



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**“ANÁLISIS Y AJUSTES, CON MODELOS DE REGRESIÓN B-SPLINES
UTILIZANDO EL SOFTWARE R, EN LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS:
TEMPERATURA, HUMEDAD, RADIACIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO, DE LA
ESTACIÓN METEOROLÓGICA SOLAR DEL CENTRO DE ENERGÍA
ALTERNATIVAS, FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA”**

Tesis presentada ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como
requisito parcial para la obtención del grado de

MAGISTER EN MATEMÁTICA BÁSICA

Nancy Elizabeth Chariguamán Maurisaca

Riobamba – Ecuador

2015

AUTOR

NANCY ELIZABETH CHARIGUAMÁN MAURISACA

Tesis entregada ante el **Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH**, como requerimiento parcial para el logro del título de **MAGÍSTER EN MATEMÁTICA BÁSICA**.

RIOBAMBA - ECUADOR

2015



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE:

El esfuerzo entregado en la investigación titulada “ANÁLISIS Y AJUSTES, CON MODELOS DE REGRESIÓN B-SPLINES UTILIZANDO EL SOFTWARE R, EN LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS: TEMPERATURA, HUMEDAD, RADIACIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO, DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA SOLAR DEL CENTRO DE ENERGÍA ALTERNATIVAS, FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA” de responsabilidad de la maestrante **Nancy Elizabeth Chariguamán Maurisaca**, ha sido minuciosamente revisada y se aprueba su presentación.

Tribunal de Tesis

Dr. Antonio Meneses.
PRESIDENTE

FIRMA

Dr. Klever Torres.
MIEMBRO

FIRMA

Dr. Rigoberto Muñoz.
MIEMBRO

FIRMA

Yo, Nancy Elizabeth Chariguamán Maurisaca, soy autora de las opiniones, ciencia y resultados revelados en esta Tesis; el dominio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

NANCY ELIZABETH CHARIGUAMÁN MAURISACA

AGRADECIMIENTO

A Dios por la oportunidad de estar en este mundo y superarme a cada día. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Instituto de Posgrado y Educación Continua (IPEC) por cumplir la gran responsabilidad de mantener y mejorar el liderazgo en la educación superior a través del mejoramiento continuo de la calidad de los servicios, por su apertura y apoyo a los estudiantes.

De manera muy especial quiero agradecer a las personas quienes me apoyaron en el desarrollo de este trabajo; a mi tutor de tesis el Dr. Antonio Meneses, quien supo guiarme y poner en marcha este trabajo de investigación; así como a los miembros del tribunal: Dr. Klever Torres, quien además fue facilitador en uno de los módulos del programa; y al Dr. Rigoberto Muñoz que también aportó en este trabajo; a todos por su valiosa contribución y asesoría.

A mis maestros por los conocimientos brindados con dedicación durante mi carrera, y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron desinteresadamente para llevar a cabo la culminación de este trabajo de investigación.

Ing. Nancy Chariguamán

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios que me ha acompañado, me ha guiado por el camino correcto y por siempre mantener en mí; viva la fe y la esperanza.

A toda mi familia, por darme la oportunidad de terminar con éxito un ciclo más de mi vida, gracias a su amor y apoyo quienes han hecho posible la realización de mis grandes sueños.

A mis padres Emilio y Livia por darme la vida; a mis hermanas, por ser fuente de mi inspiración y juntos compartir la alegría de vivir. Y por último pero no menos importante a Rodrigo Guillermo por ser un apoyo en mi vida y en los momentos difíciles ha sido mi luz, mi fuerza y mi consuelo, para ti todo mi amor.

Ing. Nancy Chariguamán

RESUMEN

Se realizó el análisis y ajuste, con modelos de regresión B-Splines utilizando el software libre R, en las variables climatológicas tales como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento, con datos obtenidos de la Estación Meteorológica Solar, del Centro de Energía Alternativas; de la Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática; con la finalidad de identificar claramente el ajuste limitado, la diferencia existente entre la longitud o amplitud de los intervalos de ajuste, en relación a un modelo de regresión polinómico generalmente utilizado.

El análisis y ajuste con modelos de regresión B- Spline utilizando el software R se lo realizó con valores promedios obtenidos para cada una de las variables climatológicas tales como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento; estos datos promedios para cada hora del día en cada mes, realizando una comparación con modelos de regresión polinómico de grado siete.

Dado este análisis y ajuste con modelos de regresión B- Spline utilizando el software R, se llegó a identificar que los modelos de regresión B- Spline; presentan un mejor suavizado en el comportamiento de los datos climatológicos, a diferencia de seguir utilizando los modelos de regresión generalmente utilizados.

Aplicar la técnica estadística modelos de regresión B – Spline utilizando el software R; es útil para obtener un mejor suavizado y ajuste de nuestros datos; se recomienda se tome en consideración la utilización de los modelos de regresión B – Spline utilizando un software R, para mejorar el ajuste o suavizado de cualquier conjunto de datos y así combinar la aplicación de los modelos de regresión comúnmente utilizados con los modelos de regresión B - Spline.

Palabras Claves: <Modelos de Regresión>, <Modelos de Regresión B - Spline>, <Software libre R>, <Variables Climatológicas>, <Temperatura>, <Humedad>, <Radiación>, <Velocidad del Viento>, <Suavizado>, <Amplitud>.

SUMMARY

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
INTRODUCCIÓN.....	13
<i>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</i>	<i>13</i>
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	<i>13</i>
<i>Objetivo general.....</i>	<i>14</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>14</i>
<i>PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.....</i>	<i>15</i>
<i>OPERACIONALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES</i>	<i>15</i>
1. REVISIÓN DE LITERATURA	16
1.1 <i>Software R</i>	16
1.2 <i>Modelo de Regresión</i>	16
1.3 <i>Test Shapiro–Wilk.....</i>	19
1.4 <i>Kolmogorov-Smirnov.....</i>	19
1.5 <i>Modelo de Regresión no paramétrico B-Spline.....</i>	19
1.6 <i>Prueba no Paramétrica Wilcoxon</i>	24
1.7 <i>Variables Climatológicas</i>	25
1.7.1. <i>Temperatura</i>	26
1.7.2. <i>Humedad.....</i>	26
1.7.3. <i>Radiación.....</i>	27
1.7.4. <i>Velocidad del Viento.....</i>	27
2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1. <i>Población.....</i>	29
2.2. <i>Muestra.....</i>	29
2.3. <i>Tipo de Investigación.....</i>	29
2.4. <i>Diseño de la Investigación.....</i>	29

2.5.	<i>Métodos</i>	30
2.6.	<i>Técnicas</i>	30
2.7.	<i>Recursos</i>	30
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1.	<i>Temperatura - Enero – 2010</i>	31
3.2.	<i>Humedad - Enero – 2010</i>	34
3.3.	<i>Radiación - Enero – 2010</i>	38
3.4.	<i>Velocidad del Viento - Enero – 2010</i>	42
	CONCLUSIONES	46
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA	48
	ANEXOS	50

TABLA DE FIGURAS:

Figura 1-1: Ajuste Lineal, temperatura y horas – días - Enero 2010	17
Figura 1-2: Ajuste Lineal, humedad y horas – días - Enero 2010.....	18
Figura 1-3: Ajuste Lineal, radiación y horas – días - Enero 2010.....	18
Figura 1-4: Ajuste Lineal, velocidad del viento y horas – días - Enero 2010	18
Figura 1-5: N-Splines y su regresión, temperatura promedio - Enero2010	22
Figura 1-6: B-Splines y la regresión, temperatura promedio - Enero 2010	22
Figura 1-7: N-Spline vs B-Spline, temperatura promedio - Enero 2010.....	23
Figura 1-8: Efecto de Nodos en la temperatura promedio - Enero 2010.....	23
Figura 1-9: Localización de Nodos para la temperatura en el mes de Enero 2010.	24
Figura 3-1: Promedio hora - días de la variable Temperatura - Enero 2010.....	31
Figura 3-2: Modelos de regresión: Polinómico de grado siete y B-Spline Temperatura.	32
Figura 3-3: Variabilidad de la Promedio hora - días de la Temperatura - Enero 2010	33
Figura 3-4: Ajuste Normal, promedio hora - días de la Temperatura Enero 2010.....	34
Figura 3-5: Promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010	34

Figura 3-6: Modelo Polinómico de grado siete y B-Spline Humedad Enero 2010.....	35
Figura 3-7: Variabilidad Promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010	37
Figura 3-8: Ajuste Normal, promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010.....	37
Figura 3-9: Promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010.	38
Figura 3-10: Ajuste polinómico de grado siete y B-Spline Temperatura.....	39
Figura 3-11: Variabilidad promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010.....	40
Figura 3-12: Ajuste Normal promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010	41
Figura 3-13: Promedio hora - días de la variable Velocidad del Viento Enero 2010.....	42
Figura 3-14: Ajuste polinómico de grado siete y B-Spline de la Velocidad del Viento	43
Figura 3-15: Variabilidad promedio hora - días de la Velocidad del Viento Enero 2010.....	44
Figura 3-16: Ajuste Normal promedio hora - días de la Velocidad del Viento Enero 2010.....	45

TABLAS:

Tabla 0-1: Operacionalización Conceptual de las Variables.....	15
Tabla 3-1: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Temperatura Enero 2010	32
Tabla 3-2: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010	36
Tabla 3-3: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010.....	40
Tabla 3-4: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Velocidad del Viento Enero 2010.....	43

GRÁFICOS:

Gráfico 1-1: Proceso Climatológico.....	26
Gráfico 1-2: Equipo - Velocidad de Viento	27
Gráfico 1-3: Escala de Beaufort.....	28

ECUACIONES:

Ecuación 1-1:	(1).....	16
Ecuación 1-2:	(2).....	17
Ecuación 1-3:	(3).....	20
Ecuación 1-4:	(4).....	21

Ecuación 1-5:	(5).....	21
Ecuación 1-6:	(6).....	21

ANEXOS:

ANEXO A: Instrumentos de Medición para Variables Climatológicas – ESPOCH	50
ANEXO B: Equipos de Medición para Variables Climatológicas - ESPOCH	51
ANEXO C: Promedio Horas, Días –Meses Temperatura Año 2010	52
ANEXO D: Estaciones invierno – verano temperatura promedio - año 2010	53
ANEXO E: Promedio Horas, Días –Meses Humedad Año 2010	54
ANEXO F: Estaciones invierno – verano de la Humedad Promedio del año 2010	55
ANEXO G: Promedio Horas, Días –Meses Radiación Año 2010	56
ANEXO H: Estaciones invierno – verano radiación promedio del año 2010	57
ANEXO I: Promedio Horas, Días –Meses Velocidad del Viento Año 2010	58
ANEXO J: Estaciones invierno - verano de la Velocidad del Viento promedio del año 2010	59

INTRODUCCIÓN

El proyecto tuvo como finalidad fundamental, ajustar modelos de regresión B-Splines en las variables climatológicas como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento, además se desea mostrar la utilidad primordial de un software libre como es el R, ya que hoy en la actualidad es indispensable, conocer, manipular y trabajar con un software libre.

La falta de conocimiento y aplicación de nuevas técnicas estadísticas, han limitado llevar a cabo analizar y ajustar modelos de regresión B-Splines; en las variables climatológicas como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento.

Se plantearon algunos resultados de investigación, efectuados sobre el tema de aplicación, análisis y ajuste de modelos de regresión B-Splines en el área industrial sobre los polímeros como ajuste para las curvas máster cuando se les aplican temperaturas elevadas.

Por lo expuesto anteriormente, se trabajó con un estudio **descriptivo - experimental** que asegura un apoyo objetivo en las variables: análisis y ajuste de modelos de regresión B-Splines aplicado en variables climatológicas como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento, es decir la investigación desarrollada, y los posibles resultados de estudios relacionados con nuestra investigación, sustentaron al resultado de analizar y ajustar modelos de regresión B-Splines aplicado en variables climatológicas.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema tratado en la investigación es el siguiente: ¿Cuáles son los modelos de regresión B-Splines, utilizando el software libre R; que pueden ser analizados y ajustados en las variables climatológicas como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento?

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó con datos meteorológicos, obtenidos de la Estación Meteorológica Solar, del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y

Matemática, en la que se analizó y ajustó modelos de regresión B-Splines aplicado en variables climatológicas; además se presentó la gran utilidad de trabajar con un software libre.

Se planteó esta técnica estadística con modelos de regresión B-Splines debido a la necesidad de mejorar el ajuste con modelos de regresión más generales y flexibles que permitan una correcta **modelización matemática** dado cualquier conjunto de datos a diferencia de seguir con los modelos de regresión polinómicos generalmente utilizados.

La presente investigación tuvo sus limitaciones al existir pocos trabajos de investigación, en nuestro medio, que nos sirvan como precedentes; sobre todo la aplicación de modelos de regresión B-Splines aplicado en variables climatológicas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar y Ajustar, modelos de regresión B-Splines utilizando el software R, en variables climatológicas: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento, de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.

Objetivos específicos

- Diagnosticar un modelo de regresión B-Spline utilizando el software R, en la variable climatológica Temperatura, de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.
- Determinar un modelo de regresión B-Spline utilizando el software R, en la variable climatológica Humedad, de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.

- Identificar un modelo de regresión B-Spline utilizando el software R, en la variable climatológica Radiación, de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.
- Obtener un modelo de regresión B-Spline utilizando el software R, en la variable climatológica Velocidad del Viento, de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

La hipótesis se basa principalmente en verificar el ajuste de modelos de regresión B-Splines en las variables climatológicas para lo cual se planteó lo siguiente:

La **VARIABLE DEPENDIENTE o RESPUESTA** (Los ajustes promedio obtenidos de cada variable para cada hora - día; aplicando un modelo de Regresión B-Spline; en las variables climatológicas como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento).

La **VARIABLE INDEPENDIENTE (HORAS – DÍA)** definida como las 24 horas del día para su relación con todos y cada uno de los promedios obtenidos de las variables climatológicas.

OPERACIONALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES

Tabla 0-1: Operacionalización Conceptual de las Variables

VARIABLES	CONCEPTO
<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE:</u> HORAS – DÍA</p> <p><u>VARIABLE DEPENDIENTE:</u> Los Ajustes obtenidos con modelos de Regresión B-Splines en las variables climatológicas: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento.</p>	<p>Son las 24 horas del día, para cada mes en el año 2010.</p> <p>Un modelo de regresión B-Spline utilizando el software R, las variables climatológicas: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento.</p>

Realizado por: Nancy Chariguamán

- **P. Hipótesis Temperatura:**

$$H_0: \tilde{x}_{TMP} = \tilde{x}_{TMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{TMP} \neq \tilde{x}_{TMS}$$

- **P. Hipótesis Radiación:**

$$H_0: \tilde{x}_{RMP} = \tilde{x}_{RMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{RMP} \neq \tilde{x}_{RMS}$$

- **P. Hipótesis Humedad:**

$$H_0: \tilde{x}_{HMP} = \tilde{x}_{HMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{HMP} \neq \tilde{x}_{HMS}$$

- **P. Hipótesis Velocidad del Viento:**

$$H_0: \tilde{x}_{VMP} = \tilde{x}_{VMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{VMP} \neq \tilde{x}_{VMS}$$

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Software R

El software R, es un programa libre de fácil acceso; el mismo que posee un entorno de computación, presenta una amplia variedad de técnicas y gráficos estadísticos, como por ejemplo: análisis descriptivo, análisis inferencial, series de tiempo, modelos de regresión paramétrico y no paramétrico, además es altamente extensible.

R está disponible como software libre bajo los términos de la Free Software Foundation 's Licencia Pública General de GNU en formato de código fuente. Se compila y se ejecuta en una amplia variedad de plataformas UNIX y sistemas similares (incluyendo FreeBSD y Linux), Windows y MacOS, (Ihaka, 2015, pág. 24).

1.2 Modelo de Regresión

En general un modelo de regresión paramétrico relaciona una variable **X (llamada variable independiente o covariable)** con una variable **Y (llamada variable dependiente o respuesta)** a través de la expresión matemática siguiente:

$$Y = f(X) + \varepsilon$$

Ecuación 1-1: (1)

Para obtener la forma de la función de regresión f es habitual hacer ciertos supuestos que dan lugar a distintos modelos tales como:

- **Modelo Lineal:** $\hat{y} = a_0 + a_1x + \varepsilon$
- **Modelo Cuadrático:** $\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \varepsilon$
- **Modelo Exponencial:** $\hat{y} = a_0 * e^{a_1x} + \varepsilon$

Los modelos de regresión no se **limitan a analizar la relación entre dos variables**. En general buscan obtener la relación entre la **variable respuesta Y** y un **conjunto de covariables X_1, \dots, X_p** . Para ello se plantearon modelos de la forma:

$$Y = f(X_1, \dots, X_p) + \varepsilon$$

Ecuación 1-2: (2)

Relacionando de manera aproximada los valores de Y con los que toman las otras variables X_1, \dots, X_p . Es importante señalar que poner una variable Y al lado izquierdo y escribirla como función de las otras covariables más una perturbación aleatoria **“no prejuzga ninguna relación de causalidad”** sino que sólo se postula la existencia de una relación cuya forma se pretende investigar.

Los modelos de regresión lineal permiten establecer una relación lineal entre la **variable explicativa X** y la **variable respuesta Y** . Sin embargo, Los datos no siempre se van a ajustar a la suposición de linealidad.

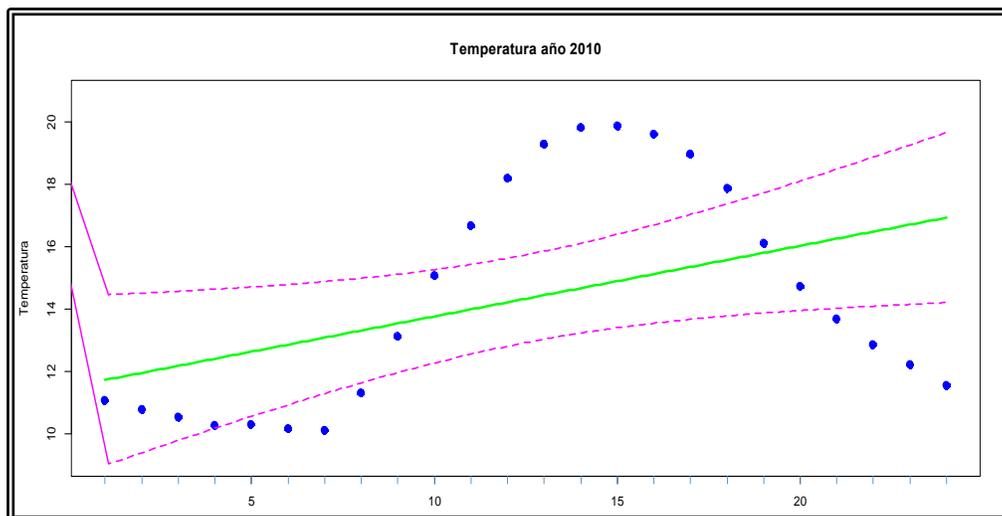


Figura 1-1: Ajuste Lineal, temperatura y horas – días - Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

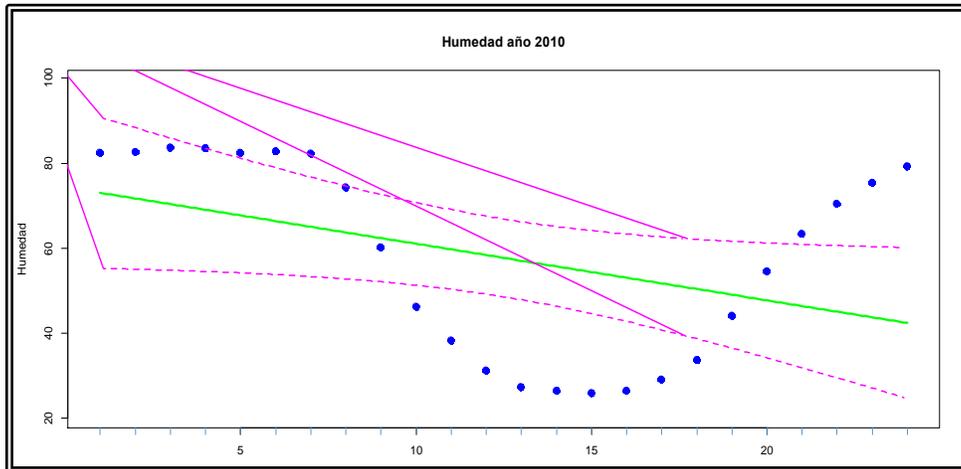


Figura 1-2: Ajuste Lineal, humedad y horas – días - Enero 2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

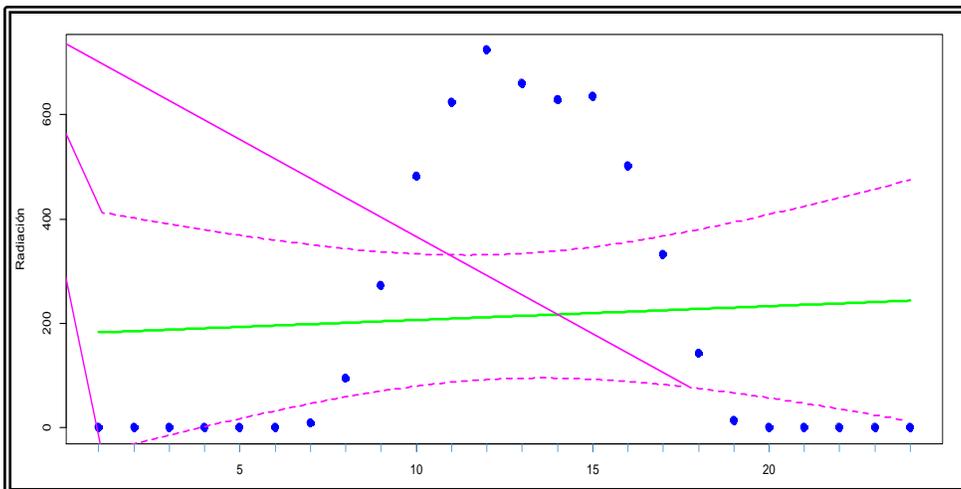


Figura 1-3: Ajuste Lineal, radiación y horas – días - Enero 2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

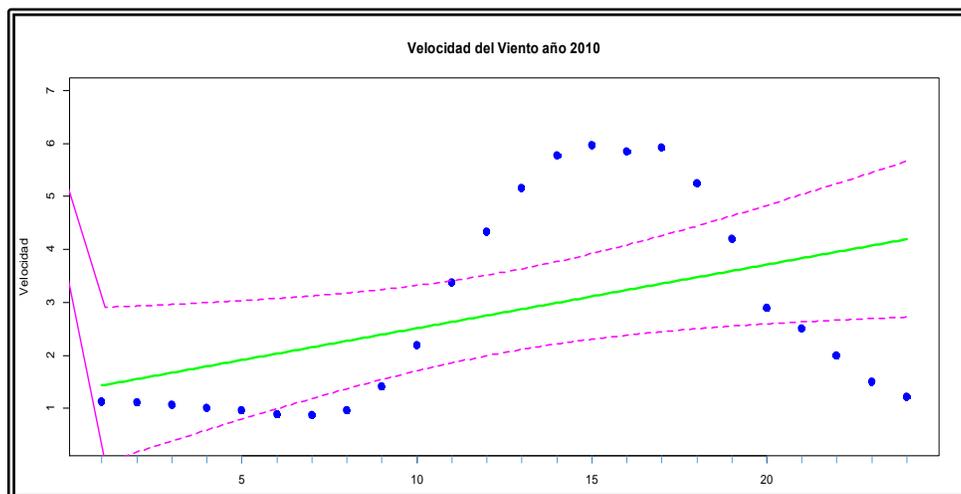


Figura 1-4: Ajuste Lineal, velocidad del viento y horas – días - Enero 2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

En estos casos, el modelo de regresión lineal en variables climatológicas como: temperatura, humedad, radiación y velocidad del viento; estarán mal especificadas, y las conclusiones obtenidas pueden ser erróneas (Walpole Ronald, 2012, pág. 400).

1.3 Test Shapiro–Wilk

El Test de Shapiro–Wilk, lo usaremos para contrastar la normalidad; de las variables climatológicas siendo estas: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento. Generalmente este test se utiliza para muestras mayores a siete y menores o iguales a dos mil datos.

Sea x_1, x_2, \dots, x_n una muestra en la que se requiere probar si esta proviene de una distribución normal; el test de Shapiro–Wilk es considerado uno de los test más importantes para la prueba de normalidad, sobre todo para una muestra de tamaño $n \leq 30$; su planteamiento de hipótesis nula y alternativa es:

H_0 : los datos proviene de una distribución normal

H_1 : los datos no proviene de una distribución normal

NOTA:

Si definimos la hipótesis nula como: la población en estudio está distribuida normalmente, y si se cumple que el p-valor es menor a alfa (α) entonces la hipótesis nula es rechazada y se concluye que los datos no vienen de una distribución normal. Caso contrario si el p-valor es mayor a alfa (α), no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos siguen una distribución normal (Walpole Ronald, 2012, pág. 655).

1.4 Kolmogorov-Smirnov

El Test de **Kolmogorov-Smirnov**, lo usaremos para contrastar la normalidad; de las variables climatológicas siendo estas: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento. Generalmente este test es más utilizado para muestras grandes de datos.

1.5 Modelo de Regresión no paramétrico B-Spline

Los modelos de **regresión paramétricos** son de gran utilidad ya que toda la información se resume en los parámetros del modelo, y la interpretación de este tipo de modelos suele ser muy sencilla.

Sin embargo, si la parametrización elegida es demasiado rígida, y no ajusta bien a los datos, entonces las conclusiones obtenidas pueden ser erróneas.

Ante este tipo de situaciones es necesario el desarrollo y aplicación de modelos más generales y flexibles que permitan una correcta **modelización matemática**. En los últimos años ha surgido una línea de investigación en el campo de la **estadística funcional no paramétrica** que ha permitido el desarrollo y aplicación de modelos más generales.

En los modelos de regresión no paramétrica la función de regresión f que establece la relación

$$Y = f(X) + \varepsilon \quad \text{Ec. (1)}$$

No sigue una forma paramétrica fija, sino que depende de una función totalmente desconocida a la que únicamente se le exige un cierto grado de suavidad.

Para la estimación de la curva de regresión f será necesario, la utilización de algún método de suavización, para ello se pueden destacar los siguientes:

- Suavizadores Kernel
- Suavizadores Polinómicos locales.
- Cubic smoothing splines.
- Splines de regresión penalizados.

Aquí consideraremos el marco metodológico de la Regresión Spline Penalizada (P-Splines) y utilizado en la rutina gam de la librería mgcv de R. La regresión por Splines consiste en ajustar un polinomio de grado p (normalmente $p = 3$), que deben unirse “suavemente” en cada uno de los nodos interiores. En este contexto, la función parcial f sigue la siguiente estructura:

$$f(x) = a_1 * B_1(x) + \dots + a_k * B_k(x) \quad \text{Ecuación 1-3} \quad (3)$$

Donde:

$\mathbf{k} \equiv$ El número de bases

$\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_k \equiv$ Son parámetros desconocidos, y

$\mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_k \equiv$ Son funciones conocidas que dependen únicamente de los llamados nodos.

Por lo tanto, en la regresión Spline se reduce un problema de **regresión no paramétrico** a un **problema paramétrico**. Únicamente será necesario estimar los coeficientes a_1, \dots, a_k ajustando un modelo de regresión lineal. Dependiendo del tipo de bases se obtendrán distintos tipos de regresión.

Normalmente se consideran **Natural Splines o B-Splines**. En los dos tipos de bases será necesario seleccionar M nodos interiores C_1, \dots, C_M , de forma que:

$$\mathbf{X}_{\min} < \mathbf{C}_1 < \dots < \mathbf{C}_k \leq \mathbf{X}_{\max}$$

B-Spline o Natural Spline.- la regresión basada en B-Spline de orden p se considera la estructura:

$$f(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_px^p + B_1(x - C_1)^p + \dots + B_k(x - C_k)^p +$$

Ecuación 1-4 (4)

Dónde:

a_0, \dots, a_p y B_1, \dots, B_k son coeficientes a determinar y

$$(x - t)_+^p = \begin{cases} (x - t)^p & ; \text{si } t > x \\ 0 & ; \text{si } t \leq x \end{cases}$$

Ecuación 1-5 (5)

Es la llamada función potencia truncada de orden p . Por lo tanto el Spline f se puede expresar como la **combinación lineal**:

$$f(x) = a_0 * B_0(x) + \dots + a_p * B_p(x) + a_{p+1}B_{p+1}(x) + \dots + a_{p+M}B_{p+M}(x)$$

Ecuación 1-6 (6)

Donde las siguientes funciones forman una base de funciones polinómicas del Spline:

$$B_0(x) = 1, B_1(x) = x, B_p(x) = x^p$$

$$B_{p+1}(x) = (x - C_1)_+, \dots, B_{p+M}(x) = (x - C_M)_+$$

De este modo, un **modelo de regresión no paramétrico** se convierte en un **modelo de regresión paramétrica**, y los coeficientes a_0, \dots, a_{p+M+1} son obtenidos utilizando mínimos cuadrados.

En la izquierda se muestran cinco funciones de bases Natural Spline para las **Horas / Día** y en el gráfico de la derecha la correspondiente regresión de las **Horas / Día**; con respecto a la temperatura promedio en el mes de enero 2010.

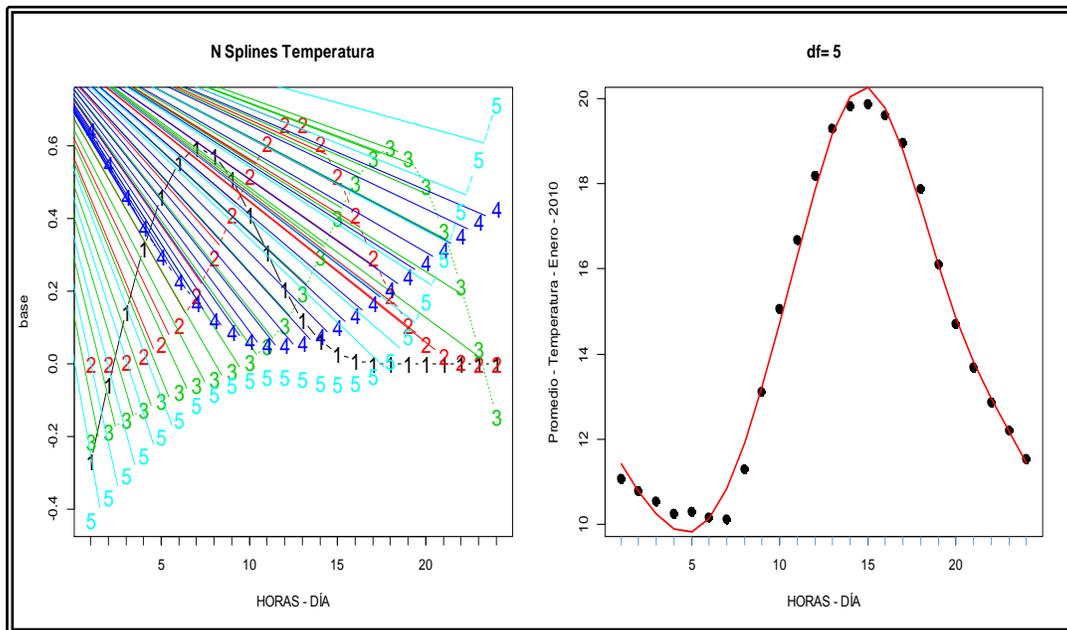


Figura 1-5: N-Splines y su regresión, temperatura promedio - Enero2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

La base de Natural Spline tiende a crear problemas de multicolinealidad, por lo que es recomendable la utilización de otro tipo de bases. Una alternativa a los Natural Spline son los B-Splines cuya base de funciones es calculada recursivamente.

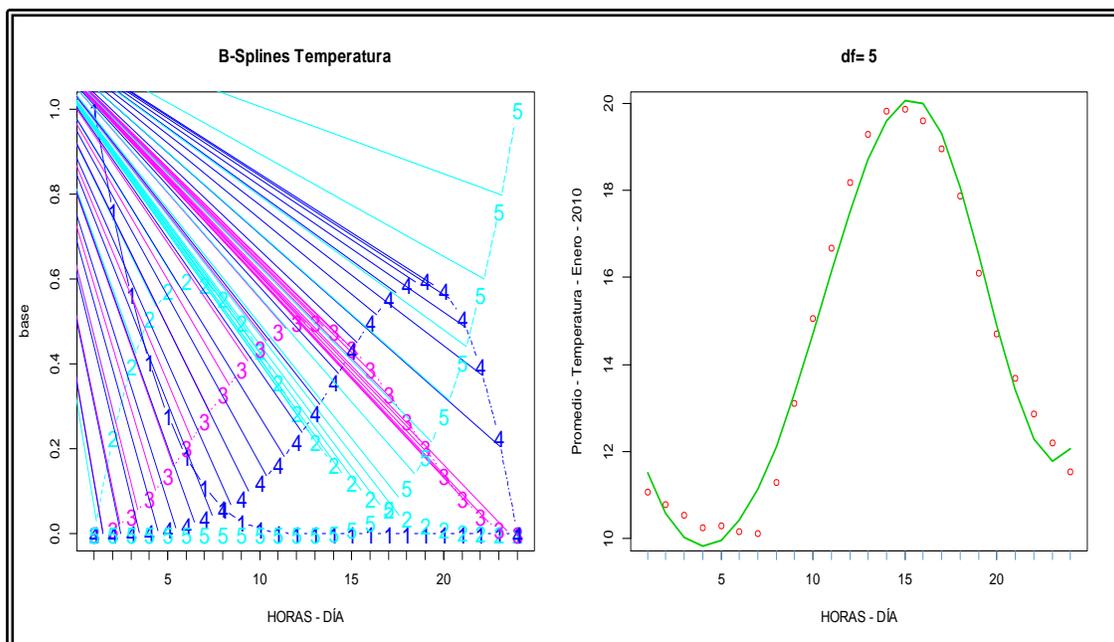


Figura 1-6: B-Splines y la regresión, temperatura promedio - Enero 2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

En el siguiente gráfico se compara el ajuste obtenido en el ejemplo de horas del día con respecto a la temperatura promedio del mes de Enero 2010. Utilizando Natural Splines y B-Splines. En ambos caso se ha utilizado $df=5$.

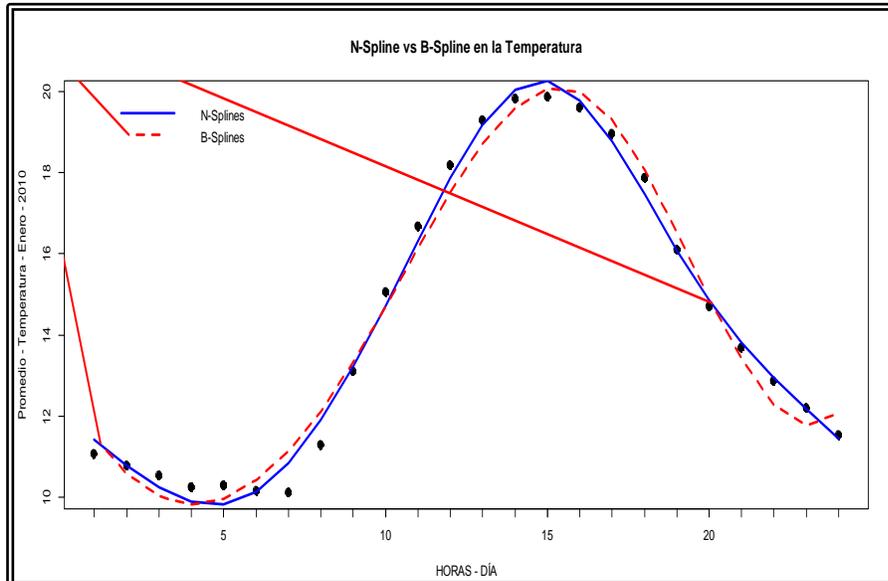


Figura 1-7: N-Spline vs B-Spline, temperatura promedio - Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

Como se puede ver en el gráfico, las estimaciones obtenidas con los dos métodos son muy similares. En el siguiente gráfico se analiza cuestiones abiertas: referente al número de Nodos y localización de los mismos.

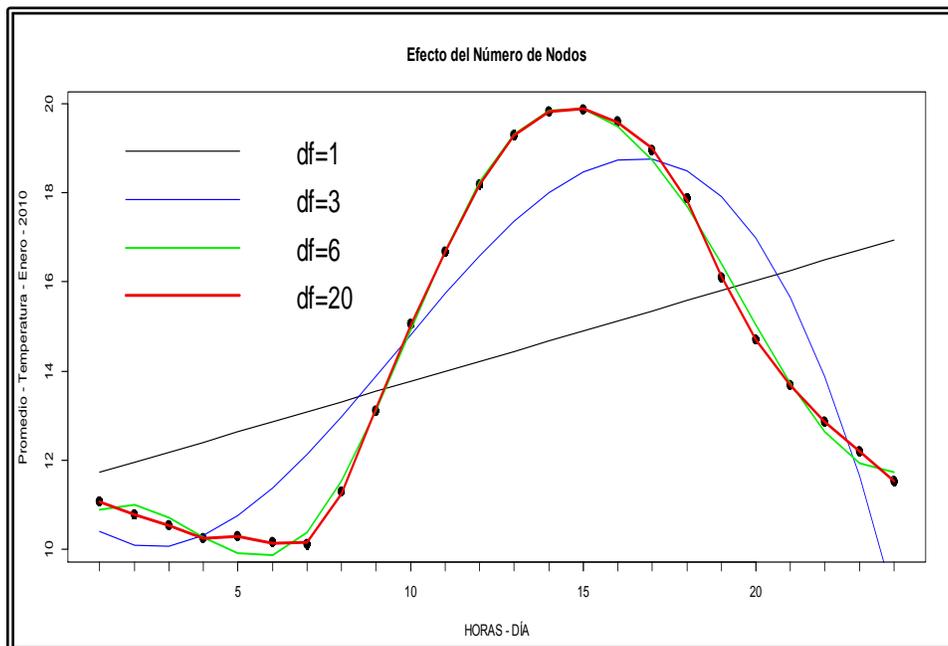


Figura 1-8: Efecto de Nodos en la temperatura promedio - Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

- Cuantos más grados de libertad menos suave será la estimación resultante y viceversa.
- Para el caso extremo en que $df=1$ la curva estimada será de tipo paramétrico.

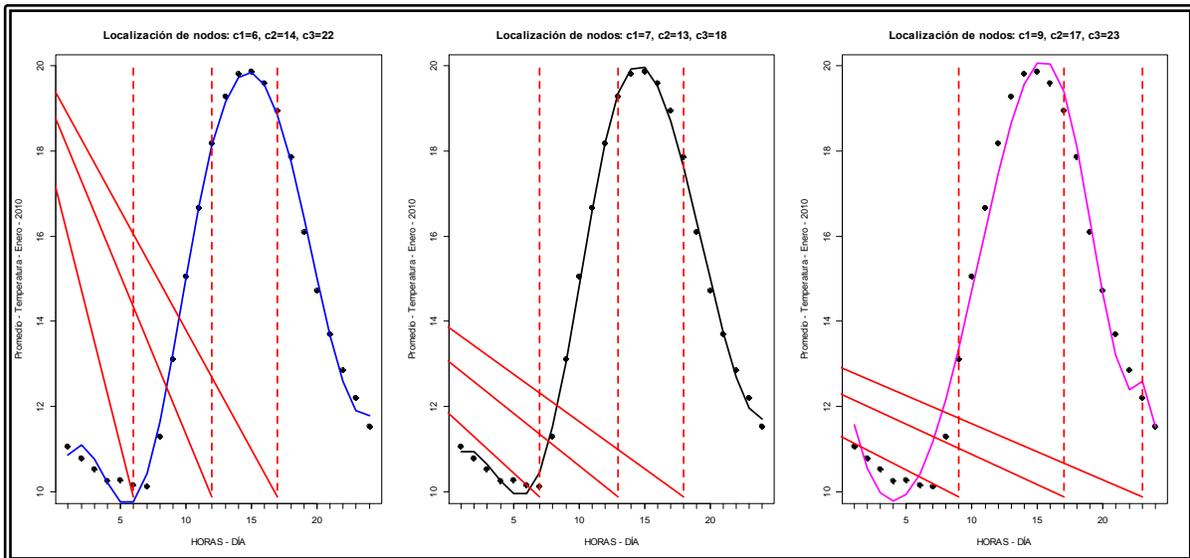


Figura 1-9: Localización de Nodos para la temperatura en el mes de Enero 2010.

Realizado por: Nancy Chariguamán

La posición de los nodos influye fuertemente en la curva estimada de las variables climatológicas.

1.6 Prueba no Paramétrica Wilcoxon

La prueba no paramétrica Wilcoxon también llamada: U de Mann-Whitney, Mann-Whitney-Wilcoxon, prueba de suma de rangos Wilcoxon y prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney. Es de gran utilidad en casos con datos que no provienen de una distribución normal. La misma que utilizaremos para evidenciar que existe diferencia en las distancias o longitudes de los intervalos; con un modelo de regresión paramétrico Polinómico de grado siete y un modelo de regresión no paramétrico B-Spline.

La prueba no Paramétrica Wilcoxon requiere: **de dos muestras independientes y aleatorias, cada una de ellas con más de 10 observaciones.**

Planteamiento de Hipótesis:

H_0 : La distribución de partida de ambos grupos es la misma

H_1 : los valores de una de las muestras tienden a exceder a los de la otra

NOTA:

Si definimos la hipótesis nula como: La distribución de partida de ambos grupos es la misma, y si se cumple que el p-valor es menor a alfa (α) entonces la hipótesis nula es rechazada y se concluye que una de las muestras excede a los de la otra. Caso contrario si el p-valor es mayor a alfa (α), no se rechaza la hipótesis nula y se concluye la distribución de partida de ambos grupos es la misma.

1.7 Variables Climatológicas

Meteorología: Estudio del comportamiento "momentáneo" del tiempo. Análisis, pronóstico y observación de la media y variabilidad de ciertos parámetros de la atmósfera, en la escala:

- Microescala (10km): Horas
- Mesoescala1 (100km): 1 días
- Mesoescala2 (300km): 3 días
- Sinóptico1 (500km): 5 días
- Sinóptico2 (1000-5000km): 10-15 días.
- Sinóptico3 (10000km): 1-2 meses

Dependencias de todas las escalas

- Condiciones iniciales
- Condiciones de contorno (la escala superior)
- Climatología (de la propia escala)
- Ecuaciones físicas de balance energético (diario o estacional).
- Ecuaciones físicas de balance de movimientos: Navier-Stokes.
- Parametrización de otros parámetros: nubosidad, etc.

Climatología: Estudio del comportamiento "promedio" del tiempo. Análisis, pronóstico y observación de la Medida y Variabilidad de ciertos parámetros promedios de la temperie, en la escala:

- Variabilidad climática intrínseca: 2-10 años
- Climatología térmica: 20-50 años
- Climatología pluviométrica: 50-100 años
- Otras climatologías: desde 50 años a millones de años.

Dependencias en cada escala

- Climatología local: Depende principalmente de: clima regional, circulaciones regionales características geográficas locales.

- Climatología regional (lo intermedio a local y global): Depende principalmente de: clima global, circulaciones globales, características geográficas regionales.
- Climatología global: Depende principalmente de: input de energía, output de energía, y almacenamiento de energía.

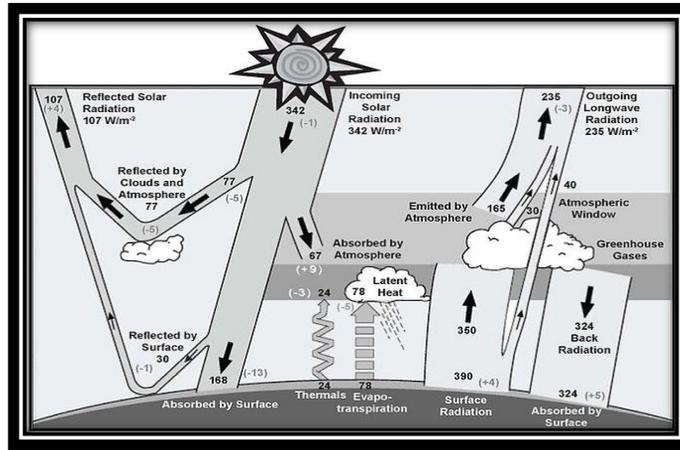


Gráfico 1-1: Proceso Climatológico
Fuente: Wiki-Cambio Climático

1.7.1. Temperatura

La temperatura es un elemento climático valioso para la observación del clima, con apoyo de la estación meteorológica ubicada en la ESPOCH, la temperatura directamente provee una medida de la energía del sistema en inspección, la medición de dicha variable es esencialmente realizada día tras día durante los 365 días del año, usando un termómetro de mercurio en vidrio, que puede calibrarse exactamente.

1.7.2. Humedad

La variable climatológica humedad nos da a conocer la cantidad de vapor en el aire, el instrumento estándar para su medición es el sicrómetro. Es un par de termómetros verticales idénticos, uno de los cuales tiene el bulbo continuamente mojado por medio de una muselina humedecida por una mecha sumergida en agua.

La evaporación del bulbo húmedo hace descender su temperatura debajo de la temperatura del aire (medida por el termómetro del bulbo seco).

La diferencia entre los dos valores medidos es usada para calcular la presión del vapor del aire. Su unidad es el porcentaje (%) lo que nos da, un estimado de la cantidad de vapor en el aire expresado en tanto por cien. Mientras más alto sea el porcentaje, mayor es el grado de saturación de la atmosfera.

1.7.3. Radiación

La variable climatológica radiación se define como la transferencia directa de energía por medio de ondas electromagnéticas. Parte de la radiación es absorbida cuando incide sobre una superficie, la otra parte es reflejada y se le conoce como albedo (α). La radiación también es emitida en forma continua por todos los cuerpos a tasas que dependen de su temperatura superficial. La radiación neta **Rn** es la diferencia entre la radiación absorbida y la emitida, **Re**. Cabe resaltar que la radiación neta en la superficie de la Tierra es la mayor fuente de energía para la evaporación del agua.

La Radiación Solar se divide para su estudio en Radiación Global, Radiación Difusa y Radiación Directa. Existen diversos instrumentos que permiten medir la radiación solar en todas sus componentes, así como también la radiación infrarroja que recibe la superficie desde la atmósfera, o que emite la superficie hacia la atmósfera. La unidad de medición es el **watt/m²**.

1.7.4. Velocidad del Viento



Gráfico 1-2: Equipo - Velocidad de Viento
Fuente: Estación Solar – ESPOCH

El viento produce energía porque está siempre en movimiento. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra. El contenido energético del viento depende de su velocidad.

Cerca del suelo, la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará ésta al viento. Es por ello que sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas. No obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en la tierra.

El instrumento que mide la velocidad del viento, es el anemómetro, que generalmente está formado por un molinete de tres brazos, separado por ángulos de 120° que se mueve alrededor de un eje

vertical. Los brazos giran con el viento y accionan un contador que indica en base al número de revoluciones, la velocidad del viento incidente.

Anemómetro de cazoletas o molinetes donde la rotación se trasmite a un contador mecánico indicando directamente el movimiento del aire que pasa por el anemómetro, es decir mide el recorrido del aire a partir del cual se calcula la velocidad, media del aire (viento) en km/hora.

La velocidad del viento se mide preferentemente en náutica en nudos y mediante la escala Beaufort: Esta es una escala numérica utilizada en meteorología que describe la velocidad del viento, asignándole números que van del 0 (calma) al 12 (huracán). Fue ideada por el Almirante Beaufort en el siglo XIX.

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto del mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	4 a 6	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vítrea, sin romper	Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos
3	12 a 19	7 a 10	Flojo (Brisa Ligera)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	11 a 16	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy dificultosa
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas
12	118	64	Temporal huracanado (Huracán)	Olas excepcionalmente grandes, mar blanca, visibilidad nula	Voladura de autos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o un tifón

Gráfico 1-3: Escala de Beaufort

Fuente: Wiki- Escala de Beaufort

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática” proporcionó en formato digital la información, por medio de una base de datos; con los promedios obtenidos, cada diez minutos para cada mes del año 2010 de las variables climatológicas como: **Temperatura , Humedad, Radiación y Velocidad del Viento**. A partir de los datos promedios entregados, se ha calculado los promedios hora – día para cada una de las variables climatológicas como: **Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento**.

2.1. Población

La población fueron los infinitos datos que pudieron tomarse en el año 2010, de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática ubicada en la ESPOCH.

2.2. Muestra

Se trabajó con una muestra no probabilística de 4465 datos obtenidos para el año 2010 de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática. Estos se encuentran detallados mensualmente para cada una de las variables climatológicas que son: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento.

2.3. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo **DESCRIPTIVO - EXPLORATORIO**, analizados con datos tomados de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.

2.4. Diseño de la Investigación

Se realizó un diseño de investigación **EXPERIMENTAL** con los datos tomados de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.

2.5. Métodos

Se utilizó el método científico a lo largo de todo el proceso de la investigación, que en su modelo general presenta las siguientes fases:

- Planteamiento del problema
- Formulación de hipótesis
- Levantamiento de información
- Análisis e interpretación de resultados
- Comprobación de la hipótesis
- Difusión de resultados.

La aplicación del método inductivo en nuestra investigación; con los datos climatológicos tomados de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática; se utilizó en la presentación de resultados, en la comprobación de la hipótesis y al momento de establecer las conclusiones generales del trabajo. Además se siguió el siguiente proceso dentro de la investigación:

- a. Observación
- b. Experimentación
- c. Comparación
- d. Abstracción
- e. Generalización

2.6. Técnicas

Las técnicas de recolección de información manipuladas fueron: entrevistas, observación con el grupo de trabajo que directamente están relacionados, la obtención de los datos fue por medio de: registros, bases de datos, etc. Tomados de la Estación Meteorológica Solar del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática.

2.7. Recursos

- *Humanos.*- en nuestro estudio, se formaron grupos de trabajo que colaboraron en la realización de la investigación, con conocimientos necesarios de acuerdo a las funciones a desempeñar.
- *Materiales.*- Se utilizaron materiales como: papel, carpetas, fichas, diarios; etc.
- *Técnicos.*- Se establecieron recursos audiovisuales, bibliográficos y tecnológicos así como también con: cámaras, filmadoras, grabadoras, computadores, libros, software; etc.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El **análisis** y **ajuste** con un modelo de **regresión Polinómico de grado siete**, y un **modelo de regresión B-Spline**, con el uso del software R. Se lo aplicó para cada mes del año 2010, con cada una de las variables climatológicas: **Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento**; para ello se plantearon los resultados obtenidos principalmente del Mes de **ENERO del Año 2010**; con la finalidad de verificar la aplicabilidad del proceso en cada una de ellas. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

3.1. Temperatura - Enero – 2010

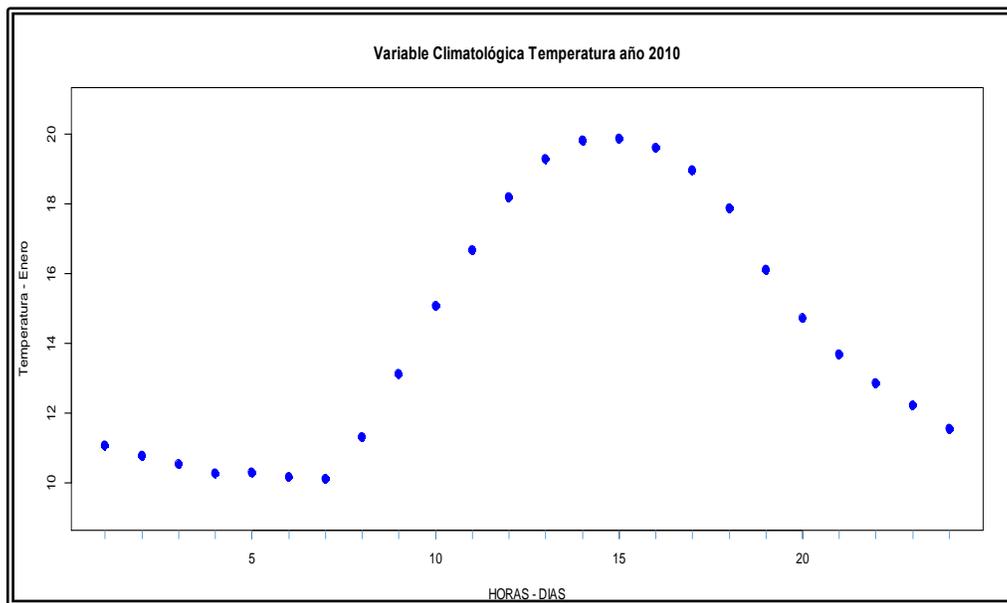


Figura 3-1: Promedio hora - días de la variable Temperatura - Enero 2010.

Realizado por: Nancy Chariguamán

Se observó que dado el reporte del centro de energías alternativas, la temperatura promedio por hora, para el mes de Enero del año 2010; se presentó en un intervalo de 10 °C a 20 °C; esta llega a tener una temperatura constante entre 10 °C a 12 °C en un horario de 00:00 a.m. a 06:00 a.m.; la cual se eleva a una temperatura máxima de aproximadamente 20 °C en un horario de 14:00 p.m. a 16:00 p.m., la misma que va decreciendo hasta llegar a las 23:00 p.m. con una temperatura promedio menor de aproximadamente 12 °C.

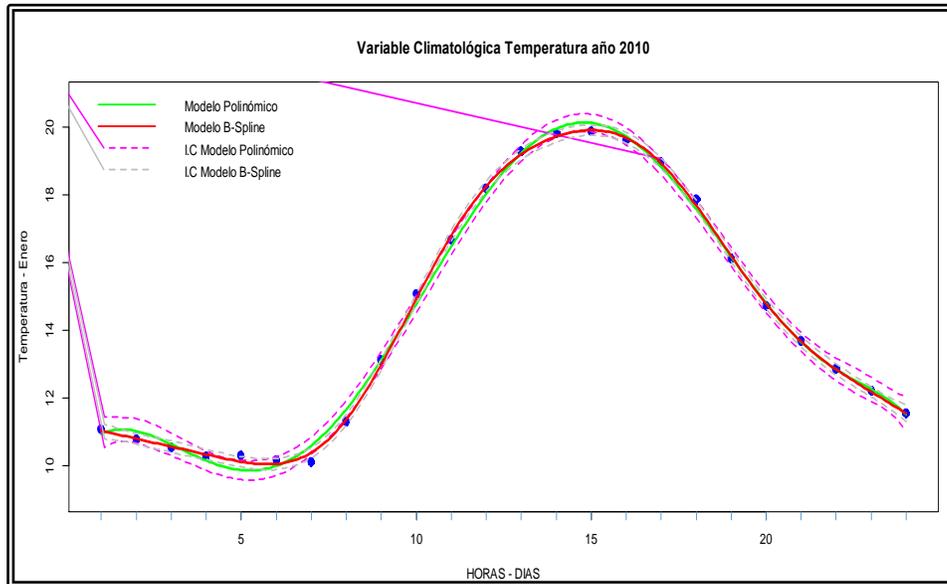


Figura 3-2: Modelos de regresión: Polinómico de grado siete y B-Spline Temperatura.
Realizado por: Nancy Chariguamán

Nótese que la temperatura promedio es aproximadamente 14.33 °C con una variabilidad de $s = 3.63$ °C; además podemos verificar que el ajuste de regresión polinomial de grado siete es aproximadamente 99.5% y el ajuste del modelo de regresión B-Spline aproximadamente 99,9% por lo que se puede concluir que el modelo de regresión B-Spline presenta un mejor ajuste a diferencia del modelo Polinómico de grado siete.

Tabla 3-1: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Temperatura Enero 2010

Promedio en Horas de la Temperatura – Enero 2010			
Media = 14.33		s = 3.63	
Coefficientes Temperatura – Enero 2010			
Modelo Polinómico de grado 7		Modelo B-spline	
(Intercept)	9.940e+00	(Intercept)	57.6867
I(x)	1.620e+00	Std. Error	0.2239
I(x^2)	-7.000e-01	t value	257.6
I(x^3)	7.917e-02	Pr(> t)	<2e-16
I(x^4)	1.277e-03	s(x)	8.72
I(x^5)	-5.612e-04	Ref.df	8.977
I(x^6)	2.672e-05	F	1878
I(x^7)	-3.905e-07	p-value	<2e-16
R-squared (ajustado):	0.9952	R-sq. (adj) :	0.999
Shapiro-Wilk normality test (residuals) 95%			
W = 0.9854	p-value = 0.9709	W = 0.9643	p-value = 0.531
One-sample Kolmogorov-Smirnov test (residuals) 95%			
D = 0.0854	p-value = 0.9884	D = 0.1035	p-value = 0.9358

Realizado por: Nancy Chariguamán

Se verificó que los datos de los residuales presentaron un $p\text{-value} = 0.9709$ de Shapiro-Wilk normality test y One-sample Kolmogorov-Smirnov test $p\text{-value} = 0.9884$ dentro de un modelo de regresión **polinomial** de grado siete, al igual que los datos de los residuales con un modelo de regresión **B-spline** con un valor $p\text{-value} = 0.531$ de Shapiro-Wilk normality test y One-sample Kolmogorov-Smirnov test $p\text{-value} = 0.9358$ lo que nos lleva a concluir que no hay evidencia para decir que la hipótesis nula sea falsa. Por lo tanto decimos que la distribución de los residuos aplicando, un modelo de regresión polinomial y B-spline, estos siguen una distribución normal.

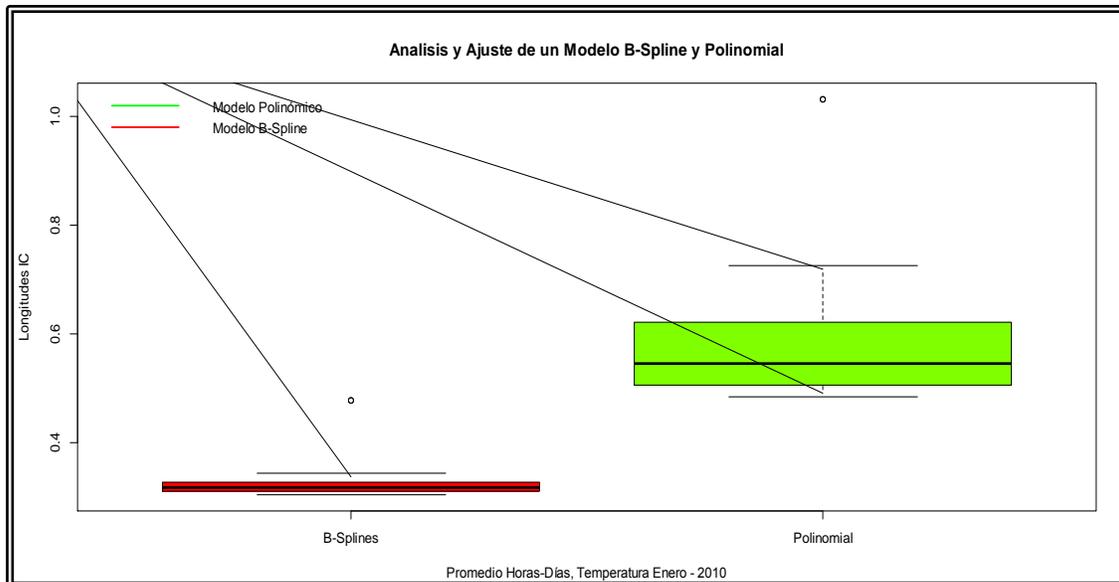


Figura 3-3: Variabilidad de la Promedio hora - días de la Temperatura - Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

La dispersión de la distancia entre el valor promedio de la temperatura con la línea de ajuste, de los modelos de regresión Polinomial y B-spline; reflejan claramente que existe más dispersión en los datos con un modelo de regresión polinómico de grado siete, a diferencia de un modelo de regresión B-spline. Por lo que nos lleva a concluir que el mejor ajuste para la variable climatológica Temperatura del mes de Enero 2010; es un modelo de regresión B-spline.

Prueba de Hipótesis para medir la diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinomial de grado siete y un modelo B- Spline:

$$H_0: \tilde{x}_{TMP} = \tilde{x}_{TMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{TMP} \neq \tilde{x}_{TMS}$$

Hipótesis Nula: No existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Temperatura.

Hipótesis Alternativa: Existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Temperatura.

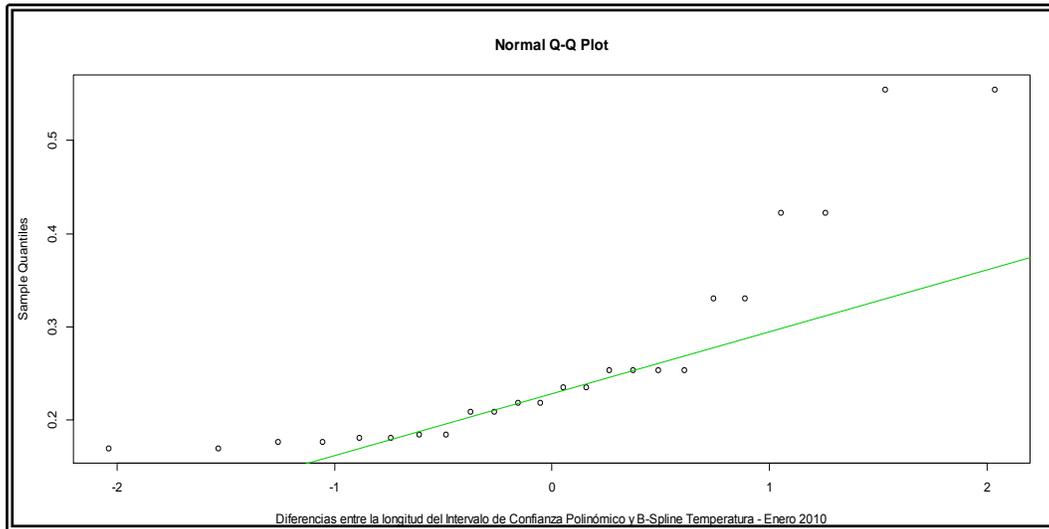


Figura 3-4: Ajuste Normal, promedio hora - días de la Temperatura Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

Al aplicar una prueba no paramétrica de wilcoxon, tomando en cuenta que las diferencias entre las distancias no son aproximadamente normales; se obtiene un valor de $W = 0$, $p\text{-value} = 6.202e-14$; en la cual se observa claramente que el $p\text{-value} = 6.202e-14$ es menor que 0.05. Lo que nos lleva a concluir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Concluyéndose así que existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión Polinómico de grado siete y un modelo B-Spline.

3.2. Humedad - Enero – 2010

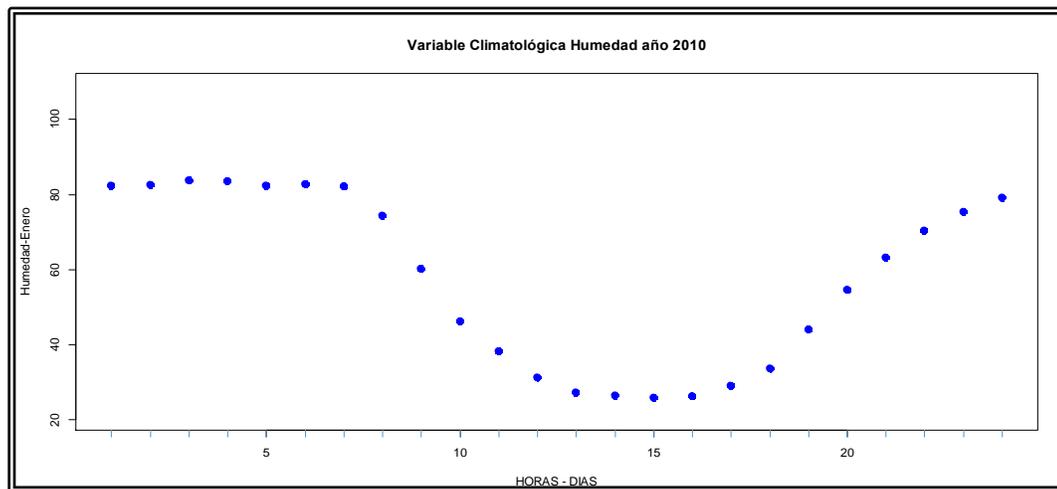


Figura 3-5: Promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

Dado el reporte del centro de energías alternativas, se obtuvo la humedad promedio por hora, para el mes de Enero del año 2010; que se presentó en un intervalo de 20 °C a 90 °C; esta llega a tener una temperatura constante entre 80 °C a 90 °C en un horario de 00:00 a.m a 06:00 a.m; la cual decrece a una temperatura mínima de aproximadamente 20 °C en un horario de 13:00 p.m. a 16:00 p.m., la misma que va creciendo hasta llegar a las 23:00 p.m. con una temperatura promedio mayor de aproximadamente 80 °C.

Concluyéndose así que la mayor cantidad de vapor en el aire está en un horario de 00:00 a.m. a 06:00 a.m., con aproximadamente 80 °C por ende existe mayor saturación en la atmosfera en ese horario.

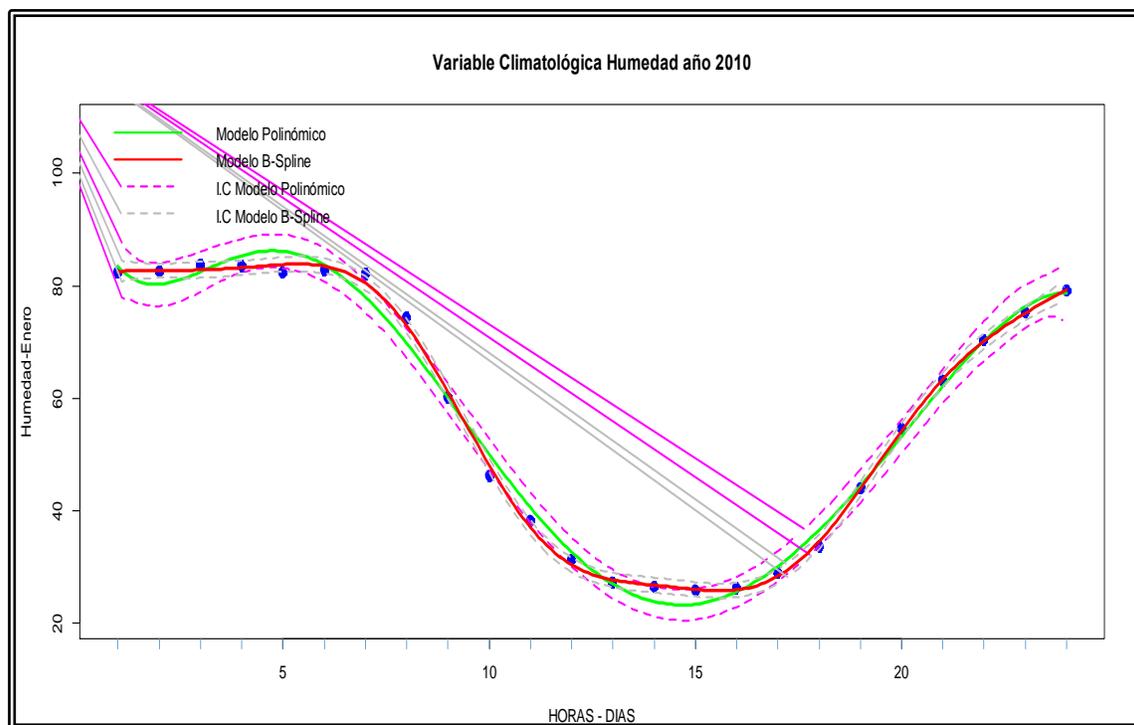


Figura 3-6: Modelo Polinómico de grado siete y B-Spline Humedad Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

La humedad promedio es aproximadamente 57,69 °C con una variabilidad de $s = 23.18$ °C; además podemos verificar que el ajuste de regresión polinomial de grado siete es aproximadamente 98.68% y el ajuste del modelo de regresión B-Spline aproximadamente 99,8% por lo que se puede concluir que el modelo de regresión B-Spline presenta un mejor ajuste a diferencia del modelo Polinómico de grado siete.

Tabla 3-2: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010

Promedio en Horas de la Humedad – Enero 2010			
Media = 57.69		s = 23.18	
Coeficientes Humedad– Enero 2010			
Modelo Polinómico de grado 7		Modelo B-spline	
(Intercept)	1.003294e+02	(Intercept)	57.6867
I(x)	-2.712154e+01	Std. Error	0.2239
I(x^2)	1.247666e+01	t value	257.6
I(x^3)	-2.340506e+00	Pr(> t)	<2e-16
I(x^4)	2.043596e-01	s(x)	8.773
I(x^5)	-9.235215e-03	Ref.df	8.985
I(x^6)	2.140903e-04	F	1141
I(x^7)	-2.045227e-06	p-value	<2e-16
R-squared (ajustado):	0.9868	R-sq.(adj) :	0.998
Shapiro-Wilk normality test (residuals) 95%			
W = 0.9774	p-value = 0.8426	W = 0.9835	p-value = 0.9503
One-sample Kolmogorov-Smirnov test (residuals) 95%			
D = 0.0894	p-value = 0.9816	D = 0.1114	p-value = 0.8954

Realizado por: Nancy Chariguamán

Se verifica que los datos de los residuales de la variable climatológica humedad presentan un valor $p\text{-value} = 0.8426$ de Shapiro-Wilk normality test y One-sample Kolmogorov-Smirnov test $p\text{-value} = 0.9816$ dentro de un modelo de regresión **polinomial** de grado siete, al igual que los datos de los residuales con un modelo de regresión **B-spline** con un valor $p\text{-value} = 0.9503$ de Shapiro-Wilk normality test y One-sample Kolmogorov-Smirnov test $p\text{-value} = 0.8954$ lo que nos lleva a concluir que no hay evidencia para decir que la hipótesis nula sea falsa. Por lo tanto decimos que la distribución de los residuos aplicando, un modelo de regresión polinomial y B-spline, estos siguen una distribución normal.

La dispersión de la distancia entre el valor promedio de la humedad con la línea de ajuste, de los modelos de regresión polinomial y B-Spline; reflejan claramente que existe más dispersión en los datos con un modelo de regresión Polinómico de grado siete, a diferencia de un modelo de regresión B-Spline.

Por lo que nos lleva a concluir que el mejor ajuste para la variable climatológica Temperatura del mes de Enero 2010; es un modelo de regresión B-Spline.

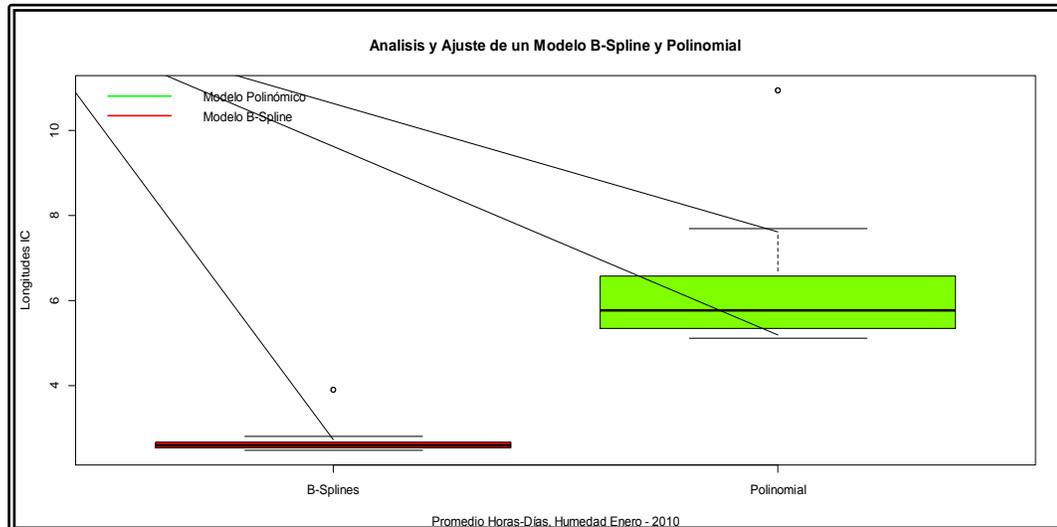


Figura 3-7: Variabilidad Promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

Prueba de Hipótesis para medir la diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: polinomial de grado siete y un modelo B- Spline:

$$H_0: \tilde{x}_{HMP} = \tilde{x}_{HMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{HMP} \neq \tilde{x}_{HMS}$$

Hipótesis Nula: No existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Humedad.

Hipótesis Alternativa: Existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Humedad.

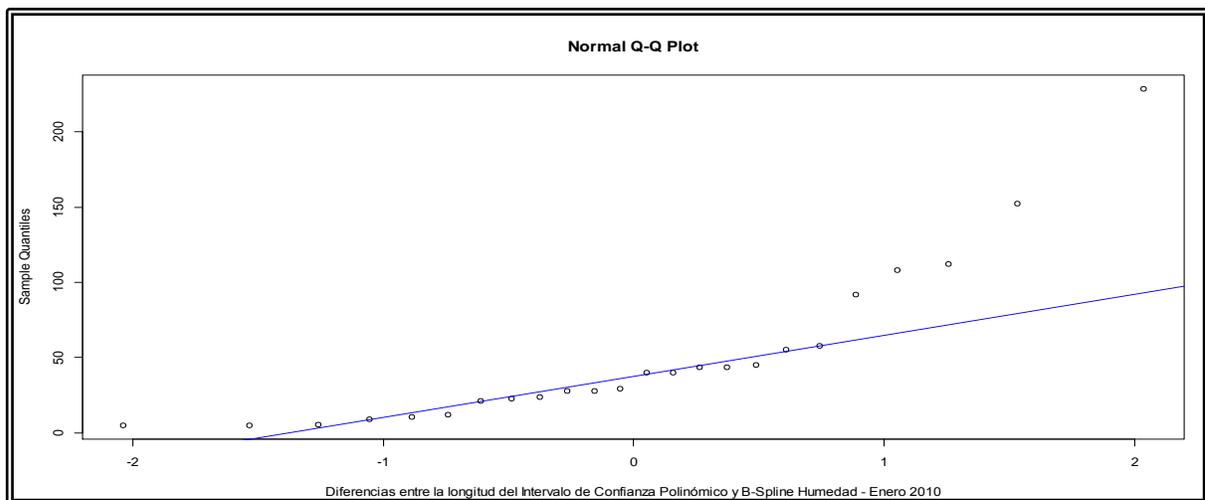


Figura 3-8: Ajuste Normal, promedio hora - días de la variable Humedad Enero 2010
 Realizado por: Nancy Chariguamán

Con una prueba no paramétrica de wilcoxon, tomando en cuenta que las diferencias entre las distancias no son aproximadamente normales; se obtiene un valor de $W = 20$, $p\text{-value} = 1.683e-10$; en la cual se observa claramente que el $p\text{-value} = 1.683e-10$ es menor que 0.05. Lo que nos lleva a concluir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa.

Se concluye que existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión polinómico de grado siete y un modelo B-Spline.

3.3. Radiación - Enero – 2010

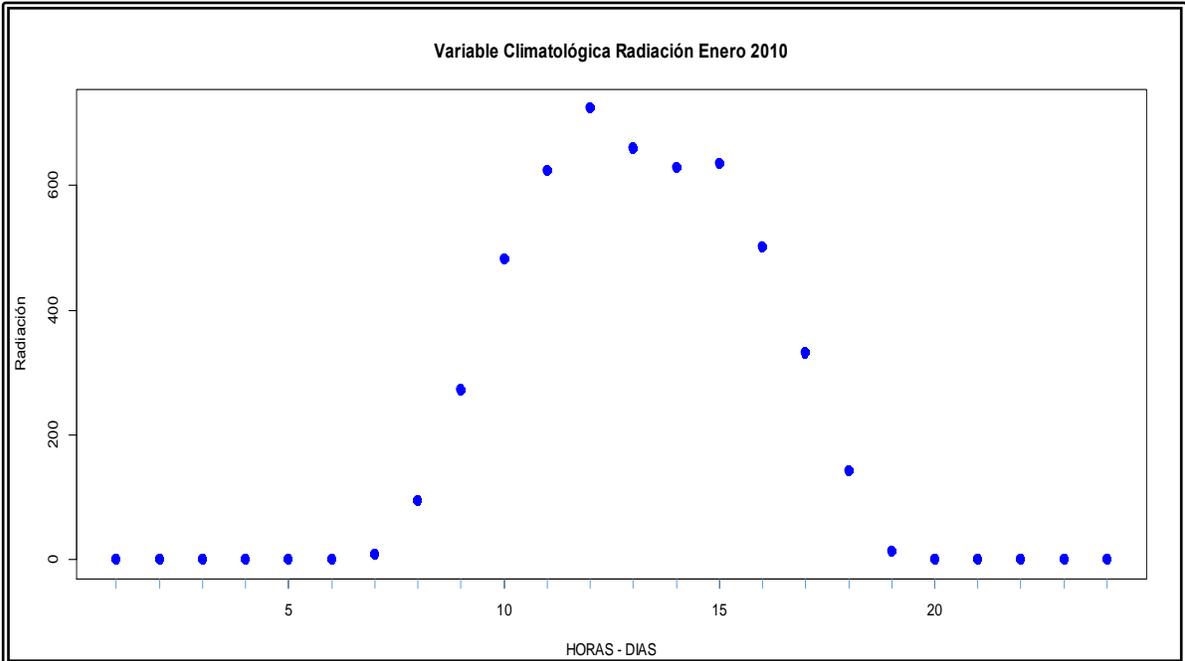


Figura 3-9: Promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010.
 Realizado por: Nancy Chariguamán

Dado el reporte de datos del centro de energías alternativas, la radiación promedio por hora, para el mes de Enero del año 2010; se presenta en un intervalo de 0 a 600 watt/m²; esta llega a tener una temperatura constante entre 0 watt/m² en un horario de 00:00 a.m a 06:00 a.m; la cual crece a una radiación máxima de aproximadamente 700 watt/m² en un horario de 10:00 a.m a 16:00 p.m, la misma que va decreciendo hasta llegar a las 18:00 p.m con una radiación promedio menor y se vuelve constante a un valor aproximadamente 0 watt/m².

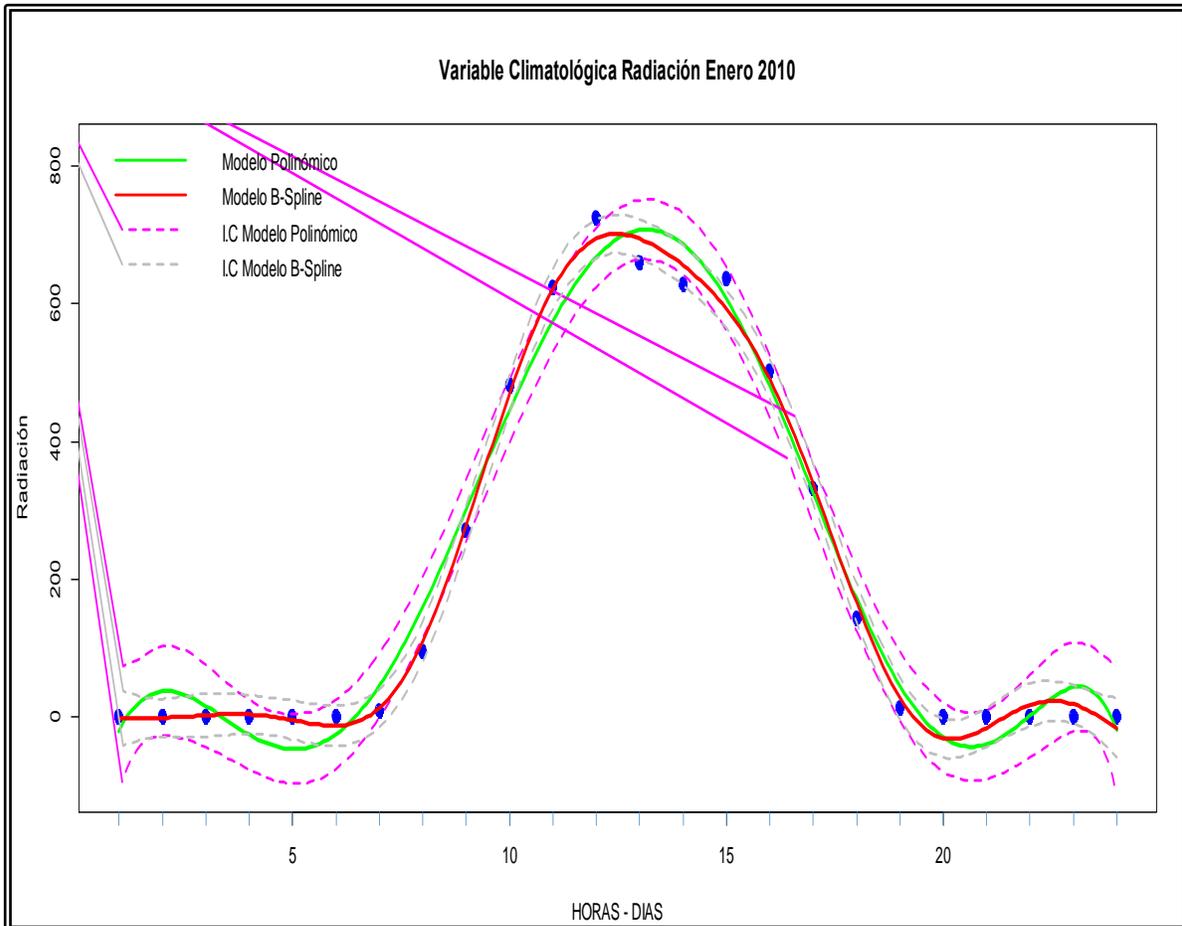


Figura 3-10: Ajuste polinómico de grado siete y B-Spline Temperatura

Realizado por: Nancy Chariguamán

Además la radiación promedio es aproximadamente $213,3 \text{ watt/m}^2$ con una variabilidad de $s = 276,15 \text{ watt/m}^2$; se verifica que el ajuste de regresión polinomial de grado siete es aproximadamente 97,68% y el ajuste del modelo de regresión B-Spline aproximadamente 99,4% por lo que se puede concluir que el modelo de regresión B-Spline presenta un mejor ajuste a diferencia del modelo polinómico de grado siete.

Se verifica que los datos de los residuales presentan un valor $p\text{-value} = 0.554$ de Shapiro-Wilk normality test y One-sample Kolmogorov-Smirnov test $p\text{-value} = 0.2963$ dentro de un modelo de regresión **polinomial** de grado siete, al igual que los datos de los residuales con un modelo de regresión **B-spline** con un valor $p\text{-value} = 0.823$ de Shapiro-Wilk normality test y One-sample Kolmogorov-Smirnov test $p\text{-value} = 0.9794$ lo que nos lleva a concluir que no hay evidencia para decir que la hipótesis nula sea falsa.

Tabla 3-3: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010

Promedio en Horas de la Radiación – Enero 2010			
Media = 213.3		s = 276.15	
Coeficientes Radiación – Enero 2010			
Modelo Polinómico de grado 7		Modelo B-spline	
(Intercept)	-2.011e+02	(Intercept)	202.129
I(x)	2.769e+02	Std. Error	4.249
I(x^2)	-1.059e+02	t value	47.57
I(x^3)	1.381e+01	Pr(> t)	<2e-16
I(x^4)	-3.241e-01	s(x)	8.82
I(x^5)	-4.542e-02	Ref.df	8.99
I(x^6)	2.891e-03	F	399.1
I(x^7)	-4.789e-05	p-value	<2e-16
R-squared (ajustado):	0.9768	R-sq.(adj) :	0.994
Shapiro-Wilk normality test (residuals) 95%			
W = 0.9653	p-value = 0.554	W = 0.9765	p-value = 0.823
One-sample Kolmogorov-Smirnov test (residuals) 95%			
D = 0.1925	p-value = 0.2963	D = 0.0904	p-value = 0.9794

Realizado por: Nancy Chariguamán

Por lo tanto decimos que la distribución de los residuos aplicando, un modelo de regresión B-spline, siguen una distribución normal.

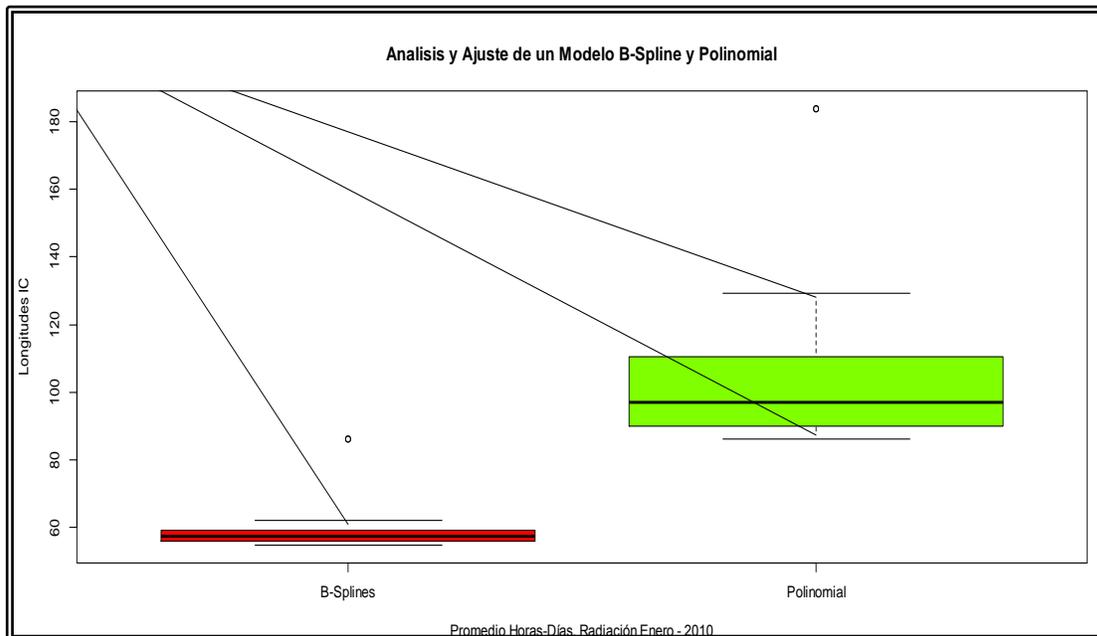


Figura 3-11: Variabilidad promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010

Realizado por: Nancy Chariguamán

La variabilidad de la distancia entre el valor promedio de la radiación con la línea de ajuste, de los modelos de regresión polinomial y B-spline; reflejan claramente que existe más dispersión en los datos con un modelo de regresión Polinómico de grado siete, a diferencia de un modelo de regresión B-spline. Por lo que nos lleva a concluir que el mejor ajuste para la variable climatológica radiación del mes de Enero 2010; es un modelo de regresión B-spline.

Prueba de Hipótesis para medir la diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinomial de grado siete y un modelo B- Spline:

$$H_0: \tilde{x}_{RMP} = \tilde{x}_{RMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{RMP} \neq \tilde{x}_{RMS}$$

Hipótesis Nula: No existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Radiación.

Hipótesis Alternativa: Existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Radiación.

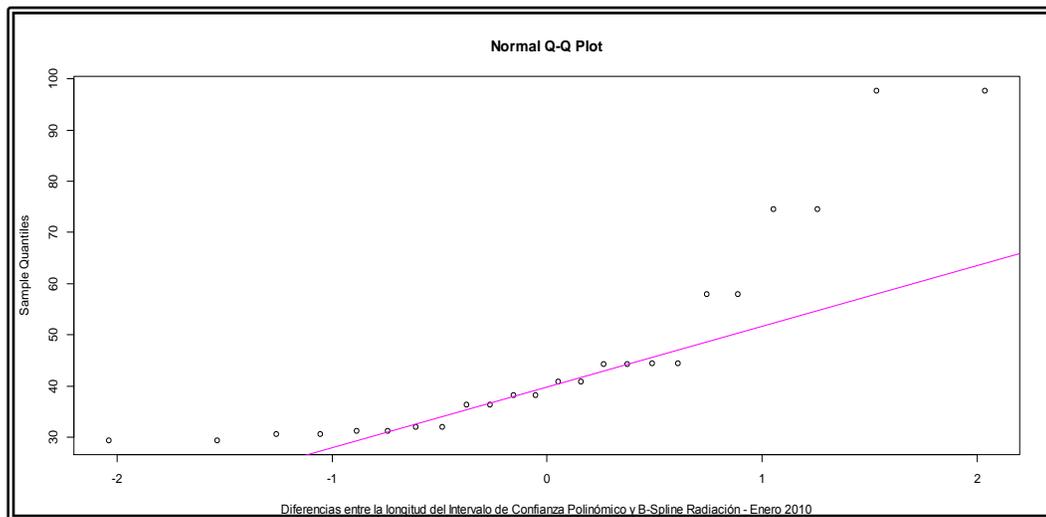


Figura 3-12: Ajuste Normal promedio hora - días de la variable Radiación Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

Al aplicar una prueba no paramétrica de wilcoxon, tomando en cuenta que las diferencias entre las distancias no son aproximadamente normales; se obtiene un valor de $W = 0$, $p\text{-value} = 6.202e-14$; en la cual se observa claramente que el $p\text{-value} = 6.202e-14$ es menor que 0.05. Lo que nos lleva a concluir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa.

Concluyéndose así que existe diferencia entre las longitudes del Intervalo de Confianza de un modelo de regresión Polinómico de grado siete y un modelo B-Spline aplicado en la variable climatológica Temperatura.

3.4. Velocidad del Viento - Enero – 2010

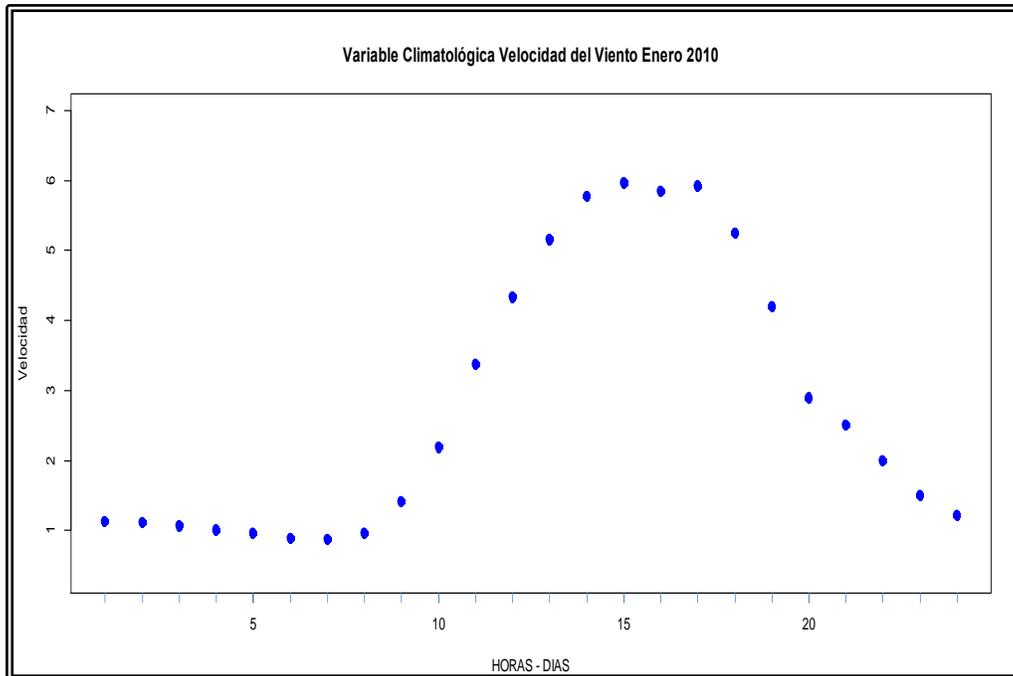


Figura 3-13: Promedio hora - días de la variable Velocidad del Viento Enero 2010.
Realizado por: Nancy Chariguamán

Se observó que dado el reporte del centro de energías alternativas, la velocidad del viento promedio por hora, para el mes de Enero del año 2010; se presenta en un intervalo de 1 a 6 km/h; esta llega a tener una velocidad del viento constante de 1 km/h en un horario de 00:00 a.m a 07:00 a.m; la cual se eleva a una velocidad del viento máxima de aproximadamente 6 km/h en un horario de 14:00 p.m a 16:00 p.m, la misma que va decreciendo hasta llegar a las 23:00 p.m con una velocidad del viento promedio menor de aproximadamente 0 km/h.

La velocidad del viento promedio es aproximadamente 2,81 km/h, con una variabilidad de $s = 1,95$ km/h; además podemos verificar que el ajuste de regresión polinomial de grado siete es aproximadamente 99.3% y el ajuste del modelo de regresión B-Spline aproximadamente 99,5% por lo que se puede concluir que el modelo de regresión B-Spline presenta un mejor ajuste a diferencia del modelo Polinómico de grado siete.

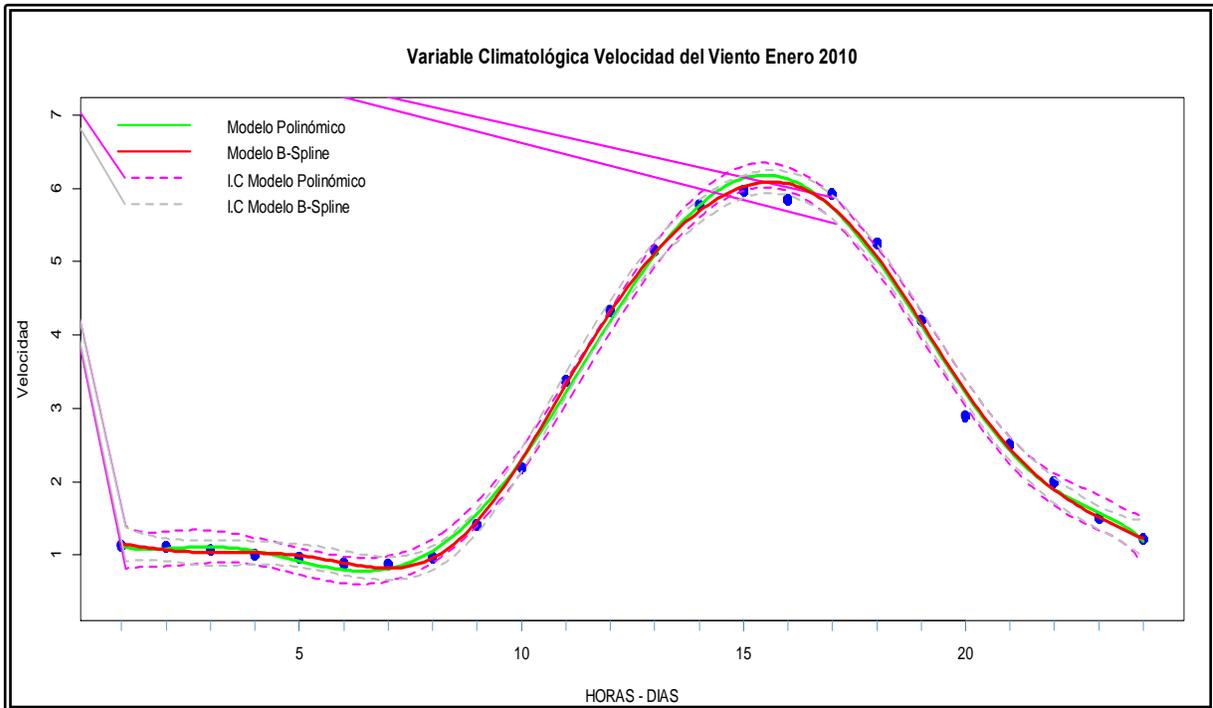


Figura 3-14: Ajuste polinómico de grado siete y B-Spline de la Velocidad del Viento

Realizado por: Nancy Chariguamán

Tabla 3-4: Descriptivos Promedio hora - días de la variable Velocidad del Viento Enero 2010

Promedio en Horas de la Velocidad del Viento – Enero 2010			
Media = 2.81		s = 1.95	
Coeficientes Velocidad del Viento – Enero 2010			
Modelo Polinómico de grado 7		Modelo B-spline	
(Intercept)	1.659e+00	(Intercept)	2.81340
I(x)	-1.038e+00	Std. Error	0.02819
I(x^2)	6.638e-01	t value	99.81
I(x^3)	-1.884e-01	Pr(> t)	<2e-16
I(x^4)	2.529e-02	s(x)	8.32
I(x^5)	-1.647e-03	Ref.df	8.872
I(x^6)	5.091e-05	F	512.3
I(x^7)	-6.010e-07	p-value	<2e-16
R-squared (ajustado):	0.993	R-sq.(adj) :	0.995
Shapiro-Wilk normality test (residuals) 95%			
W = 0.9606	p-value = 0.4505	W = 0.8764	p-value = 0.007042
One-sample Kolmogorov-Smirnov test (residuals) 95%			
D = 0.1087	p-value = 0.9102	D = 0.1911	p-value = 0.3043

Realizado por: Nancy Chariguamán

Además de acuerdo a la escala de Beaufort el promedio de la Velocidad del Viento está en la escala 1; lo que significa que en el mes de Enero del 2010 presenta una ventolina o brisa muy ligera; con nudos comprendidos de 1 a 3 considerándose una velocidad entre 1,9 a 7,3 km/h; por lo que el viento inclina el humo y este no ha movido banderas en el mes de Enero del 2010.

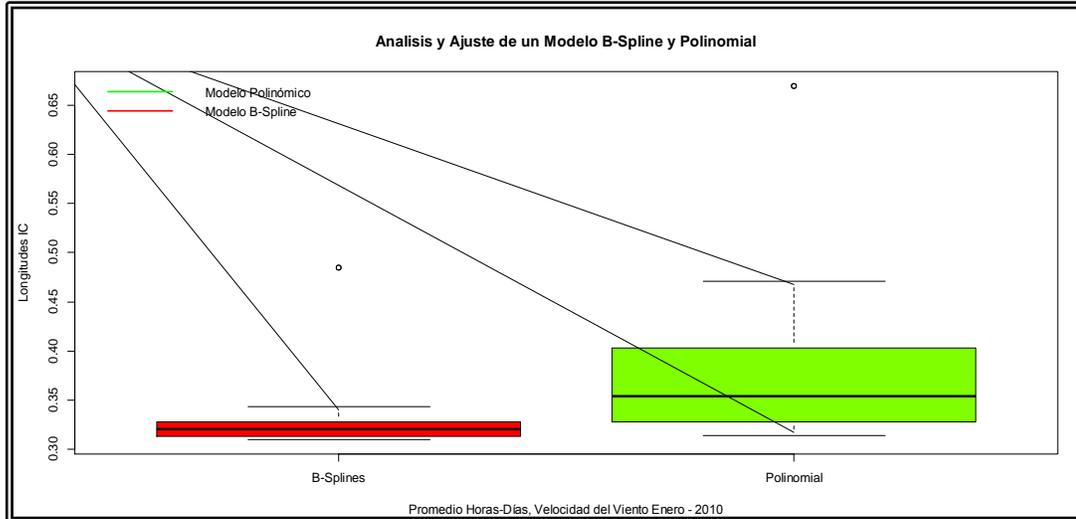


Figura 3-15: Variabilidad promedio hora - días de la Velocidad del Viento Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

La variabilidad de la distancia entre el valor promedio de la velocidad del viento con la línea de ajuste, de los modelos de regresión polinomial y B-Spline; reflejan claramente que existe más dispersión en los datos con un modelo de regresión polinómico de grado siete, a diferencia de un modelo de regresión B-Spline. Por lo que nos lleva a concluir que el mejor ajuste para la variable climatológica Velocidad del Viento para el mes de Enero 2010; es un modelo de regresión B-Spline.

Prueba de Hipótesis para medir la diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinomial de grado siete y un modelo B- Spline:

$$H_0: \tilde{x}_{VMP} = \tilde{x}_{VMS}$$

$$H_1: \tilde{x}_{VMP} \neq \tilde{x}_{VMS}$$

Hipótesis Nula: No existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Velocidad del Viento.

Hipótesis Alternativa: Existe diferencia entre las distancias de un modelo de regresión: Polinómico de grado siete y un modelo B- Spline en la variable climatológica Velocidad del Viento.

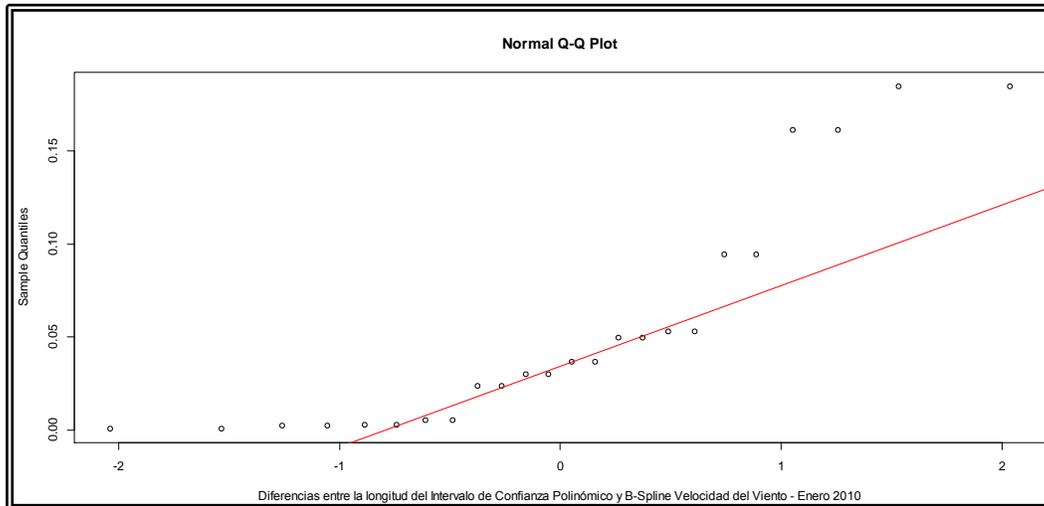


Figura 3-16: Ajuste Normal promedio hora - días de la Velocidad del Viento Enero 2010
Realizado por: Nancy Chariguamán

Se aplica una prueba no paramétrica de wilcoxon, verificándose que las diferencias entre las distancias no son aproximadamente normales; se obtiene un valor de $W = 108$, $p\text{-value} = 0.0001172$; en la cual se observa claramente que el $p\text{-value} = 0.0001172$ es menor que 0.05 . Lo que nos lleva a concluir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa.

Así que existe diferencia entre las distancias; de un modelo de regresión Polinómico de grado siete y un modelo B-Spline, para la variable climatológica velocidad del viento.

CONCLUSIONES

- Los resultados demuestran que el ajuste con un modelo de regresión B-Spline elegido como nueva técnica de modelamiento; aplicado en variables climatológicas como: Temperatura, Humedad, Radiación y Velocidad del Viento se ajustan mejor a diferencia de los modelos de regresión polinómicos.
- Se observó que durante el año 2010 la temperatura promedio por HORA – DÍA es de 15,2 °C en los meses de Febrero y Marzo; y una temperatura promedio mínima de 12,2 °C en el mes de Agosto. Con una variabilidad de 3,3 °C y 3,6 °C respectivamente.
- Se determinó que durante el año 2010; la Humedad promedio por HORA – DÍA es de 66,7 °C en el mes de Abril; y una Humedad promedio mínima de 52,1 °C en el mes de Octubre. Con una variabilidad de 23,3 °C y 23,5 °C en los meses de Abril y Octubre.
- Se obtuvo que durante el año 2010; la Radiación promedio por HORA – DÍA es de 234,4 watt/m² en el mes de Octubre; y una Radiación promedio mínima de 189,4 watt/m² en el mes de Junio. Con una variabilidad de 315,7 watt/m² y 157,5 watt/m² respectivamente.
- Se calculó que durante el año 2010; la Velocidad del Viento promedio por HORA – DÍA es de 2,8 km/h en el mes de Enero; y una Velocidad del Viento promedio mínima de 1,8 km/h en el mes de Noviembre. Con una variabilidad de 1,9 km/h y 1,2 km/h en los meses de Enero y Noviembre.

RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de ampliar y mejorar este proceso de ajuste en otros datos; se plantea esta nueva técnica de modelos de regresión B-Spline que nos va a permitir ajustar mejor los datos tomados de cualquier problemática planteada o determinada en la vida real. Se recomienda que se dé el seguimiento adecuado a los cambios y comportamientos climáticos controlados por modelos de regresión B-Spline, para así evitar riesgos, catastróficos imprevistos por el medio ambiente.
- Se plantea una revisión de los comportamientos climáticos principalmente en la variable climatológica Temperatura para evitar riesgos, enfermedades, u otros en la población tomando en cuenta los valores promedios de la Temperatura igual a $15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ obtenida en los meses de Febrero y Marzo. Identificar el porqué de las temperaturas altas y bajas en las estaciones de invierno y verano durante el año, para tomar de cierto modo énfasis en los mismos y trabajar de la mano con ellos.
- Dado los resultados obtenidos se recomienda analizar el comportamiento de medio ambiente identificando la Humedad más alta en el mes de Abril igual a $66,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínima igual a $52,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de Octubre
- Se plantea identificar el comportamiento de los cambios climáticos y darle seguimiento a la misma donde se observó que existe una Radiación alta de $234,4\text{ watt/m}^2$ en el mes de Octubre; y una Radiación promedio mínima de $189,4\text{ watt/m}^2$ en el mes de Junio.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIENTOS A,** (2007)., Un Modelo Spline para El Pronóstico de la demanda de Energía Eléctrica. *Revista Colombiana de Estadística*, Vol. 5., Bogota - Colombia., pp 1-10.
- BOOR, C.** (1978)., Practical Guide to Spline., Vol. 2., México, DF- México., Springer - Verlag., pp. 110 - 115.
- BUSTAMANTE, J.** (2003)., Cartografía Predictiva de Variables Climáticas., Vol. 3., España - Sevilla., pp. 5 - 19., <http://goo.gl/u32wJg>
- CRISTÓBAL, J. A.** (2000). *Nonparametric regression estimators for length biased data*. Vol. 2., Statist. Plann. : Statist. Plann. Inference., pp. 110 - 115
- DEVORE, J. L.** (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.*, 7a, ed., México, DF- México., Prentice Hall., pp. 1 - 215.
- FARAWAY, J. J.** (2004). *Modelos lineales con R*. Boca Raton, FL: Chapman \ & Hall / CRC., Vol. 2., Boca Raton, FL ,pp. 50 - 115.
- FARAWAY, J. J.** (2006). *La extensión de los modelos lineales con R: lineal generalizado, Efectos mixtos y modelos de regresión no paramétricas*. Vol. 3., Boca Raton, FL: Chapman \ & Hall / CRC., pp. 50 - 115.
- GEORGE, C.** (2007). *Probabilidad y Estadística* 4a, ed., México., DF- México., McGraw Hill., pp. 50 - 115.
- GRAVES, J. R.** (2009). *Análisis de Datos funcional con R*. Vol. 2., Springer: Springer., México., DF- México., McGraw Hill., pp. 50 - 105

- HARRELL, F. E.** (2001). *Regresión Modelado Strategies, con aplicaciones a Modelos lineales, análisis de supervivencia y Logística Regresión.*, 5a., ed., Nueva York- Estados Unidos., Springer: Springer., pp. 59
- IBÁÑEZ PÉREZ, M. J.** (2010). *Quasi-interpolantes spline discretos con norma casi mínima. Teoría y aplicaciones.*, Vol 2., <http://hdl.handle.net/10481/28806>
- IHAKA, R. G.** (2009). *El Proyecto de R Estadística.* Obtenido de El Proyecto de R Estadística., Vol 2., <http://goo.gl/KqPgZA>
- MADERA, S. N.** (2006). *Modelos Aditivos Generalizados: una introducción con R. Vol 1.*, Boca Raton, FL: Chapman \ & Hall / CRC., pp. 10 - 215
- MATIAS RIVERO, G. M.**, (2014)., *Ajuste y Comparación de Modelos Spline Penalizados.*, Vol 1., <http://goo.gl/K1odTi>
- SINCICH, W. M.** (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros Científicos* 6a., ed., Méxicio., DF- México., Pearson Prentice Hall., pp. 100 - 300.
- TRIOLA, M.** (2004). *Estadística* 9a., ed., . México., DF- México., Inc., pp. 200 - 300
- WALPOLE RONALD, M. R.** (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias* 9a., ed., . MÉXICO., DF- México., Prentice Hall S.A. pp. 200 - 400
- WOOD, S.** (2003). *Thin-plate regression Splines.* Vol 2., Journal of the Royal Statistical Society: Journal of the Royal Statistical Society., pp. 20
- WOOD, S.** (2006). *Generalized Additive Models: An Introduction with R.* Vol 2., Chapman., Chapman and Hall/CRC., pp. 16- 73.

ANEXOS

ANEXO A: Instrumentos de Medición para Variables Climatológicas – ESPOCH

Medidor-Velocidad del Viento – ESPOCH



Realizado por: Nancy Chariguamán

Medidor Radiación - ESPOCH



Realizado por: Nancy Chariguamán



Medidor Radiación - ESPOCH

ANEXO B: Equipos de Medición para Variables Climatológicas - ESPOCH



Medidor de Humedad - ESPOCH



Medidor de Temperatura – ESPOCH



Decodificador de Datos - ESPOCH



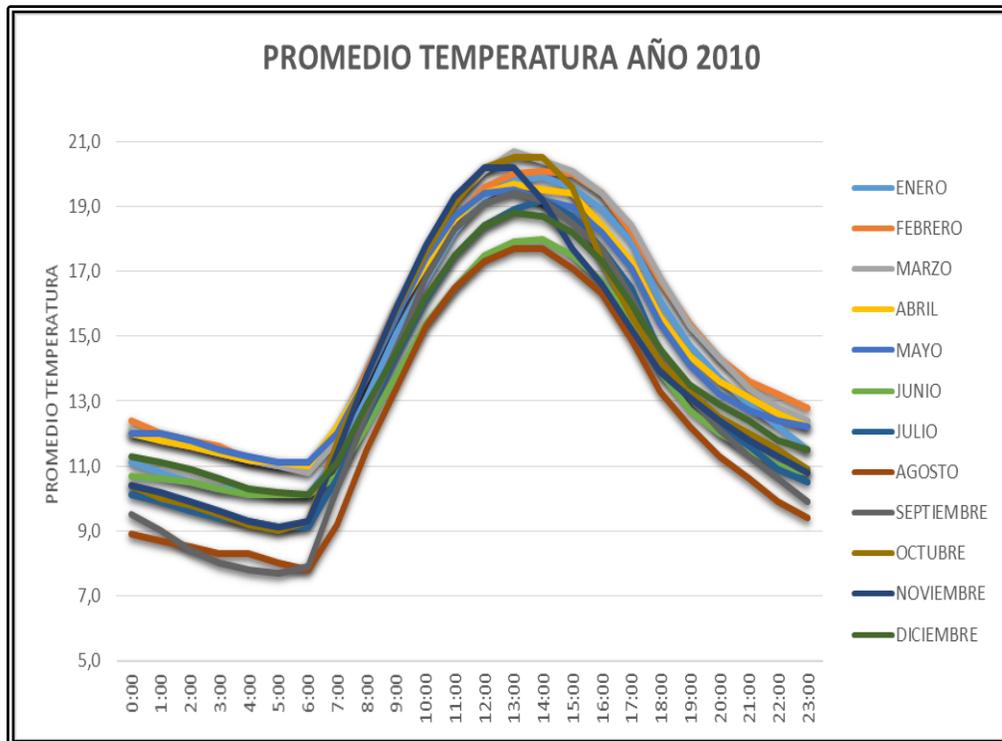
**Estación Meteorológica Solar del
Centro de Energías Alternativas -
ESPOCH**

ANEXO C: Promedio Horas, Días –Meses Temperatura Año 2010

PROMEDIO DE LA TEMPERATURA POR HORA EN CADA MES DEL AÑO 2010

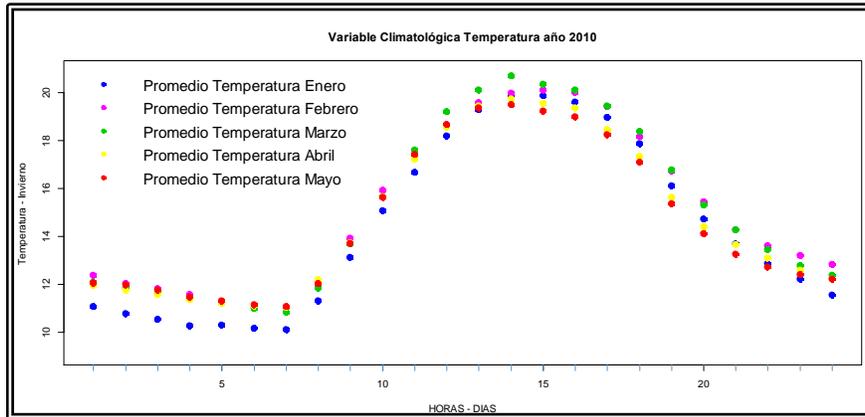
HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0:00	11,1	12,4	12,1	12,0	12,0	10,7	10,1	8,9	9,5	10,4	10,4	11,3
1:00	10,8	12,0	11,8	11,8	12,0	10,6	9,9	8,7	9,0	10,0	10,2	11,1
2:00	10,5	11,8	11,6	11,6	11,8	10,5	9,6	8,5	8,4	9,8	9,9	10,9
3:00	10,3	11,6	11,4	11,4	11,5	10,3	9,4	8,3	8,0	9,5	9,6	10,6
4:00	10,3	11,2	11,2	11,2	11,3	10,1	9,3	8,3	7,8	9,2	9,3	10,3
5:00	10,1	11,0	11,0	11,1	11,1	10,1	9,1	8,0	7,7	9,0	9,1	10,2
6:00	10,1	11,0	10,8	11,0	11,1	10,1	9,1	7,8	7,9	9,3	9,3	10,1
7:00	11,3	11,9	11,8	12,2	12,0	10,7	10,6	9,2	10,3	11,7	11,4	11,1
8:00	13,1	13,9	13,7	13,7	13,7	12,2	12,5	11,5	12,6	13,8	13,8	12,9
9:00	15,1	15,9	15,6	15,7	15,6	13,8	14,4	13,4	14,6	15,8	15,9	14,5
10:00	16,7	17,4	17,6	17,2	17,4	15,4	16,1	15,3	16,8	17,6	17,8	16,2
11:00	18,2	18,6	19,2	18,6	18,7	16,5	17,5	16,5	18,3	19,1	19,3	17,5
12:00	19,3	19,6	20,1	19,4	19,4	17,5	18,4	17,3	19,1	20,2	20,2	18,4
13:00	19,8	20,0	20,7	19,7	19,5	17,9	18,9	17,7	19,4	20,5	20,2	18,8
14:00	19,9	20,1	20,4	19,5	19,2	18,0	19,2	17,7	19,2	20,5	19,2	18,7
15:00	19,6	20,0	20,1	19,4	19,0	17,5	18,7	17,1	18,5	19,6	17,7	18,2
16:00	18,9	19,4	19,4	18,4	18,2	16,7	17,7	16,3	17,7	17,3	16,6	17,3
17:00	17,9	18,2	18,4	17,3	17,1	15,5	16,5	14,9	16,2	15,6	15,2	16,0
18:00	16,1	16,7	16,8	15,6	15,4	13,9	14,5	13,3	14,4	14,2	13,9	14,6
19:00	14,7	15,4	15,3	14,4	14,1	12,7	13,2	12,2	13,1	13,3	13,1	13,5
20:00	13,7	14,3	14,3	13,6	13,2	12,0	12,2	11,3	12,1	12,5	12,4	12,9
21:00	12,9	13,6	13,4	13,1	12,7	11,5	11,6	10,6	11,3	12,0	11,8	12,4
22:00	12,2	13,2	12,8	12,6	12,4	11,0	10,9	9,9	10,6	11,5	11,3	11,8
23:00	11,5	12,8	12,4	12,2	12,2	10,8	10,5	9,4	9,9	10,9	10,8	11,5
Media=	14,3	15,1	15,1	14,7	14,6	13,2	13,3	12,2	13,0	13,9	13,7	13,8
Des.Est=	3,6	3,3	3,6	3,2	3,1	2,9	3,7	3,6	4,2	4,0	3,8	3,1

Realizado por: Nancy Chariguamán

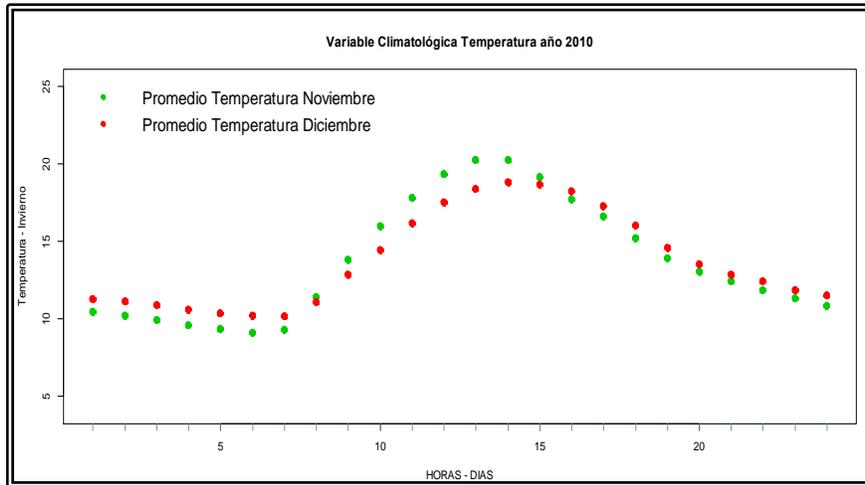


Realizado por: Nancy Chariguamán

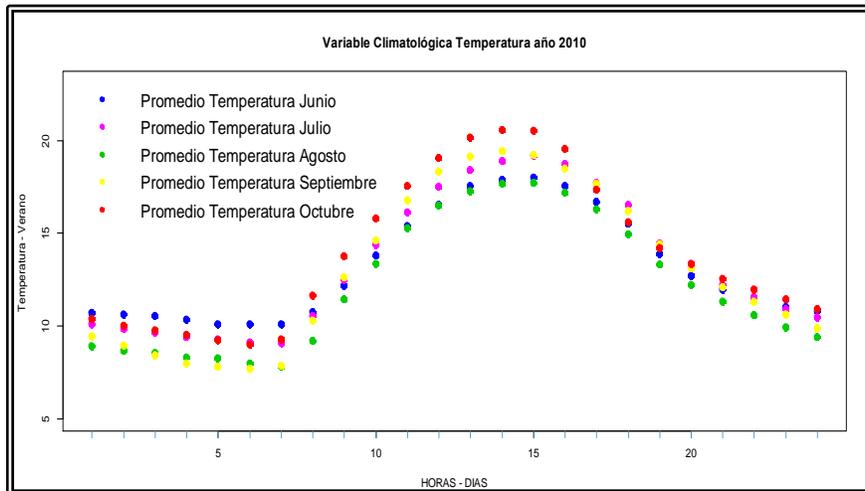
ANEXO D: Estaciones invierno – verano temperatura promedio - año 2010



Realizado por: Nancy Chariguamán



Realizado por: Nancy Chariguamán



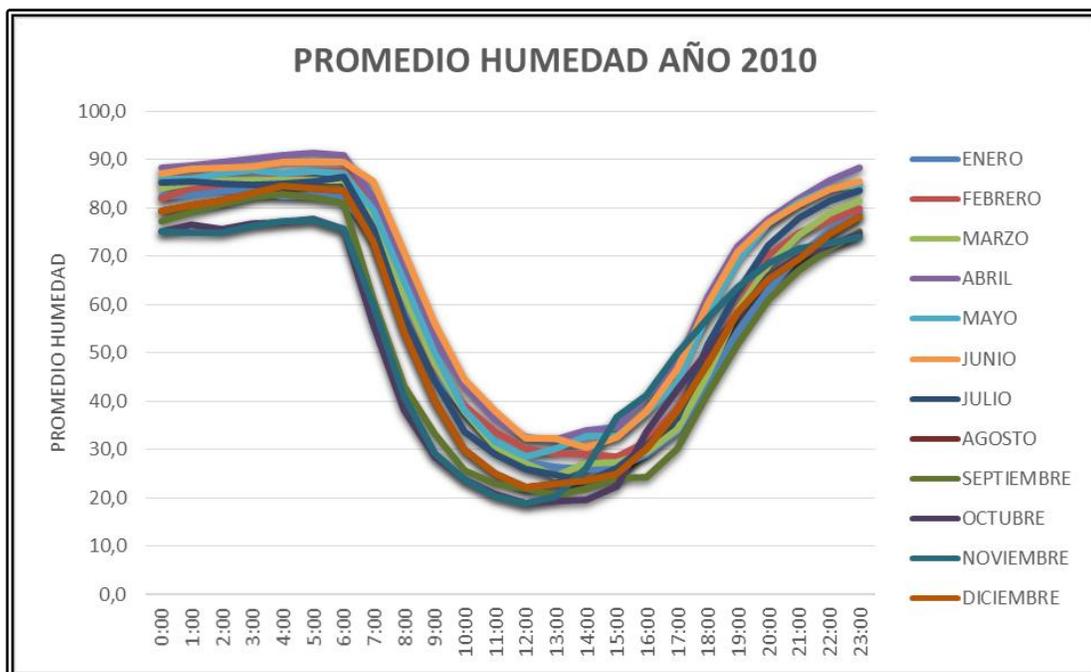
Realizado por: Nancy Chariguamán

ANEXO E: Promedio Horas, Días –Meses Humedad Año 2010

PROMEDIO DE LA HUMEDAD POR HORA EN CADA MES DEL AÑO 2010

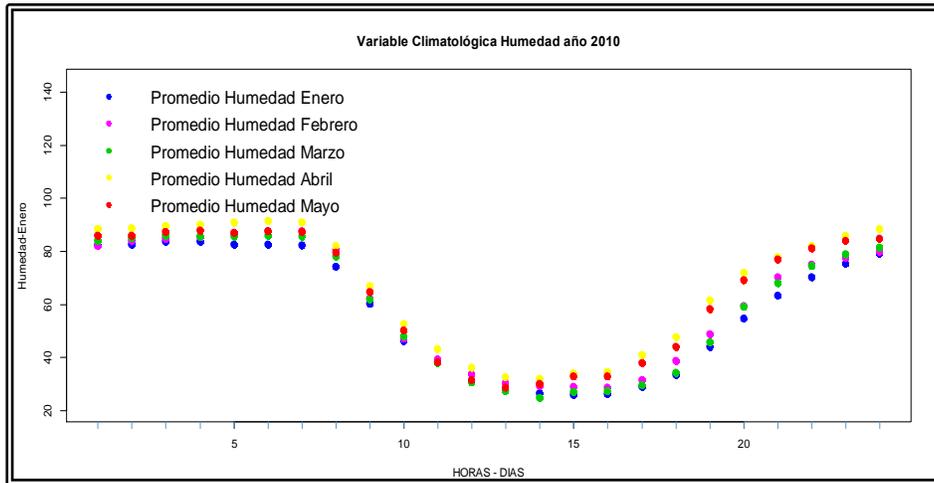
HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0:00	82,4	82,0	84,0	88,4	85,9	87,1	85,2	79,4	77,3	75,2	75,1	79,4
1:00	82,6	84,0	85,2	88,7	85,9	88,0	85,4	80,5	79,1	76,6	74,8	80,5
2:00	83,7	84,8	85,8	89,4	87,2	88,3	85,0	81,5	80,8	75,5	74,9	81,5
3:00	83,5	85,4	85,7	90,1	87,9	88,5	84,9	83,2	82,3	76,9	76,2	83,2
4:00	82,4	86,5	85,7	91,0	87,1	89,5	85,0	84,5	82,9	77,0	77,3	84,5
5:00	82,7	87,6	85,8	91,4	87,5	89,6	85,4	84,1	82,3	77,8	77,5	84,1
6:00	82,2	87,6	85,7	91,0	87,2	89,5	86,4	83,7	81,0	75,6	75,7	83,7
7:00	74,2	80,7	78,0	82,0	79,5	85,4	75,9	73,1	61,1	55,8	59,8	73,1
8:00	60,1	62,0	62,0	66,9	64,7	70,8	57,5	54,4	43,2	38,2	40,9	54,4
9:00	46,1	47,2	47,8	52,7	50,0	56,0	44,3	40,1	33,3	28,5	29,2	40,1
10:00	38,3	39,2	37,9	43,1	38,1	44,6	33,7	30,0	25,7	23,8	23,9	30,0
11:00	31,2	33,8	30,7	36,2	31,5	38,0	28,9	24,9	22,8	20,8	20,3	24,9
12:00	27,3	30,3	27,2	32,5	28,6	32,3	26,0	22,3	22,0	18,9	19,0	22,3
13:00	26,4	29,3	24,6	32,0	30,1	32,2	24,8	22,8	20,5	19,4	20,4	22,8
14:00	25,9	28,9	27,1	33,9	32,8	30,4	23,4	23,5	22,0	19,6	26,3	23,5
15:00	26,3	28,6	27,3	34,6	32,8	32,5	26,3	25,1	24,0	22,5	36,7	25,1
16:00	29,1	31,6	29,5	40,9	37,8	37,9	30,9	30,2	24,4	33,7	41,3	30,2
17:00	33,6	38,6	34,2	47,6	43,9	46,7	36,6	38,0	30,3	42,5	49,9	38,0
18:00	44,1	48,7	45,7	61,7	58,2	60,2	51,9	47,9	41,7	50,4	57,2	47,9
19:00	54,5	59,3	59,0	72,0	69,1	70,8	62,7	58,5	51,9	57,7	63,6	58,5
20:00	63,2	70,2	68,0	77,8	76,8	77,1	72,3	65,3	60,9	65,9	68,6	65,3
21:00	70,3	75,0	74,4	82,0	81,2	80,8	78,0	69,5	67,1	69,9	71,5	69,5
22:00	75,3	77,6	78,8	85,8	84,0	83,9	81,4	74,7	71,5	72,4	72,8	74,7
23:00	79,1	79,8	81,4	88,3	84,8	85,5	83,5	78,1	75,2	74,6	74,0	78,1
Media=	57,7	60,8	59,6	66,7	63,9	66,1	59,8	56,5	52,6	52,1	54,5	56,5
Des.Est=	23,2	23,3	24,4	23,3	23,5	23,1	25,1	24,2	24,7	23,5	22,1	24,2

Realizado por: Nancy Chariguamán

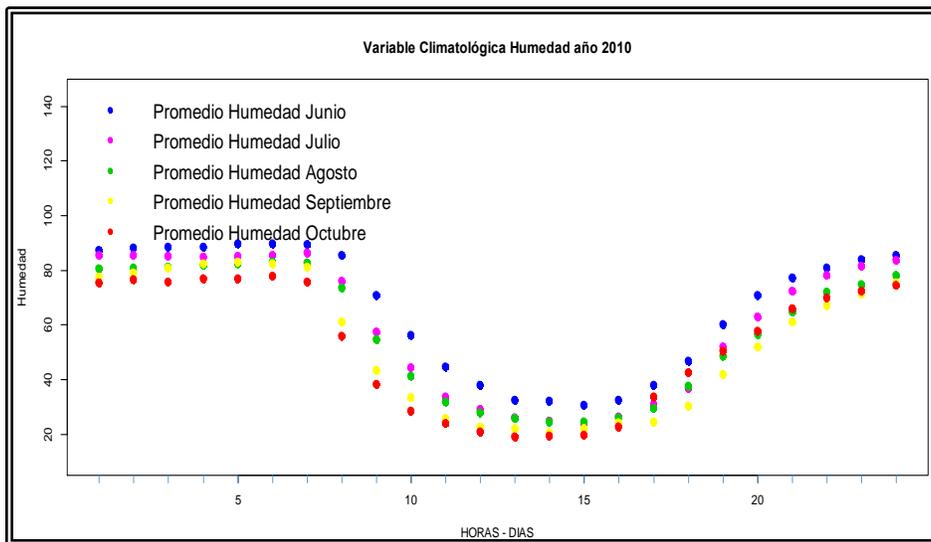


Realizado por: Nancy Chariguamán

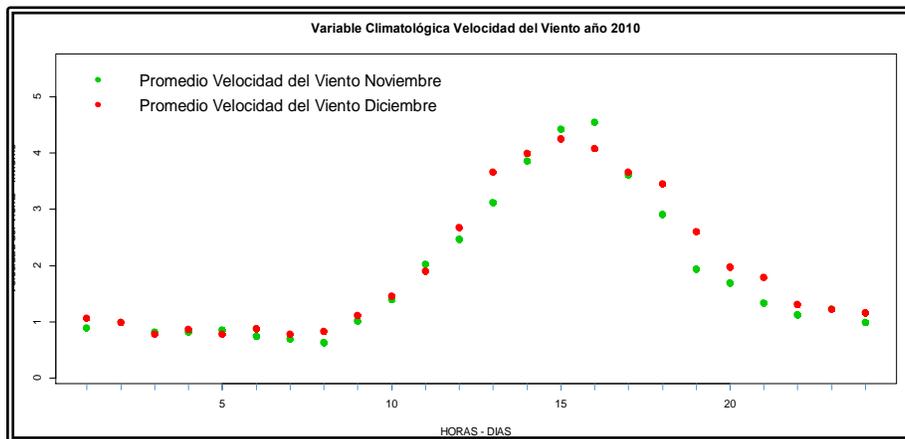
ANEXO F: Estaciones invierno – verano de la Humedad Promedio del año 2010



Realizado por: Nancy Chariguamán



Realizado por: Nancy Chariguamán



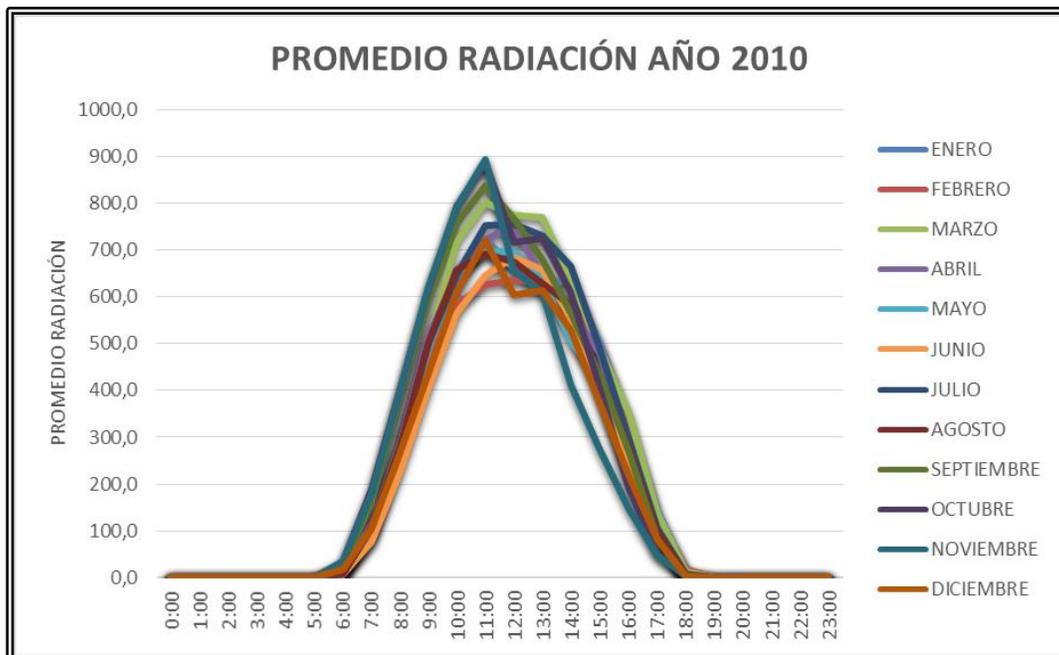
Realizado por: Nancy Chariguamán

ANEXO G: Promedio Horas, Días –Meses Radiación Año 2010

PROMEDIO DE LA RADIACIÓN POR HORA EN CADA MES DEL AÑO 2010

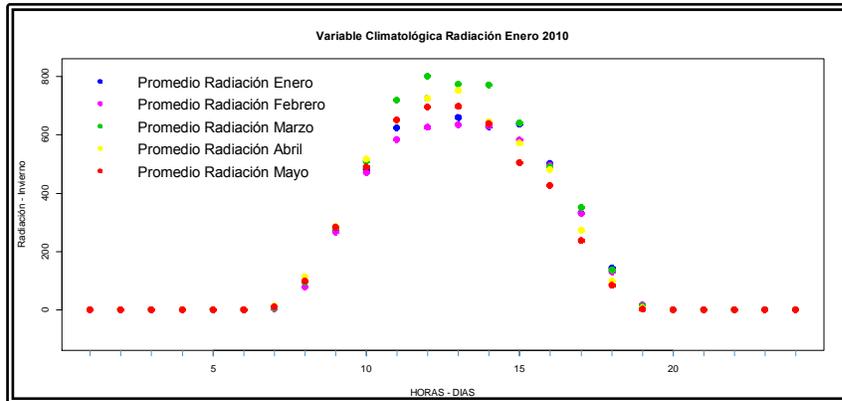
HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
6:00	8,5	4,8	7,2	13,8	12,1	8,9	7,7	8,7	24,0	34,8	35,3	16,4
7:00	95,3	78,0	94,6	112,9	99,4	76,5	106,3	106,8	159,2	188,4	177,5	105,5
8:00	272,3	267,7	281,0	286,3	283,0	223,5	275,3	281,6	389,0	400,8	398,3	266,3
9:00	481,8	470,7	507,9	516,4	490,0	404,1	499,8	501,0	594,6	617,1	621,6	436,6
10:00	624,3	584,8	717,4	648,7	652,0	566,3	648,9	658,6	757,6	794,5	790,9	612,4
11:00	723,6	626,2	800,2	724,2	696,1	644,4	752,5	692,0	837,0	886,3	893,3	720,0
12:00	660,0	634,9	773,5	750,9	696,4	685,6	755,5	674,7	766,8	717,1	654,3	603,3
13:00	628,2	629,9	770,1	643,9	638,3	656,7	730,6	627,3	680,1	725,3	609,7	612,8
14:00	635,7	582,0	640,5	572,0	503,8	554,0	665,3	582,6	566,1	609,2	412,4	527,6
15:00	502,3	494,9	489,3	481,1	427,4	402,3	492,3	433,7	432,8	406,8	274,4	376,4
16:00	331,3	329,7	351,7	273,8	237,0	230,8	295,0	275,5	268,9	190,8	146,8	217,4
17:00	142,8	130,8	137,2	98,6	84,6	87,8	104,0	98,8	80,8	52,1	46,3	81,5
18:00	13,1	16,9	13,7	6,2	3,3	4,7	7,0	5,4	3,5	2,2	1,9	4,1
19:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Media=	213,3	202,1	232,7	213,7	201,0	189,4	222,5	206,1	231,7	234,4	211,0	190,8
Des.Est=	276,1	260,6	308,2	282,3	268,9	257,5	296,6	271,6	306,0	315,7	295,0	255,9

Realizado por: Nancy Chariguamán

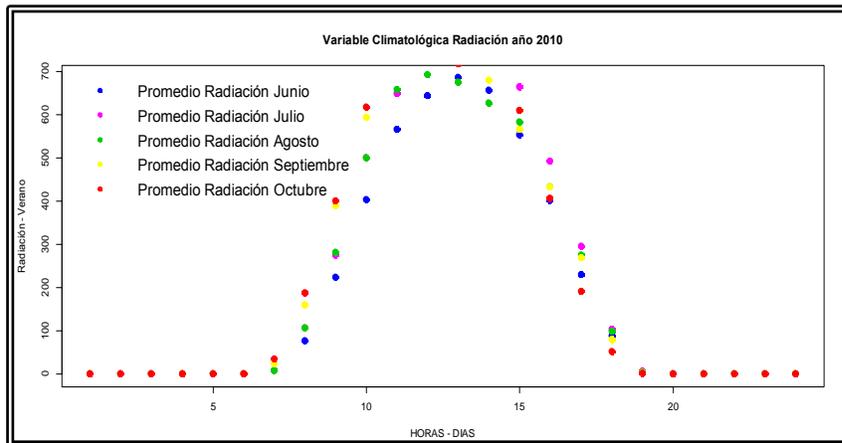


Realizado por: Nancy Chariguamán

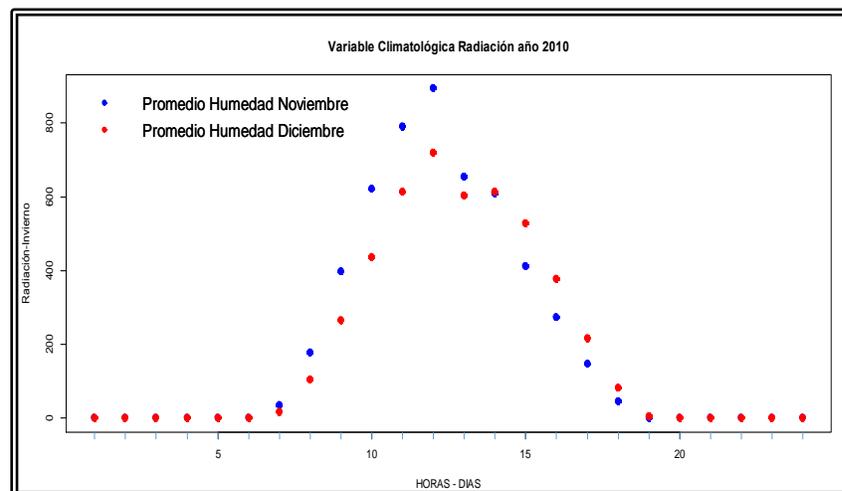
ANEXO H: Estaciones invierno – verano radiación promedio del año 2010



Realizado por: Nancy Chariguamán



Realizado por: Nancy Chariguamán



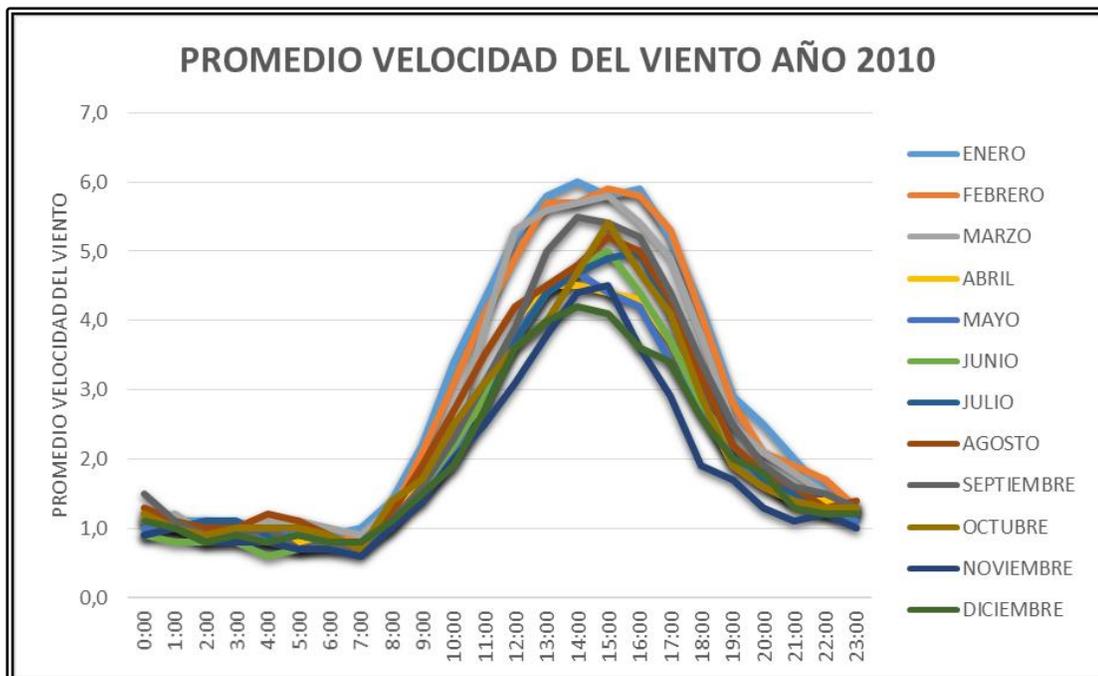
Realizado por: Nancy Chariguamán

ANEXO I: Promedio Horas, Días –Meses Velocidad del Viento Año 2010

PROMEDIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO POR HORA EN CADA MES DEL AÑO 2010

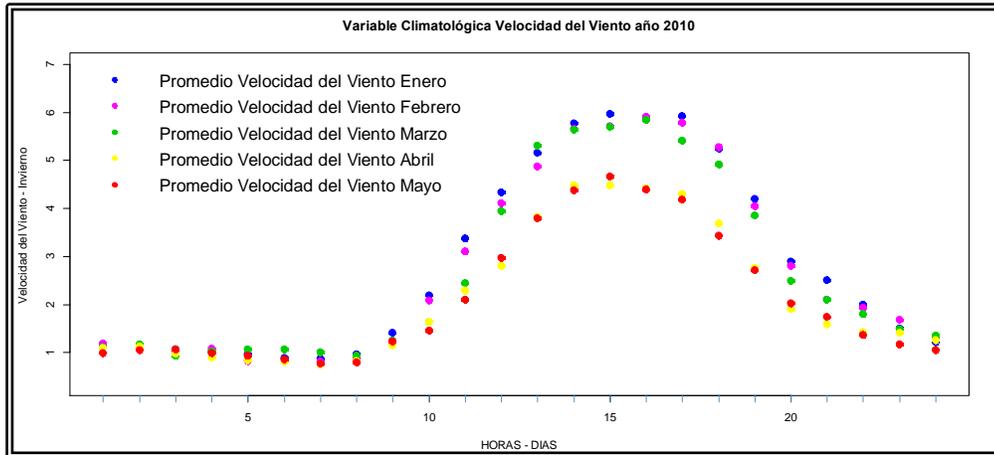
HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0:00	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	1,3	1,5	1,2	0,9	1,1
1:00	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	0,8	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
2:00	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	0,8	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8
3:00	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	0,8	1,1	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9
4:00	1,0	0,8	1,1	0,8	0,9	0,6	0,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8
5:00	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	0,7	0,7	1,1	0,7	1,0	0,7	0,9
6:00	0,9	0,8	1,0	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8
7:00	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8
8:00	1,4	1,2	1,3	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,1	1,4	1,0	1,1
9:00	2,2	2,1	1,6	1,6	1,4	1,6	1,5	1,9	1,6	1,7	1,4	1,5
10:00	3,4	3,1	2,4	2,3	2,1	2,2	1,9	2,7	2,3	2,5	2,0	1,9
11:00	4,3	4,1	3,9	2,8	3,0	2,9	2,7	3,5	3,1	3,1	2,5	2,7
12:00	5,2	4,9	5,3	3,8	3,8	3,7	3,7	4,2	3,9	3,6	3,1	3,6
13:00	5,8	5,7	5,6	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	5,0	4,0	3,8	4,0
14:00	6,0	5,7	5,7	4,5	4,7	4,8	4,7	4,8	5,5	4,7	4,4	4,2
15:00	5,8	5,9	5,8	4,4	4,4	5,0	4,9	5,2	5,4	5,4	4,5	4,1
16:00	5,9	5,8	5,4	4,3	4,2	4,4	5,0	5,0	5,2	4,7	3,6	3,6
17:00	5,2	5,3	4,9	3,7	3,4	3,7	4,1	4,3	4,4	4,1	2,9	3,4
18:00	4,2	4,1	3,8	2,8	2,7	2,8	3,3	3,2	3,4	2,9	1,9	2,6
19:00	2,9	2,8	2,5	1,9	2,0	2,2	2,2	2,2	2,5	1,9	1,7	2,0
20:00	2,5	2,1	2,1	1,6	1,7	1,8	1,7	1,8	1,9	1,6	1,3	1,8
21:00	2,0	1,9	1,8	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,4	1,1	1,3
22:00	1,5	1,7	1,5	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,3	1,2	1,2
23:00	1,2	1,3	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3	1,0	1,2
Media=	2,8	2,7	2,6	2,1	2,1	2,1	2,2	2,4	2,4	2,2	1,8	2,0
Des.Est=	1,9	1,9	1,8	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,7	1,5	1,2	1,2

Realizado por: Nancy Chariguamán

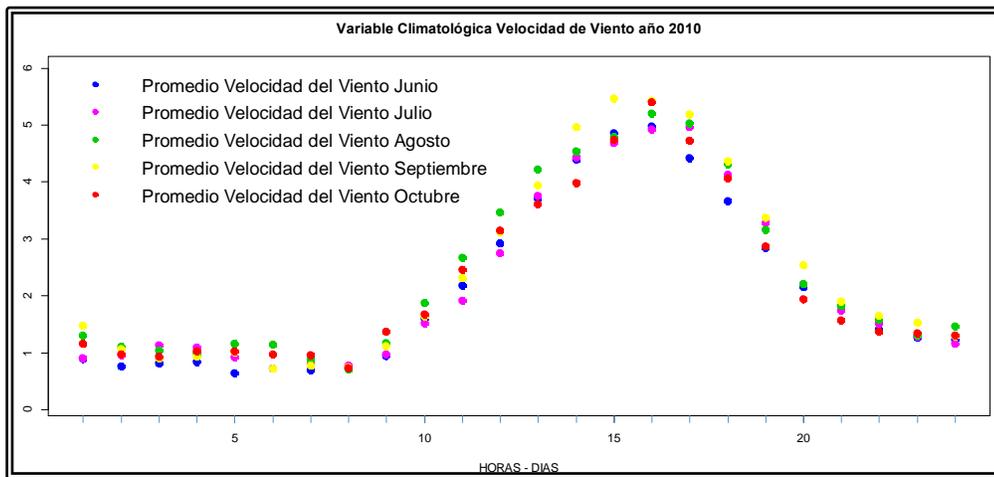


Realizado por: Nancy Chariguamán

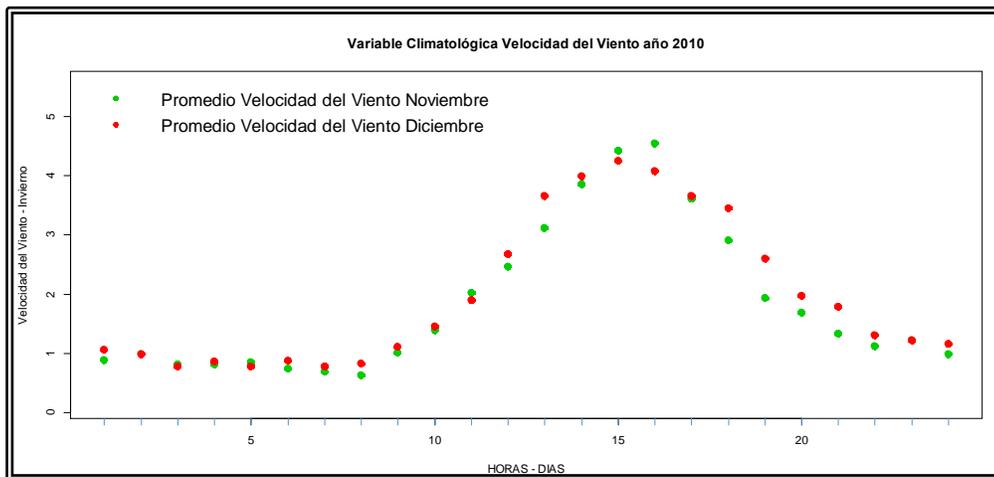
ANEXO J: Estaciones invierno - verano de la Velocidad del Viento promedio del año 2010



Realizado por: Nancy Chariguamán



Realizado por: Nancy Chariguamán



Realizado por: Nancy Chariguamán

Revisado por:

Director de Tesis

Dr. Antonio Meneses