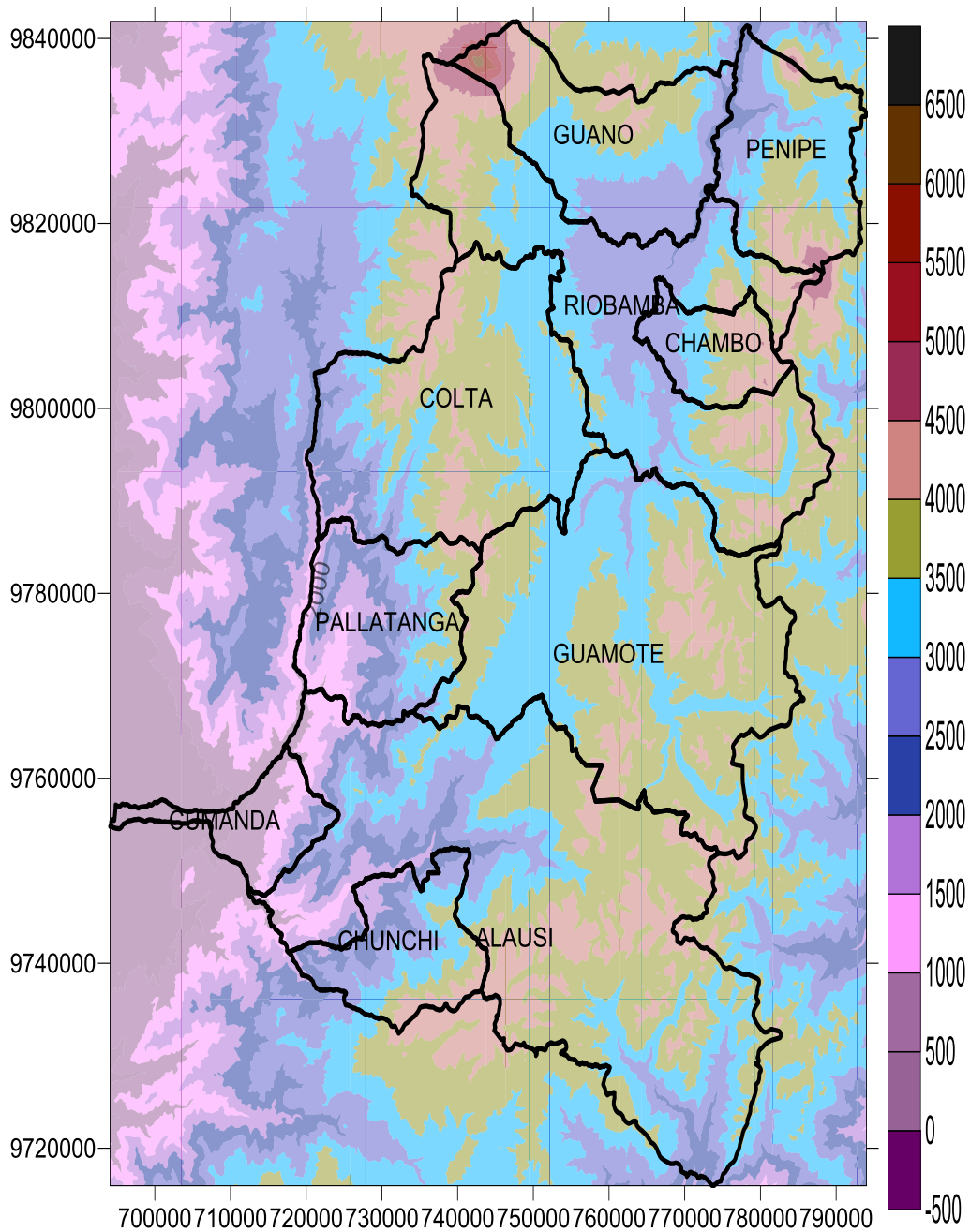


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

Las curvas de nivel para a provincia de Chimborazo están determinadas a partir de los 1500 m.s.n.m hasta los 6100 m.s.n.m que alcanza el Chimborazo, se observa que la mayor cantidad de radiación se registra en la ciudad de Riobamba ubicada en la zona entre los 2500 a 3000 m.s.n.m.

A pesar que Riobamba se encuentra entre los 2500 a 2700 m.s.n.m su superficie plana es el factor relevante que permite que la radiación llegue a su superficie, sin embargo el recubrimiento de las montañas permite que solo una cantidad menor de la masa del aire espesa de las corrientes llegue hasta allí. Como se observa en las gráficas 60, 61 y 62 de curvas de nivel la provincia de Chimborazo existe una gran variedad de climas, por ello la biodiversidad es determinante para el modelamiento espacial de radiación solar.

GRÁFICO 62. Mapa de curvas de nivel de la provincia de Chimborazo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

2.9 Técnicas

Técnicas de recolección de información

Recolección Datos del INAMHI

Las distribuciones estadísticas de las variables meteorológicas de las estaciones convencionales se obtuvieron de la base de datos del INAMHI diseñada para almacenar toda la información meteorológica e hidrológica del país, a excepción de la estación convencional de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH para la cual fue necesario diseñar una plantilla en Excel para digitalizar la información guardada en registros físicos que fue tomada por un observador quien registraba los datos de los diferentes fenómenos en horas sinópticas 7:00, 10:00, 13:00, 16:00 y 19:00 del día, presente en el ANEXO 8.

Recolección de datos de la estación automática de Ciencias

En la estación automática de la Facultad de Ciencias se procedió a bajar la información almacenada en una memoria del dataloger a una plantilla en Excel diseñada para el análisis de datos, esta información se obtuvo cada 10 minutos ya que este instrumento está programado para tomar 1 medición instantánea cada minuto y de allí toma un promedio, la desviación estándar, un máximo y un mínimo y guarda este dato cada 10 minutos según lo establecido en la Organización Mundial de Meteorología (OMM), y se puede apreciar en el ANEXO 6.

Recolección de datos de las estaciones automáticas del INER-ESPOCH y UNACH

Los datos de las 13 estaciones meteorológicas son tomados cada minuto y por medio de un proceso interno se obtiene el promedio, el máximo, el mínimo y la suma los cuales se guardan en la memoria de un dataloger y se transfieren cada hora por GPRS y GOES a un server en la ESPOCH y UNACH.

Técnicas de obtención de coordenadas

Para la obtención de coordenadas se utilizó el método estático el cual permite reducir el tiempo de observación ya que el periodo de ocupación es de 10 a 20 minutos con receptores de doble frecuencia, dependiendo de la distancia de la estación a la base. Esta técnica alcanza niveles óptimos para distancias relativamente cortas (5 a 10 km) por lo que la máxima distancia recomendada desde la base es de 10km para receptores de frecuencia simple (L1), obteniendo mayor precisión.

2.10 Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis textual

Existe una relación lineal entre radiación solar global y las variables meteorológicas heliofanía, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y velocidad de viento.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

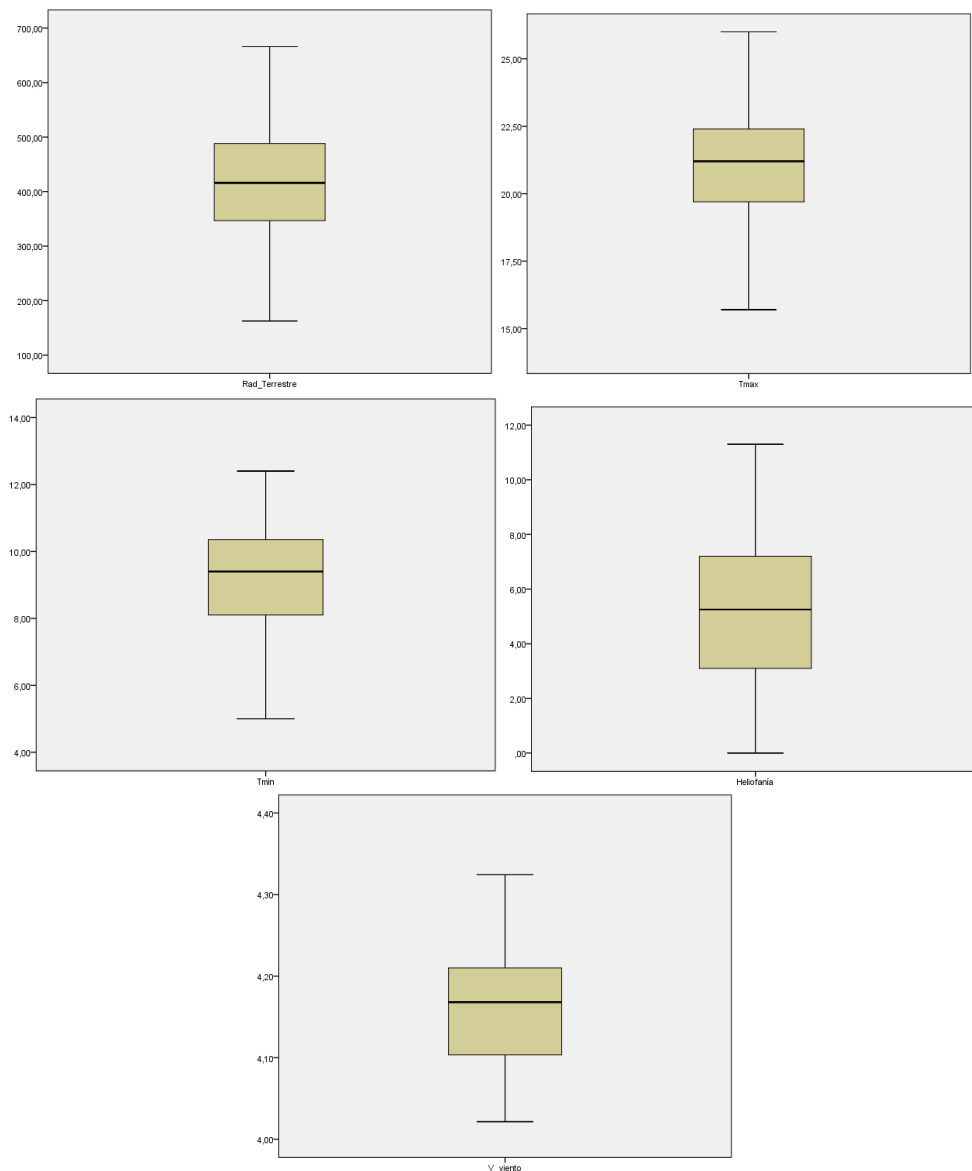
Datos atípicos univariantes

La determinación de datos atípicos en meteorología es de fundamental importancia pues permiten observar sucesos importantes del comportamiento de los fenómenos físicos. En estudios de meteorología es común utilizar el método de programación cuadrática y métodos descriptivos (Badescu, 2008), (Baigorria & Villeas, 2004), obteniendo como resultado una cantidad pequeña de datos atípicos que han sido desechados al no encontrar explicaciones.

En el presente estudio se ha realizado una minuciosa detección de los datos atípicos pues estadísticamente su existencia es la causa de la destrucción de las relaciones existentes entre las variables. Por esta razón se ha considerado realizar un análisis univariante, bivariante y multivariante para detectarlos.

Para la detección de atípicos univariantes se han utilizado diagramas de caja y el coeficientes de curtosis. Este análisis se corrobora determinando un indicador robusto del centro de los datos y una medida robusta de la dispersión de cada variable identificando los datos atípicos inmersos en la base de datos. Se obtuvo así las variables individuales limpias de atípicos.

GRÁFICO 63. Diagramas de caja de las variables meteorológicas limpias de atípicos



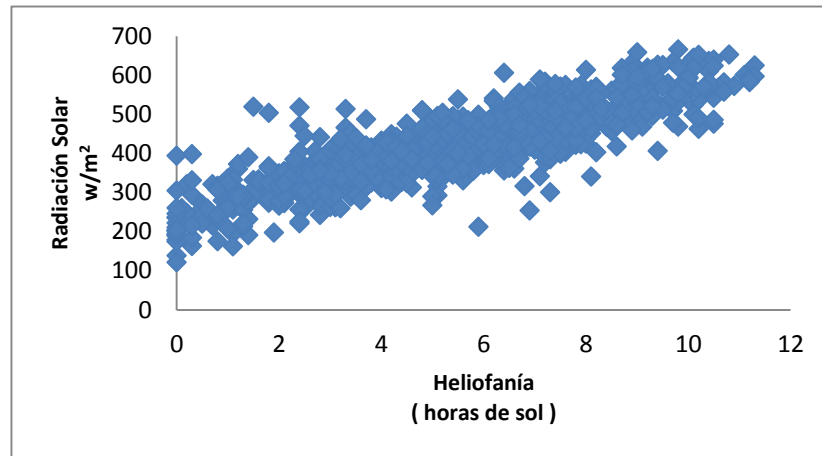
Fuente: Datos INAMHI, INER-ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

En los diagramas de caja de las variables radiación terrestre, heliofanía, temperatura máxima y velocidad de viento se aprecia la presencia de simetría, mientras que en la variable temperatura mínima se aprecia la presencia de asimetría negativa.

Datos atípicos bivariantes

Se ha detectado datos atípicos bivariantes utilizando gráficos de dispersión en pares de variables identificando los datos atípicos inmersos en la base de datos.

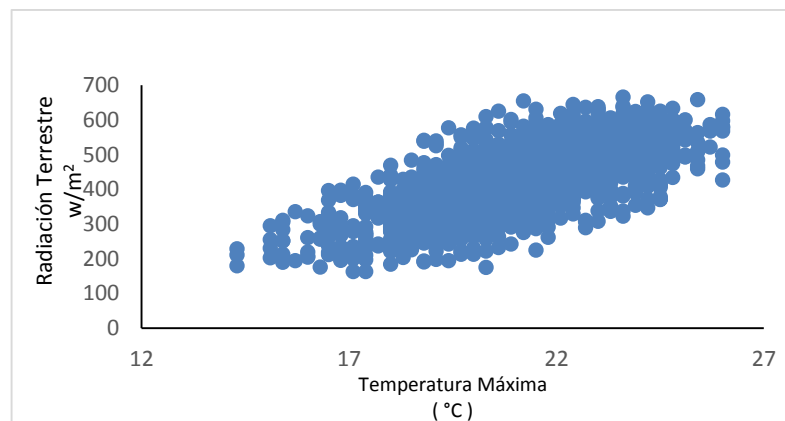
GRÁFICO 64. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y heliofanía



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El gráfico ilustra claramente que existe una relación de dependencia fuerte entre las variables RSG y He, de carácter lineal, no se aprecia la presencia de datos anómalos.

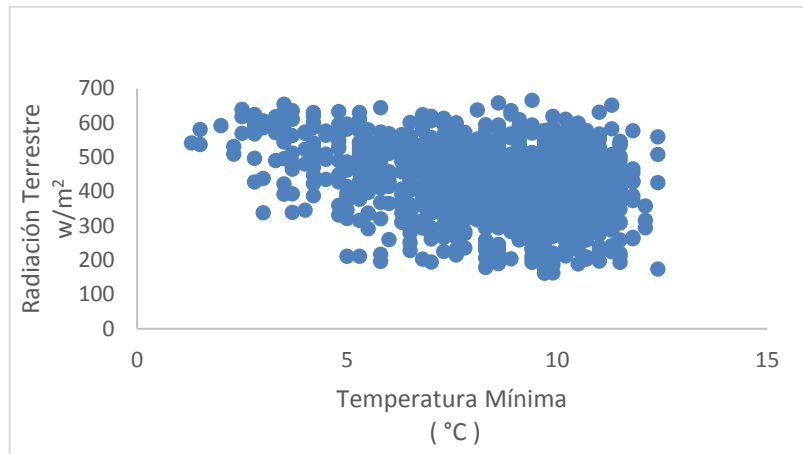
GRÁFICO 65. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura máxima



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El gráfico ilustra claramente que existe una relación de dependencia fuerte entre las variables RSG y Tmax, de carácter no lineal, no se aprecia la presencia de datos anómalos.

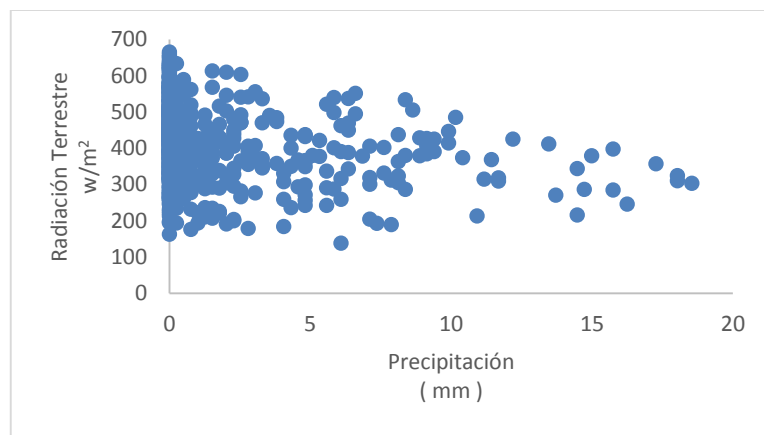
GRÁFICO 66. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y temperatura mínima



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El gráfico ilustra claramente que existe una relación de dependencia fuerte entre las variables RSG y Tmin, de carácter no lineal, no se aprecia la presencia de datos anómalos.

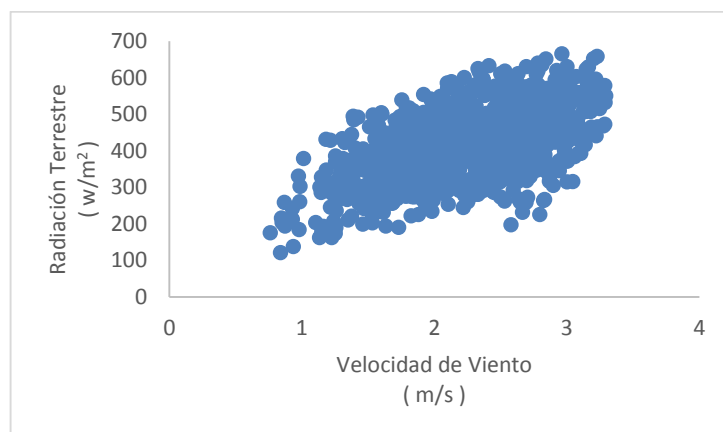
GRÁFICO 67. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y precipitación sin datos atípicos



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El gráfico ilustra claramente que existe una relación de dependencia fuerte entre las variables RSG y PR, de carácter no lineal, no se aprecia la presencia de datos anómalos.

GRÁFICO 68. Diagrama de dispersión entre radiación terrestre y velocidad de viento



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

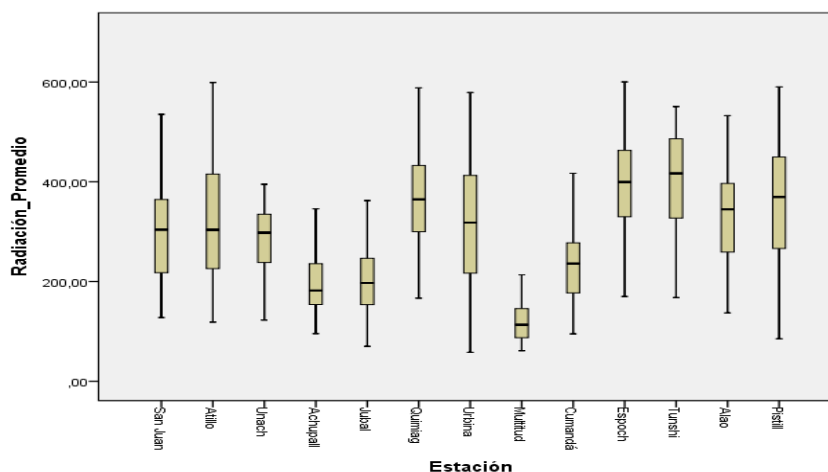
El gráfico ilustra claramente que existe una relación de dependencia fuerte entre las variables RSG y V_v , de carácter no lineal, no se aprecia la presencia de datos anómalos.

Datos atípicos multivariantes

Mediante el método de máxima y mínima curtosis se detectó datos atípicos multivariantes calculando las direcciones de máxima y mínima kurtosis se determinó la cantidad de datos sospechosos para los años 2009 y 2010 de las matrices MBH y MBTV. De ellos se obtuvo la matriz de datos centrados y la matriz de varianzas y covarianzas de los datos sin los valores sospechosos y las distancias de Mahalanobis de los valores sospechosos y con una estadística descriptiva se obtuvo que apenas 8 individuos resultaron ser atípicos. Para corroborar este resultado se procedió a realizar una inferencia estadística mediante un contraste de hipótesis para datos atípicos, donde el procedimiento se lo realizó de forma individual para cada dato sospechoso. Determinando así esta técnica inferencial más sutil ya que los datos que no se establecieron como atípicos en el proceso descriptivo, el contraste de hipótesis se rechazó concluyendo que 36 individuos son considerados como atípicos porque provienen de otra población distinta a la de una normal. Determinando así que el 22% de los datos atípicos son univariantes y el 8% bivariantes. Con este análisis se asegura la separación de los datos atípicos inmersos en la base de datos contribuyendo a obtener una buena bondad de ajuste de RSG en los modelos de regresión.

Para la detección de atípicos de las 13 estaciones meteorológicas se ha realizado el método univariante descrito en el apartado 1.4.1 separando de la muestra los datos atípicos inmersos como se muestra en la gráfica:

GRÁFICO 69. Diagrama de cajas múltiple de las variables meteorológica del INER limpias de atípicos



Fuente: Datos INAMHI, INER-ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

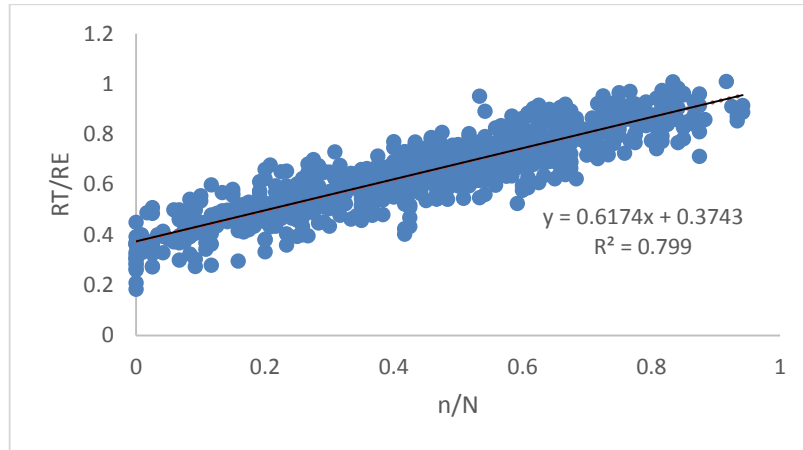
La matriz de datos limpia de anómalos contribuye a obtener un modelo geoestadístico confiable para la provincia de Chimborazo.

Modelos para estimar radiación solar global

Se han elegido seis modelos para la estimación de radiación solar, estos modelos trabajan con variables meteorológicas que tienen una relación lineal fuerte con la variable respuesta RSG como es el caso de heliofanía con una correlación lineal de 86% y temperatura máxima con una correlación de 72%; además RSG con velocidad de viento tiene una correlación lineal buena de 53%. Cabe recalcar que se ha utilizado precipitación con una correlación lineal negativa muy débil de 5% y temperatura mínima con una correlación lineal débil de 34%. Se consideraron estas variables porque están relacionadas con fenómenos físicos de radiación solar ya que PR influye sobre RSG al no permitir que ésta alcance la superficie de la Tierra, mientras que Tmin influye sobre RSG porque refleja la temperatura más fría de la Tierra. Se obtuvieron los siguientes modelos:

Modelo de Angstrom-Prescott

GRÁFICO 70. Modelo de Angstrom-Prescott considerando atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

En la gráfica se observa que la variable transmitancia atmosférica tiene una relación lineal fuerte con la variable He (coeficiente de correlación = 86%), la calidad predictiva del modelo es excelente porque los datos de RSG se ajustan en un 80% al modelo de regresión.

Modelo considerando atmósfera:

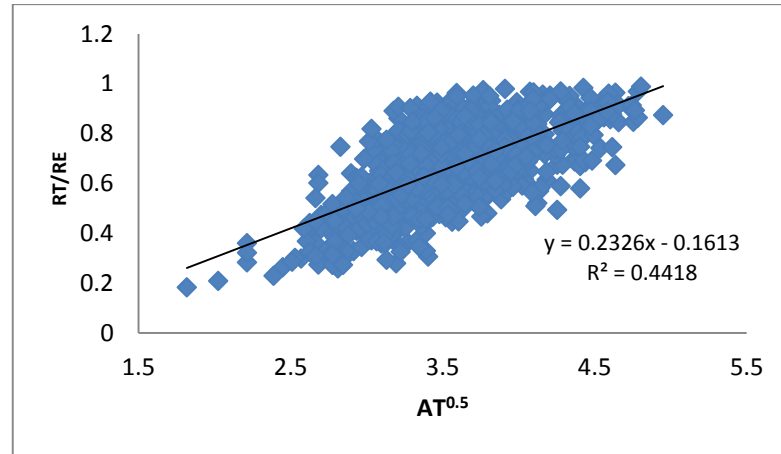
$$\widehat{RT} = RE(0.3743 + 0.6174 * \frac{n}{N})$$

Modelo sin considerar atmósfera:

$$\widehat{RT} = RE(0.1754 + 0.2936 * \frac{n}{N})$$

Modelo de Hargreaves

GRÁFICO 71. Modelo de Hargreaves considerando atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

Los datos de transmitancia atmosférica se ajustan al modelo en apenas un 44%, siendo mala la calidad predictiva del modelo para estimar la RSG. Sin embargo se obtuvieron los siguientes modelos:

Considerando atmósfera

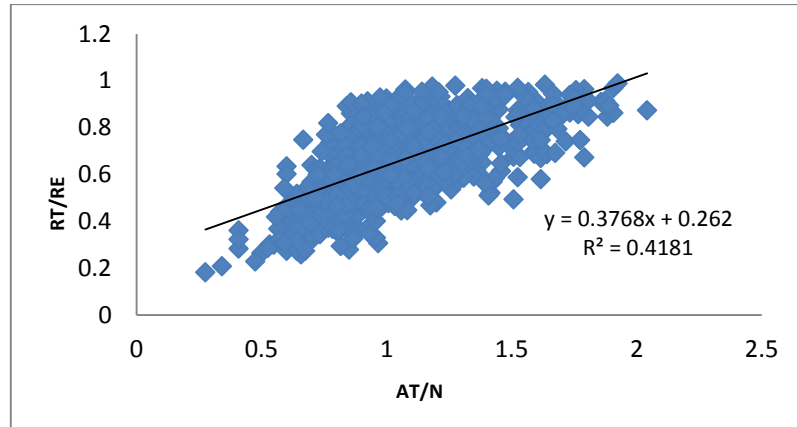
$$\widehat{RT} = -RE(0,162 - 0,233 * \Delta T^{0.5})$$

Sin considerar la atmósfera:

$$\widehat{RT} = -RE(0,095 - 0,115 * \Delta T^{0.5})$$

Modelo de García

GRÁFICO 72. Modelo de García considerando atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La calidad predictiva de este modelo de regresión es mala en cuanto sólo explica el 42% de la variabilidad de RSG. Sin embargo se obtuvieron los siguientes modelos:

Considerando la atmósfera:

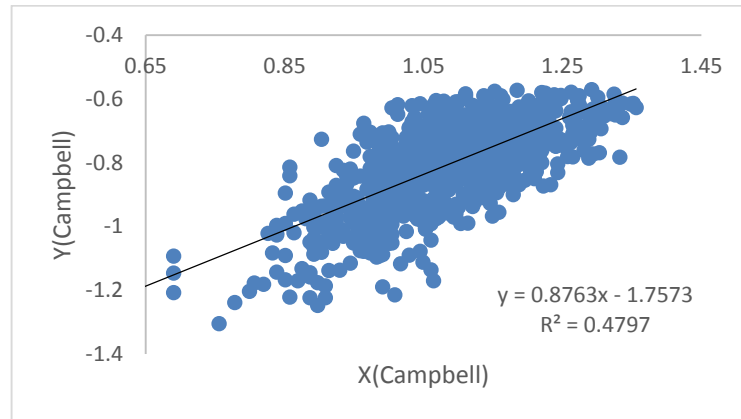
$$\widehat{RT} = RE\left(0.262 + 0.377 * \frac{\Delta T}{N}\right)$$

Sin considerar la atmósfera:

$$\widehat{RT} = RE\left(0.114 + 0.187 * \frac{\Delta T}{N}\right)$$

Modelo de Bristol y Campbell

GRÁFICO 73. Modelo de Bristow y Campbell considerando atmósfera



Fuente: Datos INAMHI, ESPOCH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La calidad predictiva del modelo de regresión es mala porque explica el 48% de la variabilidad de RSG. Sin embargo se obtuvieron los siguientes modelos:

Considerando la atmósfera:

$$\widehat{RT} = RE\{0.469[1 - \exp(-0.245\Delta T^{0.876})]\}$$

Sin considerar la atmósfera:

$$\widehat{RT} = RE\{0.469[1 - \exp(-0.317\Delta T^{0.827})]\}$$

Modelo de Hunt

La calidad predictiva del modelo de regresión es mala porque explica el 55% de la variabilidad de RSG. Sin embargo se obtuvieron los siguientes modelos:

Considerando atmósfera:

$$\widehat{RT} = -RE(0.375 - 0.139 * \Delta T^{0.5} - 0.025 * Tmax + 0.002 * PR - 2.9E + 05 * PR^2)$$

Sin considerar atmósfera:

$$\widehat{RT} = -RE(0.208 - 0.064 * \Delta T^{0.5} - 0.013 * Tmax + 0.001 * PR - 1.4E + 05 * PR^2)$$

Modelo de Richardson Reddy

Considerando atmósfera

$$\widehat{RT} = -RE(0.307 + 0.014 * Tmin - 0.039 * Tmax - 0.0006 * PR - 0.104 * Vv)$$

Sin considerar atmósfera

$$\widehat{RT} = -RE(0.177 + 0.006 * Tmin - 0.020 * Tmax - 0.0002 * PR - 0.049 * Vv)$$

Para la elección del mejor modelo para estimar radiación solar nos basamos en el coeficiente de determinación lineal el cual cuantifica la cantidad de variabilidad de RSG explicada por el modelo de regresión.

TABLA 36. Coeficientes de correlación y determinación de los modelos de estimación

Coeficientes de Validación		Modelos de Estimación de Radiación Terrestre					Reddy
		Prescot	Hargreaves	García	Campbell	Hunt	
Considerando Atmósfera	Coefficiente Correlación	0.86	0.67	0.65	0.69	0.72	0.79
	Coefficiente Determinación	0.8	0.44	0.42	0.48	0.51	0.62
Sin Considerar Atmósfera	Coefficiente Correlación	0.85	0.69	0.68	0.71	0.74	0.81
	Coefficiente Determinación	0.79	0.47	0.45	0.51	0.55	0.66

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

Se determina que el modelo de Angstrom- Prescott es el mejor para estimar radiación solar en cuanto el coeficiente de determinación es del 80% considerando atmósfera. Dicha consideración se ha hecho porque la radiación directa H_e se vería afectada por la presencia de gases, partículas y nubes que contiene la atmósfera. Cabe destacar que este

modelo, además de su excelente calidad predictiva, considera una sola variable lo que permite el ahorro de tiempo y recursos.

Coefficientes empíricos obtenidos por los modelos

Los coeficientes empíricos de cada modelo se basan en explicaciones físicas, el valor de $a + b$ representa el valor máximo del coeficiente de transmitancia atmosférica, es decir la cantidad de radiación recibida en un día sin nubes; mientras que a representa el valor mínimo de esta transmitancia, es decir cuando el cielo se encuentra nublado.

Prescott recomienda para la zona global los siguientes coeficientes $a = 0.17 - 0.43$ y $b = 0.24 - 0.75$, los coeficientes varían según la zona, topografía, clima, entre otros factores. (16) Se ha propuesto para las zonas altas de los Andes en Perú los siguientes coeficientes: $a = 0.29$ y $b = 0.42$ de Prescott, estos valores se basaron en datos de estaciones meteorológicas ubicadas en zonas andinas. (Baigorria & Villeas, 2004)

Sin embargo para la ciudad de Riobamba se ha determinado estos coeficientes empíricos con aproximadamente 6 años de datos históricos de las estaciones meteorológicas de la ESPOCH. Mediante una regresión lineal se obtuvieron los siguientes coeficientes del modelo considerando la atmósfera: $a = 0.374$ y $b = 0.617$, y sin considerar la atmósfera: $a = 0.175$ y $b = 0.293$. Se han utilizado los primeros coeficientes para estimar radiación solar porque en su larga trayectoria desde el Sol hasta la superficie de la Tierra atraviesa la capa atmosférica. Sin embargo las corrientes del Pacífico y del Atlántico interactúan con la capa atmosférica que cubre la zona andina de Riobamba manteniéndola en constante movimiento permitiendo así que la radiación la atraviese, siendo factor relevante para justificar que los coeficientes encontrados en este modelo para la ciudad de Riobamba son mayores que los encontrados para la zona andina del Perú.

En los MBT, Hargraves determina un coeficiente para la variación de temperatura de 0.162 para interiores y 0.19 para zonas costeras. (Mayers, 2013)

Para el modelo de García se han determinado los siguientes coeficientes para la zona andina del Perú: $a = 0.457$ y $b = 0.207$ (8). Para la ciudad de Riobamba se han determinado los siguientes coeficientes para el Modelo de Hargreaves: $a = -0.095$ y $b = 0.115$, para el modelo de García: $a = 0.114$ y $b = 0.187$ y para Campbell: $a = 0.469$, $b = 0.317$ y $c = 0.827$, todos ellos sin considerar la atmósfera ya que ésta no tiene influencia relevante en los modelos basados en temperaturas y los modelos de regresión se ajustan mejor a RSG. Comparando los coeficientes obtenidos para el modelo de García para la zona andina de Perú con los coeficientes obtenidos para la ciudad de Riobamba se observa que difieren de manera inversamente proporcional demostrándose así que la superficie plana de la ciudad de Riobamba y la interacción de la atmósfera genera una transmisibilidad atmosférica mayor que en la zona andina del Perú.

En los modelos de Hunt y Reddy los coeficientes de la variable precipitación son cercanos a cero por lo que esta variable es irrelevante en dichos modelos. La incorporación de velocidad de viento al modelo de Reddy determina un modelo de regresión de calidad predictiva buena (coeficiente de determinación = 66%) en cuanto este factor interactúa con la atmósfera y las corrientes marinas, dinamizando su entorno.

Zonas donde se podría estimar la RSG con los coeficientes encontrados

Se hizo un análisis de varianza para determinar la influencia de las zonas Guaslán, Chunchi, Epoch, Shiry XII y Totorrilas, de cuyas estaciones hay información disponible en el INAMHI, sobre las variables Tmax, Tmin, PR y Vv. Como se observa en el apartado 2.7 los valores p obtenidos en relación a las variables Tmax, Tmin, PR y Vv son pequeños concluyendo que la zona influye en cada una de estas variables. Por lo tanto el modelo de estimación de radiación solar determinado para la zona de Riobamba no puede ser aplicado en ninguna de estas zonas lo cual tiene sentido debido a la diferente topografía, clima y altitud de estas zonas. Sin embargo se han tomado los datos de las 13 estaciones automáticas correspondientes a los tres primeros meses del año 2014 para realizar un análisis de correlación. A continuación se presenta la matriz de correlaciones de RSG entre pares de zonas.

TABLA 37. Matriz de correlaciones de las estaciones meteorológicas del INER

	San Juan	Quimiag	Urbina	Cumandá	EsPOCH	Tunshi	Alao	Pistishí	Atillo	Unach	Achupallas	Jubal
San Juan	1											
Quimiag	-0.06272	1										
Urbina	-0.2098	0.2104	1									
Cumandá	-0.03583	0.1473	0.159	1								
EsPOCH	0.00287	0.7486	0.195	0.16063	1							
Tunshi	-0.00881	0.7597	0.202	0.12233	0.71	1						
Alao	0.20562	-0.135	-0.03	-0.0585	-0.1	-0.14	1					
Pistishí	-0.22878	0.2719	-0.04	0.08092	0.29	0.196	0.01	1				
Atillo	0.22166	-0.088	-0.07	0.03966	-0.14	-0.08	0.72	-0.14	1			
Unach	0.01265	0.5667	0.275	0.02149	0.628	0.407	-0.1	0.137	-0.25	1		
Achupallas	0.04172	0.3137	0.258	-0.0545	0.214	0.32	0.09	0.033	0.073	0.3118	1	
Jubal	0.1626	0.1315	0.081	-0.2232	0.185	0.195	-0	0.041	-0.16	0.3923	0.467148	1

Fuente: Datos INAMHI

Elaboración: Ramos C., Pérez N

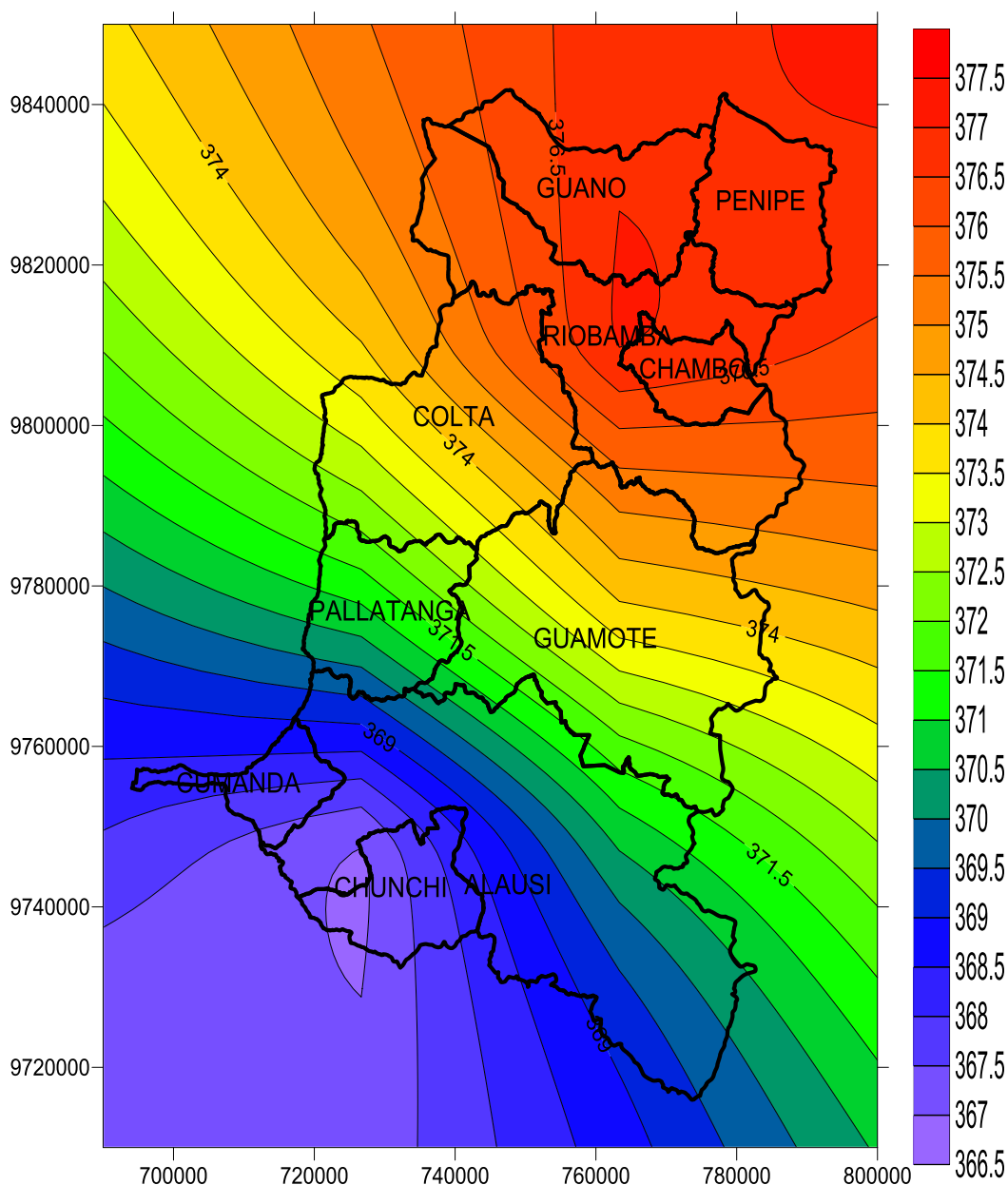
El coeficiente de correlación indica que en Quimiag y Tunshi se podría estimar la RSG con el modelo de Prescott para la zona de Riobamba ya que son los lugares que tienen una relación lineal muy buena con la RSG de la ESPOCH lo que podría deberse a las condiciones geográficas, topográficas y de altitud similares. Esto lo corroboramos con el análisis de varianza realizado en el apartado 2.7, donde se muestra que la zona influye en la radiación solar, a pesar de esto la prueba de Tukey nos dice que las RSG medias de las zonas ESPOCH, Quimiag y Tunshi son estadísticamente iguales.

Modelo geoestadístico

En Ecuador la NREL generó la información base para el desarrollo del “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, elaborada por el CONELEC con el objetivo de evaluar la radiación solar para ubicar los sitios que permitan ubicar proyectos locales más específicos que permitan utilizar la tecnología solar para obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones. (CONELEC, 2008)

En este trabajo de investigación se ha determinado el primer modelo geoestadístico para la provincia de Chimborazo para el año 2012. Se han tomado los datos sólo de 5 estaciones meteorológicas del INAMHI, dicha información es considerada escasa y no representa la realidad espacial de la radiación solar global en la provincia de Chimborazo.

GRÁFICO 74. Mapa de radiación promedio del año 2012 de Chimborazo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

La calidad predictiva de este modelo geoestadístico es malo porque explica el 43% de la variabilidad espacial de RSG por la insuficiente cantidad de información sobre el área de Chimborazo. Sin embargo se recolectó los datos de 13 estaciones meteorológicas automáticas instaladas por el INER en el período de tiempo de enero a marzo de 2014.

En diversas investigaciones para realizar un modelamiento geoestadístico toman datos de al menos 20 estaciones meteorológicas dependiendo el área de estudio, pero lo recomendable para utilizar un método geoestadístico es al menos de 40 puntos espaciales

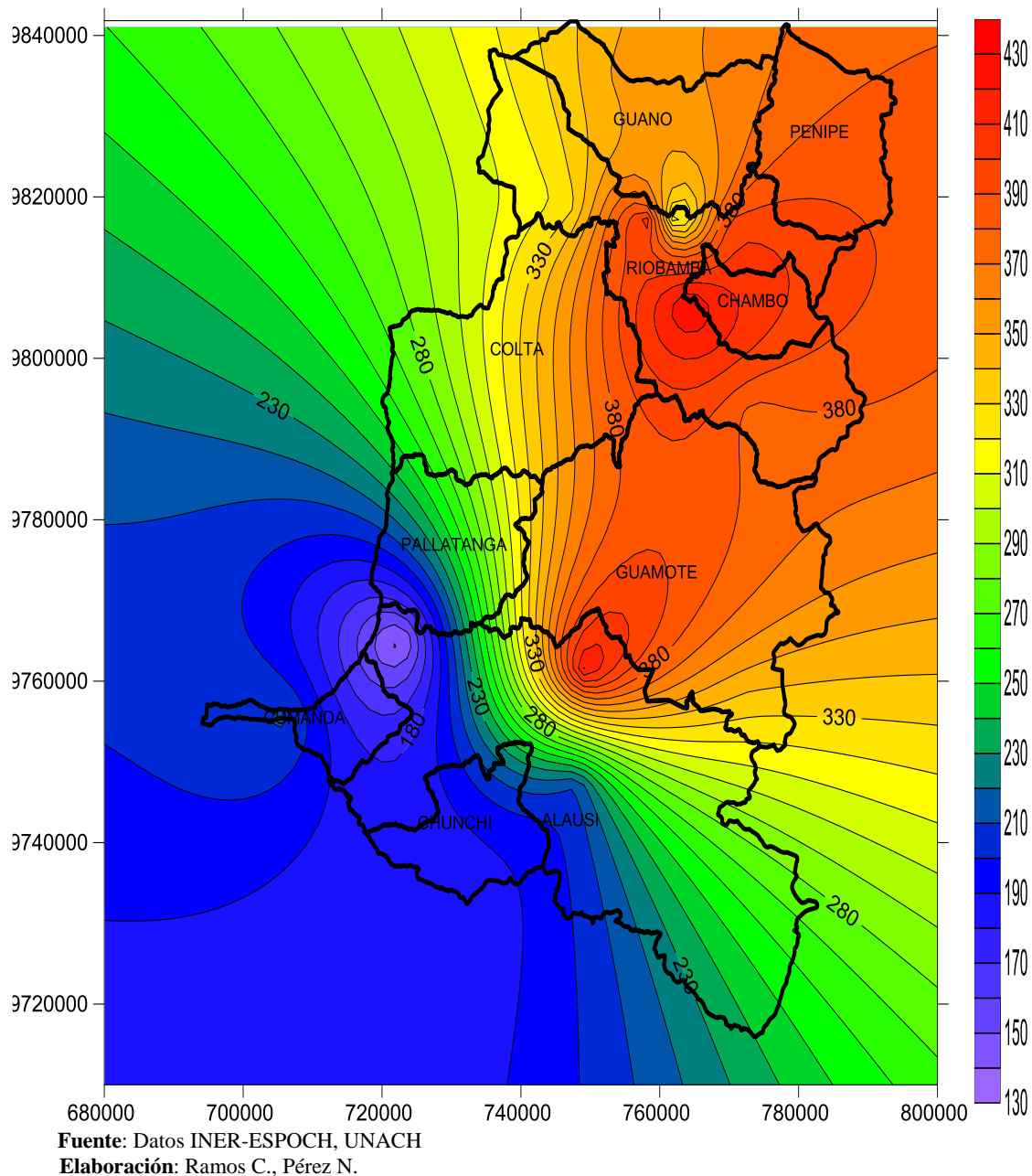
dentro del área de interés. (Gallardo, 2006), (Benavides, Montes, & otros, 2007), (Giraldo Henao, 2003)

En la modelación geoestadística para radiación solar, en varias investigaciones se utiliza el método de Kriging ordinario basándose en la teoría que la variable multivariante en estudio proviene de una distribución normal y cumple con el legado de estacionariedad. (Rehman & Saleem, 2000)

Para nuestros datos se ha utilizado un Kriging ordinario lineal ya que en los variogramas experimentales se observa discontinuidad en los datos y no existe un comportamiento espacial conocido. Cabe recalcar que esto se ha producido por la pequeña cantidad de estaciones meteorológicas que miden el recurso solar en el área de la provincia de Chimborazo.

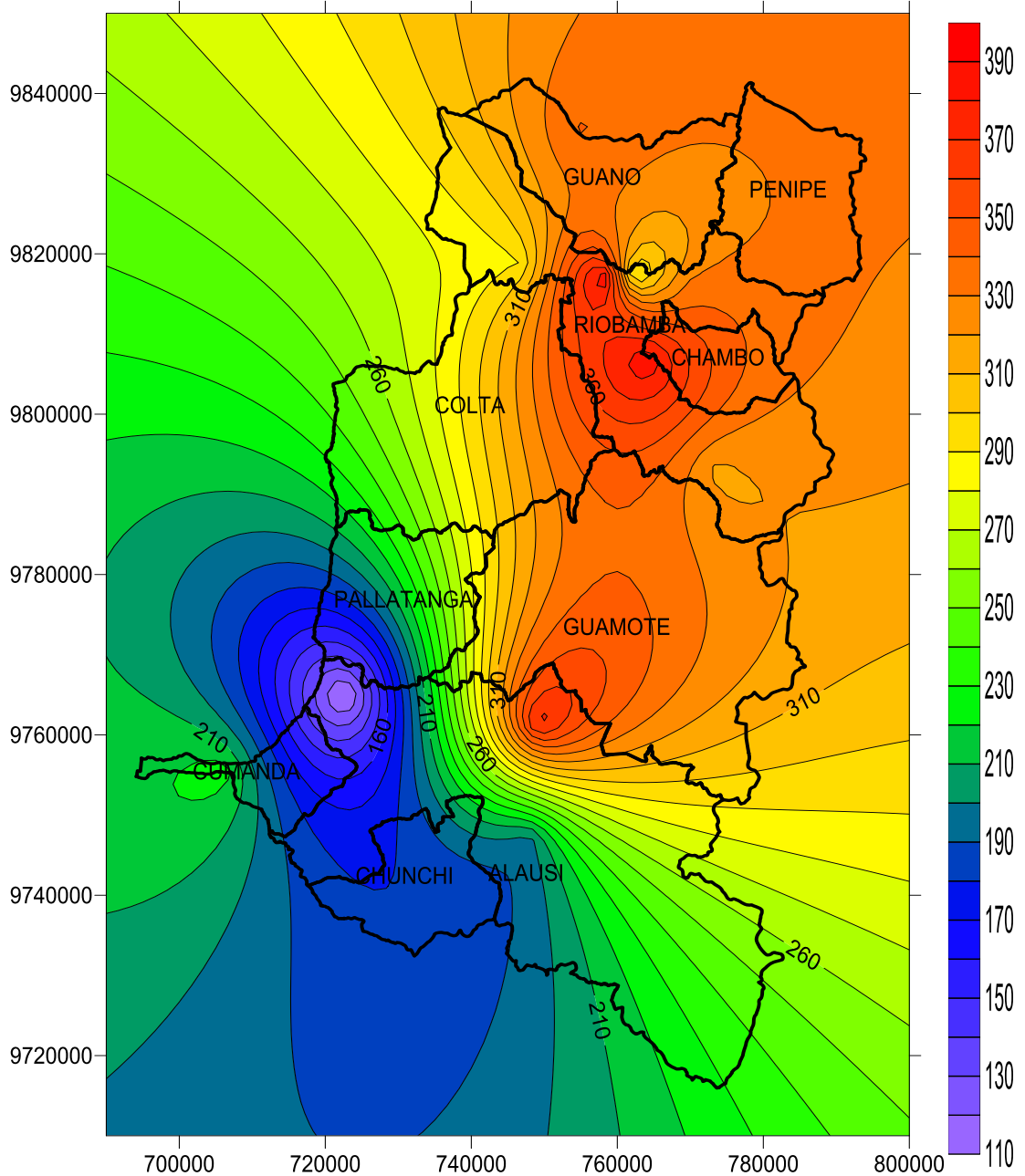
Se ha determinado un modelo geoestadístico para cada mes con un coeficiente de determinación en el rango de 58 a 68%, siendo éste el porcentaje de variabilidad de RSG explicada por el modelo. Se han construido mapas de las variables promedio de radiación solar mensual en w/m^2 e insolación mensual que no es más que la suma de la radiación promedio horaria del mes en $w*h/m^2$.

GRÁFICO 75. Mapa de radiación promedio de Enero



El mapa muestra una mayor concentración de radiación en Penipe, Chambo, una parte de Riobamba y una parte de Guamote con un promedio de radiación de $430 w/m^2$, sin embargo en la parte sur de Chimborazo en los cantones Multitud, Cumandá y Chunchi se registran cantidades menores de radiación promedio que alcanzan valores entre 130 y $150 w/m^2$ a consecuencia de la cantidad de nubosidad de la zona al encontrarse en el subtrópico.

GRÁFICO 76. Mapa de radiación promedio de Febrero

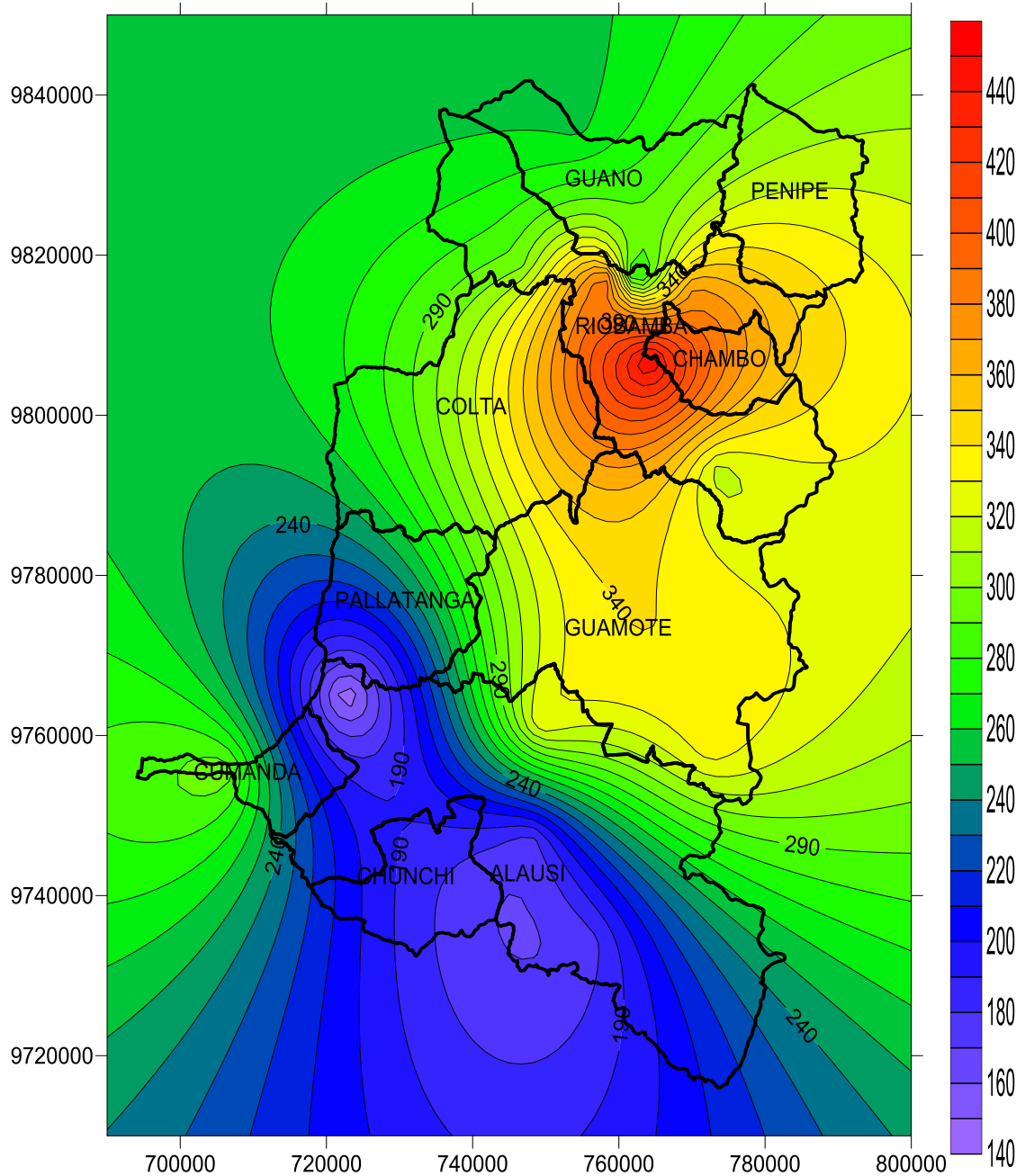


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que la radiación promedio mayor registrada en este mes está entre 360 y 390 w/m^2 en los cantones de Riobamba, Chambo y Guamote, mientras que en los cantones de Multitud, Cumandá y Chunchi continúan registrándose valores bajos de radiación solar que varía entre 110 y 160 w/m^2 .

GRÁFICO 77. Mapa de promedio de radiación de Marzo

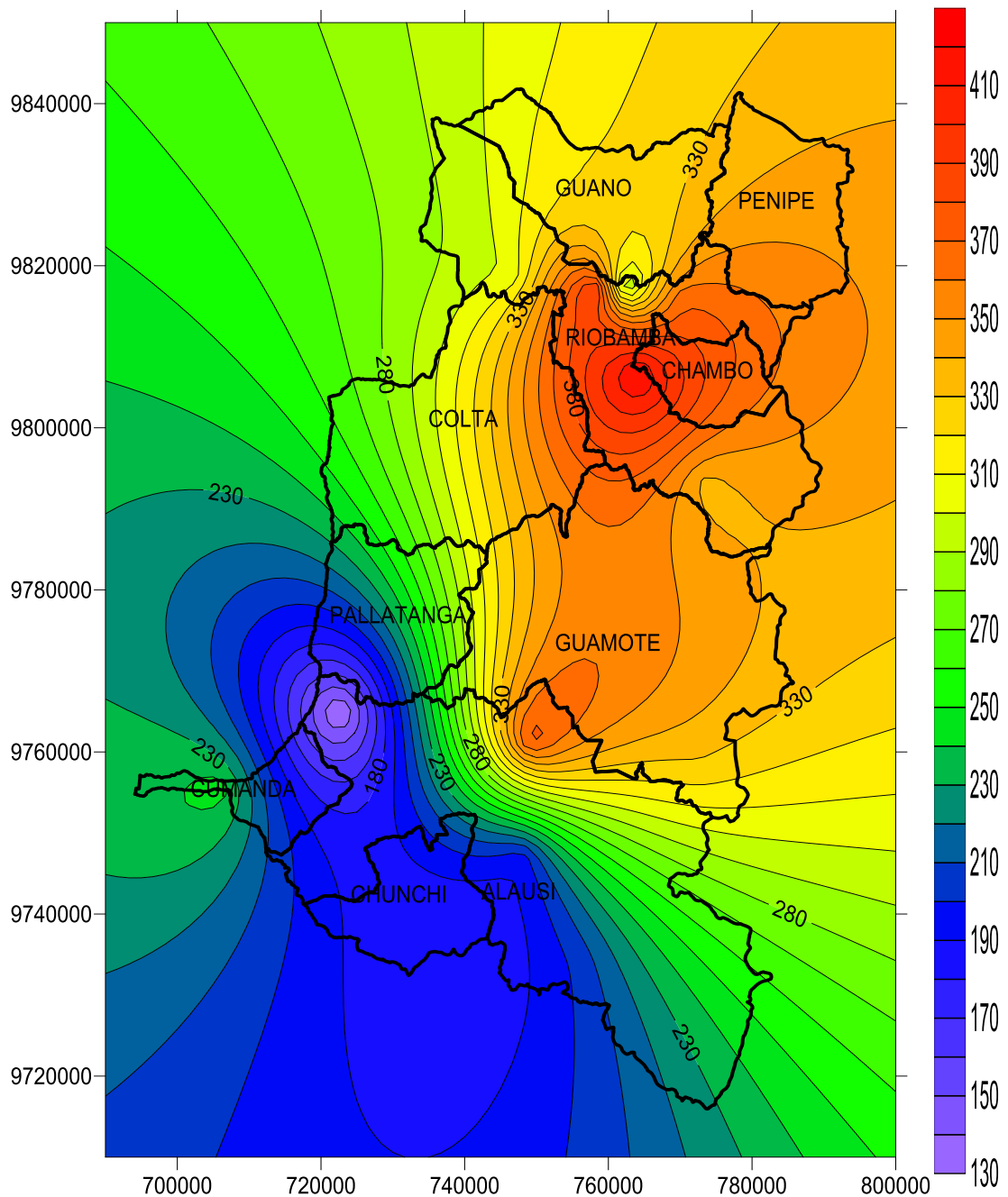


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que existen valores altos de radiación promedio que varían entre 400 y 440 w/m² en la parte centro de la ciudad de Riobamba y valores bajos de radiación entre 140 y 180 w/m² en los cantones de Multitud, parte de Pallatanga, Cumandá, Chunchi y parte de Alausí.

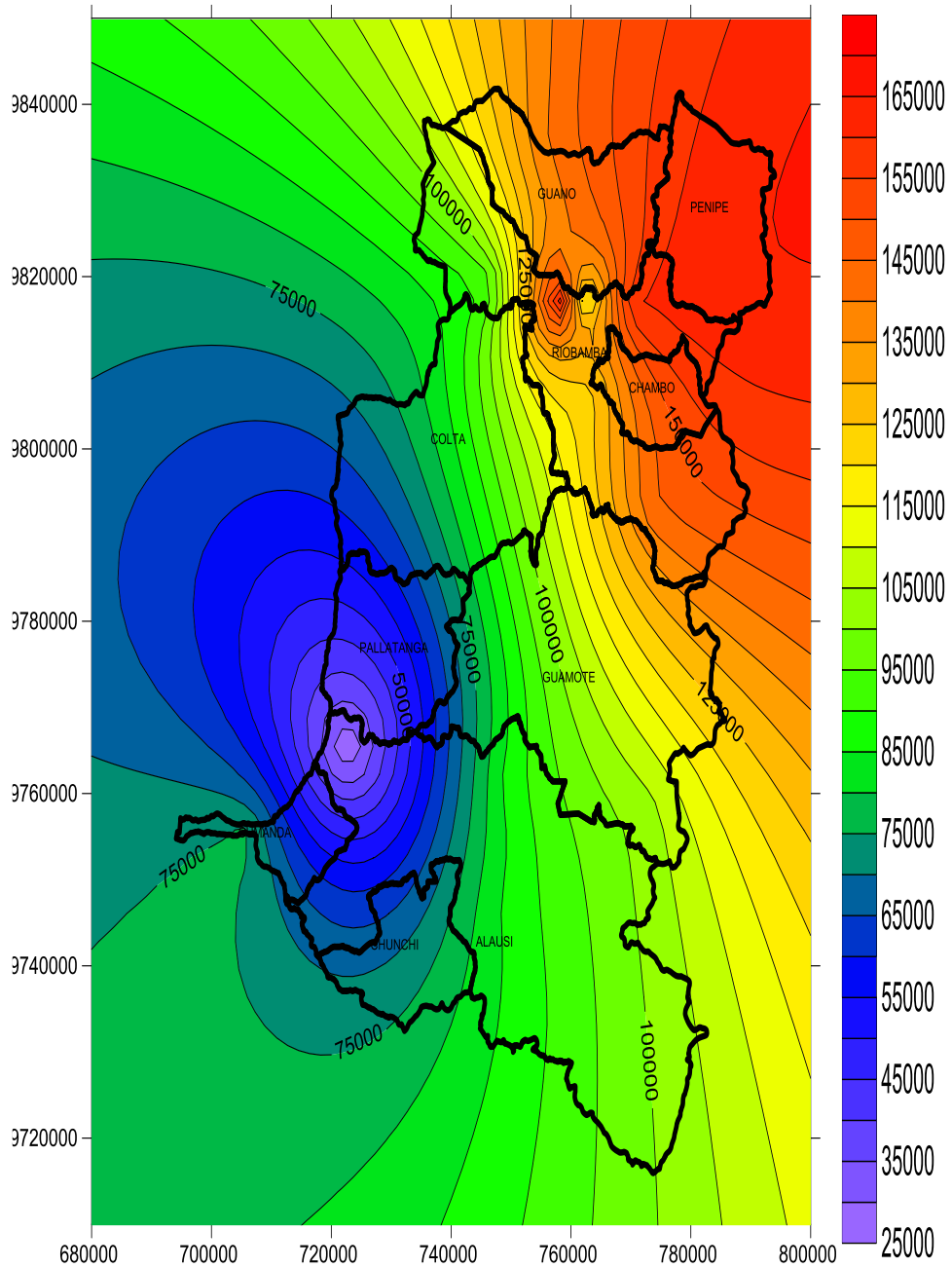
GRÁFICO 78. Mapa de radiación promedio trimestral



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que la cantidad promedio de radiación alta para el primer trimestre del año varía de 380 a 410 w/m^2 sobresaliendo en la zona centro de Riobamba y parte de Chambo, mientras que la radiación promedio baja registrada para el trimestre varía de 130 a 170 w/m^2 en la parroquia Multitud, los cantones Cumandá, Chunchi, parte de Pallatanga y Alausí.

GRÁFICO 79. Mapa de insolación de Enero

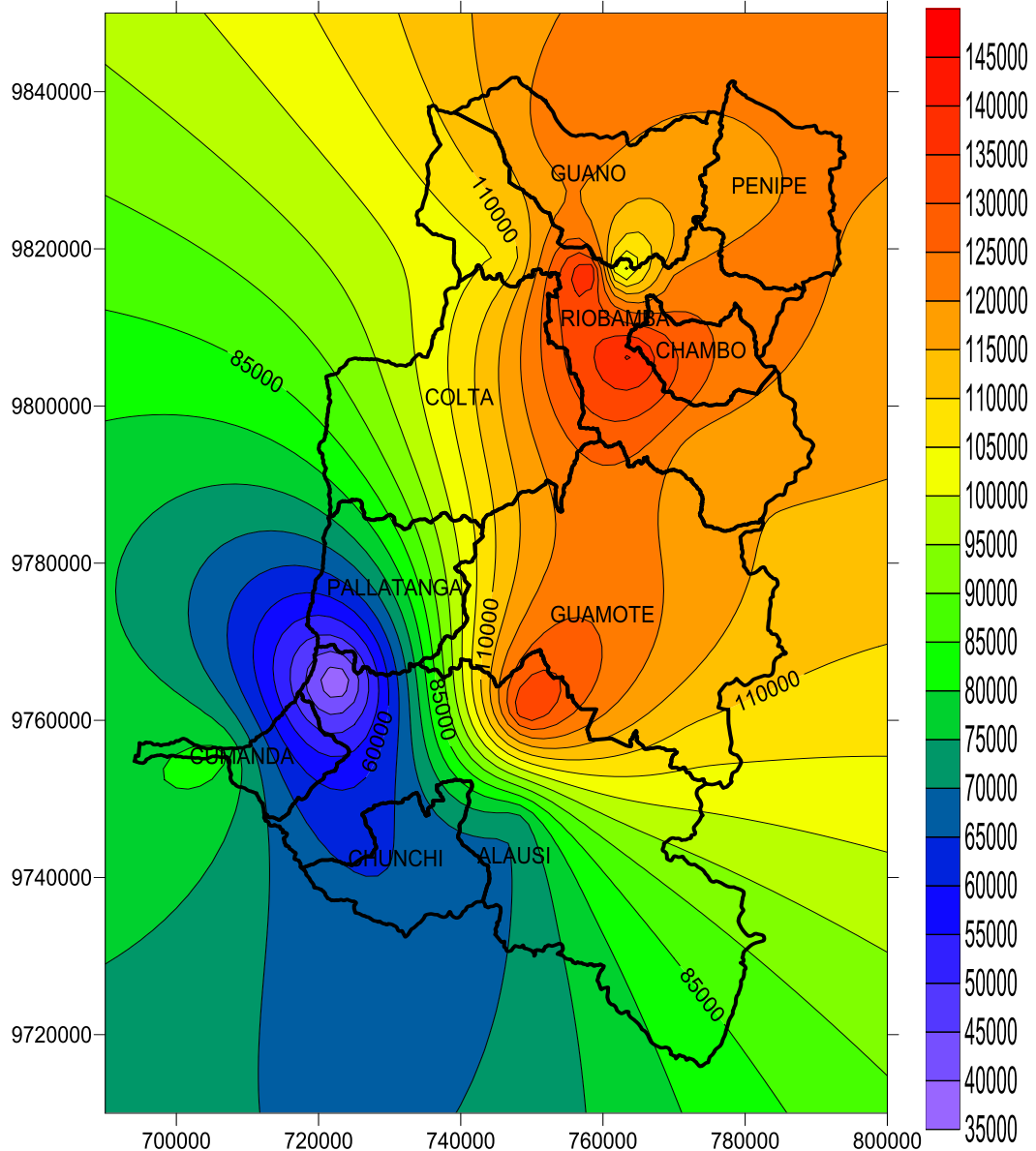


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que la cantidad de insolación mayor varía de 150000 a 165000 $w \cdot h/m^2$ en los cantones Penipe y Chambo y parte de la ciudad de Riobamba, sin embargo los valores bajos de insolación varían de 25000 a 35000 $w \cdot h/m^2$ en la parroquia Multitud y el cantón Cumanda.

GRÁFICO 80. Insolación del mes de Febrero

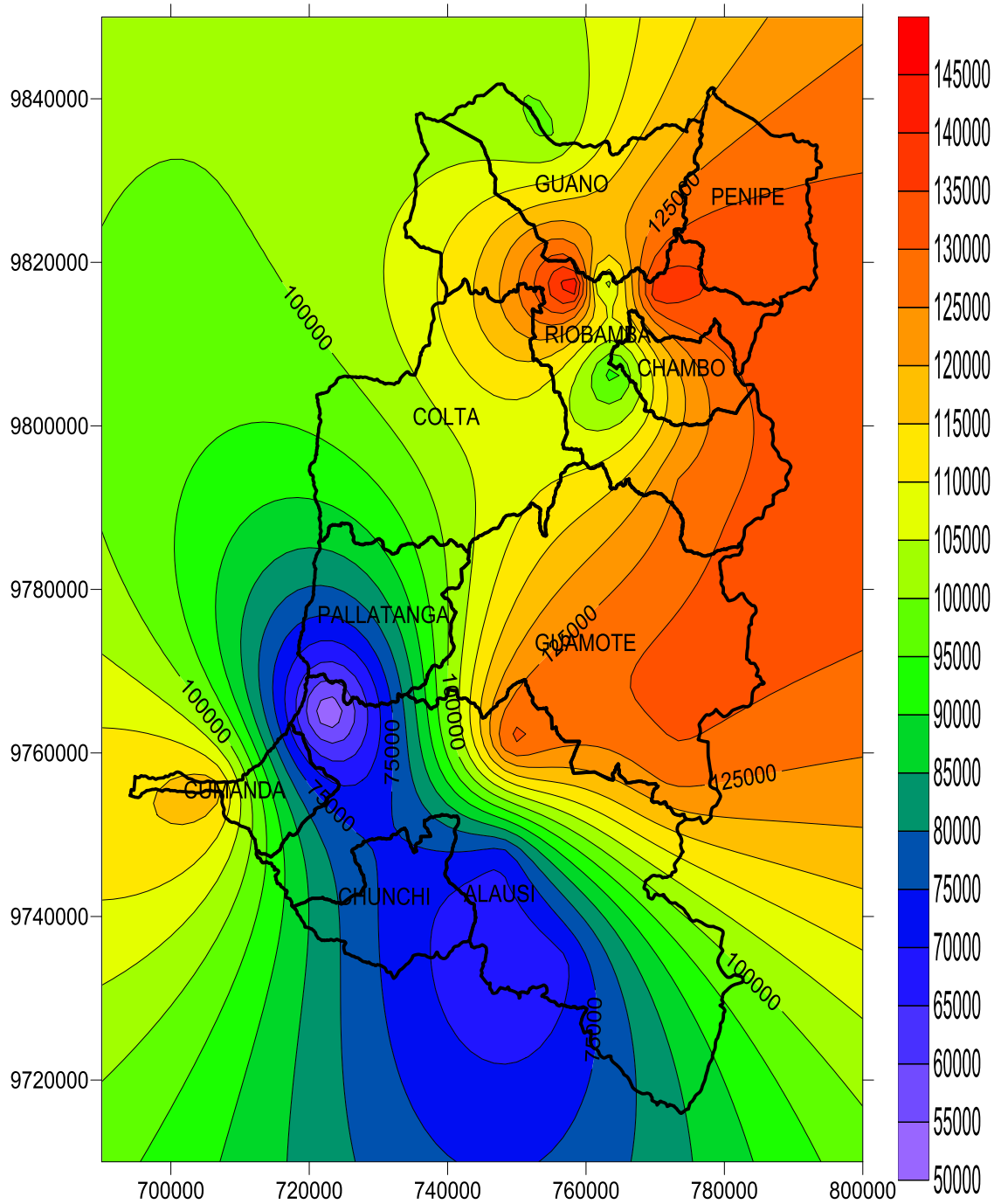


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que la cantidad de insolación máxima registrada en este mes varía de 140000 a 145000 w*h/m² en la zona centro de la ciudad de Riobamba y en una pequeña parte de los cantones Alausí y Guamote, sin embargo la insolación menor registrada en este mes varía de 35000 a 45000 w*h/m² en la parroquia Multitud y parte del cantón Cumandá.

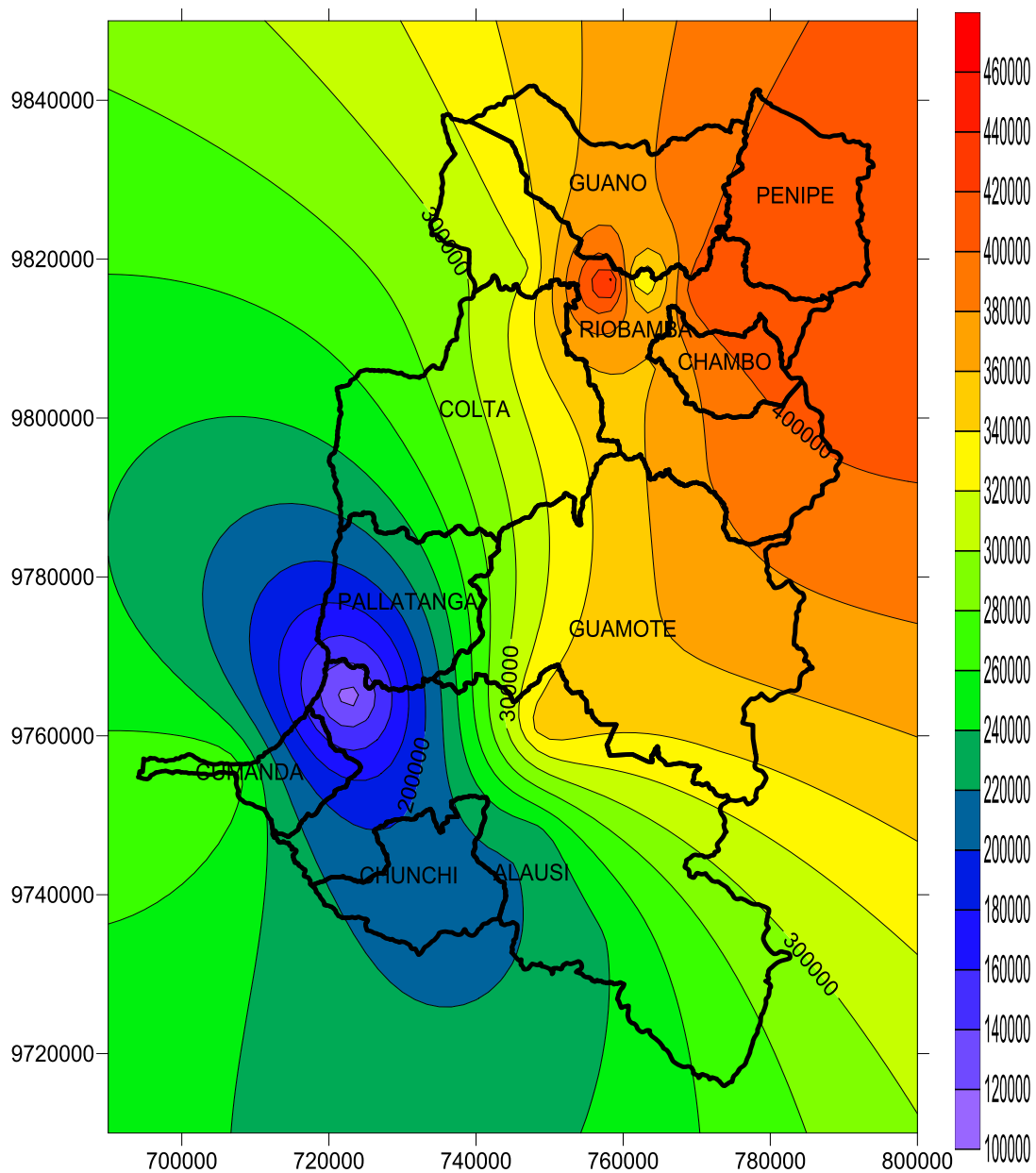
GRÁFICO 81. Insolación del mes de Marzo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que en este mes la cantidad de insolación mayor registrada varía de 140000 a 145000 $w \cdot h / m^2$ en la parte centro de la ciudad de Riobamba, parte del cantón Penipe y una pequeña parte del cantón Guamote, mientras que se registró insolación menor que varía de 5000 a 55000 $w \cdot h / m^2$ en la parroquia Multitud.

GRÁFICO 82. Insolación trimestral



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH

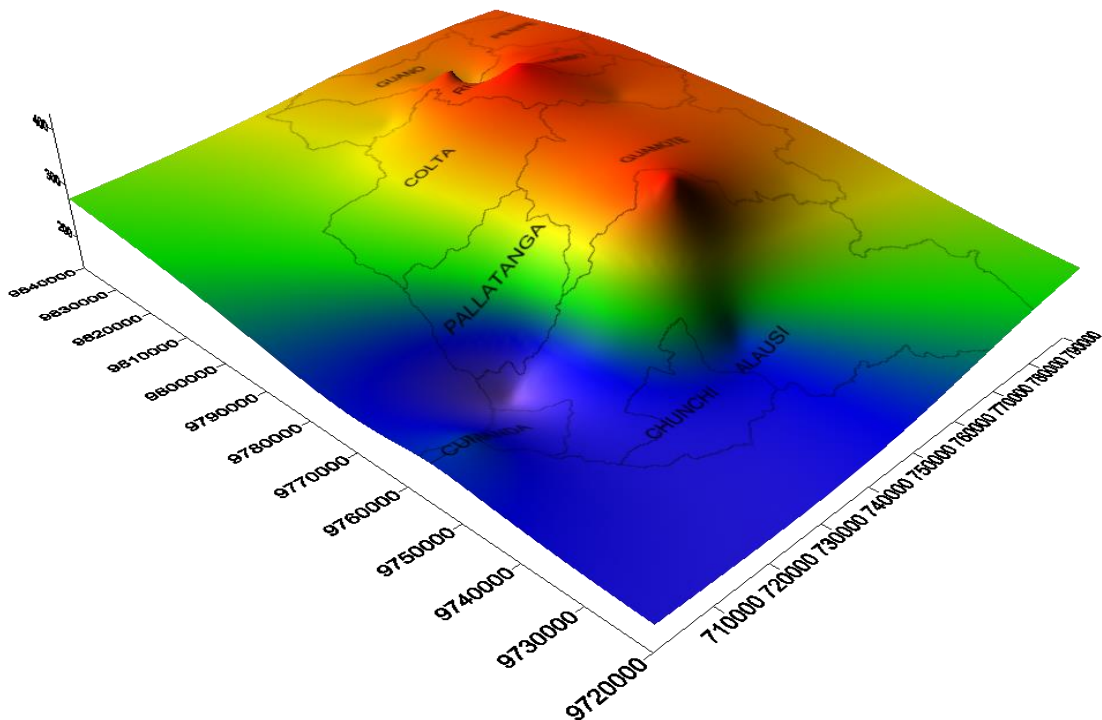
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que la insolación trimestral registrada en la zona centro de Riobamba, Penipe y una pequeña parte de Chambo varía de 440000 a 460000 $w \cdot h/m^2$, mientras que la insolación trimestral registrada en la parroquia de Multitud y parte del cantón Cumandá varía de 100000 a 120000 $w \cdot h/m^2$.

En Ecuador los primeros meses del año son considerados invierno a pesar que no se tienen estaciones definidas en el año por la ubicación en la zona ecuatorial; sin embargo se han observado lluvias y vientos con mayor frecuencia en los primeros meses de cada año.

Se observa que la radiación solar ha disminuido al paso de los meses. En el mes de enero se obtuvo una radiación promedio de hasta 430 w/m^2 y una insolación de $165000 \text{ w}\cdot\text{h/m}^2$ en los cantones de Riobamba, Penipe, Chambo y Guamote. En el mes de febrero se redujo obteniendo una radiación promedio de hasta 390 w/m^2 y una insolación de $145000 \text{ w}\cdot\text{h/m}^2$ en Riobamba, Chambo y Guamote. Finalmente en el mes de marzo se obtuvo una radiación promedio de 440 watts/m^2 y una insolación de $145000 \text{ w}\cdot\text{h/m}^2$ en apenas una parte de Riobamba. No obstante al transcurrir del tiempo no sólo se redujo la cantidad de radiación alcanzada en la superficie de la Tierra sino también las zonas de influencia.

GRÁFICO 83. Promedio de radiación trimestral en superficie 3D

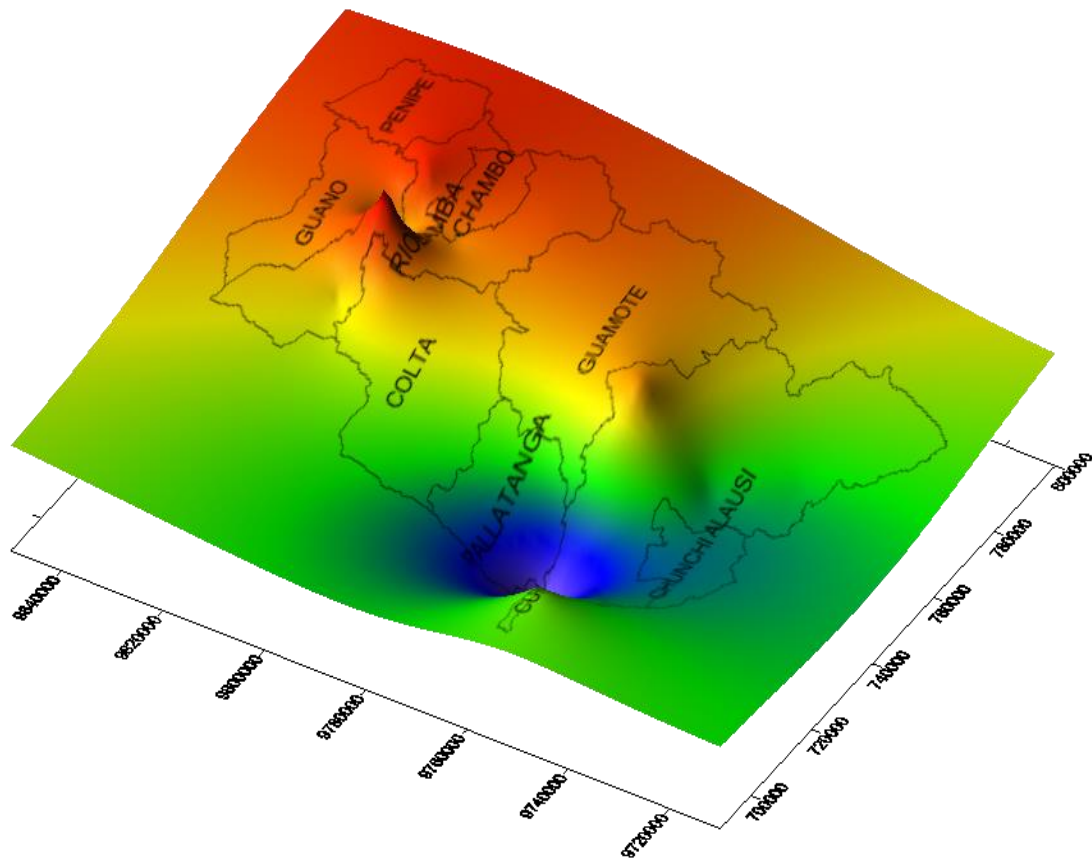


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

El mapa muestra que la cantidad de radiación que alcanza la superficie de la provincia de Chimborazo se encuentra influenciada por dos factores: el primero la cantidad baja de radiación registrada en el cantón Cumandá y en la parroquia de Multitud que se debe a

los altos niveles de nubosidad a causa de las corrientes del Pacífico al encontrarse en una zona subtropical, y el segundo factor corresponde a la cantidad alta de radiación registrada en una parte de los cantones Alausí y Guamote y en la ciudad de Riobamba ubicadas en una zona de mayor altitud en la provincia.

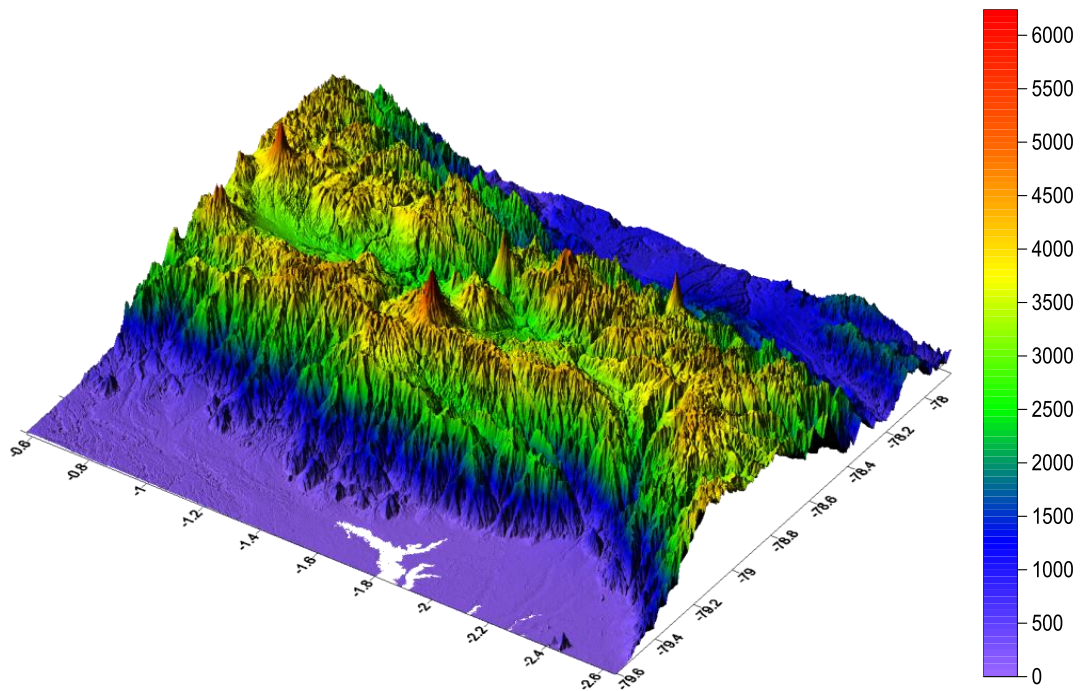
GRÁFICO 84. Insolación trimestral en superficie 3D



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

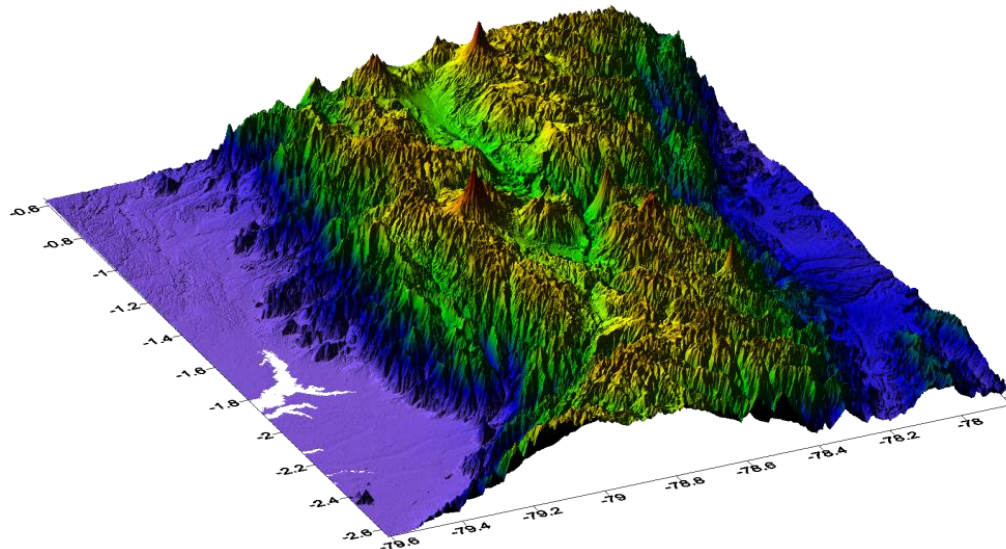
El mapa muestra que la cantidad menor de insolación que recibe la provincia de Chimborazo está presente en las zonas subtropicales determinada por cantidades altas de nubosidad y humedad de aire que impide que la radiación solar llegue a la superficie de la Tierra provocando así que se caliente el aire; mientras que para las zonas de Riobamba, Chambo y parte de Penipe la cantidad de insolación es mayor, influenciada por la altitud de las zonas y la interacción de las montañas.

GRÁFICO 85. Mapa de curvas de nivel de Chimborazo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

GRÁFICO 86. Mapa de curvas de nivel de la provincia

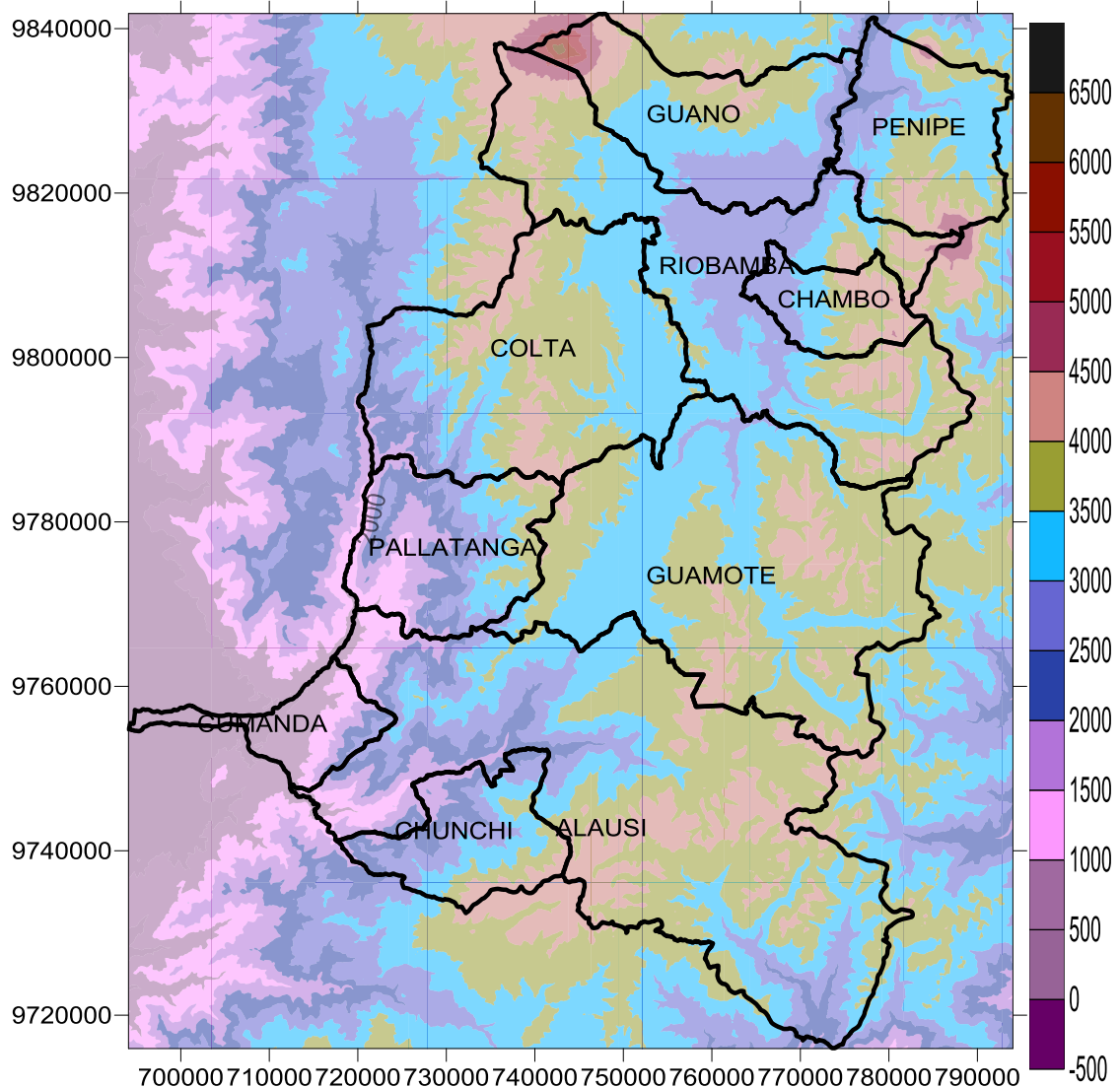


Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

En los mapas se observa que las curvas de nivel en la provincia de Chimborazo están determinadas a partir de los 150 m.s.n.m hasta los 6100 m.s.n.m que alcanza el volcán Chimborazo, además se observa que la mayor cantidad de radiación registrada se

encuentra en las zonas ubicadas entre los 2500 y 3000 m.s.n.m. A pesar que Riobamba se encuentra entre los 2500 y 2700 m.s.n.m su superficie plana es el factor relevante que hace que la radiación solar llegue a su superficie.

GRÁFICO 87. Mapa de curvas de nivel de la provincia de Chimborazo



Fuente: Datos INER-ESPOCH, UNACH
Elaboración: Ramos C., Pérez N.

Se observa en el mapa la variedad de altitud que existe en la provincia de Chimborazo a consecuencia de la Cordillera de los Andes, esta característica determina la variedad de climas y microclimas que lo hacen única en recursos hídricos y exuberantes paisajes. Toda esta biodiversidad es determinante para la modelación espacial de radiación solar, por ello es justificable que se haya logrado aproximadamente el 68% del ajuste de los datos de RSG por el modelo geostatístico con 13 estaciones sobre el área de

Chimborazo. Sin embargo se ha logrado identificar de forma espacial las zonas donde la cantidad de radiación solar recibida es mayor, para el aprovechamiento de este recurso. Además se ha determinado que existe una relación lineal fuerte de 73% entre latitud y radiación solar, ratificando así que el ángulo de inclinación del Sol depende de cada zona.

3.2 DISCUSIÓN

El análisis de datos univariante, bivariante y multivariante de las variables meteorológicas permitió la detección de datos atípicos cuyo análisis certifica los resultados de los modelos de estimación y geoestadístico de la radiación solar global para la provincia de Chimborazo.

Se analizó varios modelos para estimar radiación solar, estos fueron tomados de la literatura y experimentados en otras zonas del mundo. Pero el mejor modelo determinado para estimar la radiación solar para la ciudad de Riobamba es el modelo de Prescott considerando la atmósfera y basado en Heliofanía con un 80% de los datos de RSG ajustados al modelo de estimación, dicho modelo se determina adecuado para otras zonas de la provincia de Chimborazo que tengan las mismas características topográficas de la ciudad de Riobamba.

Se analizó con los modelos geoestadísticos que la radiación solar en el primer trimestre del año va disminuyendo a medida que pasan los meses, considerándose invierno por las lluvias registradas; además se analizó las zonas dónde se recibe mayor insolación llegando a la conclusión que Riobamba recibe mayor cantidad de radiación debido a la superficie plana de la ciudad y las corrientes marinas que dinamizan su atmósfera.

Comprobación de hipótesis

Las hipótesis se describieron en el apartado 2.4.2. El análisis de correlación lineal de las variables indica que H_e y T_{max} tienen una correlación lineal fuerte con la variable RSG, mientras que N_u y V_v presentan una correlación lineal buena con RSG.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- A. La elección de la variable meteorológica heliofanía para predecir RSG es adecuada en cuanto dicha variable tiene una relación lineal fuerte con RSG. Además el modelo de regresión de RSG sobre heliofanía explica aproximadamente el 80% de la variabilidad total de los datos de radiación solar global. La ubicación de las estaciones meteorológicas sobre el área de Chimborazo determinó un modelo geoestadístico bueno que explica aproximadamente el 68% de la variabilidad total espacial de RSG.
- B. El análisis inferencial multivariante a través de un contraste de hipótesis para detectar datos atípicos permitió separar los datos atípicos inmersos en la muestra. Con esto se obtuvo relaciones aproximadamente lineales entre las variables meteorológicas consideradas en el estudio.
- C. El mejor modelo para la estimación de radiación solar para la ciudad de Riobamba es el modelo de Angstrom-Prescott basado en Heliofanía el cual explica el 80% de la variabilidad total de la Radiación Solar Global. Además el análisis de varianza y la prueba de Tukey determinaron que el mencionado modelo se puede aplicar en las zonas de Tunshi, Quimiag y Pistishí debido a las condiciones topográficas y climáticas similares.
- D. Con el modelo geoestadístico se observó el comportamiento espacial de radiación solar global en la provincia de Chimborazo, determinando que la mayor cantidad de radiación solar está concentrada en la zona centro de la ciudad de Riobamba por ser una zona plana y cubierta de montañas, factores que influyen en la concentración de insolación de hasta $460000 \text{ w}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ en 3 meses.

4.2 RECOMENDACIONES

- A. Analizar otras fuentes de información para conseguir datos de variables meteorológicas que puedan ser factores relevantes para la predicción de radiación solar.
- B. Conseguir datos en la NASA de radiación solar para determinar un modelo geoestadístico del área de Chimborazo y compararlo con el modelo obtenido en esta investigación.
- C. Instalar estaciones meteorológicas que midan el recurso solar en los cantones Penipe, Chambo, Colta, Guamote, Pallatanga y Chunchi de la provincia de Chimborazo para mejorar la calidad predictiva del modelo geoestadístico.

BIBLIOGRAFÍA

AJAYI, O. O. y otros. New model to estimate daily global solar radiation over Nigeria. (Sustainable Energy Technologies and Assessments) Vol. 5. March 2014. P.p. 28-36.

ALMOROX, Javier. Estimating global solar radiation from common meteorological data in Aranjuez, Spain. (Turkish journal of physics) Vol. 35, No 1. December 2009. Madrid-Spain, P.p. 53-64.

BADESCU, Viorel. Modeling solar radiation at the earth surface. Recent Advances. 2008, P.p. 115-141.

BAIGORRIA, Guillermo A. y otros. Atmospheric transmissivity: Distribution and empirical estimation around the central Andes. (International Journal of Climatology) Vol. 24, No 9. 29 June 2004. P.p. 1121-1136.

BAKIRCI, Kadir. Models of solar radiation with hours of bright sunshine: a review. (Renewable and Sustainable Energy Reviews) Vol. 13, No 9. December 2009. P.p. 2580-2588.

BENAVIDES, Raquel y otros. Geostatistical modelling of air temperature in a mountainous region of Northern Spain. (Agricultural and Forest Meteorology) Vol. 146, No 3. 10 October 2007. P.p. 173-188.

CONELEC.

http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf

2013-11-28

ECUADOR. CONSTITUCIÓN 2008.

http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf

2014-05-10

EL-SEBAII, A. A. y otros. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. (Applied Energy) Vol. 87, No 2. February 2010. P.p. 568-576.

EVRENDILEK, F. y ERTEKIN, C. Assessing solar radiation models using multiple variables over Turkey. (Climate dynamics) Vol. 31, No 2-3. August 2008. P.p. 131-149.

GALLARDO, A. Geoestadística. (Ecosistema) Vol. 15, No 3. Septiembre 2006. España, P.p. 48-58

GIRALDO-HENAO, Ramón. Introducción a la Geoestadística, Teoría y aplicación. Sede Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Estadística. 2003. P.p. 32-51.

CHÁVEZ GUERRERO, Mónica Alejandra. Proyecto de Factibilidad para uso de Paneles Solares en Generación Fotovoltaica de Electricidad en el Complejo Habitacional “San Antonio” de Riobamba. (Tesis) (Ingeniería Mecánica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador, 2013. P.p. 27, 32

DUFFIE, John A. & BECKMAN, William A. Solar engineering of thermal processes. John Wiley y Sons. 2013, P.p. 356-378.

LI, Huashan y otros. Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China. (Renewable Energy) Vol. 36, No 11. November 2011. P.p. 3141-3145.

LLINGÍN, LLANGARÍ; del Carmen, Tatiana y TINAJERO NOVILLO, Vicente Ricardo. Modelación Matemática de Sistemas de Calentamiento de Agua con Colectores Solares de Tubos Concéntricos. (Tesis) (Ingeniería Mecánica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador, 2010. P.p. 1, 3.

MYERS, Daryl Ronald. Solar Radiation: Practical Modeling for Renewable Energy Applications. CRC Press. 2013, P.p. 43-60, 65-77.

MYERS, Daryl R. Solar radiation modeling and measurements for renewable energy applications: data and model quality. (Energy) Vol. 30, No 9. July 2005. P.p. 1517-1531.

MARTÍNEZ MALDONADO, Iván Ovidio. Diseño e Instalación de un Sistema de Calentamiento Solar de Agua, para el Sector Rural. (Tesis) (Ingeniería Mecánica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador, 2011. P.p. 1, 3.

PEÑA, Daniel. Análisis de datos multivariantes, Madrid- España., McGraw-Hill. 2002, P.p. 103-131, 303, 304.

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE CHIMBORAZO. RIOBAMBA. (2011).

http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/images/stories/doc_2012/1.%20%20PDOT%20Chimborazo.pdf

2014-03-12

PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR.

<http://www.buenvivir.gob.ec/>

2014-05-10

RAMACHANDRA, T. V. Solar energy potential assessment using GIS. (Energy Education Science and Technology) Vol. 18, No ½. P.p. 101.

REHMAN, S. y GHORI, S. G. Spatial estimation of global solar radiation using geostatistics. (Renewable Energy) Vol. 21, No 3-4. November 2000. P.p. 583-605.

SAHIN, Ahmet Duran. A new formulation for solar irradiation and sunshine duration estimation. (International journal of energy research) Vol. 31, No 2. P.p. 109-118.

WACKERNAGEL, Hans. Multivariate Geostatistics. Springer. 2003, P.p. 39-41, 50-55, 79-84.

WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H. y MYERS, Sharon L. Probabilidad y estadística para ingenieros. 6a. ed., México. PRENTICE-HALL HISPANO AMERICANA. 1999, P.p. 358-367, 405, 418, 420.

ANEXOS

ANEXO 1. Datos atípicos de la matriz MBH del año 2009

Día	Mes	Año	RT	Tmax	Tmin	He
5	Mayo	2009	427.9693333	24.5	4.8	7.1
6	Mayo	2009	435.577027	23.6	4.5	7.7
18	Mayo	2009	406.4527027	22.7	10.7	9.4
11	Julio	2009	532.024	21.5	2.3	9.2
1	Septiembre	2009	541.2213333	21.2	2.3	6.6
3	Septiembre	2009	338.6946667	20	3	5.2
6	Septiembre	2009	627.0266667	20.3	2	9.4
7	Septiembre	2009	634.2933333	22.7	-0.2	10.4
13	Septiembre	2009	652.7853333	23.9	0.8	10.8
13	Octubre	2009	462.5855263	24.5	5	6.9
5	Noviembre	2009	494.2842105	25.1	4.5	5.6
6	Noviembre	2009	581.5315789	26	1.5	10.7
7	Noviembre	2009	496.436	24.8	3.5	8.7
15	Noviembre	2009	600.3907895	25.1	2.8	11.1
16	Noviembre	2009	570.04	24.8	4	9.8
5	Diciembre	2009	427.1552632	26	11.5	6

ANEXO 2. Datos sospechosos de ser atípicos correspondientes a la matriz MBH

Día	Mes	Año	RT	Tmax	Tmin	He
2	Febrero	2010	463.116	22.1	10.2	10.2
29	Mayo	2010	504.2424658	24.5	8.9	1.8
30	Mayo	2010	280.9410959	22.1	11.5	8.6
12	Junio	2010	254.084	17.4	8.3	6.9
21	Julio	2010	572.3746667	23	1.5	10.9
22	Julio	2010	558.1866667	21.8	1	10.7
20	Agosto	2010	513.7013333	19.7	9.4	3.3
23	Agosto	2010	484.2445946	21.5	2.5	7.3
24	Agosto	2010	438.616	22.1	3	8
1	Septiembre	2010	470.9813333	22.7	11	2.4
2	Septiembre	2010	316.7410959	17.7	8.6	6.8
4	Septiembre	2010	517.8643836	22.7	9.1	2.4
13	Septiembre	2010	394.2472973	21.5	5	0
20	Septiembre	2010	340.1561644	20.6	3.7	4.3
30	Septiembre	2010	389.7506667	22.4	3	5.2
21	Octubre	2010	465.9486842	23.3	3.7	7.4
31	Octubre	2010	398.0520548	22.4	7.6	0.3
28	Noviembre	2010	340.9216216	20.6	9.9	8.1
29	Noviembre	2010	519.3171053	23.3	8.6	1.5

ANEXO 3. Datos atípicos de la matriz MBH del año 2010

Día	Mes	Año	RT	Tmax	Tmin	He
2	Febrero	2010	463.116	22.1	10.2	10.2
29	Mayo	2010	504.2424658	24.5	8.9	1.8
30	Mayo	2010	280.9410959	22.1	11.5	8.6
12	Junio	2010	254.084	17.4	8.3	6.9
21	Julio	2010	572.3746667	23	1.5	10.9
22	Julio	2010	558.1866667	21.8	1	10.7
20	Agosto	2010	513.7013333	19.7	9.4	3.3
23	Agosto	2010	484.2445946	21.5	2.5	7.3
24	Agosto	2010	438.616	22.1	3	8
1	Septiembre	2010	470.9813333	22.7	11	2.4
2	Septiembre	2010	316.7410959	17.7	8.6	6.8
4	Septiembre	2010	517.8643836	22.7	9.1	2.4
13	Septiembre	2010	394.2472973	21.5	5	0
20	Septiembre	2010	340.1561644	20.6	3.7	4.3
30	Septiembre	2010	389.7506667	22.4	3	5.2
31	Octubre	2010	398.0520548	22.4	7.6	0.3
28	Noviembre	2010	340.9216216	20.6	9.9	8.1
29	Noviembre	2010	519.3171053	23.3	8.6	1.5

ANEXO 4. Datos atípicos de la matriz MBTV del año 2009

Día	Mes	Año	Rad_Terrestre	Tmax	Tmin	Vv
2	ABRIL	2009	508.8716216	25.4	6.8	2.083333333
10	JULIO	2009	377.8342466	18.3	5.3	1.940277778

ANEXO 5. Digitalización de los datos meteorológicos de la estación de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH



ANEXO 6. Datos meteorológicos de la estación de la Facultad Ciencias de la ESPOCH

Datos meteorológicos Ciencias (2007-2013) - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Calibri 11 A A A Ajustar texto General

Pegar Fuente Alineación Número Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Ordenar Buscar y y filtrar seleccionar y filtrar Privacidad

AB9 1.6

	DIA	MES	AÑO	HORA	VELOCIDAD VIENTO 1 (0-30M)/S			PRESIPITACIÓN (0-10)PULGADAS			TEMPERATURA (0-50)°C			RADIACIÓN (0-1500) watts/m²			IÓN ADMSFÉRICA (0-1200) milib			HUMEDAD (0-100) %																			
					VV1	PV1	DS	VV1	Max	VV1	PRE	PRE	DS	PRE	PRE	Min	TE	PR	TE	DS	TE	Ma	TE	MI	RA	PR	RA	DS	RA	Max	PA	PR	PA	DS	PA	Min	HU	PRO	HU
3	11/06/2007	11	6	2007	16	0	4.1	1.1	6.4	1.1	0	0	0	14.7	0	14.8	14.6	234	13.7	273.6	208.7	768.2	0	67.5	63.8	65.6	1.1	67.5	63.8										
4	11/06/2007	11	6	2007	16	10	4.1	0.8	6.4	2.6	0	0	0	14.7	0	14.8	14.6	231.8	37.1	487	198.2	768.2	0	67.9	64.8	66.5	0.7	67.9	64.8										
5	11/06/2007	11	6	2007	16	20	4.7	0.8	7.2	2.6	0.01	0	0.01	14.7	0	14.8	14.6	254.6	28.6	316.7	219.1	768.2	0	67.5	63.4	65.8	1	67.5	63.4										
6	11/06/2007	11	6	2007	16	30	4.3	1	6.4	2.2	0	0	0	14.8	0	14.8	14.6	214.1	19.4	240.2	180.8	768.2	0	65.5	62.4	64.1	0.7	65.5	62.4										
7	11/06/2007	11	6	2007	16	40	4	0.8	6	2.2	0	0	0	14.5	0	14.8	14.3	171.8	4.3	180.8	164.9	768.2	0	67.3	64.6	65.7	0.6	67.3	64.6										
8	11/06/2007	11	6	2007	16	50	3.9	0.8	6.4	1.8	0	0	0	14.4	0.1	14.8	14.3	154.1	7.5	169	145.2	768.2	0	67.7	65	66.1	0.7	67.7	65										
9	11/06/2007	11	6	2007	17	0	4.4	1.1	6.4	1.5	0	0	0	14.1	0.2	14.6	13.7	105.1	23	148	71.2	768.2	0	71.6	66.4	68.7	1.6	71.6	66.4										
10	11/06/2007	11	6	2007	17	10	4.4	0.6	6	2.6	0	0	0	13.4	0	13.7	13.2	72.2	1.9	75.2	68.6	768.2	0	74.2	71.6	73.2	0.7	74.2	71.6										
11	11/06/2007	11	6	2007	17	20	3.7	0.6	5.3	2.2	0	0	0	13.2	0	13.5	13.2	59.7	8.1	75.2	50.1	768.2	0	75.2	73.4	74.1	0.3	75.2	73.4										
12	11/06/2007	11	6	2007	17	30	3.6	0.8	6	1.8	0	0	0	12.8	0	13.2	12.6	39.8	6.6	50.1	30.4	768.2	0	77.3	74.8	76	0.7	77.3	74.8										
13	11/06/2007	11	6	2007	17	40	3	0.6	5.3	1.5	0	0	0	12.6	0	12.9	12.6	19.8	4.1	30.4	14.5	768.3	0	78.5	76.6	77.7	0.6	78.5	76.6										
14	11/06/2007	11	6	2007	17	50	2.7	0.5	4.1	1.5	0	0	0	12.3	0	12.6	12.1	12.7	1.4	15.9	10.6	768.3	0	80.7	78.3	79.5	0.6	80.7	78.3										
15	11/06/2007	11	6	2007	18	0	2.6	0.4	3.4	1.8	0	0	0	12	0	12.4	11.8	8.5	2.9	14.5	4	768.3	0	82.7	80.5	81.4	0.7	82.7	80.5										
16	11/06/2007	11	6	2007	18	10	2.4	0.4	3.4	1.5	0	0	0	11.7	0	11.8	11.5	3	1.1	5.3	1.3	768.3	0	84	82.7	83.4	0.3	84	82.7										
17	11/06/2007	11	6	2007	18	20	2.5	0.4	3.4	1.5	0	0	0	11.5	0	11.5	11.3	0.4	0.6	1.3	0	768.3	0	85.4	83.4	84.5	0.4	85.4	83.4										
18	11/06/2007	11	6	2007	18	30	2.5	0.2	3	1.8	0	0	0	11.3	0	11.5	11	0	0	0	0	768.3	0	86.1	85	85.5	0.3	86.1	85										
19	11/06/2007	11	6	2007	18	40	2.5	0.3	3	1.5	0	0	0	11.2	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	86.6	85.9	86.2	0	86.6	85.9										
20	11/06/2007	11	6	2007	18	50	2.6	0.3	3.4	1.8	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	87.1	86.1	86.6	0.2	87.1	86.1										
21	11/06/2007	11	6	2007	19	0	1.7	0.9	3.4	0.3	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	87.1	84.3	85.9	0.8	87.1	84.3										
22	11/06/2007	11	6	2007	19	10	2	0.6	3.4	0.7	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	86.6	85.2	85.9	0.3	86.6	85.2										
23	11/06/2007	11	6	2007	19	20	2	0.4	3	0.3	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	86.6	85.6	85.9	0.1	86.6	85.6										
24	11/06/2007	11	6	2007	19	30	1.6	0.5	2.6	0.3	0	0	0	11.2	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	85.9	85.2	85.6	0	85.9	85.2										
25	11/06/2007	11	6	2007	19	40	1.7	0.4	3	1.1	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	87.1	85.4	86.3	0.4	87.1	85.4										
26	11/06/2007	11	6	2007	19	50	2.5	0.4	3.4	1.5	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	86.8	85	85.6	0.5	86.8	85										
27	11/06/2007	11	6	2007	20	0	2.4	0.3	3.4	1.8	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	86.3	85.2	85.6	0.2	86.3	85.2										
28	11/06/2007	11	6	2007	20	10	2.5	0.3	3	1.8	0	0	0	11.1	0	11.3	11	0	0	0	0	768.3	0	86.1	85	85.5	0.2	86.1	85										

Hoja4 (06_2007)a(10_2013) Hoja3

LISTO 84%

ES 3:29 20/05/2014

ANEXO 7. Datos de las estaciones meteorológicas del INER

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'RELLENO1 - Excel'. The interface includes the 'HERRAMIENTAS DE TABLA' (Table Tools) ribbon with options like 'Normal', 'Diseño', and 'Vistas'. The spreadsheet data is organized as follows:

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
10	693.5	693.7	693.3	89	91	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.1
11	693	693.4	692.7	90	92	87	0	0	0	0	0	0	0	0	9.8	10.1
12	692.6	692.7	692.5	90	92	89	0	0	0	0	0	0	0	0	9.5	9.6
13	692.4	692.6	692.3	92	96	90	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	9.5
14	692.7	692.9	692.4	92	95	90	0	0	0	0	0	0	0	0	9.4	9.6
15	693.2	693.4	692.9	92	95	90	0	0	0	0	0	0	0	0	9.4	9.6
16	693.7	694	693.4	97	98	95	6	17	0	366	6	18	0	383	9.3	9.4
17	694.3	694.6	694	95	97	92	32	74	16	1892	33	79	17	2003	9.6	9.8
18	694.9	695	694.6	93	96	89	109	135	70	6552	116	144	74	6947	10.1	10.4
19	695.2	695.2	695	94	97	86	130	441	51	7824	143	502	54	8553	10	11.4
20	694.8	695.1	694.4	77	88	70	465	587	233	27923	616	998	250	36970	12.9	13.6
21	693.9	694.4	693.5	66	76	55	449	617	253	26943	608	1529	269	36494	14.4	16.8
22	693	693.5	692.6	56	65	47	506	626	433	30359	1134	1467	621	68065	17.6	19.2
23	692.2	692.6	691.9	53	59	47	405	576	250	24297	507	978	287	30414	17.6	18.3
24	691.7	691.9	691.3	58	62	54	368	442	280	22091	502	1059	313	30147	16.6	17.2
25	691.2	691.4	691	58	61	53	286	394	219	17155	438	995	240	26266	16.5	17.7
26	691.1	691.2	690.9	61	65	58	148	223	99	8874	281	458	109	16853	15	16.1
27	691.4	691.7	691.1	64	68	61	47	89	12	2812	51	98	12	3063	13.7	14.4
28	692.1	692.5	691.7	71	75	67	2	11	0	103	2	11	0	107	12.5	13
29	692.8	693.1	692.5	74	76	72	0	0	0	0	0	0	0	0	11.9	12.2
30	693.4	693.7	693.1	76	84	72	0	0	0	0	0	0	0	0	11.8	12.2
31	694	694.2	693.7	93	96	82	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11.4

ANEXO 8. Datos de las estaciones del INAMHI

The handwritten form is a detailed meteorological observation record. Key sections include:

- Header:** ESTACION ESPOCH DOBAMBA, MES ABO, DIA Domingo 07, AÑO 2013, OBSERVADOR B4178.
- Atmospheric Pressure:** BAROMETRO (mmHg, hPa).
- Temperature and Humidity:** TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), TEMPERATURA DEL PUNTO DE ROSE (°C).
- Cloudiness:** NUBES BAJAS, NUBES MEDIAS, NUBES ALTAS.
- Wind:** VELOCIDAD (m/s, km/h), DIRECCIÓN.
- Precipitation:** CANTIDAD (mm), TIPO.
- Evaporation:** TANQUE DE EVAPORACION.
- Surface and Soil Temperatures:** SECCIÓN 1, 333, 555. Includes columns for temperature at different depths (2 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm, 100 cm).

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA

Mes: ENERO.
Año: 2013.

HELIOFANIA EFECTIVA
En horas y décimas

Longitud 78° 40' 58" W
Latitud 1° 38' 51" S
Altura 2.850 m.s.n.m

Fecha	6	7	8	9	10	11	12	Mañana	13	14	15	16	17	18	19	Tarde	Total	%
1	.																	
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.1			2.4	27	22
3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.8	0.2	0.1	0.6	0.3	0.0	0.0			1.2	20	17
4	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.1	1.1	0.2	0.0	0.1	0.4	0.4	0.4			1.9	30	25
5																		
6																		
7	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.7	1.5	0.8	1.0	0.9	1.0	1.0	0.1			4.8	6.3	12
8	0.1	1.0	1.0	0.8	0.7	0.3	4.3	0.2	0.7	0.4	0.0	0.1	0.1			1.5	5.8	18
9	0.0	0.0	0.4	0.3	0.5	0.6	1.8	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0			1.5	3.3	27
10	0.0	0.4	0.6	0.0	0.1	0.0	1.1	0.1	0.6	0.3	1.0	0.6	0.0			2.6	3.7	31
11	0.0	0.1	0.3	0.2	0.1	0.4	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0			4.0	5.1	42
12																		
13																		
14	0.2	0.0	0.7	1.0	1.0	1.0	3.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1			5.5	9.4	78
15	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	4.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3			5.3	9.4	78
16	0.0	0.3	0.4	1.0	1.0	1.0	3.7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.3			4.7	8.2	68
17	0.3	0.3	0.1	0.9	1.0	1.0	3.0	0.8	0.3	1.0	0.1	0.8	0.0			3.6	6.6	55
18	0.6	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2	4.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0			0.3	4.3	36
19																		
20																		
21	0.0	0.2	0.0	0.5	0.2	0.2	1.1	0.5	1.0	1.0	1.0	0.8	0.2			4.5	5.6	47
22	0.5	1.0	1.0	0.5	0.8	0.1	3.9	0.3	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0			1.4	5.3	44
23	0.0	0.3	1.0	1.0	0.2	0.0	2.2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.3			0.6	2.8	23
24	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.2	1.0	1.0	0.9	0.8	0.0	0.0			3.7	8.9	74
25	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	4.3	0.1	0.8	1.0	1.0	0.8	0.0			3.7	8.4	70
26																		
27																		
28	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0			0.4	0.5	4
29	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.7	1.2	0.9	1.0	1.0	0.9	0.2	0.0			4.0	5.2	43
30	0.0	0.6	0.6	0.4	0.7	0.2	2.5	0.9	1.0	1.0	0.8	0.9	0.2			4.8	7.3	61
31	0.0	0.7	1.0	0.7	1.0	0.9	4.3	0.7	0.9	1.0	0.6	0.6	0.0			3.8	8.3	67
S. 1° D	0.5	1.1	2.3	2.0	2.3	2.9	10.9	2.1	3.3	3.7	3.1	3.0	0.7			11.4	26.8	222
S. 2° D	0.5	1.1	3.1	3.1	4.3	4.6	14.8	4.8	4.3	5.1	4.9	3.0	1.1			23.2	43.0	266
S. 3° D	0.6	4.8	5.4	5.4	4.9	3.7	25.2	4.4	6.4	6.8	5.1	3.4	0.7			26.9	52.1	433
S. Total	2.1	3.1	11.7	12.1	11.8	10.6	55.9	11.3	14.0	15.6	13.1	8.1	3.1			66.0	121.9	1012
Media	0.07	0.24	0.38	0.40	0.37	0.34	1.80	0.36	0.45	0.50	0.42	0.31	0.08			2.13	3.43	28.5

ANEXO 9. Reporte del software de plagio Urkund

D11284777 - TESIS REVISADA 8-JUL-2014_URKUND.docx - Urkund <https://secure.unkund.com/view/11165693-895941-143346#q1bKIVayi..>

List of sources

Document	TESIS REVISADA 8-JUL-2014_URKUND.docx (D11284777)
Submitted	2014-07-08 12:06 (-05:00)
Submitted by	estefania_ramos28@outlook.es
Receiver	gerardo.leon.esPOCH@analysis.unkund.com
Message	[Tesis014] Show full message

1% of this approx. 36 pages long document consists of text present in 2 sources.

0 Warnings

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA
DE FÍSICA Y MATEMÁTICA "ESTIMACIÓN Y
MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE LA
RADIACIÓN SOLAR EN LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO EN EL AÑO 2012" TESIS DE
GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA
PRESENTADO POR CRISTINA ESTEFANÍA RAMOS
ARAUJO NATALIA ALEXANDRA PÉREZ LONDO
RIOBAMBA - ECUADOR 2014