



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:**

**ANÁLISIS DE FACTORES CLIMÁTICOS EN LAS DIFERENTES  
REGIONES DEL ECUADOR PARA EL DISEÑO DE  
PAVIMENTOS**

**AUTOR:**

**VINTIMILLA PALACIOS ALFREDO IGNACIO**

**Trabajo de grado**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**ING. ROLANDO VILA ROMANÍ, PHD.**

**Guayaquil, Ecuador**

**2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **VINTIMILLA PALACIOS ALFREDO IGNACIO**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL**.

### **TUTOR**

---

Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.

### **REVISORES**

---

Ing. Federico Von Buchwald de Janón

---

Lcda. Ruth Zambrano Saltos

### **DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

Ing. Mario Dueñas Rossi

**Guayaquil, a los 14 del mes de Marzo del año 2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **ALFREDO IGNACIO VINTIMILLA PALACIOS**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de TITULACIÓN “**ANÁLISIS DE FACTORES CLIMÁTICOS EN LAS DIFERENTES REGIONES DEL ECUADOR PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS**” previa a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 14 del mes de Marzo del año 2014**

**EL AUTOR**

---

**ALFREDO IGNACIO VINTIMILLA PALACIOS**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **ALFREDO IGNACIO VINTIMILLA PALACIOS**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **“ANÁLISIS DE FACTORES CLIMÁTICOS EN LAS DIFERENTES REGIONES DEL ECUADOR PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 14 del mes de Marzo del año 2014**

**EL AUTOR:**

---

**ALFREDO IGNACIO VINTIMILLA PALACIOS**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a la Virgen María por la realización de este trabajo, a mis padres y hermano por haberme dado su apoyo constante y condicional.

Y de manera especial la colaboración del Dr. Rolando Vila Romaní, Tutor del trabajo, que gracias a sus acertadas observaciones fue posible hacer enmiendas para lograr la satisfacción de presentar este Trabajo de Grado.

**ALFREDO IGNACIO VINTIMILLA PALACIOS**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a mi hermano.

**ALFREDO IGNACIO VINTIMILLA PALACIOS**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.

**TUTOR**

---

Ing. Federico Von Buchwald de Janón

**PROFESOR DELEGADO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CALIFICACIÓN**

---

Ing. Rolando Vila Romani, PhD.  
**TUTOR**

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| RESUMEN.....  | xvii |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....                              | 1    |
| 1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA.....                              | 1    |
| 1.2 RAZONES QUE MOTIVARON EL ESTUDIO .....                  | 1    |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....                             | 1    |
| 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....          | 3    |
| 1.5 ANTECEDENTES .....                                      | 4    |
| 1.6 CONTEXTUALIZACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO.....              | 6    |
| 1.7 OBJETIVO.....   | 6    |
| 1.8 HIPÓTESIS .....   | 6    |
| 1.9 METODOLOGÍA.....  | 6    |
| CAPÍTULO 2: RECONOCIMIENTO DE LAS REGIONES DE ESTUDIO ..... | 8    |
| 2.1 GENERALIDADES .....                                     | 8    |
| 2.2 UBICACIÓN Y LÍMITES GEOGRÁFICOS .....                   | 8    |
| 2.3 RELIEVE DEL ECUADOR.....                                | 9    |
| 2.4 FORMACIÓN DEL RELIEVE EN EL ECUADOR .....               | 9    |
| 2.5 IDENTIFICACIÓN DEL RELIEVE PARA SU TRAMO DE ESTUDIO ..  | 11   |
| 2.6 EL CLIMA EN EL ECUADOR .....                            | 12   |
| 2.7 FACTORES DEL CLIMA .....                                | 14   |
| 2.8 CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS DEL ECUADOR.....             | 16   |
| CAPÍTULO 3: AFECTACIÓN DEL CLIMA EN EL PAVIMENTO .....      | 19   |
| 3.1 GENERALIDADES .....                                     | 19   |
| 3.2 TIPOS DE PAVIMENTOS .....                               | 19   |
| 3.3 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS PAVIMENTOS .....       | 22   |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4 EFECTOS DE LAS PRECIPITACIONES EN LOS PAVIMENTOS.....  | 24  |
| CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL MÉTODO SUPERPAVE .....  | 28  |
| 4.1 GENERALIDADES .....  | 28  |
| 4.2 MÉTODO SUPERPAVE .....   | 28  |
| 4.3 SELECCIÓN DEL GRADO ASFÁLTICO .....  | 29  |
| 4.4 CONVERSIÓN A TEMPERATURA DEL PAVIMENTO.....  | 33  |
| 4.5 BASE DE DATOS CLIMÁTICOS .....   | 35  |
| 4.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CORRESPONDIENTES<br>A LAS ESTACIONES VINCULADAS A AEROPUERTOS .....            | 38  |
| CAPÍTULO 5: OBTENCIÓN DEL GRADO DEL LIGANTE ASFÁLTICO .....  | 55  |
| 5.1 GENERALIDADES .....  | 55  |
| 5.2 OBTENCIÓN DE TEMPERATURAS DEL AIRE .....   | 55  |
| 5.3 OBTENCIÓN DE TEMPERATURAS DEL PAVIMENTO.....   | 68  |
| 5.4 SELECCIÓN DEL GRADO DEL LIGANTE ASFÁLTICO .....  | 73  |
| 5.5 AJUSTE DEL GRADO DE PERFORMANCE DEL LIGANTE<br>ASFÁTICO .....  | 79  |
| 5.6 ELABORACIÓN DEL MAPA CON LA ZONIFICACIÓN DE LOS PG<br>A EMPLEAR EN LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS EN EL ECUADOR ..... | 79  |
| CAPÍTULO 6: PRECIPITACIONES .....  | 84  |
| 6.1 GENERALIDADES .....  | 84  |
| 6.2 PRECIPITACIONES .....  | 84  |
| 6.3 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.....   | 85  |
| 6.4 CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL ESTUDIO .....  | 85  |
| CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 109 |
| 7.1 CONCLUSIONES.....  | 109 |
| 7.2 RECOMENDACIONES.....   | 110 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 111 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Determinación del grado de asfalto. Base de datos meteorológicos para Perú.....                 | 5  |
| Tabla 2: Determinación del grado de asfalto. Base de datos meteorológicos para Perú.....                 | 5  |
| Tabla 3: Especificación Superpave para Ligante Asfáltico. ....   | 30 |
| Tabla 4: Grados del ligante de Superpave.....  | 32 |
| Tabla 5: Estaciones climáticas del Ecuador Provincia de la Costa.....                                    | 35 |
| Tabla 6: Estaciones climáticas del Ecuador Provincia de la Sierra. ....                                  | 36 |
| Tabla 7: Estaciones climáticas del Ecuador Provincia de la Amazonía. ....                                | 36 |
| Tabla 8: Cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C (Ciudad de Guayaquil). ....              | 39 |
| Tabla 9: Cuadro comparativo de las diferencias de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Guayaquil). .... | 41 |
| Tabla 10: Cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Guayaquil). ....             | 42 |
| Tabla 11: Cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C (Ciudad de Quito). ....                 | 44 |
| Tabla 12: Cuadro comparativo de las diferencias de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Quito). ....    | 46 |
| Tabla 13: Cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Quito).....                  | 47 |
| Tabla 14: Cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C (Ciudad del Puyo).....                  | 49 |
| Tabla 15: Cuadro comparativo de las diferencias de temperaturas máximas en °C (Ciudad del Puyo). ....    | 51 |
| Tabla 16: Cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C (Ciudad del Puyo). ....                 | 52 |
| Tabla 17: Temperaturas del aire para la región Costa. ....   | 56 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 18: Temperaturas del aire para la región Sierra. ....         | 57  |
| Tabla 19: Temperaturas del aire para la región Amazónica. ....      | 58  |
| Tabla 20: Temperaturas del aire para la región Costa. ....          | 61  |
| Tabla 21: Temperaturas del aire para la región Sierra. ....         | 62  |
| Tabla 22: Temperaturas del aire para la región Amazónica. ....      | 63  |
| Tabla 23: Temperaturas del pavimento para la región Costa. ....     | 68  |
| Tabla 24: Temperaturas del pavimento para la región Sierra. ....    | 69  |
| Tabla 25: Temperaturas del pavimento para la región Amazónica. .... | 69  |
| Tabla 26: Temperaturas del pavimento para la región Costa. ....     | 70  |
| Tabla 27: Temperaturas del pavimento para la región Sierra. ....    | 70  |
| Tabla 28: Temperaturas del pavimento para la región Amazonía. ....  | 71  |
| Tabla 29: Grados del ligante asfáltico región Costa. ....           | 74  |
| Tabla 30: Grados del ligante asfáltico región Sierra. ....          | 74  |
| Tabla 31: Grados del ligante asfáltico región Amazónica. ....       | 75  |
| Tabla 32: Grados del ligante asfáltico región Costa. ....           | 75  |
| Tabla 33: Grados del ligante asfáltico región Sierra. ....          | 76  |
| Tabla 34: Grados del ligante asfáltico región Amazónica. ....       | 76  |
| Tabla 35: Precipitaciones en un periodo de 20 años. ....            | 86  |
| Tabla 36: Precipitaciones en un periodo de 20 años. ....            | 94  |
| Tabla 37: Precipitaciones en un periodo de 20 años. ....            | 105 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Mapa del relieve del Ecuador.....  | 11 |
| Figura 2: Mapa Tipo de climas del Ecuador.....                                       | 16 |
| Figura 3: Estructura de pavimento rígido.....  | 20 |
| Figura 4: Estructura de pavimento flexible.....                                      | 21 |
| Figura 5: Erosión por Bombeo y Escalonamiento.....                                   | 26 |
| Figura 6: Mapa de Estaciones Meteorológicas para uso del Método Superpave.....       | 37 |
| Figura 7: Comparación de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Guayaquil).....       | 40 |
| Figura 8: Comparación de temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Guayaquil).....       | 43 |
| Figura 9: Comparación de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Quito).....           | 45 |
| Figura 10: Comparación de temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Quito).....          | 48 |
| Figura 11: Comparación de temperaturas máximas en °C (Ciudad del Puyo).....          | 50 |
| Figura 12: Comparación de temperaturas mínimas en °C (Ciudad del Puyo).....          | 53 |
| Figura 13: Mapa Temperaturas Altas del aire para uso del Método Superpave.....       | 59 |
| Figura 14: Mapa Temperaturas Bajas del aire para uso del Método Superpave.....       | 60 |
| Figura 15: Mapa Temperaturas Altas del aire para uso del Método Superpave.....       | 64 |
| Figura 16: Mapa Temperaturas Bajas del aire para uso del Método Superpave.....       | 65 |
| Figura 17: Relación de temperaturas altas con altitudes al 50% de confiabilidad..... | 66 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 18: Relación de temperaturas altas con altitudes al 98% de confiabilidad.....                 | 66 |
| Figura 19: Relación de temperaturas bajas con altitudes al 50% de confiabilidad.....                 | 67 |
| Figura 20: Relación de temperaturas bajas con altitudes al 98% de confiabilidad.....                 | 67 |
| Figura 21: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 50% de confiabilidad..... | 71 |
| Figura 22: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 98% de confiabilidad..... | 72 |
| Figura 23: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 98% de confiabilidad..... | 72 |
| Figura 24: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 98% de confiabilidad..... | 73 |
| Figura 25: Grados del ligante asfáltico para el 50% de confiabilidad. ....                           | 77 |
| Figura 26: Grados del ligante asfáltico para el 98% de confiabilidad. ....                           | 78 |
| Figura 27: Mapa de isotermas del Ecuador. ....   | 80 |
| Figura 28: Mapa de zonificación del PG para el Ecuador. ....   | 82 |
| Figura 29: Mapa de zonificación del PG para el Ecuador. ....   | 83 |
| Figura 30: Precipitaciones Estación Muisne 1991 – 2010.....  | 87 |
| Figura 31: Precipitaciones Estación Cayapas 1991 – 2010. ....  | 87 |
| Figura 32: Precipitaciones Estación S. T. Tsáchilas 1991 – 2010.....                                 | 87 |
| Figura 33: Precipitaciones Estación Rocafuerte 1991 – 2010.....                                      | 88 |
| Figura 34: Precipitaciones Estación Chone 1991 – 2010.....   | 88 |
| Figura 35: Precipitaciones Estación Portoviejo 1991 – 2010.....                                      | 88 |
| Figura 36: Precipitaciones Estación Olmedo Manabí 1991 – 2010. ....                                  | 89 |
| Figura 37: Precipitaciones Estación Camposano #2 1991 – 2010. ....                                   | 89 |
| Figura 38: Precipitaciones Estación Julcuy 1991 – 2010. ....   | 89 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 39: Precipitaciones Estación Babahoyo – UTB 1991 – 2010. .... | 90 |
| Figura 40: Precipitaciones Estación Vinces 1991 – 2010.....          | 90 |
| Figura 41: Precipitaciones Estación Pueblo Viejo 1991 – 2010. ....   | 90 |
| Figura 42: Precipitaciones Estación Pichingue 1991 – 2010.....       | 91 |
| Figura 43: Precipitaciones Estación Guayaquil 1991 – 2010. ....      | 91 |
| Figura 44: Precipitaciones Estación Milagro 1991 – 2010.....         | 91 |
| Figura 45: Precipitaciones Estación San Carlos 1991 – 2010.....      | 92 |
| Figura 46: Precipitaciones Estación Naranjal 1991 – 2010. ....       | 92 |
| Figura 47: Precipitaciones Estación Santa Elena 1991 – 2010. ....    | 92 |
| Figura 48: Precipitaciones Estación Sta. Ines 1991 – 2010. ....      | 93 |
| Figura 49: Precipitaciones Estación Zapotillo 1991 – 2010.....       | 93 |
| Figura 50: Precipitaciones Estación Zaruma 1991 – 2010. ....         | 93 |
| Figura 51: Precipitaciones Estación San Gabriel 1991 – 2010.....     | 95 |
| Figura 52: Precipitaciones Estación El Angel 1991 – 2010. ....       | 95 |
| Figura 53: Precipitaciones Estación Cahuasqui-Fao 1991 – 2010. ....  | 95 |
| Figura 54: Precipitaciones Estación Otavalo 1991 – 2010. ....        | 96 |
| Figura 55: Precipitaciones Estación Inguincho 1991 – 2010.....       | 96 |
| Figura 56: Precipitaciones Estación La Tola Manabí 1991 – 2010.....  | 96 |
| Figura 57: Precipitaciones Estación Inaquito 1991 – 2010.....        | 97 |
| Figura 58: Precipitaciones Estación Tabacundo 1991 – 2010.....       | 97 |
| Figura 59: Precipitaciones Estación Izobamba 1991 – 2010.....        | 97 |
| Figura 60: Precipitaciones Estación El Corazón 1991 – 2010.....      | 98 |
| Figura 61: Precipitaciones Estación Rumipamba 1991 – 2010. ....      | 98 |
| Figura 62: Precipitaciones Estación Chillanes 1991 – 2010.....       | 98 |
| Figura 63: Precipitaciones Estación Baños 1991 – 2010. ....          | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 64: Precipitaciones Estación Querochaca 1991 – 2010. ....       | 99  |
| Figura 65: Precipitaciones Estación Pedro F, C, (Col) 1991 – 2010..... | 99  |
| Figura 66: Precipitaciones Estación Chunchi 1991 – 2010. ....          | 100 |
| Figura 67: Precipitaciones Estación Guaslan 1991 – 2010. ....          | 100 |
| Figura 68: Precipitaciones Estación Cañar 1991 – 2010.....             | 100 |
| Figura 69: Precipitaciones Estación Paute 1991 – 2010. ....            | 101 |
| Figura 70: Precipitaciones Estación Gualaceo 1991 – 2010. ....         | 101 |
| Figura 71: Precipitaciones Estación Palmas 1991 – 2010.....            | 101 |
| Figura 72: Precipitaciones Estación El Labrado 1991 – 2010. ....       | 102 |
| Figura 73: Precipitaciones Estación Malacatos 1991 – 2010. ....        | 102 |
| Figura 74: Precipitaciones Estación Yangana 1991 – 2010. ....          | 102 |
| Figura 75: Precipitaciones Estación Célica 1991 – 2010.....            | 103 |
| Figura 76: Precipitaciones Estación Cariamanga 1991 – 2010. ....       | 103 |
| Figura 77: Precipitaciones Estación La Argelia 1991 – 2010. ....       | 103 |
| Figura 78: Precipitaciones Estación Saraguro 1991 – 2010.....          | 104 |
| Figura 79: Precipitaciones Estación Lumbaqui 1991 – 2010.....          | 106 |
| Figura 80: Precipitaciones Estación Rocafuerte 1991 – 2010. ....       | 106 |
| Figura 81: Precipitaciones Estación Palmoriente 1991 – 2010. ....      | 106 |
| Figura 82: Precipitaciones Estación Puyo 1991 – 2010. ....             | 107 |
| Figura 83: Precipitaciones Estación Gualaquiza 1991 – 2010. ....       | 107 |
| Figura 84: Precipitaciones Estación Sangay 1991 – 2010. ....           | 107 |
| Figura 85: Precipitaciones Estación Yanzatza 1991 – 2010.....          | 108 |

## RESUMEN

El Ecuador cuenta con la cordillera de los Andes que desempeña las modificaciones del clima, a medida que la altitud aumenta disminuye la temperatura del aire, cambiando el sentido de los vientos y la cantidad de precipitación. Las lluvias aumentan conforme a sus vertientes, que se encuentran en el exterior de las cordilleras, manteniendo un clima frío y seco contribuyendo a mantener así un clima estable y poco lluvioso.

En el país se pueden encontrar, tanto en las regiones Costa, Sierra y Amazonía, pavimentos que han sido afectados por diferentes factores climáticos, ya sea por las temperaturas máximas o mínimas, por el gradiente térmico, por la radiación solar intensa, así como por los efectos de flujos de aguas superficiales y subterráneas, que inciden en el deterioro prematuro del pavimento.

Se pretende determinar el grado de performance (PG) del ligante asfáltico siguiendo los parámetros del Método del Superpave, para las diferentes regiones del país, a partir del procesamiento de las temperaturas del aire tanto máxima como mínima proporcionadas por los anuarios del INAMHI, para luego transformarla a las temperaturas del pavimento y con ello llegar al establecimiento de los PG, realizando a su vez su mapa correspondiente para el uso en el país.

Finalmente cuenta con el estudio de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas procesadas para obtener el promedio mensual y el acumulado.

**Palabras Claves:** altitud, gradiente, radiación, performance, PG, Superpave.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA**

El trabajo que se presenta trata de caracterizar los parámetros climáticos más importantes de las diferentes regiones del Ecuador relacionando con el diseño de pavimentos, al utilizar la información disponible del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI -- y considerar los criterios internacionales especialmente la normativa SUPERPAVE, Superior Performing Asphalt Pavement (Asphalt Institute, 1998).

### **1.2 RAZONES QUE MOTIVARON EL ESTUDIO**

Generar un aporte a las investigaciones que realiza la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, al facilitar la información de datos climáticos para la realización de diseños de pavimentos para las respectivas regiones del país.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA**

En el país, el diseño de pavimentos no toma en cuenta los diferentes cambios de temperaturas climáticas propias de cada región. Por otra parte, las nuevas especificaciones para el diseño y control de asfaltos y mezclas, conocidas como SUPERPAVE, que se emplean cada vez más internacionalmente, requieren para su manejo un conocimiento detallado de las regiones climáticas, donde estos materiales serán empleados para garantizar su adecuado desempeño. Un ejemplo de estos desarrollos se ha efectuado desde hace más de 10 años en países de la región como Perú y Venezuela. Es conocido que las especificaciones que conforman el sistema SUPERPAVE, se apoyan en los principios básicos de comportamiento de los

asfaltos, reconociendo que este depende de la temperatura y los diferentes cambios climáticos propios de cada región del país, dando lugar a que el asfalto se comporte como un líquido viscoso, al generar deformaciones prematuras en altas temperaturas y se comporte como un sólido elástico, generando así que el asfalto este propenso a agrietamiento en bajas temperaturas.

El INAMHI, cuya entidad tiene jurisdicción en todo el país, cuenta con una gama de datos meteorológicos que se genera a través de la red de estaciones hidrometeorológicas que nos permitirá el estudio y selección de la información relacionada con las temperaturas y precipitaciones en las diferentes regiones del país, la cual servirá para los análisis pertinentes relacionados con los criterios SUPERPAVE, es decir, en base a la información obtenida en las estaciones meteorológica en 20 años de operación en el sitio.

En el caso de las temperaturas se definirán de cada estación meteorológica del INAMHI la temperatura máxima, al obtener el promedio de los siete días consecutivos para cada año y su desviación standard. Igualmente, para obtener la temperatura mínima, será determinada de cada estación su valor medio de cada año y su desviación standard.

En el caso de las precipitaciones se considera importante establecer diferentes zonas pluviométricas a partir de la precipitación media anual, así como la distribución mensual de precipitaciones. Esta información es necesaria en cualquier método de diseño de pavimentos.

Según el Boletín Climatológico Anual 2012 del INAMHI (Palacios, 2013) la temperatura promedio en el año 2012 fue de alrededor de 14.6 °C, lo cual es 0.6 °C, más caliente que la referencia de mediados del siglo XX, y un incremento de 0.8 °C desde el año 1880. El INAMHI cuenta con 40 estaciones operativas de información, de las cuales 27 (68%), pertenecen a la institución y 13 (32%) a la Aviación Civil.

## **1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En las diferentes regiones del país es muy frecuente encontrar pavimentos fisurados, deformados o con cierto tipo de disgregación superficial, comúnmente llamada “peladura”, a los pocos años de su construcción o rehabilitación, siendo la causa más importante en estos deterioros la carga actuante, aunque el efecto de la temperatura también debe ser considerado y no solo sobre el pavimento construido, sino en los procesos previos de selección de los asfaltos y en los aspectos relacionados con el diseño de la mezcla.

Es conocido que el comportamiento de las mezclas asfálticas está muy influido por las temperaturas. Por ejemplo, una mezcla asfáltica recién colocada puede tener un módulo de rigidez a 20 °C de 5,000 MPa, sin embargo, esa misma mezcla a 50 °C podrá tener un módulo de tan solo 500 MPa. Si se considera que mezclas mencionadas se ubican en la sierra o la costa del Ecuador, sin duda se podrá visualizar que los comportamientos estructurales serán muy diferentes. Un aspecto interesante en este análisis es la relación entre temperatura y altitud, por el impacto en el país de la Cordillera de los Andes.

Por otra parte, es importante tomar en cuenta en los estudios de los pavimentos la distribución de las lluvias, que pueden ser muy variables en las diferentes regiones de cualquier país (Kraemer et al, 1993). Las lluvias son un importante factor de daño en las mezclas y tiene gran incidencia en el pavimento por la relación existente entre la humedad y la resistencia de los suelos y materiales pétreos no aglomerados.

## **1.5 ANTECEDENTES**

A partir de la segunda mitad de la década de los noventa en varios países de la región comenzaron a realizarse estudios climáticos para ajustar la calidad de los asfaltos a las nuevas exigencias. Ejemplo de ello es el trabajo desarrollado en Venezuela (Jugo, A & Urbáez, E, 1997) y presentado en el Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto en Asunción, Paraguay.

Los investigadores SHRP (Programa Estratégico de Investigación de Carretera), establecieron un método para calcular las temperaturas altas de diseño del pavimento, considerando el valor correspondiente al promedio de las temperaturas máximas diarias de los siete días consecutivos más calurosos del año, registrados a 20 mm bajo la superficie del pavimento, y como temperatura mínima de servicio, la temperatura mínima anual media en la superficie del pavimento. Este método aparece descrito en la publicación Método No Tradicionales SHRP, UCL (Asphalt Institute, 1999) y desarrollado en este trabajo en el Capítulo 4.

Un trabajo similar fue desarrollado en el Perú con la elaboración de mapas de áreas geográficas para la selección de asfalto, recopilando datos de temperatura de diferentes estaciones meteorológicas de sus departamentos (Domínguez, J & Sancho, M, 1999).

A continuación se presenta un cuadro resumen con los principales resultados obtenidos del estudio realizado en Perú.

**Tabla 1: Determinación del grado de asfalto. Base de datos meteorológicos para Perú.**

| DPTO.     | PROVINCIAS       | DISTRITO          | LONG. | LAT.  | ALT.  | TEMPERATURA DEL AIRE °C |            |        |            |
|-----------|------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------|------------|--------|------------|
|           |                  |                   |       |       |       | ALTA                    |            | BAJA   |            |
|           |                  |                   |       |       |       | MEDIA                   | DESVIACION | MEDIA  | DESVIACION |
| Amazonas  | Chachapoyas      | Chachapoyas       | 77,51 | 6,13  | 2390  | 22,9                    | 1,47       | 8,14   | 0,98       |
| Ancash    | Casma            | Buena Vista       | 78,12 | 9,26  | 419   | 33,12                   | 0,79       | 13,27  | 1,18       |
|           | Huari            | Chavin de Huantar | 77,15 | 9,35  | 3210  | 23,28                   | 1,22       | 3,53   | 1,90       |
|           | Recuay           | Recuay            | 77,27 | 9,43  | 3394  | 23,83                   | 0,97       | -0,89  | 1,65       |
| Apurimac  | Abancay          | Abancay           | 72,52 | 13,36 | 2377  | 27,88                   | 1,58       | 8,35   | 1,20       |
|           | Abancay          | Curaruasi         | 72,44 | 13,33 | 2687  | 25,51                   | 1,1        | 3,50   | 0,61       |
| Arequipa  | Arequipa         | Arequipa          | 71,27 | 16,28 | 2400  | 24,77                   | 0,78       | 5,40   | 0,67       |
|           | Arequipa         | S. J. Tarucani    | 71,11 | 16,09 | 4136  | 15,82                   | 1,12       | -11,99 | 1,64       |
|           | Caraveli         | Atico             | 72,41 | 16,14 | 20    | 26,49                   | 1,64       | 13,28  | 0,61       |
| Ayacucho  | Huamanga         | La Quinua         | 74,08 | 13,02 | 3500  | 21,76                   | 1,21       | 1,61   | 1,56       |
|           | Lucaras          | Puquio            | 74,08 | 14,42 | 3215  | 19,86                   | 1,06       | 0,10   | 1,90       |
|           | Paucar D. Sarasa | Pausa             | 73,21 | 15,17 | 2530  | 24,81                   | 1,32       | 5,57   | 0,93       |
| Cajamarca | Cajamarca        | Cajamarca         | 78,3  | 7,1   | 2536  | 23,85                   | 0,68       | 2,82   | 1,60       |
|           | Chota            | Chota             | 78,39 | 6,33  | 2340  | 23,77                   | 1,01       | 4,91   | 1,99       |
|           | Chota            | Cochabamba        | 78,53 | 6,28  | 1800  | 28,46                   | 1,59       | 10,47  | 0,97       |
|           | Cutervo          | Cutervo           | 78,49 | 6,22  | 2450  | 19,67                   | 0,76       | 5,85   | 2,34       |
|           | Hualgayoc        | Bambamarca        | 78,31 | 6,41  | 2580  | 21,98                   | 0,71       | 4,41   | 2,00       |
|           | Jaen             | Chirinos          | 78,52 | 5,18  | 1000  | 26,05                   | 0,99       | 12,75  | 1,04       |
|           | Jaen             | Jaen              | 78,48 | 5,43  | 620   | 32,28                   | 2,89       | 17,43  | 1,71       |
|           | Jaen             | San Ignacio       | 78,59 | 5,08  | 1324  | 29,38                   | 1,13       | 14,22  | 0,56       |
|           | San Marco        | San Marco         | 78,2  | 7,2   | 2254  | 27,9                    | 1,21       | 5,40   | 1,41       |
| Cuzco     | Canchis          | Combapata         | 71,26 | 14,06 | 3464  | 23,41                   | 1,19       | -2,71  | 0,69       |
|           | Canchis          | Sicuni            | 71,14 | 14,15 | 3550  | 22,39                   | 1,24       | -3,86  | 1,10       |
|           | Cuzco            | S. Jeronimo       | 71,54 | 13,34 | 3219  | 23,21                   | 1,05       | -3,76  | 1,69       |
|           | Quispicanchi     | Ccatcca           | 71,34 | 13,37 | 3700  | 17,61                   | 1,05       | -6,11  | 1,45       |
| Urubamba  | Urubamba         | 72,02             | 13,18 | 2863  | 24,87 | 0,83                    | -0,63      | 1,27   |            |

Fuente: Selección de los grados de asfalto SUPERPAVE. Desarrollado por Perú.

A partir de la información anterior, se precisaron los tipos de asfaltos exigidos para las diferentes zonas del Perú según el SUPERPAVE.

**Tabla 2: Determinación del grado de asfalto. Base de datos meteorológicos para Perú.**

| DPTO.     | PROVINCIAS       | DISTRITO          | 50 % CONFIABILIDAD |             | GRADO DE ASFALTO | 98 % CONFIABILIDAD |             | GRADO DE ASFALTO |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|-------------|------------------|--------------------|-------------|------------------|
|           |                  |                   | TEMPERATURA °C     |             |                  | TEMPERATURA °C     |             |                  |
|           |                  |                   | T PAV. MAX.        | T PAV. MIN. |                  | T PAV. MAX.        | T PAV. MIN. |                  |
| Amazonas  | Chachapoyas      | Chachapoyas       | 45,5               | 10,0        | 46 - 10          | 48,4               | 8,0         | 52 - 10          |
| Ancash    | Casma            | Buena Vista       | 55,6               | 13,3        | 58 - 10          | 57,2               | 11,0        | 58 - 10          |
|           | Huari            | Chavin de Huantar | 46,2               | 5,8         | 46 - 10          | 48,7               | 2,0         | 52 - 10          |
|           | Recuay           | Recuay            | 46,8               | 2,8         | 46 - 10          | 48,7               | -0,5        | 52 - 10          |
| Apurimac  | Abancay          | Abancay           | 51,8               | 9,4         | 52 - 10          | 54,2               | 7,0         | 58 - 10          |
|           | Abancay          | Curaruasi         | 48,7               | 6,2         | 52 - 10          | 50,9               | 5,0         | 52 - 10          |
| Arequipa  | Arequipa         | Arequipa          | 48,1               | 7,2         | 52 - 10          | 49,7               | 5,9         | 52 - 10          |
|           | Arequipa         | S. J. Tarucani    | 39,6               | -5,8        | 46 - 10          | 41,8               | -9,1        | 46 - 10          |
|           | Caraveli         | Atico             | 49,8               | 12,9        | 52 - 10          | 51,9               | 11,7        | 52 - 10          |
| Ayacucho  | Huamanga         | La Quinua         | 45,1               | 4,4         | 46 - 10          | 47,5               | 1,3         | 52 - 10          |
|           | Lucaras          | Puquio            | 43,2               | 2,9         | 46 - 10          | 45,3               | -0,9        | 46 - 10          |
|           | Paucar D. Sarasa | Pausa             | 48,1               | 7,4         | 52 - 10          | 50,8               | 5,5         | 52 - 10          |
| Cajamarca | Cajamarca        | Cajamarca         | 46,5               | 5,7         | 46 - 10          | 47,9               | 2,5         | 52 - 10          |
|           | Chota            | Chota             | 46,3               | 6,9         | 52 - 10          | 48,4               | 3,0         | 52 - 10          |
|           | Chota            | Cochabamba        | 50,8               | 11,6        | 52 - 10          | 54,0               | 9,7         | 58 - 10          |
|           | Cutervo          | Cutervo           | 42,4               | 7,3         | 46 - 10          | 43,9               | 2,6         | 46 - 10          |
|           | Hualgayoc        | Bambamarca        | 44,6               | 6,6         | 46 - 10          | 46,1               | 2,6         | 46 - 10          |
|           | Jaen             | Chirinos          | 48,5               | 13,3        | 52 - 10          | 50,3               | 11,2        | 52 - 10          |
|           | Jaen             | Jaen              | 54,3               | 16,2        | 58 - 10          | 60,1               | 12,8        | 64 - 10          |
|           | Jaen             | San Ignacio       | 51,5               | 14,5        | 52 - 10          | 53,8               | 13,4        | 58 - 10          |
|           | San Marco        | San Marco         | 50,4               | 7,7         | 52 - 10          | 52,8               | 4,9         | 52 - 10          |
| Cuzco     | Canchis          | Combapata         | 46,8               | 1,6         | 46 - 10          | 49,1               | 0,2         | 52 - 10          |
|           | Canchis          | Sicuni            | 45,8               | 0,6         | 46 - 10          | 48,3               | -1,6        | 52 - 10          |
|           | Cuzco            | S. Jeronimo       | 46,5               | 0,4         | 46 - 10          | 48,6               | -3,0        | 52 - 10          |
|           | Quispicanchi     | Ccatcca           | 41,2               | -1,1        | 46 - 10          | 43,3               | -4,0        | 46 - 10          |
|           | Urubamba         | Urubamba          | 48,1               | 2,9         | 52 - 10          | 49,8               | 0,4         | 52 - 10          |

Fuente: Selección de los grados de asfalto SUPERPAVE. Desarrollado por Perú.

## **1.6 CONTEXTUALIZACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO**

Se desarrollará el análisis climático en las diferentes regiones Costa, Sierra y Amazonía del Ecuador de los datos obtenidos de las diferentes temperaturas climáticas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI – en un periodo de 20 años.

## **1.7 OBJETIVO**

Procesar con criterios estadísticos, de la información obtenida de estaciones meteorológicas del INAMHI en un periodo de 20 años, relacionadas con los factores climáticos: temperaturas y precipitaciones, que permitan determinar la calidad del asfalto a exigir según el método SUPERPAVE en las diferentes regiones geográficas del Ecuador, así como mejorar las consideraciones de las precipitaciones en el diseño de pavimentos.

## **1.8 HIPÓTESIS**

Existe una relación entre los factores climáticos a estudiar temperaturas y precipitaciones con la calidad del asfalto a exigir para las mezclas y el comportamiento de los pavimentos en las diferentes regiones.

## **1.9 METODOLOGÍA**

La presente investigación se realizará mediante un enfoque cuantitativo, debido a que se estudiará los factores climáticos en las diferentes regiones del Ecuador vinculados al diseño de los pavimentos.

Con los datos estadísticos obtenidos se calculará las temperaturas de aire para 7 días, promediando los datos de los 20 años, así como también las temperaturas mínimas del aire para el mismo periodo, determinándose para

ambos caso la desviación standard, para la realización de gráficas relacionadas con la altitud propia de cada región y sus diferentes temperaturas climáticas para el nuevo diseño de los pavimentos.

La metodología que se empleará es el Método No Experimental, procesando información levantada en estudios de campo para el establecimiento de correlaciones y el manejo estadísticos para la aplicación del método SUPERPAVE.

## **CAPÍTULO 2: RECONOCIMIENTO DE LAS REGIONES DE ESTUDIO**

### **2.1 GENERALIDADES**

El Ecuador cuenta con la cordillera de los Andes, que desempeña un papel importante en las modificaciones del clima, por consiguiente a mayor altitud aumenta la presión atmosférica y a su vez disminuye la temperatura del aire, cambiando el sentido de los vientos y la cantidad de precipitación.

Las lluvias aumentan conforme a sus vertientes, que se encuentran en el exterior de las cordilleras, debido a su relieve natural y conforme aumenta la altitud por encima de los 3,200 metros disminuye, manteniendo un clima frío y seco para mantener así un clima estable y poco lluvioso.

### **2.2 UBICACIÓN Y LÍMITES GEOGRÁFICOS**

El Ecuador se encuentra ubicado en el Hemisferio Occidental aproximadamente entre las latitudes 01°28' N (desembocadura río Mataje) a 05° O 2' S (afluencia quebrada San Francisco) y de longitud 75° 11' W (confluencia ríos Napo y Aguarico) a 81° 04' W (Isla de La Plata). (Atlas, 2013).

El Ecuador limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico; tiene una extensión total de 256,370 km<sup>2</sup>. La Línea Equinoccial o Paralelo 0° atraviesa el país dividiendo el territorio continental en dos partes, quedando así la mayor parte del territorio ecuatoriano en el Hemisferio Sur.

### **2.3 RELIEVE DEL ECUADOR**

Se define por relieve ecuatoriano al medio físico cuya formación y transformación no ha sido intervenida por acción del ser humano, sino por el resultado de fuerzas naturales sobre la tierra en miles de millones de años y gobernada por una serie de leyes físicas que explica su estructura, equilibrio y dinámica.

El Ecuador se caracteriza por la diversidad de sus relieves donde llama la atención el sistema montañoso de los Andes que conforma el país continental de norte a sur y lo divide en tres grandes regiones naturales Costa, Sierra y Amazonía.

### **2.4 FORMACIÓN DEL RELIEVE EN EL ECUADOR**

El Ecuador cuenta con su parte central la Sierra, conformado por el sistema montañoso de los Andes, en cambio al este se encuentra la Amazonía que se caracteriza por el conjunto de cordilleras y llanuras, mientras que al oeste se conforma con la región costera identificándose su relieve con llanuras y colinas.

La Sierra está conformada por la cordillera de los Andes, cadena montañosa formada hace 140 millones de años al principio de la era Cretácica, que pertenece al cinturón perifacífico de las cuales algunas montañas de los Andes tienen actividad volcánica.

La Sierra se destaca por tener montañas, aunque su orientación, su anchura, su configuración y altitud en el norte, centro y sur no son iguales. En cuanto a la configuración y altitud de los Andes ecuatorianos o la Sierra, se pueden distinguir tres partes:

- Los Andes septentrional, que va entre la frontera colombiana y la latitud de Palmira - Alausí a 2° 15' S.
- Los Andes centrales, se encuentra entre Palmira - Alausí y Zaruma - Saraguro a 3° 40' S.
- Los Andes meridionales, que va entre Zaruma - Saraguro y la zona fronteriza con el Perú.

Mientras que en los relieves occidentales de la Costa particularmente tienen una anchura variable, cuya parte central es más ancha que en la parte septentrional y la parte sur que se encuentra es más estrecha. Sus relieves son más moderados, ya que ninguno supera los 830 metros de altura y se clasifica en relieves costaneros y por llanuras. A su vez debe distinguirse tres subconjuntos:

- La Costa central, conformado por una línea de altitudes cuyos extremos son denominados como la cordilleras de Mache al norte y de Colonche al sur.
- La Costa norte, se encuentra localizados entre la frontera colombiana y el río Guayllabamba y tiene como límite opuesto las altas colinas de Viche.
- La Península de Salinas, conformada por tres regiones por una cordillera ubicada al sudeste – noroeste, una llanura y al Oriente (Amazonía) por los relieves de la cuenca de Gómez Rendón.

Finamente, los relieves amazónicos formado por colinas que se originan desde la Sierra en los Andes orientales y desciende hasta la llanura amazónica, a su vez está conformado por regiones geográficas como la Alta Amazonía y la Llanura Amazónica.

## 2.5 IDENTIFICACIÓN DEL RELIEVE PARA SU TRAMO DE ESTUDIO

En la realización de este estudio es principal saber establecer una correlación entre clima propio de cada región para el diseño del pavimento, identificado el relieve frente a cada comportamiento de las diferentes temperaturas en los diferentes lugares de estudio.

Con la finalidad de realizar este estudio se muestra un mapa del Ecuador con sus regiones Costa, Sierra y Amazonía sin contar con la región Insular por no ser parte del estudio, proporcionado por el Instituto Geográfico Militar.

Figura 1: Mapa del relieve del Ecuador.



Fuente: Atlas Geográfico de la República del Ecuador, 2013.

## 2.6 EL CLIMA EN EL ECUADOR

El clima en el país está influenciado por los factores atmosféricos, por la geografía propia de cada región, como también por la cordillera de los Andes que interviene en la humedad provocando un ascenso y enfriamiento del aire originado por la región costera y la región amazónica, esto a su vez origina mucha lluvia en las vertientes de las cordilleras y sequía en algunos valles interandinos. Siendo el Ecuador un país con diferencias de altura, desde 0 hasta los 6,310 metros, por lo tanto con una diversidad climatológica entre sus regiones.

En la región Costa la humedad no es uniforme debido al dominio de sus dos corrientes marinas: la corriente del Niño que va de enero a abril, con aire caliente y húmedo que provoca la lluvia con un promedio de temperaturas altas de 30 °C y la corriente de Humboldt que traslada el aire frío y promueve efectos contrarios en los otros meses del año.

Posee un clima tropical o ecuatorial, con una temperatura media anual de 22 y 26 °C, también se caracteriza por generarse precipitaciones en forma desiguales en los distintos lugares durante todo el año en los meses entre diciembre y mediados de mayo, llamado así el periodo de invierno. Esta diferencia de precipitación es provocada por las corrientes marinas de Humboldt y El Niño.

A su vez en la Costa Ecuatoriana se destacan dos subregiones:

- La subregión Externa, ocupa el sur oeste de la Costa, de clima cálido, fresco, seco donde caen las lluvias de enero a abril, esta región es seca y árida pero en invierno algunas veces se humedece.
- La subregión Interna, ocupa el norte de la Costa y el sector contiguo a los Andes es interior de clima cálido, ardiente, húmedo y caen las lluvias de enero a junio.

En la región Sierra se registra climas variados, a causa de la orientación de la cordillera de los Andes y el sentido latitudinal con respecto al movimiento de las masas de aire. Las zonas bajas de los flancos exteriores tienen temperaturas altas que en épocas frescas no descienden por debajo de los 20 °C. En el caso de las precipitaciones aún inciden en lo abundante variando entre máximos y mínimos; por cada 200 metros de altura disminuye un grado centígrado de temperatura.

En la región de la Sierra la altitud modifica el clima, subdividiéndose en los siguientes pisos climáticos:

- Piso Subtropical, comprende desde 1,500 a 2,500 metros de altura con una temperatura entre los 20 °C y 15 °C.
- Piso Templado Subandino, comprende desde 2,500 a 3,500 metros de altura con una temperatura que va entre los 15 °C y 10 °C. Se encuentran las principales ciudades como Quito.
- Piso Frío Andino, comprende desde los 3,500 a 4,650 metros de altura con una temperatura entre los 10 °C a 5 °C. Se encuentran páramos como El Angel, Palmira.
- Piso Glacial, desde los 4,650 metros de altura hasta las cumbres de las elevaciones más altas, con temperaturas de 0 °C.

Finalmente, la región amazónica tiene un ambiente caluroso originado por el ascenso vertical del aire, procedente del Atlántico de noreste y de sureste, que permite condiciones de humedad durante todo el año. En esta región por estar próxima a la cordillera de los Andes genera climas subtropicales, con temperaturas que van alrededor de los 20 °C, pero en la zona propiamente selvática su temperatura media anda por los 24 °C en el mes de julio y 25 °C en el mes de enero, por lo que tiene un clima tipo ecuatorial,

con una humedad elevada. Se presenta lluvias a lo largo de todo el año, con medias que pueden alcanzar hasta los 4,500 milímetros.

A su vez en el Oriente Ecuatoriano se destaca dos subregiones:

- Alto Oriente, se extiende desde la cordillera oriental hasta la Tercera cordillera. Tiene un clima cálido húmedo con una temperatura media de 25 °C, con lluvias que son más abundantes desde la cuenca del Pastaza hacia el norte.
- Bajo Oriente, también conocido como llanura amazónica que se extiende desde el este de la Tercera cordillera y forma parte de la cuenca del Amazonas; el suelo está cubierto por parte de Selva Tropical. El clima es cálido húmedo con temperaturas que sobrepasan los 25 °C llegando hasta los 30 °C esta zona es menos lluviosa.

## **2.7 FACTORES DEL CLIMA**

Los factores climáticos que influyen son la latitud, altitud, los fenómenos marinos y los propios elementos como son el viento, las presiones y las temperaturas.

- La Latitud, por encontrarse ubicado el Ecuador en donde las masas de aire procedentes de los hemisferios norte y sur, proporcionan aire continentales seco desde los meses de mayo - junio hasta septiembre - octubre y relativamente frío durante el resto del año con masas de aire oceánico húmedo y caliente sobre la mayor parte del país. Sin embargo, en la región Costa según la latitud provoca una sola estación lluviosa, cuya intensidad se presenta en el mes de marzo por encontrarse en la zona de convergencia intertropical. En la región Sierra el contacto de las masas de aire entre los dos hemisferios, provoca una primera estación lluviosa entre los meses de marzo – junio y cuando se mueve hacia el sur provoca la segunda estación

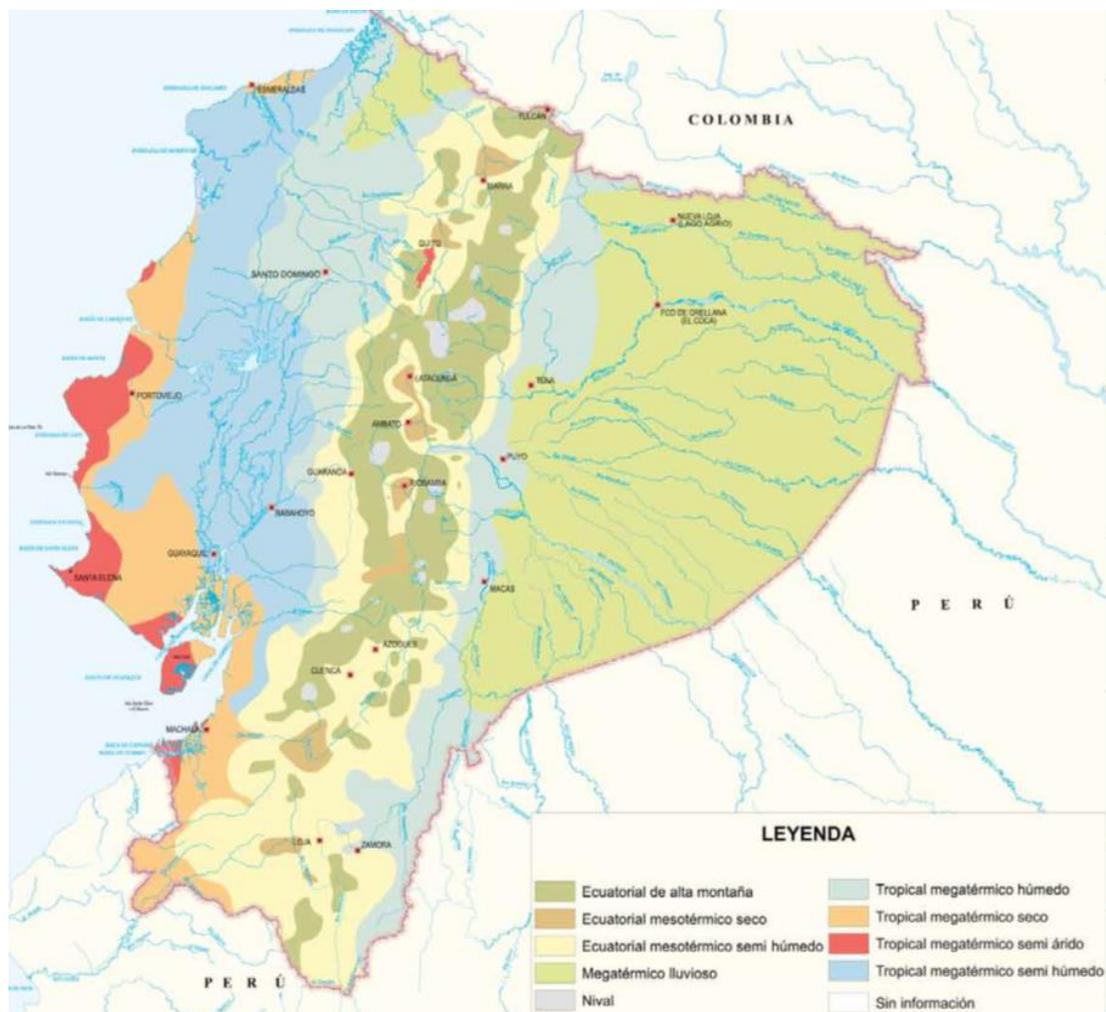
lluviosa entre los meses de octubre – diciembre. Mientras que en la región Amazónica la enorme masa de aire caliente y húmedo provocado por el contacto de las masas de aire hacia el norte y sur, genera un régimen uniforme de lluvia durante todo el año. De acuerdo con esto le corresponde un clima tropical.

- La Altitud, la cordillera de los Andes desempeña una modificación de los elementos climáticos. A mayor altitud, la temperatura del aire, la presión atmosférica desciende, la insolación se incrementa, la cantidad de precipitaciones se modifica y la trayectoria de los vientos cambia. Las lluvias aumentan en las vertientes externas de las cordilleras debido a su relieve. En cambio los vientos y formas de las cordilleras permite provocar lluvias en octubre - noviembre y en febrero - marzo, mientras que por encima de 3,200 metros de altitud las lluvias son menos abundantes e intensas. En otra parte del país como son los valles interandinos la acumulación de aire denso, frío y seco favorece a mantener un clima estable y poco lluvioso.
- Fenómenos marinos, en el océano Pacífico se generan grandes masas de aire húmedas y calientes, cuando estas son empujadas por el viento hacia el continente estas son mezcladas con otras masas de aire tropicales procedentes de llanuras húmedas litorales. También influye la corriente del Niño entre los meses de diciembre – mayo asociadas a masas de aire caliente y húmedas, generando así una estación lluviosa más numerosa en el norte que en el sur y el resto del año recibe la corriente del Humboldt que es una corriente fría, generando una masa de aire frío y seco dando lugar a la estación seca que se presenta más en el sur que al norte.

## 2.8 CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS DEL ECUADOR

Sobre los diferentes climas que tiene el país, se han hecho muchas clasificaciones todas tienen como objetivo establecer la información de una manera simple y generalizada. El resultado es siempre una regionalización climática, según las clases de climas establecidos. La clasificación climática del Ecuador está asociada a los criterios de Wladimir Kóppen propuesta por la publicación proporcionada por el Instituto Geográfico Militar, que divide al Ecuador en nueve climas.

Figura 2: Mapa Tipo de climas del Ecuador.



Fuente: Atlas Geográfico de la República del Ecuador, 2013.

De la Figura 2 es posible apreciar los diferentes climas existentes en las regiones de la Costa Sierra y Amazonía. Por la gran importancia que ejerce el clima para el diseño del pavimento, es necesario conocer las características que lo identifican.

- Tropical Megatérmico Semi Árido, pertenece sobre todo a la península de Salinas y al Cabo San Lorenzo. Los valores medios anuales son aproximadamente de 24 °C de temperatura y precipitaciones inferiores a los 500 milímetros. La estación lluviosa se agrupa entre los meses de enero y abril, mientras el verano es muy seco y de temperaturas elevadas. En Salinas es donde se observan los valores mínimos anuales, tanto de lluvia de 126 milímetros como también como la temperatura de 23,4 °C, por la influencia de la corriente fría de Humboldt.
- Megatérmico Lluvioso, se caracteriza por tener una temperatura media anual de 25 °C; con una precipitación anualmente más de 3,000 milímetros, distribuidos uniformemente durante todo el año.
- Tropical Megatérmico Semi Húmedo, este clima como el anterior, presenta una estación seca entre los meses de junio a noviembre y con meses de lluvia total anual entre 1,000 y 2,000 milímetros.
- Tropical Megatérmico Seco, comprende con una precipitación entre 500 y 1,000 milímetros entre los meses entre diciembre y mayo. Esta estación se caracteriza por ser muy marcada como estación seca entre los meses de junio – noviembre y sus temperaturas medias anuales son un poco más elevadas.
- Tropical Megatérmico Húmedo, contiene temperaturas casi uniforme y varían muy poco según la altitud, las lluvias se presentan en todo el

año con predominio más marcado en invierno que en verano superiores a los 2,000, pudiendo alcanzar los 4,000 milímetros.

- Ecuatorial de Alta Montaña, presenta un clima ecuatorial frío, páramo de alta montaña determinado por su altitud, se caracteriza por tener una temperatura anual media entre los 4 y 8 °C. Los valores máximos nunca superan los 20 °C y los mínimos siempre están debajo de 0 °C. Las precipitaciones anuales se encuentra entre 1,000 y 2,000 milímetros.
- Ecuatorial Mesotérmico Semi Húmedo, presenta climas más frecuentes en la región Sierra, se caracteriza por tener temperaturas irregulares, siendo más elevadas en los meses de marzo y septiembre y temperaturas promedias más bajas en los meses de junio y julio. Es el clima más generalizado en el callejón interandino.
- Ecuatorial Mesotérmico Seco, presenta climas más frecuentes en la región Sierra con temperaturas entre los 18 y 22 °C con poca variación entre verano e invierno. Se caracteriza por tener precipitaciones anuales inferiores a los 500 milímetros anualmente.
- Nival, este clima se encuentra sobre los 4,500 metros de altitud, correspondiente aproximadamente con las temperaturas menores de los 0 °C.

## **CAPÍTULO 3: AFECTACIÓN DEL CLIMA EN EL PAVIMENTO**

### **3.1 GENERALIDADES**

En el país se pueden encontrar, tanto en las regiones Costa, Sierra y Amazonía pavimentos que han sido afectados por diferentes factores climáticos, ya sea por las temperaturas máximas o mínimas, por el gradiente térmico, por la radiación solar intensa, así como por los efectos de flujos de aguas superficiales y subterráneas que inciden en el deterioro prematuro del pavimento.

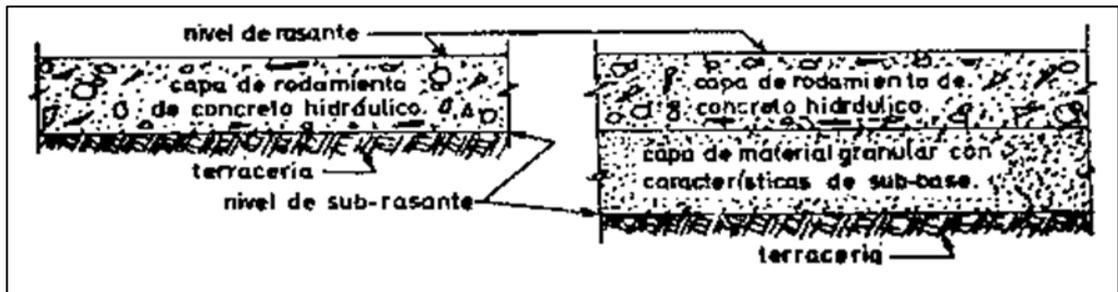
Se define como pavimento a la estructura de capas de materiales de diferentes tipos (ligados o no) que recibe las cargas propias del tránsito vehicular y el efecto de los agentes climáticos, y garantiza la circulación vehicular durante su periodo de vida útil.

### **3.2 TIPOS DE PAVIMENTOS**

En el país existen mayormente dos tipos de pavimentos, los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia entre ambos pavimentos está dada por la forma en que distribuyen los esfuerzos sobre la subrasante.

El pavimento rígido está estructurado por una losa de concreto que suele constituir la capa de rodamiento, que sirve para distribuir y soportar las cargas vehiculares. Cuando el suelo es de mala calidad formado por las terracerías, se utiliza debajo de esta losa una subbase, conformado con grava bien gradada y compactada o un suelo estabilizado para así conseguir una mejor distribución de cargas.

Figura 3: Estructura de pavimento rígido.



Fuente: Vías de comunicación caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

El pavimento flexible está conformado por una capa subbase que se construye sobre la terracería, conformado con material obtenido de depósitos cercanos a la obra.

Sus funciones son:

- Reducir el costo del pavimento, disminuyendo la capa base que se construye con materiales más costoso, cumpliendo las especificaciones más rígidas establecidas.
- Aislar la capa base de la terracería, ya que está constituida con material fino y plástico pudiéndose mezclar el material de la terraza con los de la capa base de textura abierta, provocando cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, igualmente provocando una disminución a la resistencia estructural de la capa base.

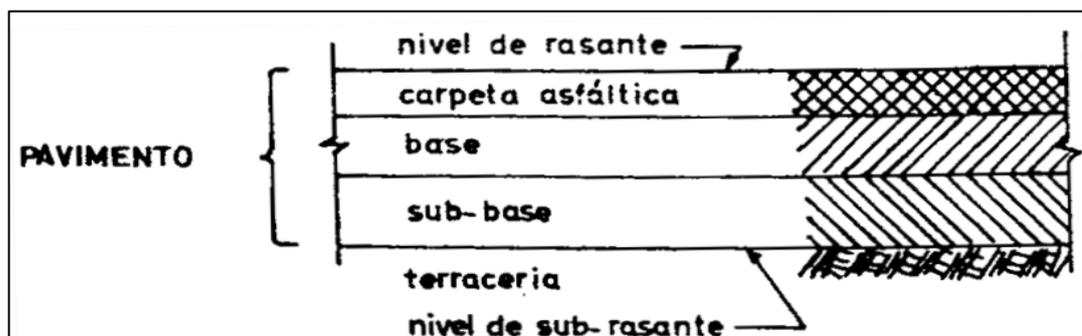
Adicionalmente, cuenta con una capa base estructurada con materiales de mejor calidad que se construye sobre la capa de subbase. Las principales funciones de esta capa son:

- Tener la resistencia estructural para tolerar las presiones transmitidas por vehículos en movimiento o estacionados.
- Tener un espesor suficiente para que no exceda la resistencia estructural al ser transmitidas dichas presiones a la subbase.
- Para no presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.

Finalmente, presenta la carpeta asfáltica, compuesta de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base para cumplir con lo siguiente:

- Proveer una superficie de rodamiento que permita una circulación vehicular adecuada, segura todo el tiempo para los vehículos.
- Impedir la infiltración del agua lluvia hacia las capas inferiores, para impedir que el agua reduzca su capacidad para soportar cargas vehiculares.
- Evitar la acción destructora de los agentes climáticos y vehiculares.

Figura 4: Estructura de pavimento flexible.



Fuente: Vías de comunicación caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

### **3.3 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS PAVIMENTOS**

La temperatura es un factor climático principal por su afectación en los pavimentos, principalmente para los flexibles, ya que las capas asfálticas varían su módulo de rigidez y su comportamiento en general de acuerdo con las variaciones de los cambios de temperatura.

Un ejemplo se puede mencionar: una capa asfáltica de rodadura puede variar su módulo de rigidez entre 10,000 kg/cm<sup>2</sup> a 150,000 kg/cm<sup>2</sup> de verano a invierno, de manera similar, una capa de base asfáltica puede variar entre 20,000 kg/cm<sup>2</sup> a 100,000 kg/cm<sup>2</sup> para las mismas condiciones.

En climas cálidos, la deformación permanente del pavimento flexible se origina por los cambios de temperaturas, comportándose el asfalto como un material viscoso, obligando a una buena selección de material asfáltico en condiciones imperantes.

En los climas de temperaturas bajas, el pavimento puede presentar agrietamientos térmicos debido a la utilización de ligantes asfálticos muy duros, generándose una contracción de la carpeta asfáltica; y en temperaturas intermedias actúa como una combinación de los dos fenómenos. Los pavimentos flexibles con ligantes asfálticos muy oxidados o envejecidos son más vulnerables a sufrir agrietamientos.

Se puede decir que el comportamiento reológico del asfalto, obedece a la temperatura del asfalto como de la duración de la carga vehicular. En situaciones con altas temperaturas y/o cargas lentas, el asfalto recibe un comportamiento como un líquido viscoso. En condiciones de bajas temperaturas y/o cargas rápidas vehiculares, el comportamiento del asfalto es de tipo sólido elástico, cuya rigidez depende las condiciones específicas de temperatura.

A continuación se explica su comportamiento en sus tres condiciones climáticas:

- *Comportamiento del asfalto a alta temperatura* en las condiciones de climas cálidos o bajo cargas vehiculares con movimientos despacio de vehículos pesados, el asfalto actúa como un líquido viscoso. En estas circunstancias, el agregado de la mezcla asfáltica es la que soporta la carga vehicular más que el asfalto. En los asfaltos líquidos recibe un comportamiento plástico cuando comienza a fluir y no retoma a su posición original, por tal motivo en climas calientes, algunas mezclas asfálticas menos estables, fluyen bajo cargas repetidas, se producen una acumulación de deformación al paso de vehículos llamado rutting en función también de las características del agregado.
- *Comportamiento del asfalto a bajas temperaturas* en épocas frías o bajo cargas que actúan rápidamente, el asfalto se comportará como un sólido elástico que posee un esfuerzo último, que siendo cargado más de su nivel de carga máxima puede fracturarse. Estas grietas por temperatura pueden ocurrir en los pavimentos asfálticos en épocas frías, cuando la carga térmica es aplicada por esfuerzos de tensión internos que pueden suceder en pavimentos cuando se contrae, siendo limitada por las capas inferiores base y subbase.
- *Comportamiento del asfalto a temperaturas intermedias* en la mayor cantidad de pavimentos son construidos en lugar con climas que experimentan temperaturas bajas o altas en periodos cortos de tiempo diarios. A estas temperaturas, los ligantes asfálticos tienen comportamiento de un líquido viscoso y de un sólido elástico.

También en ocasiones el gradiente térmico produce diariamente cambios volumétricos en el interior de la carpeta asfáltica, lo que produce esfuerzos cíclicos de tracción y compresión, provocando fallas por fatiga.

Otra consecuencia es provocada por la radiación solar severas que se producen en las zonas de altura, causante de la evaporación de las fracciones blandas del asfalto originándose la oxidación y el envejecimiento de las estructuras asfálticas, el incremento de permeabilidad de la capa y la perdida de material fino de la mezcla asfáltica conocido con el nombre de peladura.

### **3.4 EFECTOS DE LAS PRECIPITACIONES EN LOS PAVIMENTOS**

Los efectos provocados por las precipitaciones se originan en la capa de rodadura, al escurrir agua sobre la superficie asfáltica, formando una delgada capa de agua, provocando un resbalamiento en la superficie de la pavimento, por tal motivo se debe considerar el efecto que provoca las precipitaciones al tipo de textura superficial, para no tener el problema de patinaje provocado por el agua (agua planning).

También las precipitaciones provocan exudaciones sobre pavimentos en la superficie, provocando un efecto de resbalamiento por lisura superficial haciendo que la carretera sea poco segura con la presencia del agua a altas velocidades.

La combinación de los efectos de precipitaciones y temperaturas altas en la carpeta asfáltica produce una oxidación del asfalto. La oxidación del asfalto da como resultado la pérdida de elasticidad y cohesión, manifestando un fenómeno de agrietamiento, produciendo una destrucción más acelerada para el pavimento según la cantidad de lluvia en la región del país; estas precipitaciones se infiltran por las grietas que pueden tener los pavimentos disminuyendo el soporte de bases y subbases.

El agua superficial forma parte de la oxidación del asfalto, provocado cuando ingresa agua por los vacíos de la capa de rodadura. Sin embargo se produce un efecto destructivo mayor cuando se manifiesta en forma combinada con cargas de tráfico, ya que el agua colocada en las fisuras del pavimento, por efecto de la presión ejercida por los neumáticos, provoca una presión de poros que gradualmente destruye el pavimento asfáltico.

Las precipitaciones generan fallas estructurales en los pavimentos flexibles como son las apariciones de grietas longitudinales con aberturas de 5 mm, esto se debe al fenómeno que ocurre en la base, subbase provocados por los cambios volumétricos por la variación del contenido de agua.

Igualmente, el pavimento al estar en contacto con el medio ambiente, en los periodos de lluvia como los de estiaje, su comportamiento se ve afectado presentando variaciones en los módulos de los materiales. Estas variaciones son consecuencia de la filtración de agua en los materiales granulares que conforma las bases y subbases, ya sea por superficie del pavimento que presenta agrietamiento por fatiga o por cambios de temperatura.

El efecto de bombeo es provocado cuando la carga vehicular pasa sobre una grieta o junta de la losa del pavimento, está descende y provoca una presión a la subbase. Si el suelo se encuentra saturado o húmedo, la presión la tomará el agua escapándose por las grietas o juntas del pavimento. Luego de pasar la carga, la losa se recupera y se levanta provocando una succión que genera el movimiento del agua debajo de la losa. Si el agua tiene la capacidad de arrastrar partículas del suelo provocará un vacío bajo ésta, a su vez se remueve las partículas finas granulares generando un lodo o suspensión con el agua, provocando la ruptura de la losa bajo la carga por falta de cimentación. Para que exista bombeo el material de soporte del pavimento debe ser muy fino como el suelo CH y que se encuentre humedecido o saturado con un gran número de repeticiones de carga, encontrándose disponible para la erosión por bombeo.

Figura 5: Erosión por Bombeo y Escalonamiento.

Figura 5.1: Carga vehicular pasa sobre losa.

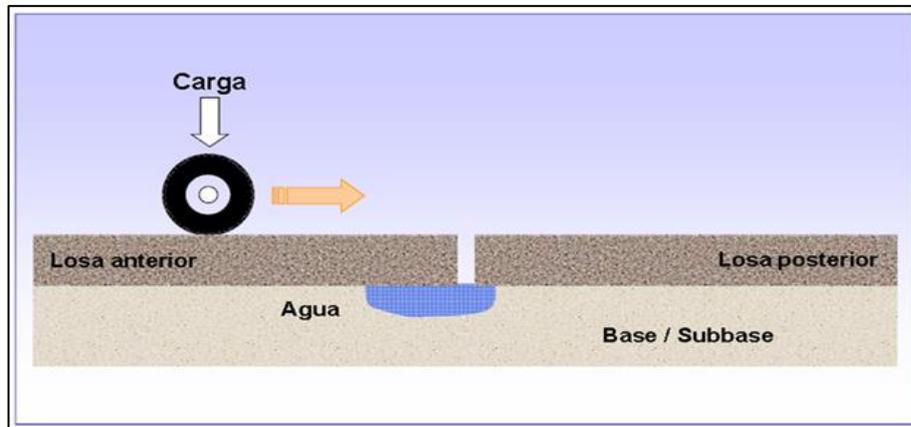


Figura 5.2: Carga vehicular pasa sobre grieta.

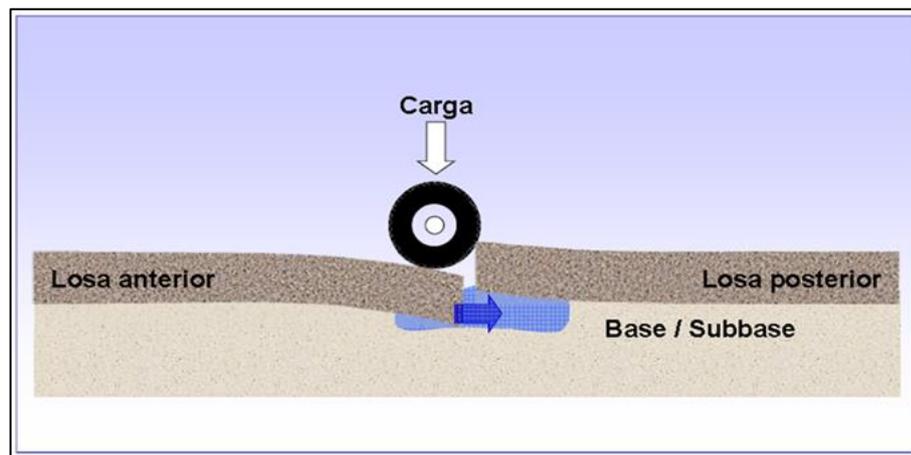


Figura 5.3: Presión a la subbase.

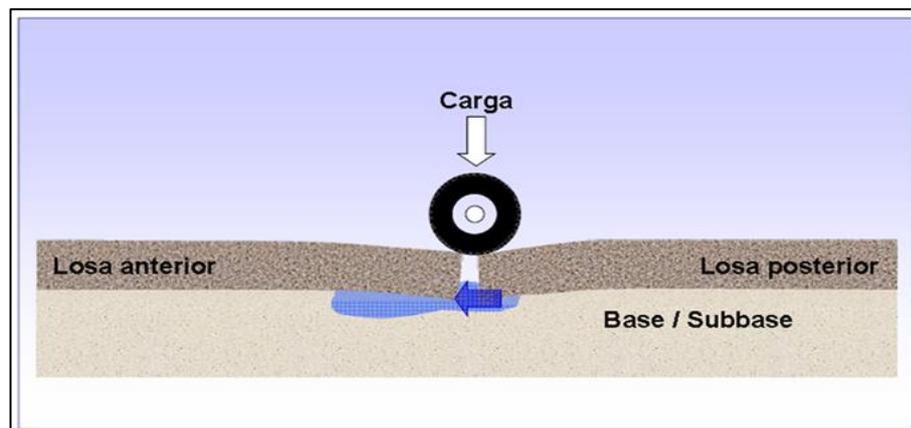


Figura 5.4: Erosión por Bombeo.

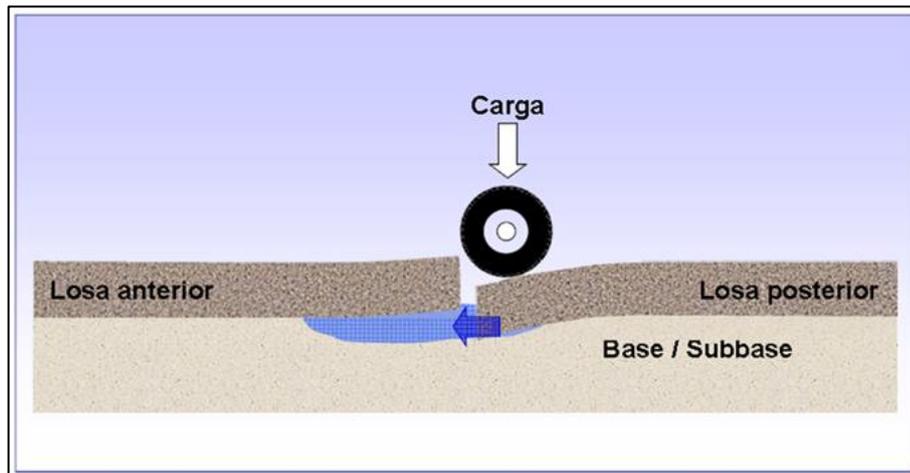
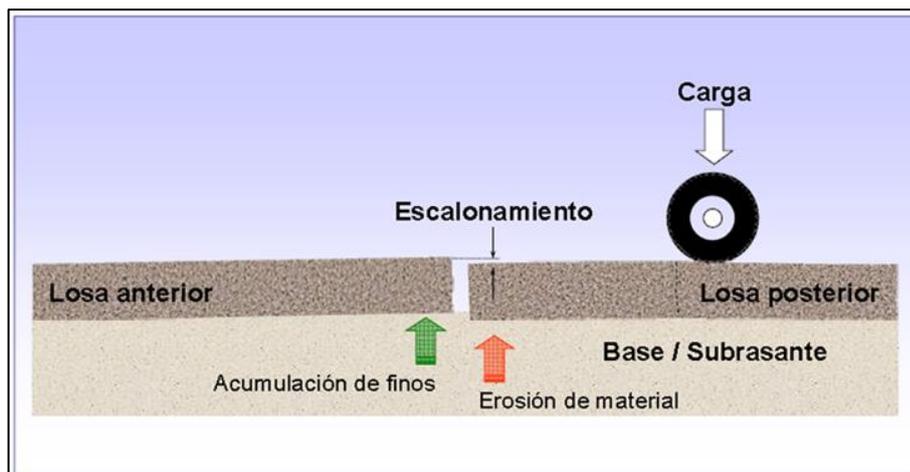


Figura 5.5: Erosión por Bombeo y Escalonamiento.



Fuente: Diseño y construcción de pavimentos de hormigón.

También se generan agrietamientos longitudinales con dimensiones de 0,5 cm en toda la zona de circulación de cargas generalmente las más pesadas, provocado por los movimientos de las capas de pavimentos en dirección horizontal, esto ocurre en la subrasante por los cambios volumétricos por la variación del contenido de agua.

## **CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL MÉTODO SUPERPAVE**

### **4.1 GENERALIDADES**

El Método SUPERPAVE tiene como finalidad controlar la deformación permanente, el agrietamiento por fatiga y el agrietamiento a bajas temperaturas, ocasionadas por el cambio de temperaturas tanto altas como mínimas, presentadas en el pavimento para modelar su comportamiento, considerando que el ligante asfáltico es un material susceptible a las variaciones térmicas en los pavimentos.

### **4.2 MÉTODO SUPERPAVE**

El Método Superpave está conformado por tres componentes básicos:

- Las especificaciones para los ligantes asfálticos fundamentada en el desempeño.
- El procedimiento de diseño de las mezclas asfálticas.
- La técnica de análisis de mezclas para predecir su desempeño.

Estos componentes fueron creados para aplicarse de manera conjunta, especialmente las especificaciones de los ligantes que se lo realizaron primero, seguido después por el procedimiento de diseño de la mezclas asfálticas, mientras que las técnicas de análisis de mezcla solo se lo ha realizado de manera limitada para algunos ensayo y proyectos experimentales o para la realización de otras aplicaciones especiales (Mc. Daniel, 2007), manteniéndose esta situación hasta el presente.

Por este motivo, se puede decir que muchos países es habitual encontrar para el análisis de mezclas asfálticas el empleo de pruebas de desempeño no correspondientes al Método del SUPERPAVE.

El Método SUPERPAVE utiliza un sistema de ensayos, especificaciones y selección de ligantes asfálticos para tener como referencia, el resultado del comportamiento de los pavimentos, permitiendo calcular la vida de servicio de las mezclas asfálticas en caliente, con relación a los ejes equivalentes de carga o al tiempo transcurrido para alcanzar un nivel de fisuramiento por fatiga, ahuellamiento, fisuramiento por baja de temperatura propia de los pavimentos.

Adicionalmente el Método SUPERPAVE, clasifica a los ligantes en función de un rango de temperatura, el cual el pavimento tendrán propiedades físicas adecuadas para así tener un buen comportamiento a las diferentes formas de fallas relacionadas al tipo de ligante. Por eso es necesario determinar las temperaturas extremas a la que los pavimentos asfálticos estarán sometidos de acuerdo a su ubicación geográfica.

### **4.3 SELECCIÓN DEL GRADO ASFÁLTICO**

La nueva especificación del Método SUPERPAVE para ligantes presenta un rango único para la selección de los ligantes y la performance vial, en función del clima prescrita a continuación.

**Tabla 3: Especificación Superpave para Ligante Asfáltico.**

| GRADO LIGANTE  | PG 46    |       |       | PG 52 |       |       |       |       |       | PG 58 |       |       |       |       | PG 64 |       |       |       |       |       |       |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | -34      | -40   | -46   | -10   | -16   | -22   | -28   | -34   | -40   | -46   | -16   | -22   | -28   | -34   | -40   | -10   | -16   | -22   | -28   | -34   | -40   |
| Temperatura máxima de diseño del pavimento, promedio de 7 días, °C (a)   | < 46     |       |       | < 52  |       |       |       |       |       | < 58  |       |       |       |       | < 64  |       |       |       |       |       |       |
| Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C (a)   | > -34    | > -40 | > -46 | > -10 | > -16 | > -22 | > -28 | > -34 | > -40 | > -46 | > -16 | > -22 | > -28 | > -34 | > -40 | > -10 | > -16 | > -22 | > -28 | > -34 | > -40 |
| <b>ASFALTO ORIGINAL</b>  |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Temperatura Flesh Point, T48; Mínima °C  | 230      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Viscosidad, ASTM D4402; (b)<br>Máximo 3 Pa*s,<br>Temperatura de ensayo, °C                                     | 135      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Corte Dinámico, TP5; (c)<br>G*/sen (δ) Mínimo: 1.00 kPa,<br>Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C               | 46       |       |       | 52    |       |       |       |       |       | 58    |       |       |       |       | 64    |       |       |       |       |       |       |
| <b>HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA</b>   |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Pérdida de masa, Máxima, %   | 1.00     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Corte Dinámico, TP5;<br>G*/sen (δ) Mínimo: 2.20 kPa,<br>Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C                   | 46       |       |       | 52    |       |       |       |       |       | 58    |       |       |       |       | 64    |       |       |       |       |       |       |
| <b>ENVEJECIMIENTO EN RECIPIENTE PRESURIZADO</b>  |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Temperatura de Envejecimiento en PAV, °C (d)   | 90       |       |       | 100   |       |       |       |       |       | 100   |       |       |       |       | 100   |       |       |       |       |       |       |
| Corte Dinámico, TP5;<br>G*/sen (δ) Máximo: 5000 kPa,<br>Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C                   | 10       | 7     | 4     | 25    | 22    | 19    | 16    | 13    | 10    | 7     | 25    | 22    | 19    | 16    | 13    | 31    | 28    | 25    | 22    | 19    | 16    |
| Endurecimiento Físico (e)  | INFORMAR |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Módulo de Rigidez, TP1; (f)<br>S máximo: 300 MPa; valor mínimo de m: 0.300<br>Temperatura de ensayo a 60 s, °C | -24      | -30   | -36   | 0     | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   | -36   | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   | 0     | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   |
| Tracción directa, TP3; (f)<br>Deformación de Rotura mínima: 1%<br>temperatura de ensayo a 1.0 mm/min, °C       | -24      | -30   | -36   | 0     | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   | -36   | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   | 0     | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   |

| GRADO LIGANTE  | PG 70   |       |       |       |       |       | PG 76     |       |       |       |       | PG 82     |       |       |       |       |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|  | -10   | -16   | -22   | -28   | -34   | -40   | -10       | -16   | -22   | -28   | -34   | -10       | -16   | -22   | -28   | -34   |
| Temperatura máxima de diseño del pavimento, promedio de 7 días, °C (a)   | < 70  |       |       |       |       |       | < 76      |       |       |       |       | < 82      |       |       |       |       |
| Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C (a)   | > -10   | > -16 | > -22 | > -28 | > -34 | > -40 | > -10     | > -16 | > -22 | > -28 | > -34 | > -10     | > -16 | > -22 | > -28 | > -34 |
|  | <b>ASFALTO ORIGINAL</b>                         |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Temperatura Flesh Point, T48; Mínima °C  | 230   |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Viscosidad, ASTM D4402; (b)<br>Máximo 3 Pa*s,<br>Temperatura de ensayo, °C                                     | 135   |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Corte Dinámico, TP5; (c)<br>G*/sen (δ) Mínimo: 1.00 kPa,<br>Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C               | 70  |       |       |       |       |       | 76        |       |       |       |       | 82        |       |       |       |       |
|  | <b>HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA</b>      |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Pérdida de masa, Máxima, %   | 1.00  |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Corte Dinámico, TP5;<br>G*/sen (δ) Mínimo: 2.20 kPa,<br>Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C                   | 70  |       |       |       |       |       | 76        |       |       |       |       | 82        |       |       |       |       |
|  | <b>ENVEJECIMIENTO EN RECIPIENTE PRESURIZADO</b> |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Temperatura de Envejecimiento en PAV, °C (d)   | 100 (110)                                       |       |       |       |       |       | 100 (110) |       |       |       |       | 100 (110) |       |       |       |       |
| Corte Dinámico, TP5;<br>G*/sen (δ) Máximo: 5000 kPa,<br>Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C                   | 34  | 31    | 28    | 28    | 22    | 19    | 37        | 34    | 31    | 28    | 25    | 40        | 37    | 34    | 31    | 28    |
| Endurecimiento Físico (e)  | INFORMAR  |       |       |       |       |       |           |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
| Módulo de Rigidez, TP1; (f)<br>S máximo: 300 MPa; valor mínimo de m: 0.300<br>Temperatura de ensayo a 60 s, °C | 0   | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   | 0         | -6    | -12   | -18   | -24   | 0         | -6    | -12   | -18   | -24   |
| Tracción directa, TP3; (f)<br>Deformación de Rotura mínima: 1%<br>temperatura de ensayo a 1.0 mm/min, °C       | 0   | -6    | -12   | -18   | -24   | -30   | 0         | -6    | -12   | -18   | -24   | 0         | -6    | -12   | -18   | -24   |

Fuente: Asphalt Institute. Antecedentes de los Métodos de Ensayo de Ligantes Asfálticos de Superpave.

Las temperaturas deben cumplir los requerimientos siendo esto lo que diferencia los varios grados de ligantes.

En la tabla descrita a continuación se muestra los grados de ligantes corrientes en la especificación SUPERPAVE de ligantes, pero también incluyen los grados PG 76 y PG 82 que son usados para cargas bajas de velocidad o cargas estacionadas o excesivo tránsito de camiones.

**Tabla 4: Grados del ligante de Superpave.**

|    | <b>Alta Temperatura</b> | <b>Baja Temperatura</b>    |
|----|-------------------------|----------------------------|
| PG | 46                      | 34, 40, 46                 |
| PG | 52                      | 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46 |
| PG | 58                      | 16, 22, 28, 34, 40         |
| PG | 64                      | 10, 16, 22, 28, 34, 40     |
| PG | 70                      | 10, 16, 22, 28, 34, 40     |
| PG | 76                      | 10, 16, 22, 28, 34         |
| PG | 82                      | 10, 16, 22, 28, 34         |

El Método SUPERPAVE dispone de tres métodos con lo que se puede seleccionar el grado del ligante asfáltico:

- Áreas geográficas: se desarrolla un mapa geográfico basado en el clima y/o ubicación política con los grados de ligantes a utilizar para el diseño del pavimento.
- Temperaturas del pavimento: para conocer la temperatura de diseño del pavimento.
- Temperatura del aire: para poder determinar la temperatura del aire, la cual se convertirá en la temperatura de diseño del pavimento.

Este método adicionalmente cuenta con la confiabilidad que no es otra cosa que el porcentaje de probabilidad en un año único, siendo que la temperatura real no exceda a la temperatura de diseño.

La selección del ligante en SUPERPAVE es muy flexible, ya que los diferentes niveles de confiabilidad pueden ser determinados a los grados de altas y bajas temperaturas.

En un año promedio hay un 50% de probabilidades de que el valor de temperatura máxima del aire exceda y un 2% de probabilidades de que exceda a la temperatura de diseño dando un 98% de confianza.

En el diseño, el grado de comportamiento de los asfaltos se lo realiza considerando la región geográfica y las temperaturas a las cuales el pavimento estará sometido a partir de los registros históricos de temperatura del aire, proporcionado por la identidad meteorológica del país.

Esta información proporcionada por las estaciones meteorológicas, debe contar con registros de temperatura climáticas por un periodo de 20 años y para cada año se debe determinar:

- La temperatura máxima que es el resultado del promedio de las temperaturas de los siete días consecutivos más calurosos del año (temperatura del aire).
- La temperatura mínima del día más frío del año (temperatura del aire).

Para los dos casos de series de datos que son considerados como la temperatura máxima del aire y la temperatura mínima del aire, debe determinarse su promedio y la desviación estándar.

#### **4.4 CONVERSIÓN A TEMPERATURA DEL PAVIMENTO.**

El método SUPERPAVE calcula la temperatura máxima del pavimento a los 20 mm por debajo de la superficie y calcula la temperatura mínima en la superficie del pavimento.

Para la temperatura máxima del pavimento, Superpave determino a partir de las temperaturas del aire y del coeficiente (Lat) dado por la ubicación geográfica de la zona a pavimentar (latitud), dado por la ecuación siguiente:

$$T_{20\text{mm}} = (T_{\text{aire}} - 0.00618 \cdot \text{lat}^2 + 0.2289 \cdot \text{lat} + 42.2) \cdot (0.9545) - 17.78$$

Dónde:

$T_{20\text{mm}}$  = temperatura del pavimento a una profundidad de 20 mm, en °C.

$T_{\text{aire}}$  = promedio de la temperatura del aire para el más caluroso periodo de 7 días, en °C.

$\text{Lat}$  = latitud del proyecto, en grados.

Para la temperatura mínima se tiene dos maneras para su determinación para la baja temperatura de diseño del pavimento. Una forma es adoptando como baja temperatura de diseño el pavimento la misma temperatura baja del aire, este método es recomendado por los investigadores SHRP, ya que la temperatura del pavimentos en climas fríos, es siempre mayor que la temperatura del aire. El segundo método es la utilización de la formula desarrollada por los investigadores SHRP descripta a continuación:

$$T_{\text{min}} = 0.859 \cdot T_{\text{aire}} + 1.7^{\circ}$$

Dónde:

$T_{\text{min}}$  = temperatura mínima de diseño del pavimento en °C.

$T_{\text{aire}}$  = temperatura mínima del aire en un año promedio en °C.

## 4.5 BASE DE DATOS CLIMÁTICOS

Para la selección de la base de datos climáticos se realizaron los siguientes pasos:

- Recopilación de información de los anuarios proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI – en su página web en un periodo de 20 años, a partir de 1991 y hasta el 2010.
- Se seleccionaron las estaciones climatológica con la información más completa detallando así sus temperaturas medias, temperaturas absolutas, tanto máximas como mínimas, sus precipitaciones con sus respectivas altitudes y latitudes dando como resultado la recopilación ajuntada a continuación:

**Tabla 5: Estaciones climáticas del Ecuador Provincia de la Costa.**

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62     | 5        |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86     | 55       |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48     | 319      |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92     | 20       |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66     | 36       |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04     | 46       |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39     | 50       |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59     | 156      |
|                   | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48     | 263      |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80     | 7        |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55     | 14       |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52     | 19       |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10     | 120      |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20     | 6        |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12     | 13       |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20     | 35       |
|                   | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66     | 50       |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23     | 13       |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29     | 5        |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38     | 223      |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70     | 1100     |

Fuente: Datos proporcionado por el INAMHI.

**Tabla 6: Estaciones climáticas del Ecuador Provincia de la Sierra.**

| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | Nº | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     |
|            | PEDRO F, C, (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     |

Fuente: Datos proporcionado por el INAMHI.

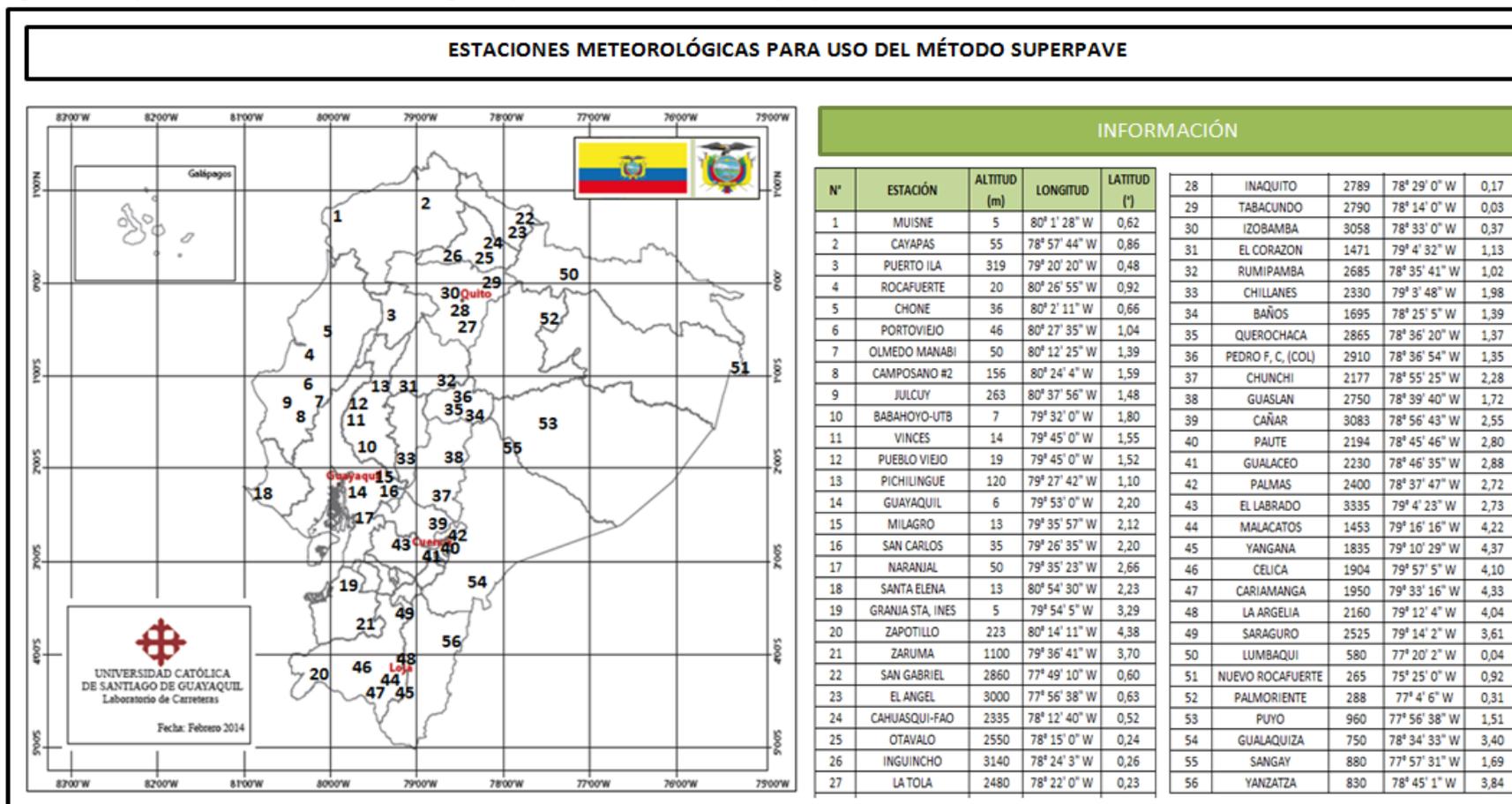
**Tabla 7: Estaciones climáticas del Ecuador Provincia de la Amazonía.**

| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | Nº | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      |

Fuente: Datos proporcionado por el INAMHI.

Estas estaciones se pueden apreciar en el siguiente mapa:

Figura 6: Mapa de Estaciones Meteorológicas para uso del Método Superpave.



- Estas estaciones descritas anteriormente solo maneja información de datos mensuales y los datos diarios en la mayoría de los casos como valores absolutos.
- Luego se realizó una visita a las oficinas del INAMHI ubicada en las calles Pichincha 307 y 9 de Octubre en el Edificio Banco del Pichincha en el piso 5, para tratar de buscar los datos diarios en un periodo de 20 años, encontrándose que la misma no es archivada para la mayoría de las estaciones climáticas.
- Posteriormente, pudo recopilarse la información de bases climáticas diarias en periodos de 20 años existente fundamentalmente en algunas estaciones vinculadas a aeropuertos, correspondientes a las ciudades más importantes del país siendo: Guayaquil, Quito y Puyo. Esta información es de mucho interés para tratar de correlacionar matemáticamente las temperaturas máximas según el sistema SUPERPAVE (datos diarios) con las máximas que pudieran obtenerse a partir de los datos mensuales.

#### **4.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CORRESPONDIENTES A LAS ESTACIONES VINCULADAS A AEROPUERTOS**

Una vez realizada la comparación de resultados para las ciudades de Guayaquil, Quito y Puyo utilizando la información meteorológica de estaciones vinculadas a aeropuertos de temperaturas máximas y mínimas diarias como mensuales consecutivas en un periodo de 20 años, siguiendo la metodología del SUPERPAVE, con los resultados de un procesamiento similar a los anuarios para la información mensuales, se pudo valorar las diferencias para luego establecer las posibles correlaciones.

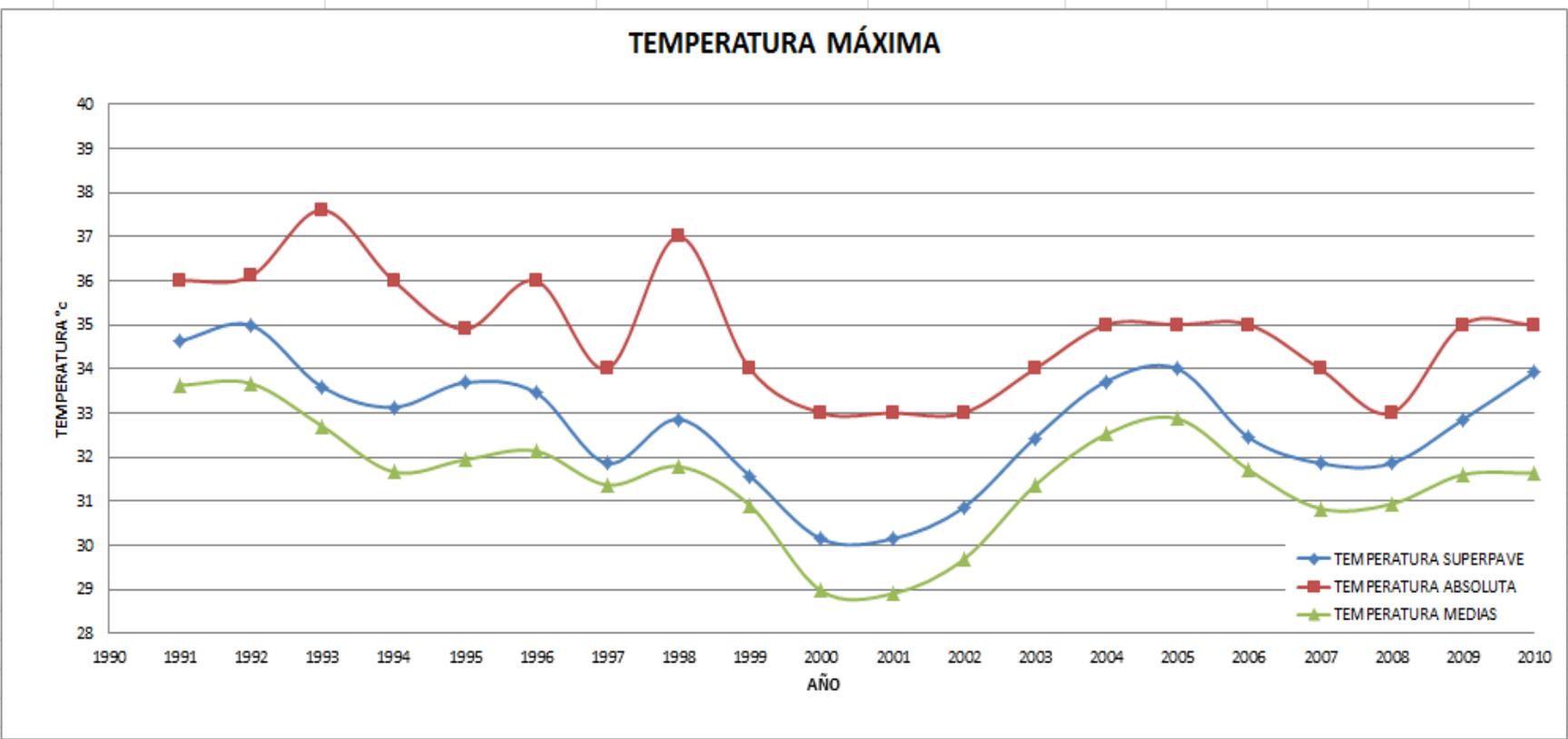
Para la ciudad de Guayaquil se obtuvo el siguiente cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C.

**Tabla 8: Cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C (Ciudad de Guayaquil).**

| TEMPERATURA MÁXIMA °C      |                                   |   |                                      |
|----------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| AÑOS                       | DATOS DIARIOS<br>MÉTODO SUPERPAVE | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA ABSOLUTA | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA MEDIA |
| 1991                       | 34,6                              | 36,0                                    | 33,6                                 |
| 1992                       | 35,0                              | 36,1                                    | 33,7                                 |
| 1993                       | 33,6                              | 37,6                                    | 32,7                                 |
| 1994                       | 33,1                              | 36,0                                    | 31,7                                 |
| 1995                       | 33,7                              | 34,9                                    | 31,9                                 |
| 1996                       | 33,5                              | 36,0                                    | 32,1                                 |
| 1997                       | 31,9                              | 34,0                                    | 31,4                                 |
| 1998                       | 32,9                              | 37,0                                    | 31,8                                 |
| 1999                       | 31,6                              | 34,0                                    | 30,9                                 |
| 2000                       | 30,1                              | 33,0                                    | 29,0                                 |
| 2001                       | 30,1                              | 33,0                                    | 28,9                                 |
| 2002                       | 30,9                              | 33,0                                    | 29,7                                 |
| 2003                       | 32,4                              | 34,0                                    | 31,4                                 |
| 2004                       | 33,7                              | 35,0                                    | 32,5                                 |
| 2005                       | 34,0                              | 35,0                                    | 32,9                                 |
| 2006                       | 32,4                              | 35,0                                    | 31,7                                 |
| 2007                       | 31,9                              | 34,0                                    | 30,8                                 |
| 2008                       | 31,9                              | 33,0                                    | 30,9                                 |
| 2009                       | 32,8                              | 35,0                                    | 31,6                                 |
| 2010                       | 33,9                              | 35,0                                    | 31,6                                 |
| <b>Media</b>               | 32,7                              | 34,8                                    | 31,5                                 |
| <b>Desviación Estandar</b> | 1,4                               | 1,3                                     | 1,3                                  |

A continuación se representa una gráfica comparativa de las temperaturas máximas para la ciudad de Guayaquil.

Figura 7: Comparación de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Guayaquil).



Donde la temperatura media es la temperatura mayor de las medias máximas mensuales correspondientes para cada año y la temperatura absoluta es la temperatura máxima absoluta correspondiente al día más caluroso del año.

Luego se realizó el siguiente cuadro comparativo entre la diferencia entre las curvas de temperaturas máximas Superpave y Medias de la ciudad de Guayaquil.

**Tabla 9: Cuadro comparativo de las diferencias de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Guayaquil).**

| AÑOS | SUPERPAVE<br>TEMPERATURA MÁXIMA | TEMPERATURA MEDIA<br>TEMPERATURA MÁXIMA | DIFERENCIA DE<br>TEMPERATURA |
|------|---------------------------------|---|------------------------------|
| 1991 | 34,6                            | 33,6                                    | 1,0                          |
| 1992 | 35,0                            | 33,7                                    | 1,3                          |
| 1993 | 33,6                            | 32,7                                    | 0,9                          |
| 1994 | 33,1                            | 31,7                                    | 1,5                          |
| 1995 | 33,7                            | 31,9                                    | 1,8                          |
| 1996 | 33,5                            | 32,1                                    | 1,3                          |
| 1997 | 31,9                            | 31,4                                    | 0,5                          |
| 1998 | 32,9                            | 31,8                                    | 1,1                          |
| 1999 | 31,6                            | 30,9                                    | 0,7                          |
| 2000 | 30,1                            | 29,0                                    | 1,2                          |
| 2001 | 30,1                            | 28,9                                    | 1,2                          |
| 2002 | 30,9                            | 29,7                                    | 1,2                          |
| 2003 | 32,4                            | 31,4                                    | 1,1                          |
| 2004 | 33,7                            | 32,5                                    | 1,2                          |
| 2005 | 34,0                            | 32,9                                    | 1,1                          |
| 2006 | 32,4                            | 31,7                                    | 0,7                          |
| 2007 | 31,9                            | 30,8                                    | 1,0                          |
| 2008 | 31,9                            | 30,9                                    | 0,9                          |
| 2009 | 32,8                            | 31,6                                    | 1,2                          |
| 2010 | 33,9                            | 31,6                                    | 2,3                          |

|                            |      |      |     |
|----------------------------|------|------|-----|
| <b>Media</b>               | 32,7 | 31,5 | 1,2 |
| <b>Desviación Estandar</b> | 1,3  | 1,3  | 0,4 |

Obteniéndose una media entre la diferencia de temperaturas de 1,2 °C y una desviación estándar de 0,4.

Adicionalmente, se obtuvo para ciudad de Guayaquil el siguiente cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C.

Tabla 10: Cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Guayaquil).

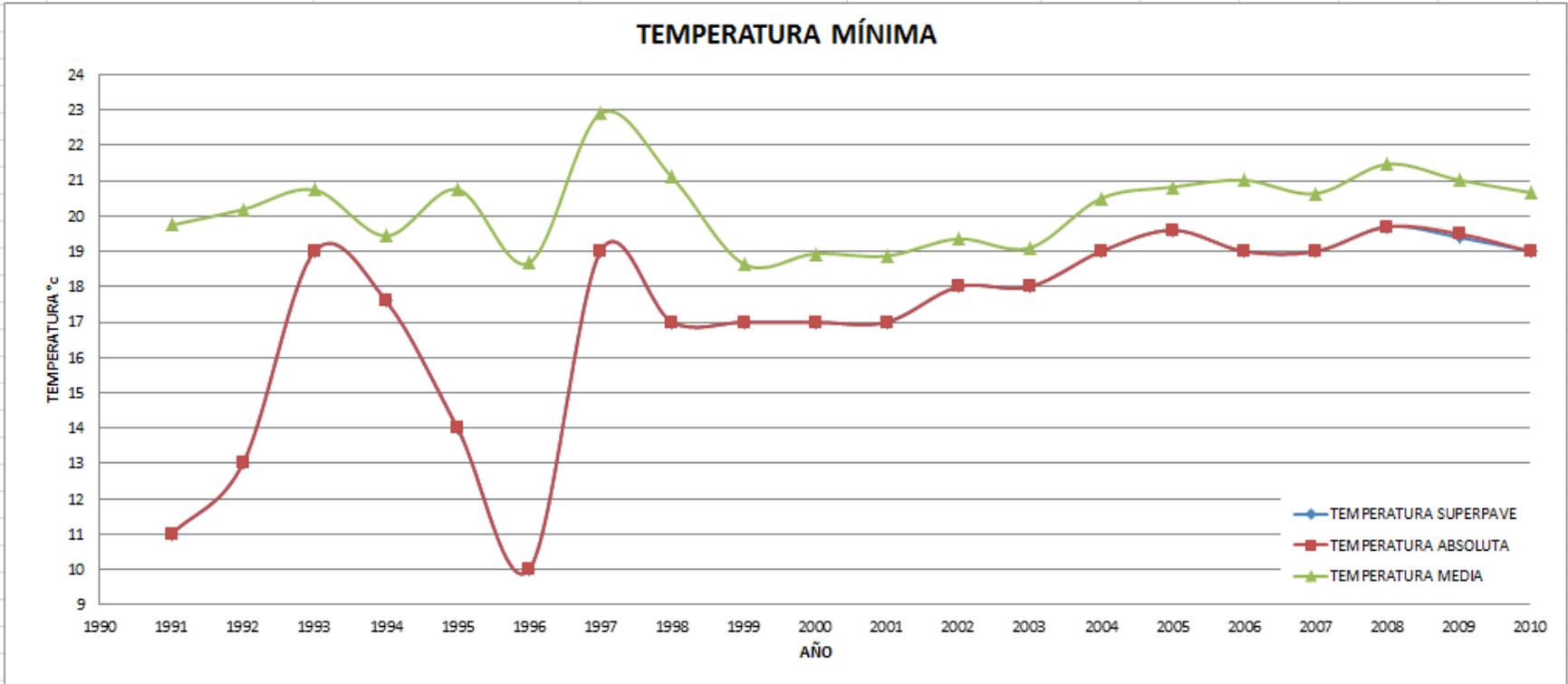
| TEMPERATURA MÍNIMA °C |                                   |  |                                      |
|-----------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| AÑOS                  | DATOS DIARIOS<br>MÉTODO SUPERPAVE | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA<br>ABSOLUTA | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA MEDIA |
| 1991                  | 11,0                              | 11,0                                       | 19,7                                 |
| 1992                  | 13,0                              | 13,0                                       | 20,2                                 |
| 1993                  | 19,0                              | 19,0                                       | 20,7                                 |
| 1994                  | 17,6                              | 17,6                                       | 19,4                                 |
| 1995                  | 14,0                              | 14,0                                       | 20,8                                 |
| 1996                  | 10,0                              | 10,0                                       | 18,7                                 |
| 1997                  | 19,0                              | 19,0                                       | 22,9                                 |
| 1998                  | 17,0                              | 17,0                                       | 21,1                                 |
| 1999                  | 17,0                              | 17,0                                       | 18,6                                 |
| 2000                  | 17,0                              | 17,0                                       | 18,9                                 |
| 2001                  | 17,0                              | 17,0                                       | 18,9                                 |
| 2002                  | 18,0                              | 18,0                                       | 19,4                                 |
| 2003                  | 18,0                              | 18,0                                       | 19,1                                 |
| 2004                  | 19,0                              | 19,0                                       | 20,5                                 |
| 2005                  | 19,6                              | 19,6                                       | 20,8                                 |
| 2006                  | 19,0                              | 19,0                                       | 21,0                                 |
| 2007                  | 19,0                              | 19,0                                       | 20,6                                 |
| 2008                  | 19,7                              | 19,7                                       | 21,5                                 |
| 2009                  | 19,4                              | 19,5                                       | 21,0                                 |
| 2010                  | 19,0                              | 19,0                                       | 20,7                                 |

|                     |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|
| Media               | 17,1 | 17,1 | 20,2 |
| Desviación Estandar | 2,8  | 2,8  | 1,1  |

Dando como resultado que las temperaturas de datos diarios método Superpave son iguales a los datos mensuales de temperatura absoluta.

A continuación se representa una gráfica comparativa de las temperaturas mínimas para la ciudad de Guayaquil.

Figura 8: Comparación de temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Guayaquil).



NOTA: OBSERVAR QUE LOGICAMENTE SE SUPERPONE LA TEMPERATURA ABSOLUTA CON LA TEMPERATURA DEL SUPERPAVE.

Para la ciudad de Quito se obtuvo el siguiente cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C.

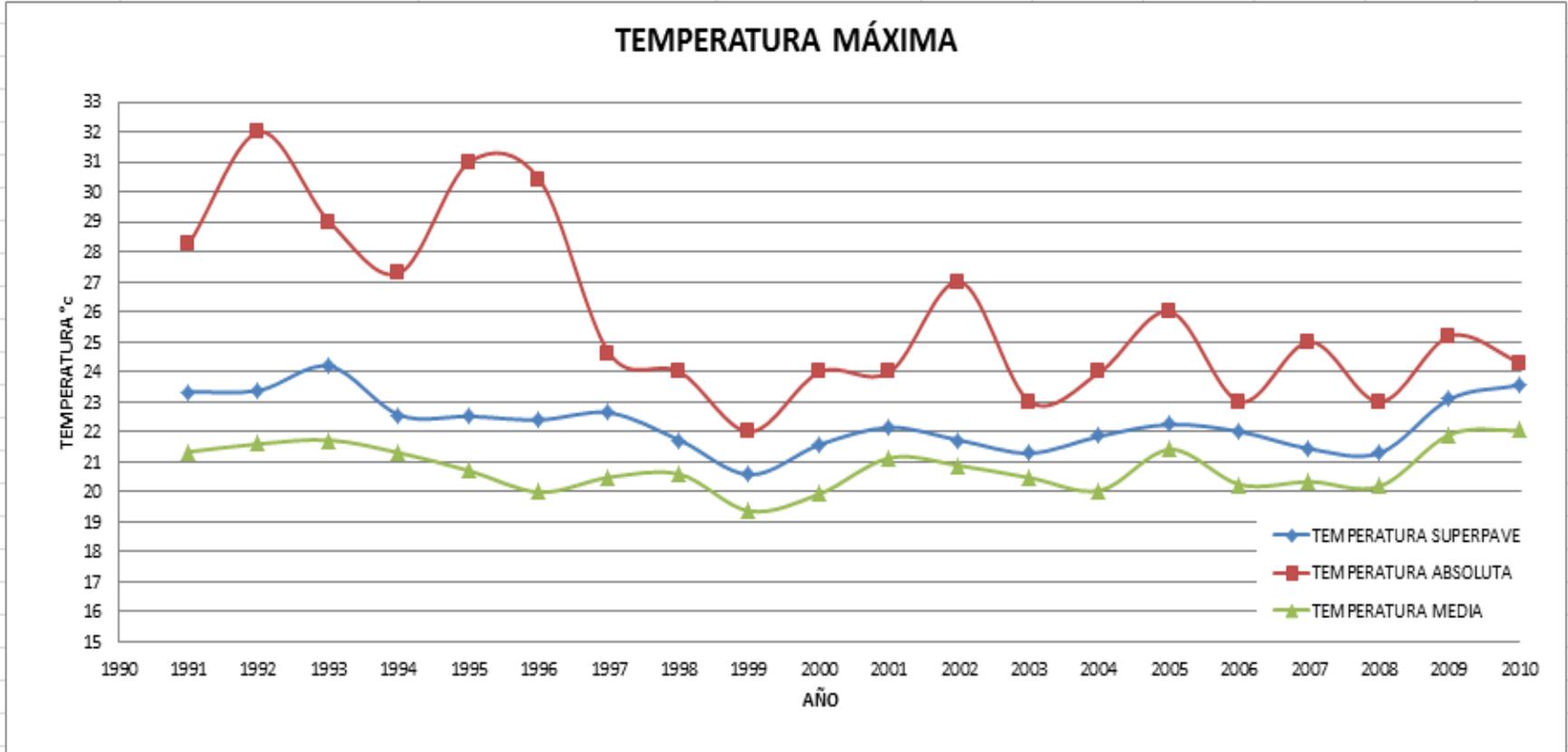
**Tabla 11: Cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C (Ciudad de Quito).**

| TEMPERATURA MÁXIMA °C |                                   |   |                                      |
|-----------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| AÑOS                  | DATOS DIARIOS<br>MÉTODO SUPERPAVE | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA ABSOLUTA | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA MEDIA |
| 1991                  | 23,3                              | 28,3                                    | 21,3                                 |
| 1992                  | 23,4                              | 32,0                                    | 21,6                                 |
| 1993                  | 24,2                              | 29,0                                    | 21,7                                 |
| 1994                  | 22,6                              | 27,3                                    | 21,3                                 |
| 1995                  | 22,5                              | 31,0                                    | 20,7                                 |
| 1996                  | 22,4                              | 30,4                                    | 20,0                                 |
| 1997                  | 22,6                              | 24,6                                    | 20,5                                 |
| 1998                  | 21,7                              | 24,0                                    | 20,6                                 |
| 1999                  | 20,6                              | 22,0                                    | 19,4                                 |
| 2000                  | 21,6                              | 24,0                                    | 19,9                                 |
| 2001                  | 22,1                              | 24,0                                    | 21,1                                 |
| 2002                  | 21,7                              | 27,0                                    | 20,9                                 |
| 2003                  | 21,3                              | 23,0                                    | 20,5                                 |
| 2004                  | 21,9                              | 24,0                                    | 20,0                                 |
| 2005                  | 22,2                              | 26,0                                    | 21,4                                 |
| 2006                  | 22,0                              | 23,0                                    | 20,2                                 |
| 2007                  | 21,4                              | 25,0                                    | 20,3                                 |
| 2008                  | 21,3                              | 23,0                                    | 20,2                                 |
| 2009                  | 23,1                              | 25,2                                    | 21,9                                 |
| 2010                  | 23,6                              | 24,3                                    | 22,0                                 |

|                            |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|
| <b>Media</b>               | 22,3 | 25,9 | 20,8 |
| <b>Desviación Estandar</b> | 0,9  | 2,8  | 0,7  |

A continuación se representa una gráfica comparativa de las temperaturas máximas para la ciudad de Quito.

Figura 9: Comparación de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Quito).



Luego se realizó el siguiente cuadro comparativo entre la diferencia de las temperaturas máximas Superpave y Medias de la ciudad de Quito.

**Tabla 12: Cuadro comparativo de las diferencias de temperaturas máximas en °C (Ciudad de Quito).**

| AÑOS | SUPERPAVE<br>TEMPERATURA MÁXIMA | TEMPERATURA MEDIA<br>TEMPERATURA MÁXIMA | DIFERENCIA DE<br>TEMPERATURA |
|------|---------------------------------|---|------------------------------|
| 1991 | 23,3                            | 21,3                                    | 2,0                          |
| 1992 | 23,4                            | 21,6                                    | 1,8                          |
| 1993 | 24,2                            | 21,7                                    | 2,5                          |
| 1994 | 22,6                            | 21,3                                    | 1,3                          |
| 1995 | 22,5                            | 20,7                                    | 1,8                          |
| 1996 | 22,4                            | 20,0                                    | 2,4                          |
| 1997 | 22,6                            | 20,5                                    | 2,1                          |
| 1998 | 21,7                            | 20,6                                    | 1,1                          |
| 1999 | 20,6                            | 19,4                                    | 1,2                          |
| 2000 | 21,6                            | 19,9                                    | 1,6                          |
| 2001 | 22,1                            | 21,1                                    | 1,0                          |
| 2002 | 21,7                            | 20,9                                    | 0,8                          |
| 2003 | 21,3                            | 20,5                                    | 0,8                          |
| 2004 | 21,9                            | 20,0                                    | 1,8                          |
| 2005 | 22,2                            | 21,4                                    | 0,8                          |
| 2006 | 22,0                            | 20,2                                    | 1,8                          |
| 2007 | 21,4                            | 20,3                                    | 1,1                          |
| 2008 | 21,3                            | 20,2                                    | 1,1                          |
| 2009 | 23,1                            | 21,9                                    | 1,2                          |
| 2010 | 23,6                            | 22,0                                    | 1,5                          |

|                            |      |      |     |
|----------------------------|------|------|-----|
| <b>Media</b>               | 22,3 | 20,8 | 1,5 |
| <b>Desviación Estandar</b> | 0,9  | 0,7  | 0,5 |

Obteniéndose una media entre la diferencia de temperaturas de 1,5 °C y una desviación estándar de 0,5.

Adicionalmente, se obtuvo para ciudad de Quito el siguiente cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C.

Tabla 13: Cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Quito).

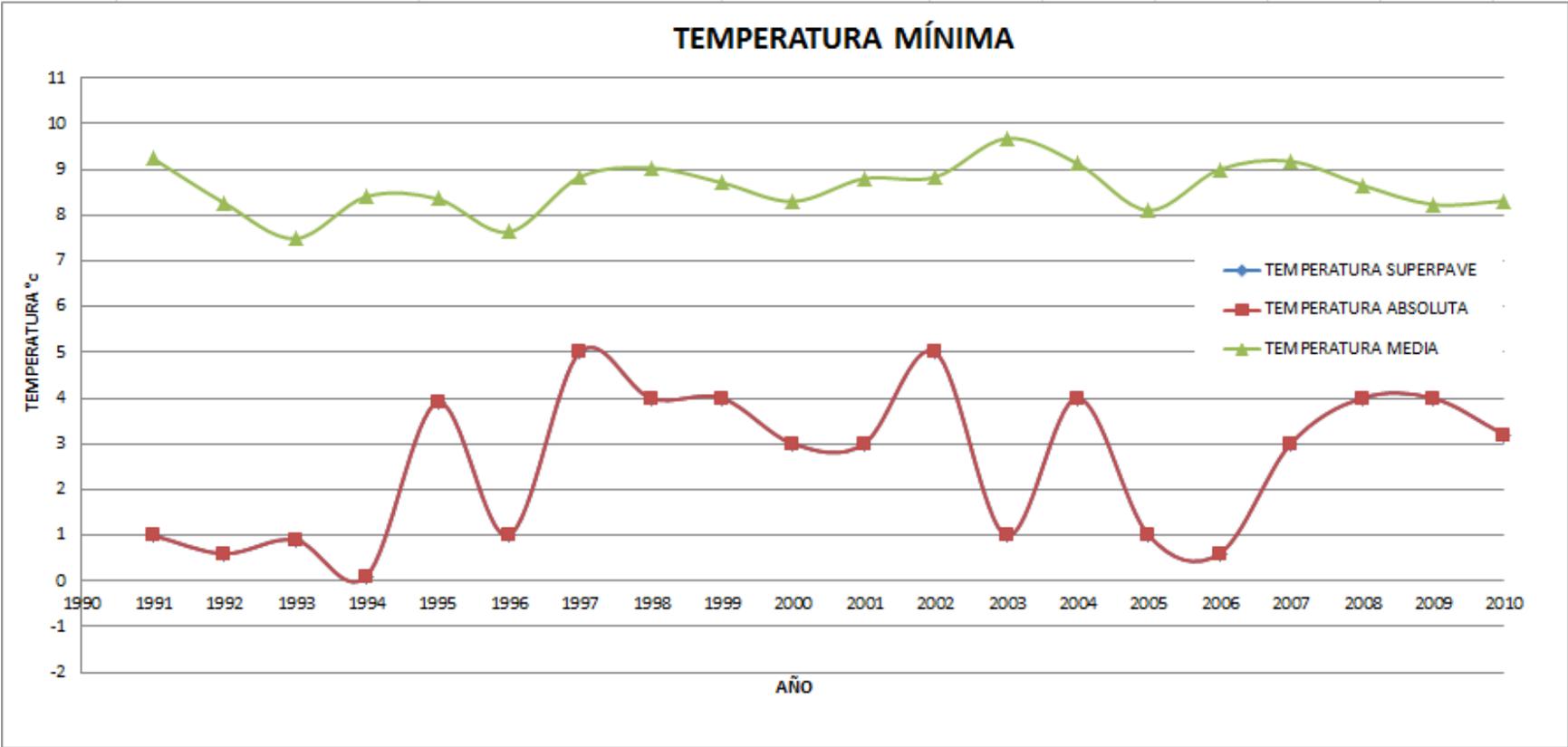
| TEMPERATURA MÍNIMA °C |                                   |  |                                      |
|-----------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| AÑOS                  | DATOS DIARIOS<br>MÉTODO SUPERPAVE | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA<br>ABSOLUTA | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA MEDIA |
| 1991                  | 1,0                               | 1,0  | 9,2                                  |
| 1992                  | 0,6                               | 0,6  | 8,3                                  |
| 1993                  | 0,9                               | 0,9  | 7,5                                  |
| 1994                  | 0,1                               | 0,1  | 8,4                                  |
| 1995                  | 3,9                               | 3,9  | 8,4                                  |
| 1996                  | 1,0                               | 1,0  | 7,6                                  |
| 1997                  | 5,0                               | 5,0  | 8,8                                  |
| 1998                  | 4,0                               | 4,0  | 9,0                                  |
| 1999                  | 4,0                               | 4,0  | 8,7                                  |
| 2000                  | 3,0                               | 3,0  | 8,3                                  |
| 2001                  | 3,0                               | 3,0  | 8,8                                  |
| 2002                  | 5,0                               | 5,0  | 8,8                                  |
| 2003                  | 1,0                               | 1,0  | 9,7                                  |
| 2004                  | 4,0                               | 4,0  | 9,1                                  |
| 2005                  | 1,0                               | 1,0  | 8,1                                  |
| 2006                  | 0,6                               | 0,6  | 9,0                                  |
| 2007                  | 3,0                               | 3,0  | 9,2                                  |
| 2008                  | 4,0                               | 4,0  | 8,7                                  |
| 2009                  | 4,0                               | 4,0  | 8,2                                  |
| 2010                  | 3,2                               | 3,2  | 8,3                                  |

|                            |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|
| <b>Media</b>               | 2,6 | 2,6 | 8,6 |
| <b>Desviación Estandar</b> | 1,8 | 1,8 | 0,5 |

Dando como resultado que las temperaturas de datos diarios método Superpave son iguales a los datos mensuales de temperatura absoluta.

A continuación se representa una gráfica comparativa de las temperaturas mínimas para la ciudad de Quito.

Figura 10: Comparación de temperaturas mínimas en °C (Ciudad de Quito).



NOTA: OBSERVAR QUE LOGICAMENTE SE SUPERPONE LA TEMPERATURA ABSOLUTA CON LA TEMPERATURA DEL SUPERPAVE.

Para la ciudad del Puyo se obtuvo el siguiente cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C.

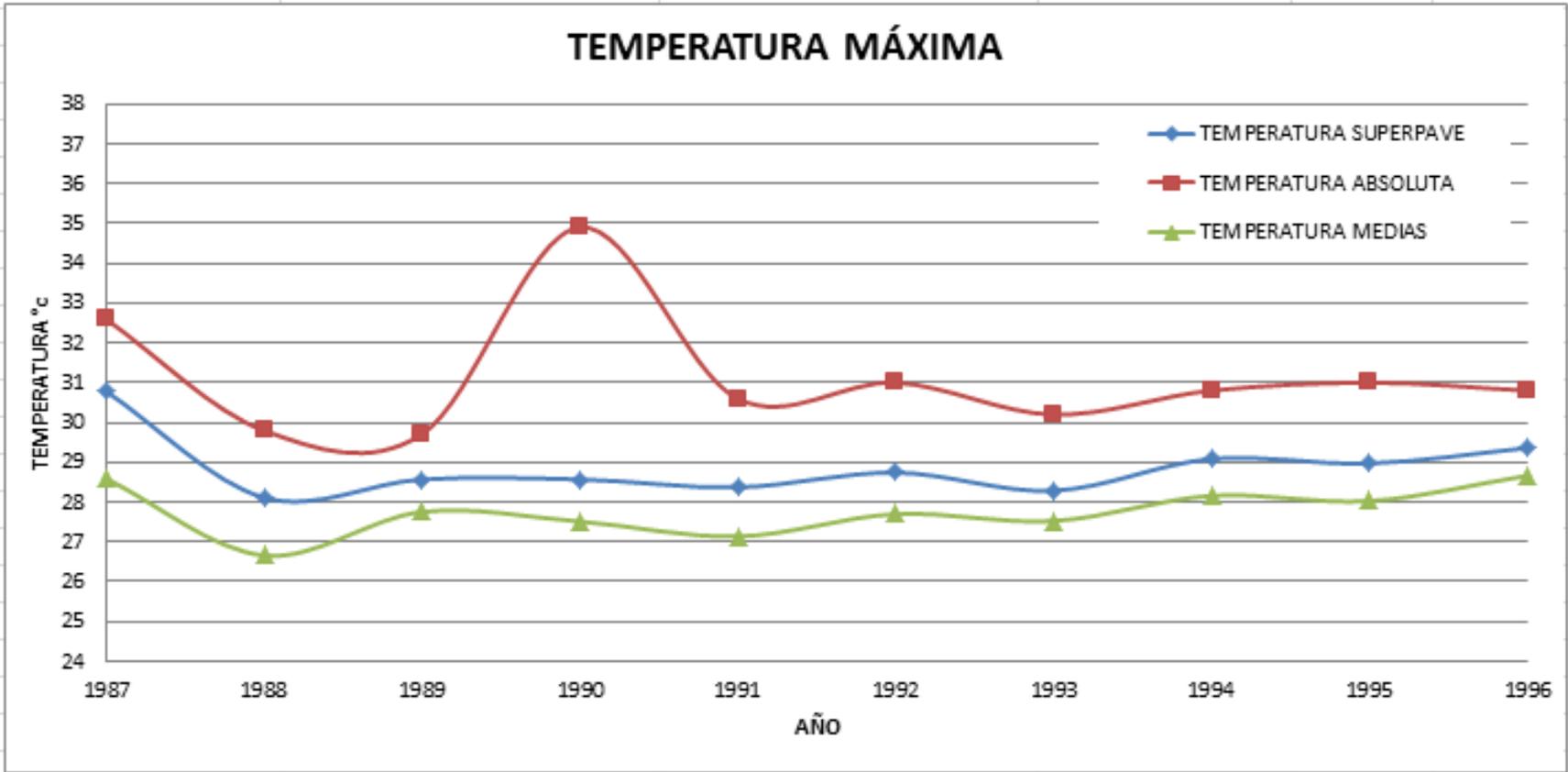
**Tabla 14: Cuadro comparativo para las temperaturas máximas en °C (Ciudad del Puyo).**

| TEMPERATURA MÁXIMA °C |                                   |   |                                      |
|-----------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| AÑOS                  | DATOS DIARIOS<br>MÉTODO SUPERPAVE | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA ABSOLUTA | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA MEDIA |
| 1987                  | 30,8                              | 32,6                                    | 28,6                                 |
| 1988                  | 28,1                              | 29,8                                    | 26,7                                 |
| 1989                  | 28,6                              | 29,7                                    | 27,8                                 |
| 1990                  | 28,6                              | 34,9                                    | 27,5                                 |
| 1991                  | 28,4                              | 30,6                                    | 27,1                                 |
| 1992                  | 28,7                              | 31,0                                    | 27,7                                 |
| 1993                  | 28,3                              | 30,2                                    | 27,5                                 |
| 1994                  | 29,1                              | 30,8                                    | 28,2                                 |
| 1995                  | 29,0                              | 31,0                                    | 28,0                                 |
| 1996                  | 29,4                              | 30,8                                    | 28,7                                 |

|                     |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|
| Media               | 28,9 | 31,1 | 27,8 |
| Desviación Estandar | 0,7  | 1,5  | 0,6  |

A continuación se representa una gráfica comparativa de las temperaturas máximas para la ciudad de Puyo.

Figura 11: Comparación de temperaturas máximas en °C (Ciudad del Puyo).



Luego se realizó el siguiente cuadro comparativo entre la diferencia entre las curvas de temperaturas máximas Superpave y Medias de la ciudad del Puyo.

**Tabla 15: Cuadro comparativo de las diferencias de temperaturas máximas en °C (Ciudad del Puyo).**

| AÑOS | SUPERPAVE<br>TEMPERATURA MÁXIMA | TEMPERATURA MEDIA<br>TEMPERATURA MÁXIMA | DIFERENCIA DE<br>TEMPERATURA |
|------|---------------------------------|---|------------------------------|
| 1987 | 30,8                            | 28,6                                    | 2,2                          |
| 1988 | 28,1                            | 26,7                                    | 1,5                          |
| 1989 | 28,6                            | 27,8                                    | 0,8                          |
| 1990 | 28,6                            | 27,5                                    | 1,1                          |
| 1991 | 28,4                            | 27,1                                    | 1,2                          |
| 1992 | 28,7                            | 27,7                                    | 1,0                          |
| 1993 | 28,3                            | 27,5                                    | 0,8                          |
| 1994 | 29,1                            | 28,2                                    | 0,9                          |
| 1995 | 29,0                            | 28,0                                    | 0,9                          |
| 1996 | 29,4                            | 28,7                                    | 0,7                          |

|                            |      |      |     |
|----------------------------|------|------|-----|
| <b>Media</b>               | 28,9 | 27,8 | 1,1 |
| <b>Desviación Estandar</b> | 0,7  | 0,6  | 0,4 |

Obteniéndose una media entre la diferencia de temperaturas de 1,1 °C y una desviación estándar de 0,4.

Adicionalmente, se obtuvo para ciudad del Puyo el siguiente cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C.

Tabla 16: Cuadro comparativo para las temperaturas mínimas en °C (Ciudad del Puyo).

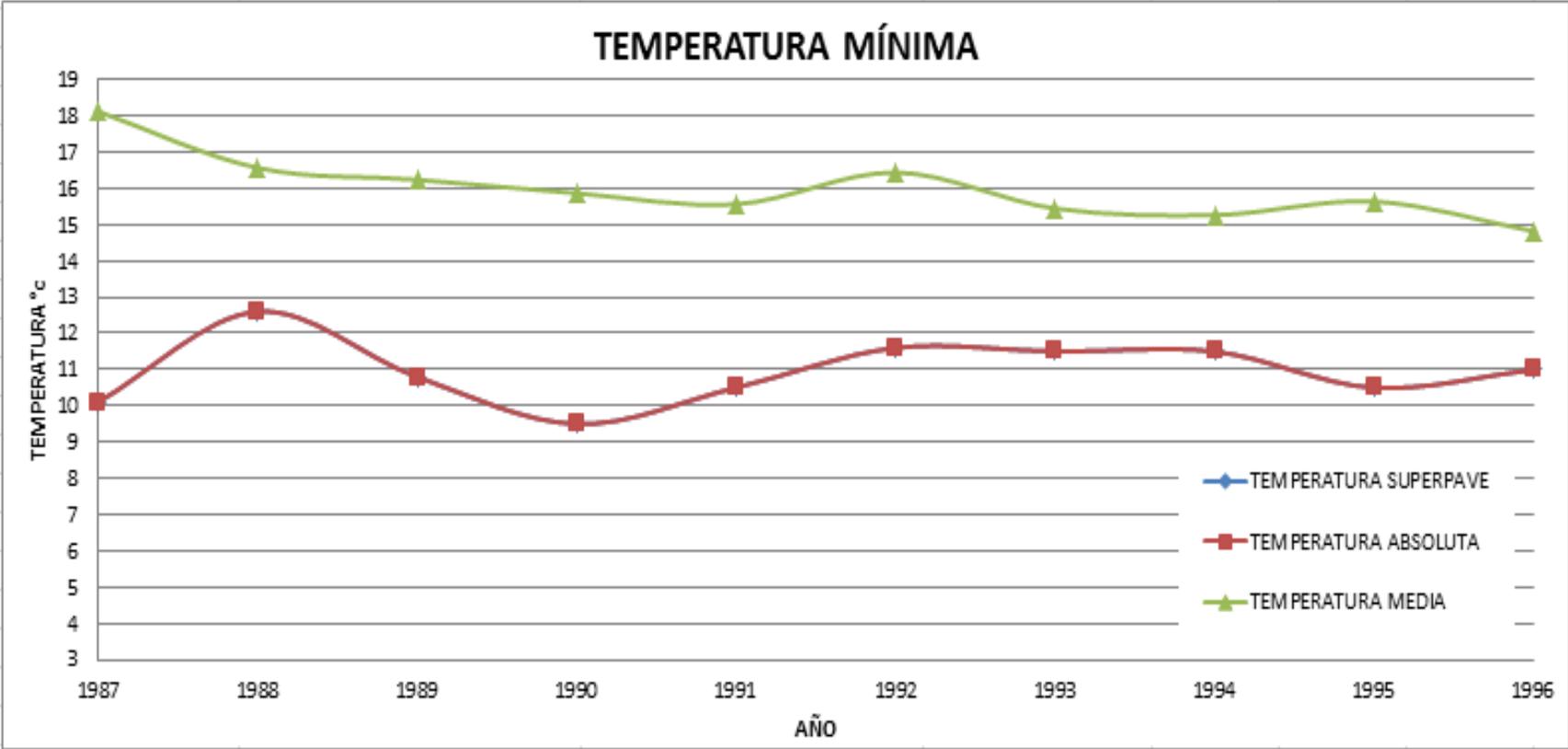
| TEMPERATURA MÍNIMA °C |                                   |  |                                      |
|-----------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| AÑOS                  | DATOS DIARIOS<br>MÉTODO SUPERPAVE | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA<br>ABSOLUTA | DATOS MENSUALES<br>TEMPERATURA MEDIA |
| 1987                  | 10,1                              | 10,1                                       | 18,1                                 |
| 1988                  | 12,6                              | 12,6                                       | 16,6                                 |
| 1989                  | 10,8                              | 10,8                                       | 16,2                                 |
| 1990                  | 9,5                               | 9,5  | 15,9                                 |
| 1991                  | 10,5                              | 10,5                                       | 15,6                                 |
| 1992                  | 11,6                              | 11,6                                       | 16,4                                 |
| 1993                  | 11,5                              | 11,5                                       | 15,4                                 |
| 1994                  | 11,5                              | 11,5                                       | 15,3                                 |
| 1995                  | 10,5                              | 10,5                                       | 15,6                                 |
| 1996                  | 11,0                              | 11,0                                       | 14,8                                 |

|                     |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|
| Media               | 11,0 | 11,0 | 16,0 |
| Desviación Estandar | 0,8  | 0,8  | 0,9  |

Dando como resultado que las temperaturas de datos diarios método Superpave son iguales a los datos mensuales de temperatura absoluta.

A continuación se representa una gráfica comparativa de las temperaturas mínimas para la ciudad del Puyo.

Figura 12: Comparación de temperaturas mínimas en °C (Ciudad del Puyo).



NOTA: OBSERVAR QUE LOGICAMENTE SE SUPERPONE LA TEMPERATURA ABSOLUTA CON LA TEMPERATURA DEL SUPERPAVE

Para las temperaturas máximas se puede observar en las gráficas anteriores que existe una diferencia de temperatura promedio de 1,2 grados de temperatura con una desviación estándar de 0,4 para la ciudad de Guayaquil, una diferencia de temperatura promedio de 1,5 grados de temperatura con una desviación estándar de 0,5 para la ciudad de Quito y una diferencia de temperatura promedio de 1,1 grados de temperatura con una desviación estándar de 0,4 para la ciudad Puyo.

Las temperaturas máximas del SUPERPAVE se pueden calcular a partir de las temperaturas medias máximas anuales obtenidas de los anuarios del INAMHI, es decir, sumándoles a dichas temperaturas los incrementos correspondientes:

- Costa: 1,2 °C (Guayaquil).
- Sierra: 1,5 °C (Quito).
- Amazonía: 1,1 °C (Puyo).

Para las temperaturas mínimas en el caso de la ciudad de Guayaquil, Quito como Puyo coincide. Por lo tanto las temperaturas mínimas del SUPERPAVE se pueden determinar a partir de las temperaturas mínimas absolutas anuales obtenidas de los anuarios del INAHMI.

## **CAPÍTULO 5: OBTENCIÓN DEL GRADO DEL LIGANTE ASFÁLTICO**

### **5.1 GENERALIDADES**

En este capítulo se pretende determinar el grado de performance (PG) del ligante asfáltico siguiendo los parámetros del Método del Superpave, para las diferentes regiones del país, a partir del procesamiento de las temperaturas del aire tanto máxima como mínima proporcionadas por los anuarios del INAMHI, para luego transformarla a las temperaturas del pavimento y con ello llegar al establecimiento de los PG.

### **5.2 OBTENCIÓN DE TEMPERATURAS DEL AIRE**

En el cálculo asociado a las temperaturas del aire tanto altas como bajas, realizadas con la información extraída de las estaciones meteorológicas del INAMHI, se obtuvo el valor promedio de la temperatura y la desviación estándar lo que permitió posteriormente realizar el análisis con los niveles de confianza del 50% y 98%. Estos resultados se adjuntan en las tablas siguientes con las respectivas ubicaciones de sus estaciones en los mapas correspondientes.

Para una confiabilidad del 50% para las regiones Costa, Sierra y Amazonía:

Tabla 17: Temperaturas del aire para la región Costa.

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG          | LAT (°) | ALT(m) | TEMPERATURA DELAIRE ° C |            |       |            |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|---------|--------|-------------------------|------------|-------|------------|
|                   |                  |    |        |               |         |        | ALTA                    |            | BAJA  |            |
|                   |                  |    |        |               |         |        | MEDIA                   | DESVIACIÓN | MEDIA | DESVIACIÓN |
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62    | 5      | 31,1                    | 1,3        | 19,4  | 2,5        |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86    | 55     | 32,0                    | 1,3        | 17,3  | 2,7        |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48    | 319    | 31,4                    | 0,6        | 17,1  | 1,6        |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92    | 20     | 33,2                    | 0,8        | 18,1  | 1,6        |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66    | 36     | 33,4                    | 0,4        | 18,0  | 1,4        |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04    | 46     | 33,9                    | 0,6        | 16,7  | 1,9        |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39    | 50     | 33,1                    | 0,5        | 16,8  | 2,3        |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59    | 156    | 33,2                    | 0,7        | 15,2  | 1,2        |
|                   | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48    | 263    | 32,3                    | 0,6        | 14,9  | 2,3        |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80    | 7      | 32,6                    | 1,8        | 18,9  | 1,0        |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55    | 14     | 33,1                    | 0,7        | 16,0  | 2,0        |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52    | 19     | 32,7                    | 0,4        | 19,0  | 1,5        |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10    | 120    | 32,5                    | 0,6        | 17,5  | 1,2        |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20    | 6      | 33,5                    | 0,6        | 18,7  | 1,5        |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12    | 13     | 32,7                    | 0,6        | 18,3  | 0,8        |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20    | 35     | 32,3                    | 0,9        | 18,4  | 0,8        |
|                   | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66    | 50     | 33,7                    | 1,1        | 17,3  | 2,3        |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23    | 13     | 31,5                    | 2,2        | 17,1  | 2,9        |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29    | 5      | 33,2                    | 0,6        | 19,2  | 1,0        |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38    | 223    | 35,8                    | 0,7        | 13,4  | 2,8        |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70    | 1100   | 32,8                    | 1,2        | 14,3  | 0,9        |

Tabla 18: Temperaturas del aire para la región Sierra.

| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | TEMPERATURA DEL AIRE ° C |            |       |            |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------------|------------|-------|------------|
|            |                   |    |        |               |          |          | ALTA                     |            | BAJA  |            |
|            |                   |    |        |               |          |          | MEDIA                    | DESVIACIÓN | MEDIA | DESVIACIÓN |
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     | 20,9                     | 0,8        | 0,9   | 0,3        |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     | 19,8                     | 0,8        | 2,5   | 1,6        |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     | 24,8                     | 0,7        | 5,5   | 1,9        |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     | 24,2                     | 0,8        | 1,9   | 1,0        |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     | 18,2                     | 0,8        | 2,7   | 0,9        |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     | 25,7                     | 0,5        | 3,0   | 1,1        |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     | 24,6                     | 0,7        | 5,4   | 1,5        |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     | 24,5                     | 0,7        | 4,7   | 0,9        |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     | 21,2                     | 0,7        | 0,7   | 1,4        |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     | 24,8                     | 0,6        | 12,1  | 1,2        |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     | 24,3                     | 0,7        | 0,9   | 1,2        |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     | 22,9                     | 0,9        | 2,2   | 1,3        |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     | 26,8                     | 1,0        | 9,7   | 2,4        |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     | 22,6                     | 0,6        | 0,6   | 0,8        |
|            | PEDRO F, C, (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     | 22,0                     | 0,6        | 2,1   | 1,0        |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     | 23,0                     | 1,0        | 6,6   | 2,5        |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     | 24,3                     | 0,9        | 0,8   | 2,6        |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     | 19,6                     | 0,5        | 2,8   | 1,3        |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     | 28,2                     | 0,8        | 3,4   | 1,4        |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     | 27,6                     | 0,7        | 3,3   | 1,8        |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     | 25,3                     | 1,1        | 2,2   | 1,0        |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     | 17,5                     | 1,5        | 0,4   | 1,4        |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     | 31,1                     | 1,6        | 5,6   | 1,4        |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     | 27,4                     | 0,9        | 10,5  | 1,4        |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     | 23,7                     | 0,7        | 8,7   | 2,9        |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     | 27,5                     | 0,9        | 8,3   | 4,9        |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     | 25,0                     | 0,5        | 3,9   | 1,6        |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     | 24,1                     | 0,9        | 2,8   | 1,5        |

**Tabla 19: Temperaturas del aire para la región Amazónica.**

| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | TEMPERATURA DEL AIRE ° C |            |       |            |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------------|------------|-------|------------|
|                 |                  |    |        |               |          |          | ALTA                     |            | BAJA  |            |
|                 |                  |    |        |               |          |          | MEDIA                    | DESVIACIÓN | MEDIA | DESVIACIÓN |
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      | 31,8                     | 0,6        | 15,3  | 1,8        |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      | 33,9                     | 0,6        | 18,4  | 1,3        |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      | 32,8                     | 0,5        | 16,9  | 1,1        |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      | 29,1                     | 0,4        | 12,0  | 0,9        |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      | 31,5                     | 0,6        | 13,0  | 1,4        |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      | 30,3                     | 1,0        | 11,4  | 2,0        |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      | 31,8                     | 0,8        | 13,7  | 1,8        |

A continuación se presenta un mapa con la ubicación de las estaciones proporcionadas del INAMHI con sus respectivas temperaturas del aire tanto para las altas como para las bajas para el 50% de confiabilidad.

Figura 13: Mapa Temperaturas Altas del aire para uso del Método Superpave.

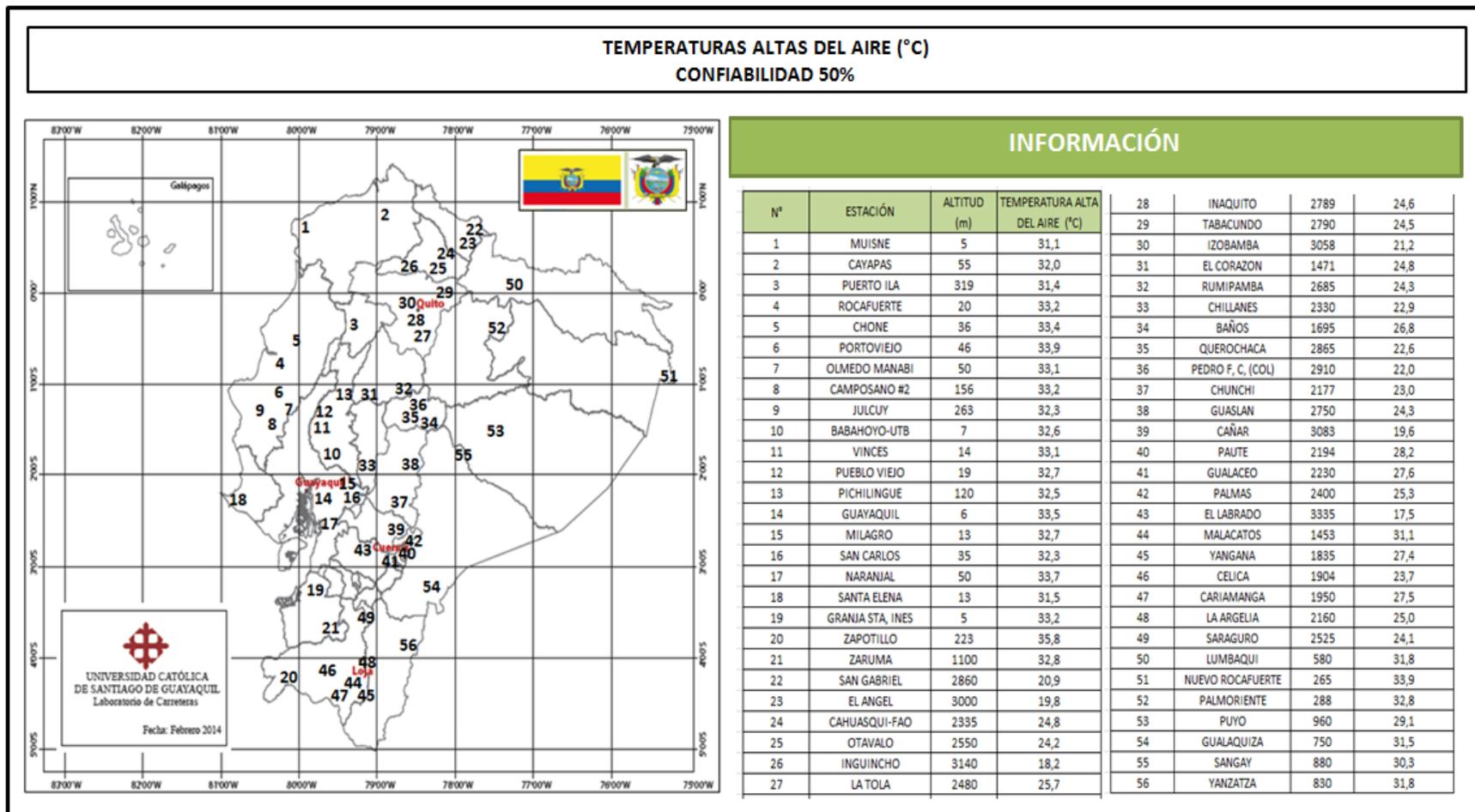
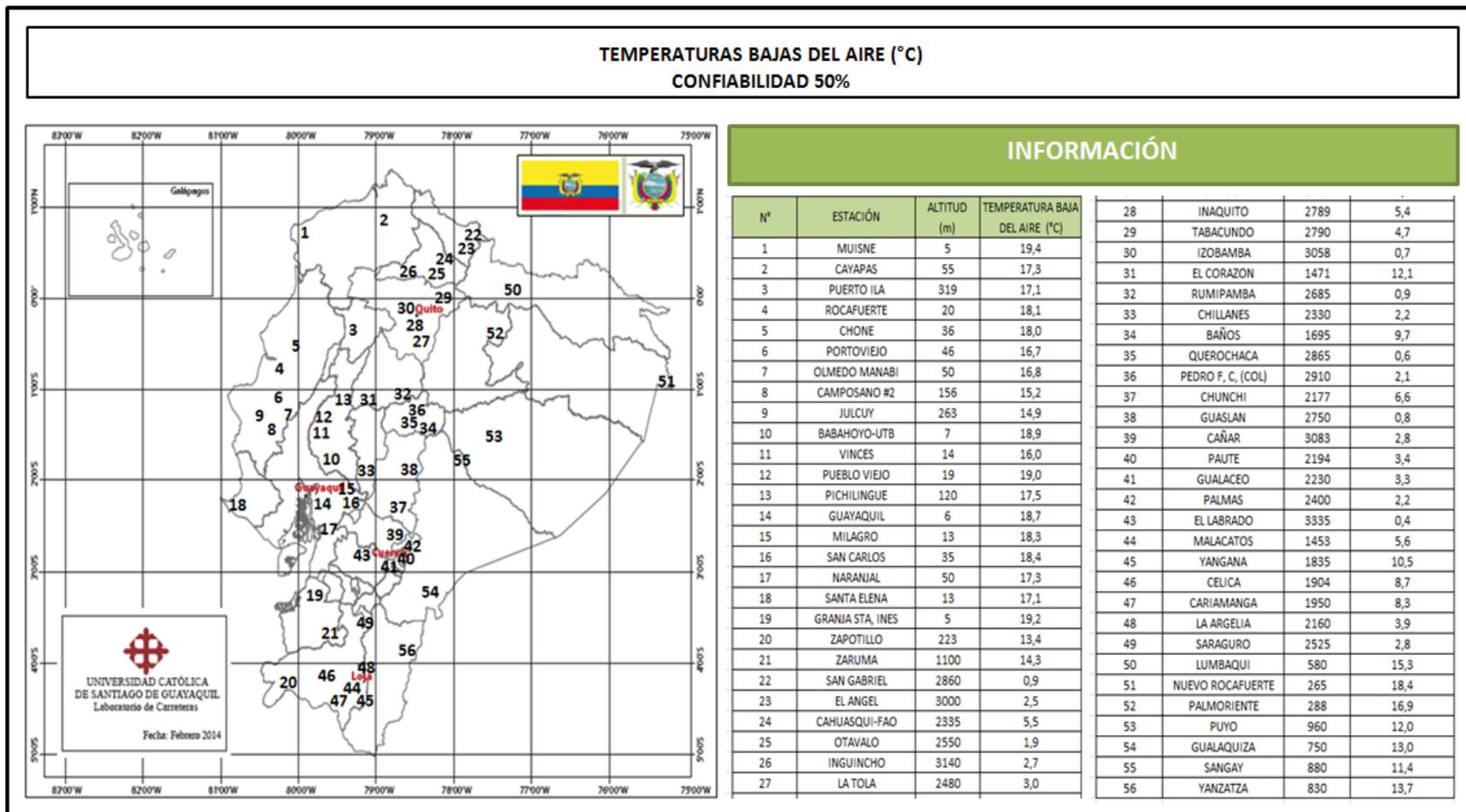


Figura 14: Mapa Temperaturas Bajas del aire para uso del Método Superpave.



Para una confiabilidad del 98% para las regiones Costa, Sierra y Amazonía:

**Tabla 20: Temperaturas del aire para la región Costa.**

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | TEMPERATURA DEL AIRE ° C |       |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------------|-------|
|                   |                  |    |        |               |          |          | ALTA                     | BAJA  |
|                   |                  |    |        |               |          |          | MEDIA                    | MEDIA |
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62     | 5        | 34,1                     | 13,6  |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86     | 55       | 35,0                     | 11,1  |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48     | 319      | 32,8                     | 13,5  |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92     | 20       | 35,1                     | 14,4  |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66     | 36       | 34,4                     | 14,7  |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04     | 46       | 35,4                     | 12,3  |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39     | 50       | 34,2                     | 11,6  |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59     | 156      | 34,8                     | 12,4  |
|                   | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48     | 263      | 33,7                     | 9,6   |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80     | 7        | 36,8                     | 16,6  |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55     | 14       | 34,8                     | 11,3  |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52     | 19       | 33,7                     | 15,5  |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10     | 120      | 33,8                     | 14,8  |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20     | 6        | 34,8                     | 15,3  |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12     | 13       | 34,0                     | 16,4  |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20     | 35       | 34,5                     | 16,5  |
|                   | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66     | 50       | 36,2                     | 11,9  |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23     | 13       | 36,5                     | 10,3  |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29     | 5        | 34,7                     | 16,8  |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38     | 223      | 37,3                     | 7,0   |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70     | 1100     | 35,5                     | 12,1  |

Tabla 21: Temperaturas del aire para la región Sierra.

| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | TEMPERATURA DEL AIRE ° C |       |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------------|-------|
|            |                   |    |        |               |          |          | ALTA                     | BAJA  |
|            |                   |    |        |               |          |          | MEDIA                    | MEDIA |
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     | 22,6                     | 0,2   |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     | 21,6                     | -1,3  |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     | 26,4                     | 1,1   |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     | 26,0                     | -0,4  |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     | 20,1                     | 0,6   |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     | 26,8                     | 0,4   |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     | 26,2                     | 2,0   |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     | 26,2                     | 2,6   |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     | 22,9                     | -2,5  |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     | 26,1                     | 9,3   |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     | 26,0                     | -1,8  |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     | 25,0                     | -0,8  |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     | 29,2                     | 4,2   |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     | 24,0                     | -1,3  |
|            | PEDRO F, C, (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     | 23,5                     | -0,2  |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     | 25,4                     | 0,8   |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     | 26,4                     | -5,3  |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     | 20,6                     | -0,4  |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     | 30,0                     | 0,1   |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     | 29,1                     | -1,0  |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     | 27,8                     | -0,2  |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     | 21,0                     | -2,9  |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     | 34,9                     | 2,3   |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     | 29,5                     | 7,2   |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     | 25,4                     | 1,9   |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     | 29,5                     | -3,0  |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     | 26,2                     | 0,2   |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     | 26,3                     | -0,8  |

**Tabla 22: Temperaturas del aire para la región Amazónica.**

| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | TEMPERATURA DEL AIRE ° C |       |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------------|-------|
|                 |                  |    |        |               |          |          | ALTA                     | BAJA  |
|                 |                  |    |        |               |          |          | MEDIA                    | MEDIA |
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      | 33,2                     | 11,1  |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      | 35,4                     | 15,4  |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      | 33,9                     | 14,4  |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      | 30,0                     | 10,0  |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      | 32,8                     | 9,6   |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      | 32,6                     | 6,7   |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      | 33,8                     | 9,6   |

A continuación se presenta un mapa con la ubicación de las estaciones proporcionadas del INAMHI con sus respectivas temperaturas del aire tanto para las altas como para las bajas para el 98% de confiabilidad.

Figura 15: Mapa Temperaturas Altas del aire para uso del Método Superpave.

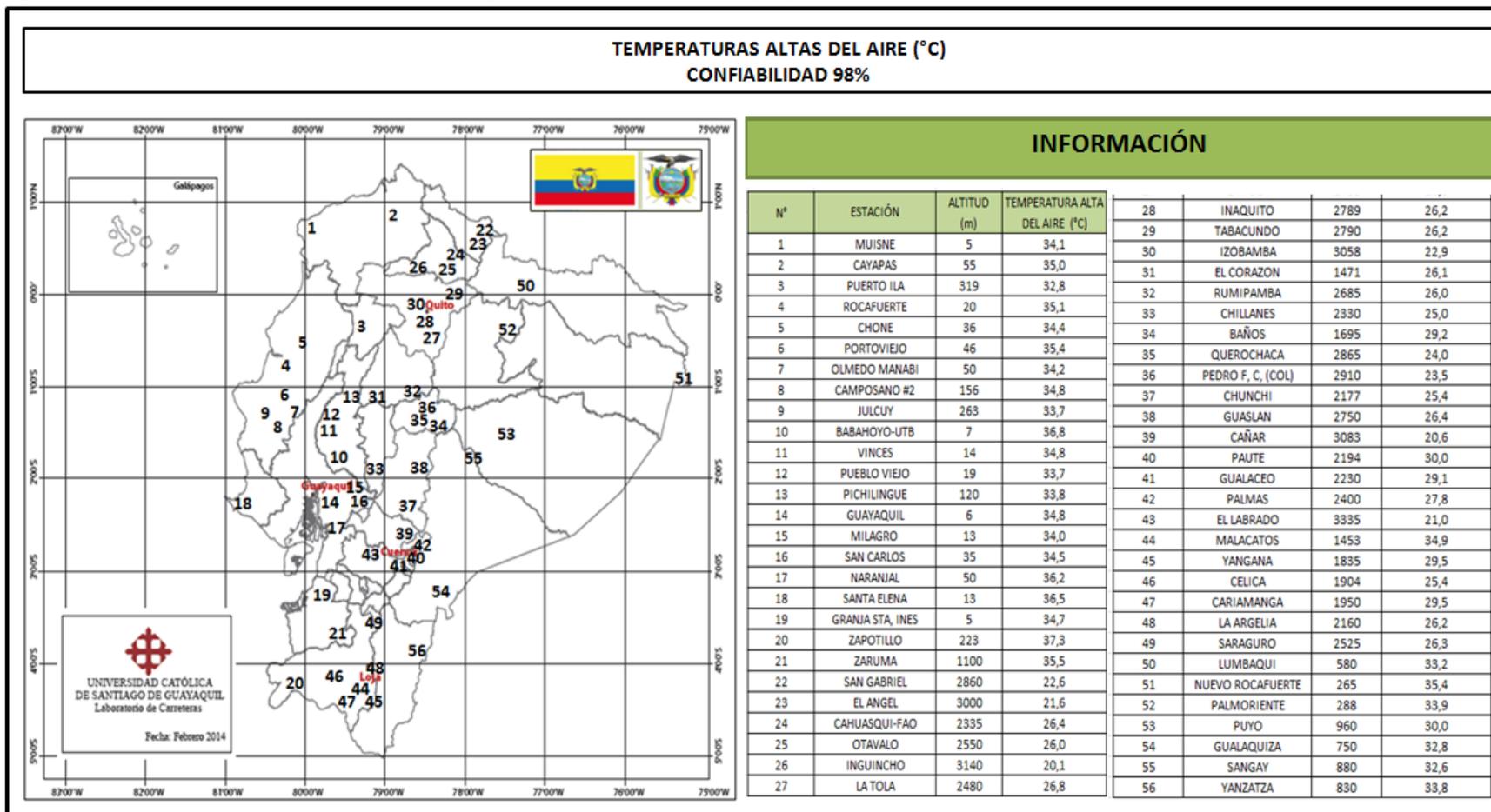
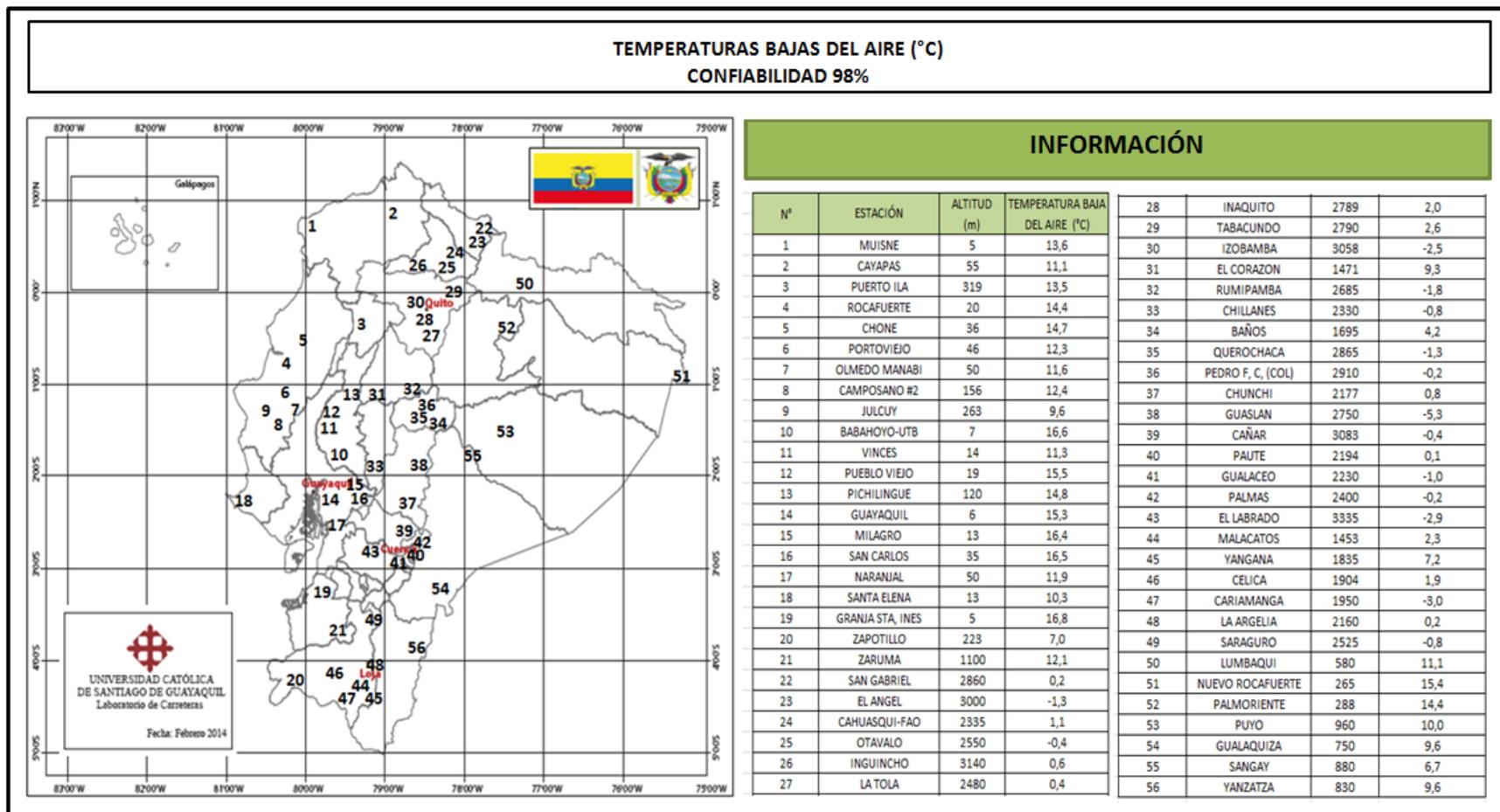
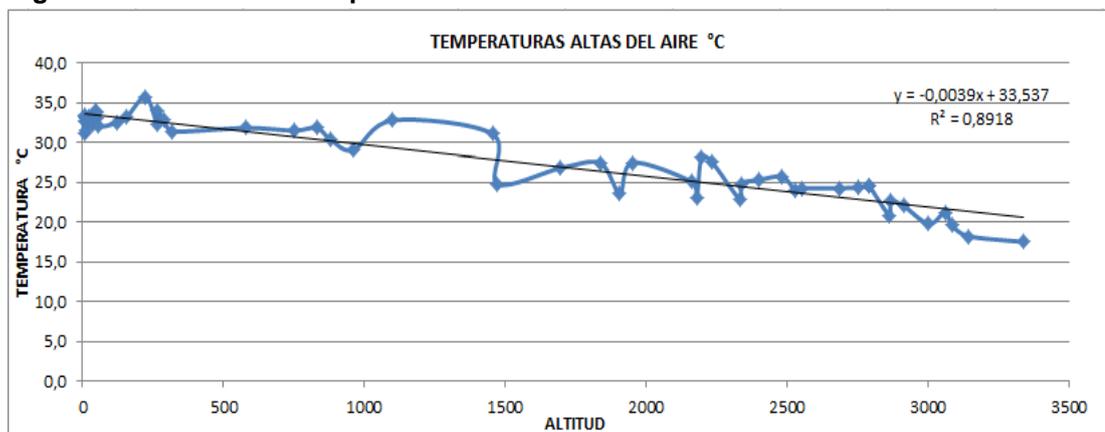


Figura 16: Mapa Temperaturas Bajas del aire para uso del Método Superpave.

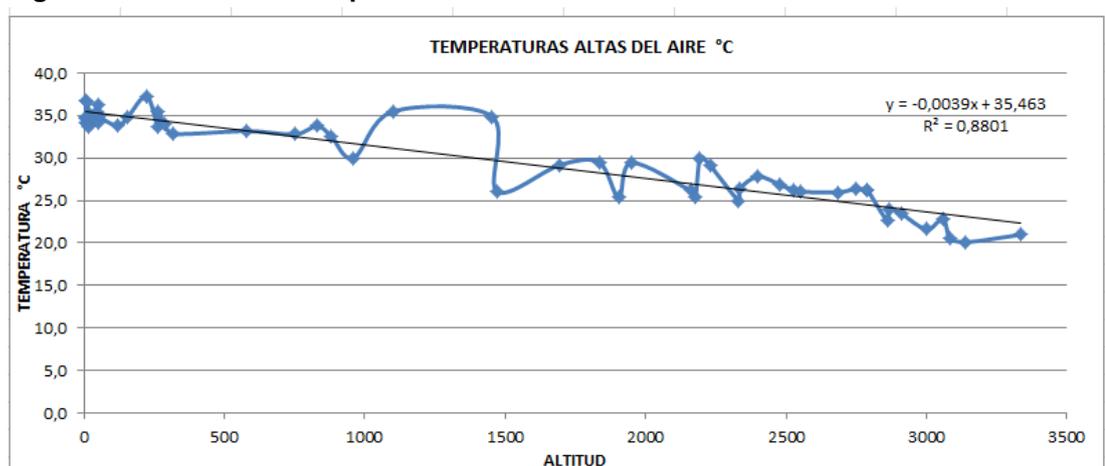


Con las estaciones climatológicas mostradas en las Tablas 17 - 22 con sus registros de altas y bajas temperaturas, se realizó una relación entre las temperaturas altas con respecto a sus altitudes, dando como resultado en las gráficas siguientes que a medida que se incrementa la altura, la temperatura alta anual disminuye. Esta tendencia es más marcada en alturas sobre el nivel del mar mayores de 500 metros, ya que para alturas menores, la temperatura altas anual es prácticamente constante.

**Figura 17: Relación de temperaturas altas con altitudes al 50% de confiabilidad.**

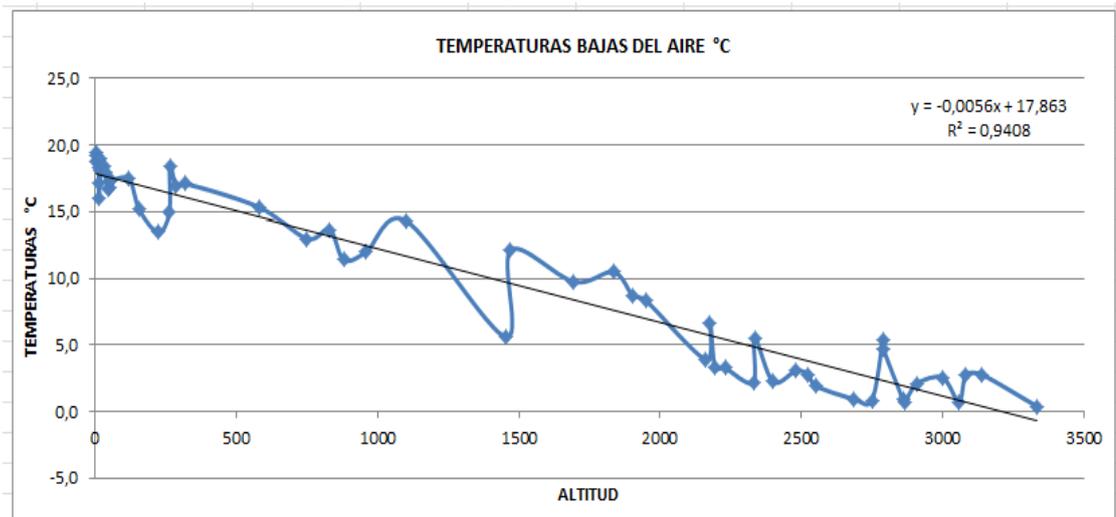


**Figura 18: Relación de temperaturas altas con altitudes al 98% de confiabilidad.**

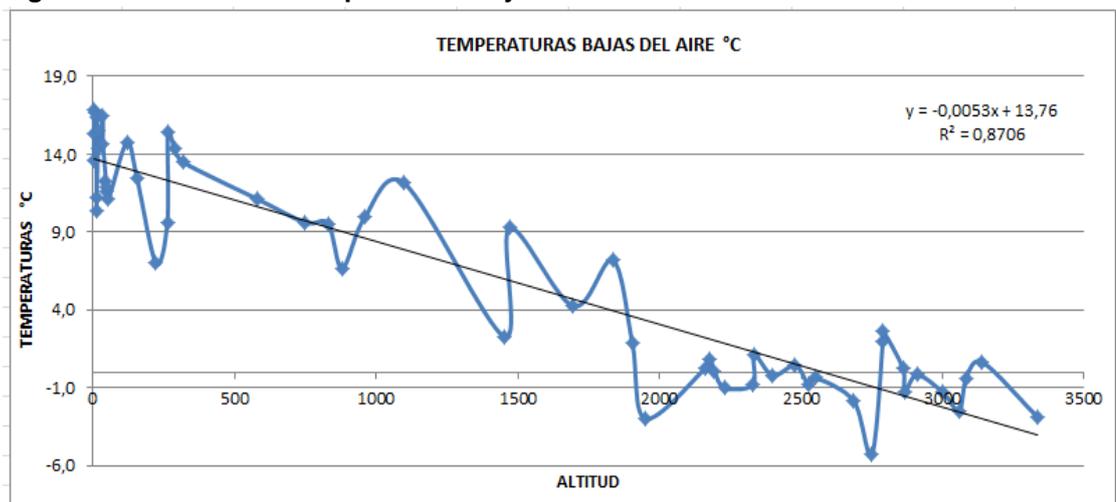


Para las temperaturas bajas del aire con respecto sus altitudes se puede decir que a medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar la temperatura baja disminuye.

**Figura 19: Relación de temperaturas bajas con altitudes al 50% de confiabilidad.**



**Figura 20: Relación de temperaturas bajas con altitudes al 98% de confiabilidad.**



Los valores “R” de correlación mostrada en cada una de las gráficas anteriores son bajos.

### 5.3 OBTENCIÓN DE TEMPERATURAS DEL PAVIMENTO

Una vez obtenido los resultados de temperaturas del aire tanto altas como bajas, se realizó los cálculos correspondientes utilizando las formulaciones descrita en la Sección 4,4 del Método Superpave, para las regiones de la Costa, Sierra y Amazonía, las que permitirán determinar el grado del ligante asfáltico a utilizar de acuerdo a los requisitos del sector y al nivel de confianza deseado. Cumpliendo con este procedimiento se obtienen los valores mostrados en las Tablas siguientes:

Para una confiabilidad del 50% para las regiones Costa, Sierra y Amazonía:

**Tabla 23: Temperaturas del pavimento para la región Costa.**

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | Nº | CODIGO | LONG          | LAT (°) | ALT(m) | 50 % CONFIABILIDAD |            |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|---------|--------|--------------------|------------|
|                   |                  |    |        |               |         |        | TEMPERATURA ° C    |            |
|                   |                  |    |        |               |         |        | T PAV, MAX         | T PAV, MIN |
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62    | 5      | 52,3               | 18,4       |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86    | 55     | 53,2               | 16,6       |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48    | 319    | 52,6               | 16,4       |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92    | 20     | 54,4               | 17,2       |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66    | 36     | 54,5               | 17,1       |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04    | 46     | 55,1               | 16,0       |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39    | 50     | 54,4               | 16,2       |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59    | 156    | 54,5               | 14,7       |
|                   | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48    | 263    | 53,7               | 14,5       |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80    | 7      | 54,0               | 17,9       |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55    | 14     | 54,4               | 15,5       |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52    | 19     | 54,0               | 18,0       |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10    | 120    | 53,7               | 16,7       |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20    | 6      | 54,9               | 17,8       |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12    | 13     | 54,2               | 17,4       |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20    | 35     | 53,8               | 17,5       |
|                   | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66    | 50     | 55,2               | 16,6       |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23    | 13     | 53,0               | 16,4       |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29    | 5      | 54,9               | 18,2       |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38    | 223    | 57,5               | 13,2       |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70    | 1100   | 54,5               | 14,0       |

**Tabla 24: Temperaturas del pavimento para la región Sierra.**

| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | 50 % CONFIABILIDAD |            |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------|------------|
|            |                   |    |        |               |          |          | TEMPERATURA ° C    |            |
|            |                   |    |        |               |          |          | T PAV. MAX         | T PAV. MIN |
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     | 42,5               | 2,4        |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     | 41,5               | 3,9        |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     | 46,3               | 6,4        |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     | 45,7               | 3,4        |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     | 40,0               | 4,1        |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     | 47,1               | 4,3        |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     | 46,0               | 6,3        |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     | 45,9               | 5,8        |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     | 42,8               | 2,3        |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     | 46,4               | 12,1       |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     | 45,9               | 2,5        |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     | 44,8               | 3,6        |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     | 48,4               | 10,1       |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     | 44,4               | 2,2        |
|            | PEDRO F, C, (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     | 43,8               | 3,5        |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     | 45,0               | 7,4        |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     | 46,1               | 2,4        |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     | 41,7               | 4,1        |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     | 49,9               | 4,6        |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     | 49,4               | 4,5        |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     | 47,2               | 3,6        |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     | 39,8               | 2,0        |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     | 53,0               | 6,5        |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     | 49,5               | 10,7       |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     | 45,9               | 9,2        |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     | 49,5               | 8,9        |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     | 47,2               | 5,1        |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     | 46,2               | 4,1        |

**Tabla 25: Temperaturas del pavimento para la región Amazónica.**

| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | 50 % CONFIABILIDAD |            |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------|------------|
|                 |                  |    |        |               |          |          | TEMPERATURA ° C    |            |
|                 |                  |    |        |               |          |          | T PAV. MAX         | T PAV. MIN |
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      | 52,9               | 14,9       |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      | 55,1               | 17,5       |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      | 53,9               | 16,2       |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      | 50,6               | 12,0       |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      | 53,2               | 12,8       |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      | 51,8               | 11,5       |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      | 53,6               | 13,4       |

Para una confiabilidad del 98% para las regiones Costa, Sierra y Amazonía:

**Tabla 26: Temperaturas del pavimento para la región Costa.**

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | 98 % CONFIABILIDAD |            |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------|------------|
|                   |                  |    |        |               |          |          | TEMPERATURA ° C    |            |
|                   |                  |    |        |               |          |          | T PAV. MAX         | T PAV. MIN |
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62     | 5        | 55,2               | 13,4       |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86     | 55       | 56,0               | 11,2       |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48     | 319      | 53,9               | 13,3       |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92     | 20       | 56,2               | 14,1       |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66     | 36       | 55,5               | 14,3       |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04     | 46       | 56,5               | 12,3       |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39     | 50       | 55,5               | 11,7       |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59     | 156      | 56,1               | 12,4       |
|                   | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48     | 263      | 55,0               | 9,9        |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80     | 7        | 58,0               | 16,0       |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55     | 14       | 56,0               | 11,4       |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52     | 19       | 55,0               | 15,0       |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10     | 120      | 55,0               | 14,4       |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20     | 6        | 56,2               | 14,8       |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12     | 13       | 55,4               | 15,8       |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20     | 35       | 55,9               | 15,9       |
|                   | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66     | 50       | 57,6               | 11,9       |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23     | 13       | 57,8               | 10,6       |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29     | 5        | 56,3               | 16,1       |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38     | 223      | 58,0               | 7,7        |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70     | 1100     | 57,1               | 12,1       |

**Tabla 27: Temperaturas del pavimento para la región Sierra.**

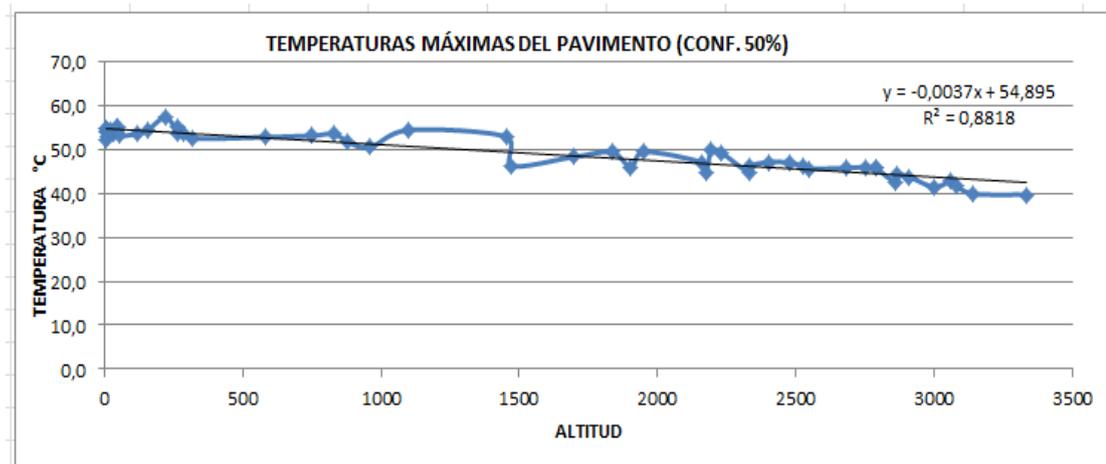
| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | 98 % CONFIABILIDAD |            |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------|------------|
|            |                   |    |        |               |          |          | TEMPERATURA ° C    |            |
|            |                   |    |        |               |          |          | T PAV. MAX         | T PAV. MIN |
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     | 44,2               | 1,9        |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     | 43,3               | 0,6        |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     | 47,8               | 2,6        |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     | 47,4               | 1,4        |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     | 41,8               | 2,3        |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     | 48,2               | 2,1        |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     | 47,5               | 3,4        |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     | 47,6               | 3,9        |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     | 44,4               | -0,4       |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     | 47,6               | 9,7        |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     | 47,5               | 0,1        |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     | 46,8               | 1,0        |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     | 50,7               | 5,3        |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     | 45,7               | 0,6        |
|            | PEDRO F, C. (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     | 45,2               | 1,6        |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     | 47,2               | 2,4        |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     | 48,0               | -2,8       |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     | 42,7               | 1,4        |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     | 51,7               | 1,8        |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     | 50,9               | 0,8        |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     | 49,6               | 1,5        |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     | 43,1               | -0,8       |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     | 56,6               | 3,7        |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     | 51,5               | 7,9        |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     | 47,5               | 3,3        |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     | 51,4               | -0,9       |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     | 48,3               | 1,9        |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     | 48,3               | 1,0        |

**Tabla 28: Temperaturas del pavimento para la región Amazonía.**

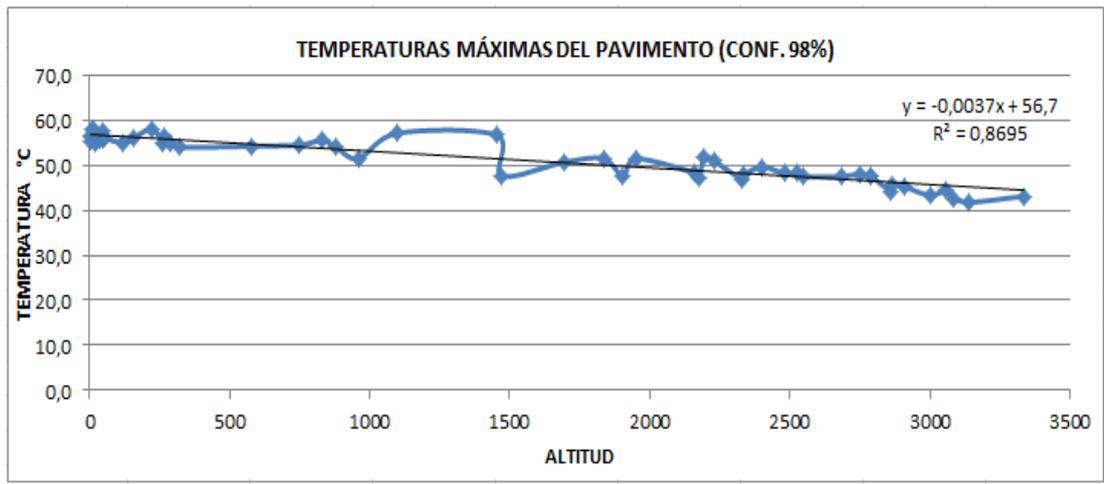
| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | 98 % CONFIABILIDAD |            |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|--------------------|------------|
|                 |                  |    |        |               |          |          | TEMPERATURA ° C    |            |
|                 |                  |    |        |               |          |          | T PAV. MAX         | T PAV. MIN |
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      | 54,2               | 11,3       |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      | 56,5               | 14,9       |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      | 55,0               | 14,0       |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      | 51,5               | 10,3       |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      | 54,5               | 10,0       |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      | 53,9               | 7,4        |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      | 55,5               | 9,9        |

Se realizó una relación entre las temperaturas máximas del pavimento con respecto a las altitudes de cada estación, dando como resultado en las gráficas siguientes que a medida que se incrementa la altura, la temperatura máxima del pavimento anual disminuye. Esta tendencia es más marcada en alturas sobre el nivel del mar mayores de 500 metros, ya que para alturas menores, la temperatura altas anual es prácticamente constante.

**Figura 21: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 50% de confiabilidad.**

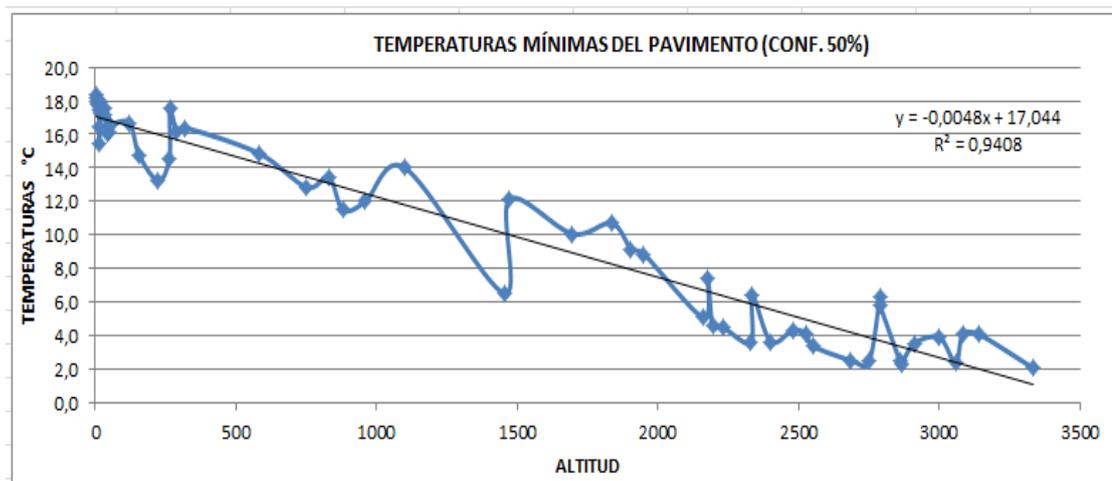


**Figura 22: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 98% de confiabilidad.**

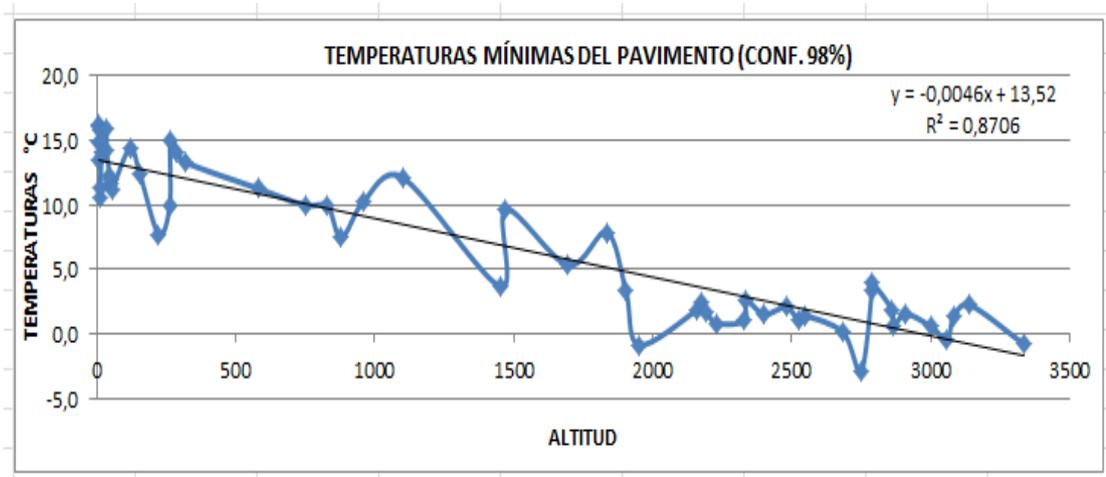


Para las temperaturas mínimas del pavimento se puede decir que a medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar la temperatura mínimas del pavimento disminuye, esta tendencia se muestran en la gráficas siguientes.

**Figura 23: Relación de temperaturas mínimas del pavimento con altitudes al 98% de confiabilidad.**



**Figura 24: Relación de temperaturas máximas del pavimento con altitudes al 98% de confiabilidad.**



Los valores “R” de correlación mostrada en cada una de las gráficas anteriores son bajos. Todos los valores muestran una tendencia general a una línea recta.

#### **5.4 SELECCIÓN DEL GRADO DEL LIGANTE ASFÁLTICO**

Para la selección del ligante asfáltico se debe utilizar la Tabla 3 descrita anteriormente en la Sección 4.3 que contiene la especificación Superpave, que sirve para calcular los distintos ligantes asfálticos asociados a las estaciones meteorológicas estudiadas tanto para los niveles de confianza del 50% y 98%. Estos resultados se muestran en las tablas siguientes para las regiones Costa, Sierra y Amazonía.

Para una confiabilidad del 50% para las regiones Costa, Sierra y Amazonía:

**Tabla 29: Grados del ligante asfáltico región Costa.**

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | N° | CODIGO | LONG          | LAT (°) | ALT(m) | GRADO DE ASFALTO |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|---------|--------|------------------|
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62    | 5      | PG 58 - 16       |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86    | 55     | PG 58 - 16       |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48    | 319    | PG 58 - 16       |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92    | 20     | PG 58 - 16       |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66    | 36     | PG 58 - 16       |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04    | 46     | PG 58 - 16       |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39    | 50     | PG 58 - 16       |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59    | 156    | PG 58 - 16       |
| LOS RIOS          | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48    | 263    | PG 58 - 16       |
|                   | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80    | 7      | PG 58 - 16       |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55    | 14     | PG 58 - 16       |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52    | 19     | PG 58 - 16       |
| GUAYAS            | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10    | 120    | PG 58 - 16       |
|                   | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20    | 6      | PG 58 - 16       |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12    | 13     | PG 58 - 16       |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20    | 35     | PG 58 - 16       |
| SANTA ELENA       | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66    | 50     | PG 58 - 16       |
|                   | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23    | 13     | PG 58 - 16       |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29    | 5      | PG 58 - 16       |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38    | 223    | PG 58 - 16       |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70    | 1100   | PG 58 - 16       |

**Tabla 30: Grados del ligante asfáltico región Sierra.**

| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | N° | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | GRADO DE ASFALTO |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|------------------|
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     | PG 46 - 34       |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     | PG 46 - 34       |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     | PG 52 - 10       |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     | PG 46 - 34       |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     | PG 46 - 34       |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     | PG 52 - 10       |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     | PG 52 - 10       |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     | PG 46 - 34       |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     | PG 46 - 34       |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     | PG 52 - 10       |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     | PG 46 - 34       |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     | PG 46 - 34       |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     | PG 52 - 10       |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     | PG 46 - 34       |
|            | PEDRO F, C, (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     | PG 46 - 34       |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     | PG 46 - 34       |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     | PG 52 - 10       |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     | PG 46 - 34       |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     | PG 52 - 10       |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     | PG 52 - 10       |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     | PG 52 - 10       |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     | PG 46 - 34       |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     | PG 58 - 16       |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     | PG 52 - 10       |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     | PG 46 - 34       |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     | PG 52 - 10       |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     | PG 52 - 10       |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     | PG 52 - 10       |

**Tabla 31: Grados del ligante asfáltico región Amazónica.**

| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | Nº | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | GRADO DE ASFALTO |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|------------------|
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      | PG 58 - 16       |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      | PG 58 - 16       |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      | PG 58 - 16       |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      | PG 52 - 10       |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      | PG 58 - 16       |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      | PG 58 - 16       |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      | PG 58 - 16       |

Para una confiabilidad del 98% para las regiones Costa, Sierra y Amazonía:

**Tabla 32: Grados del ligante asfáltico región Costa.**

| PROVINCIA         | ESTACIÓN         | Nº | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | GRADO DE ASFALTO |
|-------------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|------------------|
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | M153   | 80° 1' 28" W  | 0,62     | 5        | PG 58 - 16       |
|                   | CAYAPAS          | 2  | M154   | 78° 57' 44" W | 0,86     | 55       | PG 58 - 16       |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | M026   | 79° 20' 20" W | 0,48     | 319      | PG 58 - 16       |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | M165   | 80° 26' 55" W | 0,92     | 20       | PG 58 - 16       |
|                   | CHONE            | 5  | M162   | 80° 2' 11" W  | 0,66     | 36       | PG 58 - 16       |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | M005   | 80° 27' 35" W | 1,04     | 46       | PG 58 - 16       |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | M166   | 80° 12' 25" W | 1,39     | 50       | PG 58 - 16       |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | M171   | 80° 24' 4" W  | 1,59     | 156      | PG 58 - 16       |
|                   | JULCUY           | 9  | M169   | 80° 37' 56" W | 1,48     | 263      | PG 58 - 16       |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | M051   | 79° 32' 0" W  | 1,80     | 7        | PG 58 - 16       |
|                   | VINCES           | 11 | M466   | 79° 45' 0" W  | 1,55     | 14       | PG 58 - 16       |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | M172   | 79° 45' 0" W  | 1,52     | 19       | PG 58 - 16       |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | M006   | 79° 27' 42" W | 1,10     | 120      | PG 58 - 16       |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | MA2V   | 79° 53' 0" W  | 2,20     | 6        | PG 58 - 16       |
|                   | MILAGRO          | 15 | M037   | 79° 35' 57" W | 2,12     | 13       | PG 58 - 16       |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | M218   | 79° 26' 35" W | 2,20     | 35       | PG 58 - 16       |
|                   | NARANJAL         | 17 | M176   | 79° 35' 23" W | 2,66     | 50       | PG 58 - 16       |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | MB06   | 80° 54' 30" W | 2,23     | 13       | PG 58 - 16       |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | M292   | 79° 54' 5" W  | 3,29     | 5        | PG 58 - 16       |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | M151   | 80° 14' 11" W | 4,38     | 223      | PG 58 - 16       |
|                   | ZARUMA           | 21 | M180   | 79° 36' 41" W | 3,70     | 1100     | PG 58 - 16       |

**Tabla 33: Grados del ligante asfáltico región Sierra.**

| PROVINCIA  | ESTACIÓN          | Nº | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | GRADO DE ASFALTO |
|------------|-------------------|----|--------|---------------|----------|----------|------------------|
| CARCHI     | SAN GABRIEL       | 22 | M103   | 77° 49' 10" W | 0,60     | 2860     | PG 46 - 34       |
|            | EL ANGEL          | 23 | M102   | 77° 56' 38" W | 0,63     | 3000     | PG 46 - 34       |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO     | 24 | M107   | 78° 12' 40" W | 0,52     | 2335     | PG 52 - 10       |
|            | OTAVALO           | 25 | M105   | 78° 15' 0" W  | 0,24     | 2550     | PG 52 - 10       |
|            | INGUINCHO         | 26 | M001   | 78° 24' 3" W  | 0,26     | 3140     | PG 46 - 34       |
| PICHINCHA  | LA TOLA           | 27 | M002   | 78° 22' 0" W  | 0,23     | 2480     | PG 52 - 10       |
|            | INAQUITO          | 28 | M024   | 78° 29' 0" W  | 0,17     | 2789     | PG 52 - 10       |
|            | TABACUNDO         | 29 | MA2T   | 78° 14' 0" W  | 0,03     | 2790     | PG 52 - 10       |
|            | IZOBAMBA          | 30 | M003   | 78° 33' 0" W  | 0,37     | 3058     | PG 46 - 34       |
| COTOPAXI   | EL CORAZON        | 31 | M123   | 79° 4' 32" W  | 1,13     | 1471     | PG 52 - 10       |
|            | RUMIPAMBA         | 32 | M004   | 78° 35' 41" W | 1,02     | 2685     | PG 52 - 10       |
| BOLIVAR    | CHILLANES         | 33 | M130   | 79° 3' 48" W  | 1,98     | 2330     | PG 52 - 10       |
| TUNGURAHUA | BAÑOS             | 34 | M029   | 78° 25' 5" W  | 1,39     | 1695     | PG 52 - 10       |
|            | QUEROCHACA        | 35 | M258   | 78° 36' 20" W | 1,37     | 2865     | PG 46 - 34       |
|            | PEDRO F, C, (COL) | 36 | M128   | 78° 36' 54" W | 1,35     | 2910     | PG 46 - 34       |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI           | 37 | M136   | 78° 55' 25" W | 2,28     | 2177     | PG 52 - 10       |
|            | GUASLAN           | 38 | M133   | 78° 39' 40" W | 1,72     | 2750     | PG 52 - 10       |
| CAÑAR      | CAÑAR             | 39 | M031   | 78° 56' 43" W | 2,55     | 3083     | PG 46 - 34       |
| AZUAY      | PAUTE             | 40 | M138   | 78° 45' 46" W | 2,80     | 2194     | PG 52 - 10       |
|            | GUALACEO          | 41 | M139   | 78° 46' 35" W | 2,88     | 2230     | PG 52 - 10       |
|            | PALMAS            | 42 | M045   | 78° 37' 47" W | 2,72     | 2400     | PG 52 - 10       |
|            | EL LABRADO        | 43 | M141   | 79° 4' 23" W  | 2,73     | 3335     | PG 46 - 34       |
| LOJA       | MALACATOS         | 44 | M143   | 79° 16' 16" W | 4,22     | 1453     | PG 58 - 16       |
|            | YANGANA           | 45 | M147   | 79° 10' 29" W | 4,37     | 1835     | PG 52 - 10       |
|            | CELICA            | 46 | M148   | 79° 57' 5" W  | 4,10     | 1904     | PG 52 - 10       |
|            | CARIAMANGA        | 47 | M146   | 79° 33' 16" W | 4,33     | 1950     | PG 52 - 10       |
|            | LA ARGELIA        | 48 | M033   | 79° 12' 4" W  | 4,04     | 2160     | PG 52 - 10       |
|            | SARAGURO          | 49 | M142   | 79° 14' 2" W  | 3,61     | 2525     | PG 52 - 10       |

**Tabla 34: Grados del ligante asfáltico región Amazónica.**

| PROVINCIA       | ESTACIÓN         | Nº | CODIGO | LONG.         | LAT. (°) | ALT. (m) | GRADO DE ASFALTO |
|-----------------|------------------|----|--------|---------------|----------|----------|------------------|
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | MB77   | 77° 20' 2" W  | 0,04     | 580      | PG 58 - 16       |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | M007   | 75° 25' 0" W  | 0,92     | 265      | PG 58 - 16       |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | M293   | 77° 4' 6" W   | 0,31     | 288      | PG 58 - 16       |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | M008   | 77° 56' 38" W | 1,51     | 960      | PG 52 - 10       |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | M189   | 78° 34' 33" W | 3,40     | 750      | PG 58 - 16       |
|                 | SANGAY           | 55 | M041   | 77° 57' 31" W | 1,69     | 880      | PG 58 - 16       |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | M190   | 78° 45' 1" W  | 3,84     | 830      | PG 58 - 16       |

Observando los valores de la Tabla 29 a la Tabla 34 se detecta que existen casos donde se obtiene un mismo PG para ambos niveles de confianza, mientras que en otros se sube un grado más producto de variaciones en las estimaciones estadísticas. A continuación, se presenta el PG con su ubicación correspondiente para el 50% y 98% de confiabilidad.

Figura 25: Grados del ligante asfáltico para el 50% de confiabilidad.

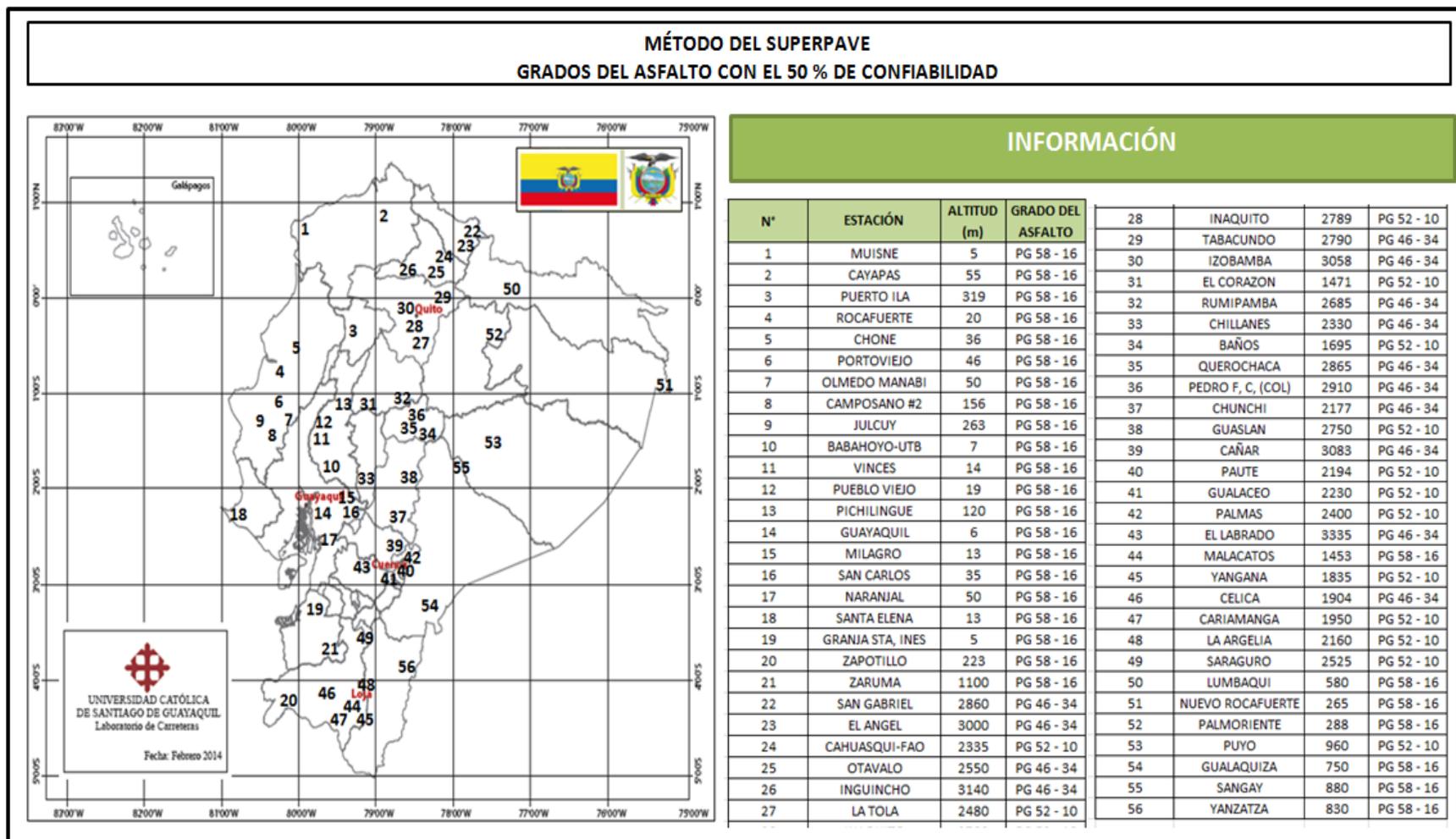
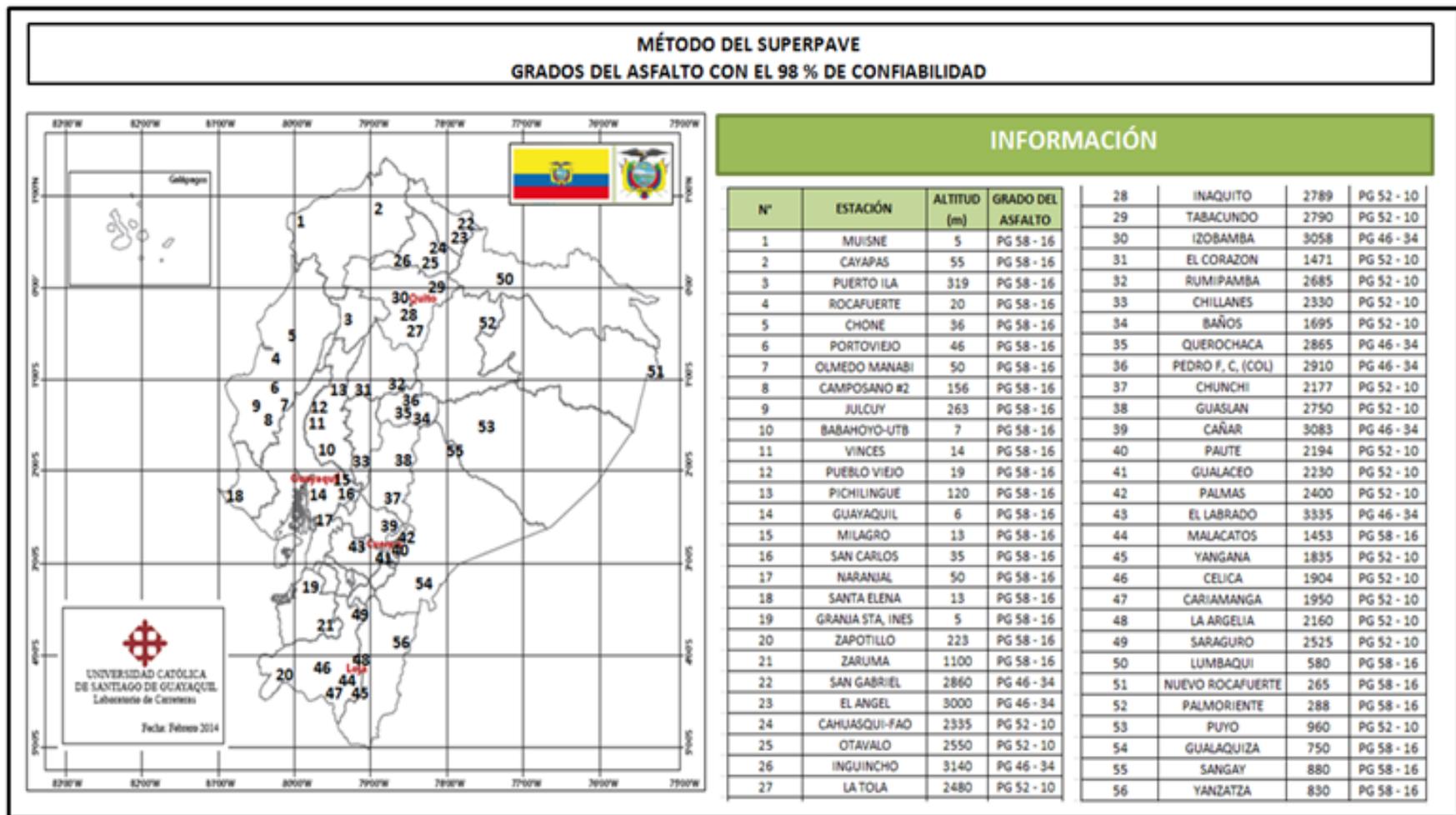


Figura 26: Grados del ligante asfáltico para el 98% de confiabilidad.



## **5.5 AJUSTE DEL GRADO DE PERFORMANCE DEL LIGANTE ASFÁTICO**

Como se mencionó anteriormente el PG del ligante asfáltico está influido por el clima, altitud, latitud, etc. Existen también otros factores que implicarían hacer ajustes en el PG, como son el volumen y la velocidad del tránsito. En las especificaciones del Superpave existen cuatro posibles situaciones:

- Frente a cargas lentas se debe incrementar un nivel a la temperatura alta de graduación.
- Frente a cargas estáticas se debe incrementar dos niveles la temperatura alta de graduación.
- Para volumen de tránsito medio, incrementar un nivel a la temperatura alta de graduación.
- Para volumen de tránsito alto, incrementar dos niveles a la temperatura alta de graduación.

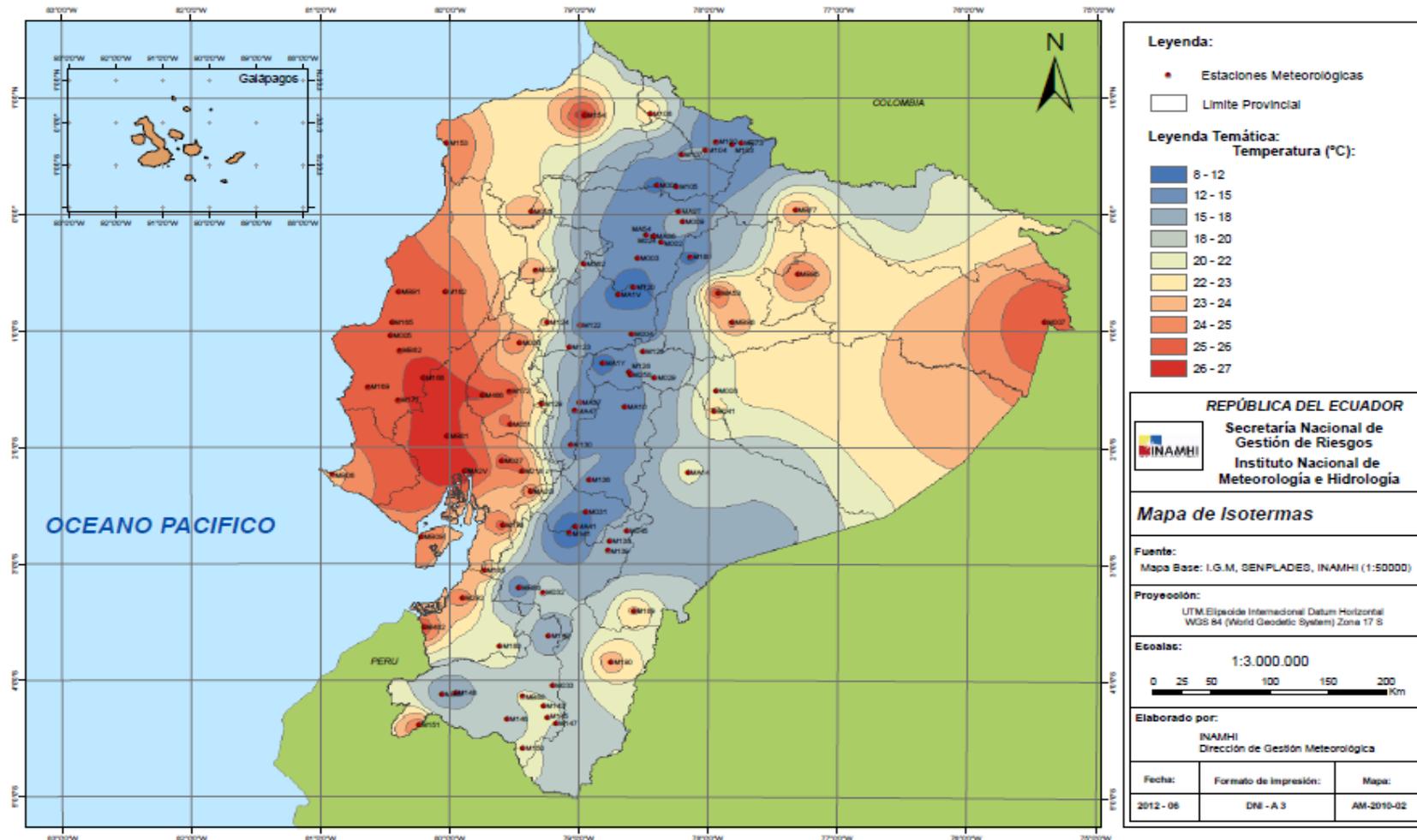
Estas condiciones deben ser consideradas para incrementar el PG en particular en la zona de alta temperatura y se encuentran recogidas en el método Superpave.

Para el caso de las bajas temperaturas no existe un ajuste como tal especificado en el método, aunque en la actualidad varios estados en los E.E.U.U. han realizado este tipo de afinamiento por las características específicas de los asfaltos que normalmente emplean. De esta forma, debido a la experiencia local en ciertos casos se ha disminuido en un grado el PG correspondiente a la zona de baja temperatura.

## **5.6 ELABORACIÓN DEL MAPA CON LA ZONIFICACIÓN DE LOS PG A EMPLEAR EN LOS CEMENTOS ASFÁTICOS EN EL ECUADOR**

Una vez determinado los grados del ligante asfáltico (PG) se procedió a elaborar un mapa partiendo de los resultados obtenidos en las diferentes estaciones y además con la ayuda del mapa de las isotermas publicado por el INAMHI que se muestra a continuación:

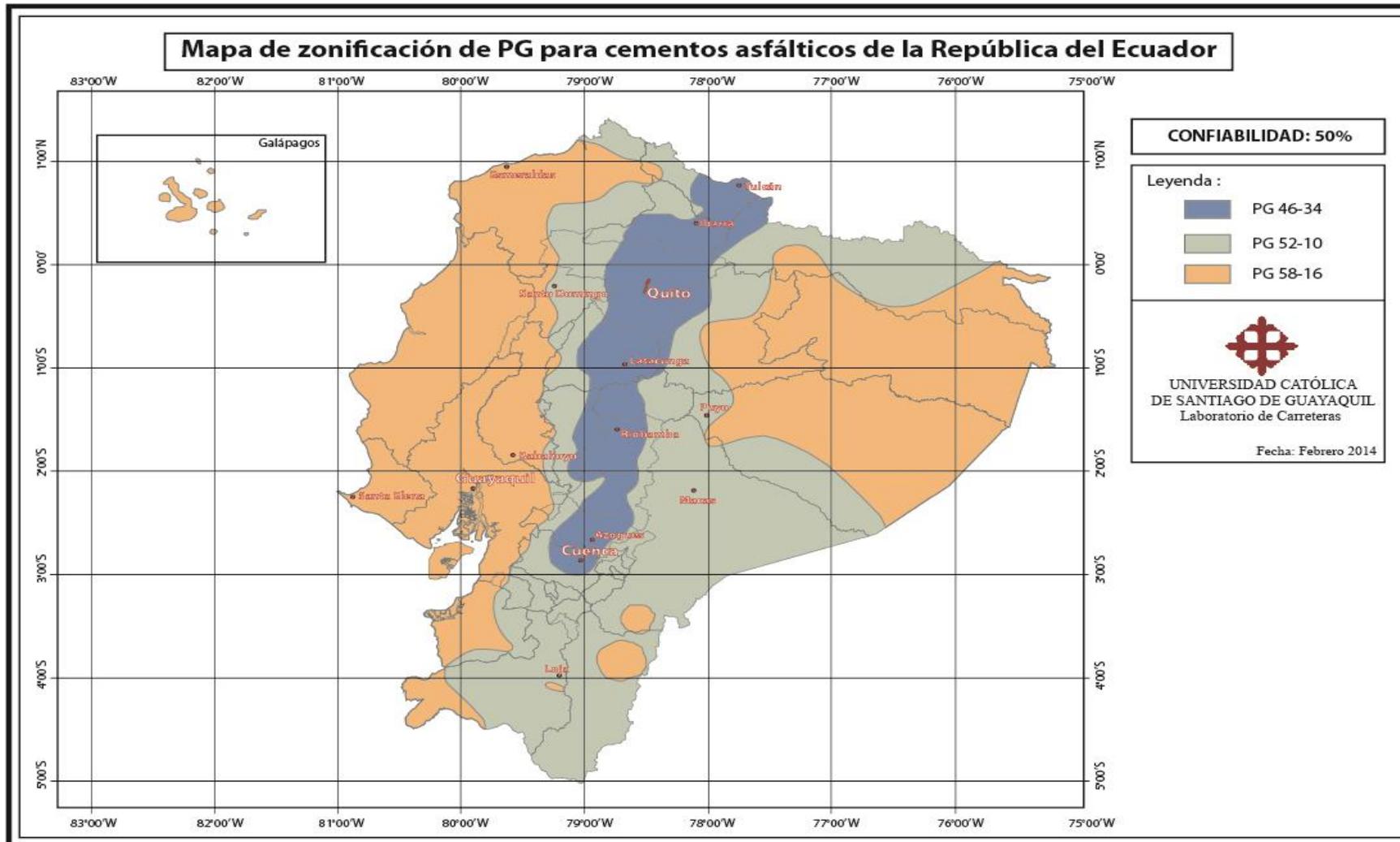
Figura 27: Mapa de isotermas del Ecuador.



Fuente: Anuario 2010 INAMHI.

A continuación, se muestran los mapas para la obtención del ligante asfáltico por el método del Superpave para el 50% y 98% de confiabilidad. Lógicamente para el 98% de confiabilidad se obtienen parámetros más representativos de lo que ocurre en la realidad, ya que existe solamente un 2% de valores sin considerar en nuestra determinación de temperaturas.

Figura 28: Mapa de zonificación del PG para el Ecuador.





## **CAPÍTULO 6: PRECIPITACIONES**

### **6.1 GENERALIDADES**

Los resultados obtenidos de las precipitaciones son calculados en función de los datos registrados por el INAMHI seleccionadas anteriormente para el método del Superpave, obteniéndose el promedio y el acumulado mensual para el periodo de estudio.

### **6.2 PRECIPITACIONES**

Las precipitaciones se las adquiere midiendo las alturas de precipitaciones, en milímetros, que equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado. Para considerar un día de precipitación se debe recoger 0,1 milímetros de lluvia para el caso de Ecuador, ya que para otros países este criterio varia.

Los dispositivos que se utiliza para medir las precipitaciones atmosféricas son:

- Pluviómetro, que consiste en un instrumento destinado para medir las alturas de agua (precipitaciones), con una superficie receptora conformado por un anillo de 200 cm<sup>2</sup> de superficie, que no está sujeto a evaporación, midiéndose a una altura de 1,20 cm para evitar corrientes turbulentas a baja alturas y salpicado en la superficie terrestre (Anuario del INAMHI, 2010).
- Fluviógrafo, que consiste en un instrumento similar al pluviómetro que adicionalmente cuenta con un dispositivo para registrar las alturas de precipitaciones por medio de gráficas (Anuario del INAMHI, 2010).

### **6.3 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA**

Para la obtención de la muestra el INAMHI lo realiza con los valores diarios calculados con la suma de observaciones de 13 y 19 horas del día a calcular, más la observación de las siete horas del día siguiente.

También para el cálculo en 24 horas se lo realiza con la observación de las 7 horas, ya que por ser un proceso acumulativo no es necesario registrar los datos de las 13 y/o 19 horas, valores que se acumulan en el registro de las 7 horas del día siguiente.

También el valor máximo de 24 horas se lo realiza calculando en 24 horas para todos los días del mes, considerando el máximo absoluto, estos valores se obtiene con un mínimo de 20 días registrados (Anuario del INAMHI, 2010).

### **6.4 CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL ESTUDIO**

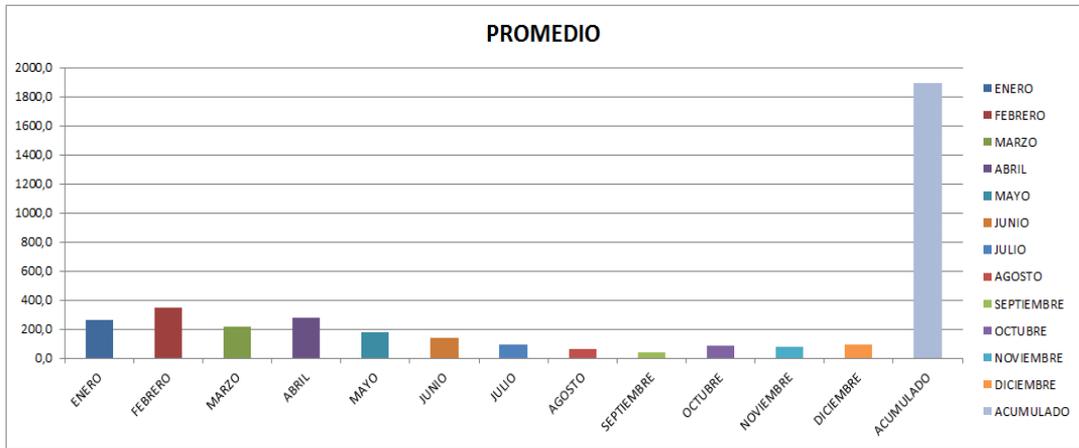
Con la información recopilada del INAMHI recopiladas anteriormente para el desarrollo del método SUPERPAVE, sirvió también para realizar la obtención de las precipitaciones, obteniéndose un promedio mensual y acumulativo para cada estación en un periodo de 20 años consecutivos tanto para las regiones Costa, Sierra y Amazonía.

Para la región de la Costa se obtuvo el siguiente cuadro comparativo con sus gráficas respectivas.

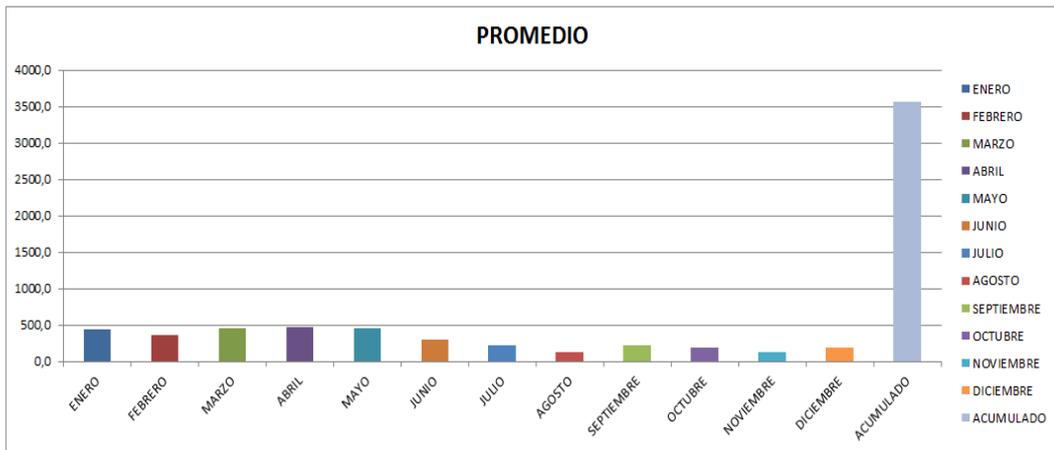
**Tabla 35: Precipitaciones en un periodo de 20 años.**

| PROVINCIA         | ESTACION         | N° | LAT. (°) | ALT. (m) | PRECIPITACIONES PERIODO 20 AÑOS |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |           |
|-------------------|------------------|----|----------|----------|---------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|                   |                  |    |          |          | PROMEDIO                        |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           | ACUMULADO |
|                   |                  |    |          |          | ENERO                           | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |           |
| ESMERALDAS        | MUISNE           | 1  | 0,62     | 5        | 263,9                           | 348,6   | 220,0 | 281,7 | 179,2 | 137,1 | 98,1  | 63,6   | 40,5       | 84,0    | 81,2      | 97,7      | 1895,6    |
|                   | CAYAPAS          | 2  | 0,86     | 55       | 441,7                           | 363,3   | 450,8 | 477,0 | 455,0 | 305,4 | 222,3 | 121,9  | 220,8      | 184,2   | 128,1     | 191,5     | 3562,3    |
| SAN, D, TSACHILAS | PUERTO ILA       | 3  | 0,48     | 319      | 425,7                           | 525,7   | 517,0 | 545,2 | 237,2 | 100,0 | 62,7  | 39,9   | 78,7       | 59,8    | 86,5      | 204,0     | 2882,5    |
| MANABI            | ROCAFUERTE       | 4  | 0,92     | 20       | 80,7                            | 143,5   | 123,2 | 86,1  | 30,7  | 7,2   | 2,8   | 8,3    | 2,2        | 2,8     | 9,5       | 28,9      | 526,1     |
|                   | CHONE            | 5  | 0,66     | 36       | 182,0                           | 325,4   | 256,9 | 183,4 | 62,4  | 34,8  | 17,6  | 14,8   | 12,3       | 12,1    | 28,1      | 74,3      | 1204,1    |
|                   | PORTOVIEJO       | 6  | 1,04     | 46       | 99,4                            | 152,9   | 160,4 | 90,4  | 38,0  | 12,2  | 4,3   | 4,4    | 3,8        | 3,2     | 9,8       | 34,9      | 613,7     |
|                   | OLMEDO MANABI    | 7  | 1,39     | 50       | 280,3                           | 389,1   | 385,4 | 330,8 | 136,9 | 26,0  | 10,3  | 12,4   | 15,3       | 24,3    | 22,2      | 106,7     | 1739,7    |
|                   | CAMPOSANO #2     | 8  | 1,59     | 156      | 212,5                           | 312,1   | 354,0 | 276,1 | 132,1 | 25,7  | 17,5  | 4,4    | 13,2       | 5,2     | 26,8      | 58,7      | 1438,4    |
|                   | JULCUY           | 9  | 1,48     | 263      | 235,2                           | 308,4   | 273,0 | 104,9 | 35,4  | 9,7   | 2,5   | 2,2    | 1,5        | 1,9     | 8,1       | 12,9      | 995,6     |
| LOS RIOS          | BABAHOYO-UTB     | 10 | 1,80     | 7        | 317,1                           | 538,4   | 521,1 | 389,3 | 139,9 | 36,4  | 9,7   | 3,8    | 14,1       | 7,1     | 35,4      | 126,7     | 2138,8    |
|                   | VINCES           | 11 | 1,55     | 14       | 319,0                           | 346,0   | 357,2 | 302,3 | 109,6 | 20,0  | 14,5  | 7,1    | 32,6       | 8,0     | 34,1      | 141,9     | 1692,3    |
|                   | PUEBLO VIEJO     | 12 | 1,52     | 19       | 364,5                           | 420,5   | 446,5 | 365,7 | 135,5 | 30,9  | 21,0  | 5,0    | 25,7       | 6,2     | 35,1      | 146,6     | 2003,3    |
|                   | PICHILINGUE      | 13 | 1,10     | 120      | 373,6                           | 452,0   | 465,9 | 430,1 | 181,6 | 44,4  | 32,6  | 12,1   | 29,1       | 24,8    | 77,2      | 141,2     | 2264,7    |
| GUAYAS            | GUAYAQUIL        | 14 | 2,20     | 6        | 168,9                           | 344,8   | 362,9 | 240,0 | 63,9  | 9,8   | 5,6   | 0,8    | 1,4        | 5,4     | 31,0      | 70,3      | 1304,8    |
|                   | MILAGRO          | 15 | 2,12     | 13       | 230,5                           | 433,7   | 419,5 | 225,0 | 86,3  | 16,6  | 10,5  | 1,8    | 7,2        | 2,7     | 29,3      | 68,9      | 1532,2    |
|                   | SAN CARLOS       | 16 | 2,20     | 35       | 320,3                           | 503,4   | 442,1 | 352,0 | 199,9 | 42,1  | 20,2  | 7,7    | 14,7       | 12,9    | 54,7      | 154,6     | 2124,5    |
|                   | NARANJAL         | 17 | 2,66     | 50       | 60,6                            | 89,8    | 82,8  | 71,9  | 27,1  | 12,8  | 10,9  | 12,0   | 13,1       | 19,3    | 21,6      | 29,6      | 451,3     |
| SANTA ELENA       | SANTA ELENA      | 18 | 2,23     | 13       | 17,1                            | 82,5    | 45,8  | 10,6  | 3,5   | 0,1   | 1,4   | 0,8    | 1,3        | 1,6     | 0,9       | 0,6       | 166,0     |
| EL ORO            | GRANJA STA, INES | 19 | 3,29     | 5        | 103,4                           | 187,2   | 157,6 | 83,4  | 32,9  | 15,9  | 11,7  | 9,9    | 12,7       | 17,1    | 21,3      | 46,2      | 699,3     |
|                   | ZAPOTILLO        | 20 | 4,38     | 223      | 107,5                           | 276,6   | 351,0 | 182,3 | 36,6  | 1,3   | 0,2   | 0,0    | 2,1        | 1,5     | 2,9       | 33,9      | 995,8     |
|                   | ZARUMA           | 21 | 3,70     | 1100     | 217,0                           | 332,3   | 340,1 | 251,0 | 103,8 | 25,3  | 5,8   | 2,9    | 14,4       | 22,5    | 50,9      | 149,9     | 1516,0    |

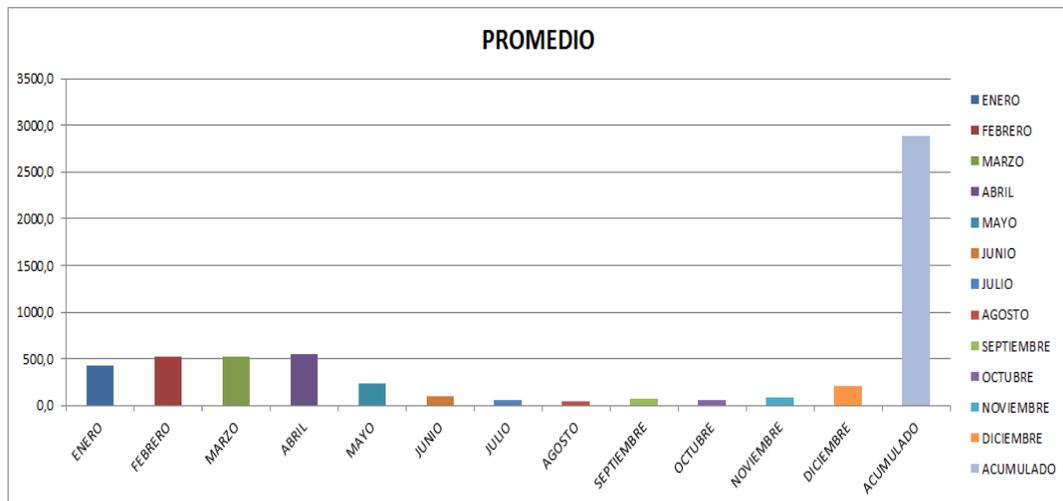
**Figura 30: Precipitaciones Estación Muisne 1991 – 2010.**



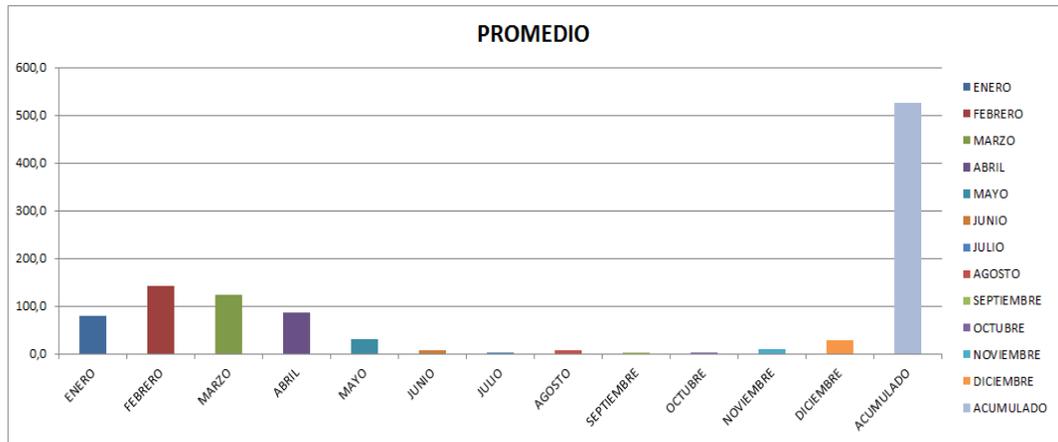
**Figura 31: Precipitaciones Estación Cayapas 1991 – 2010.**



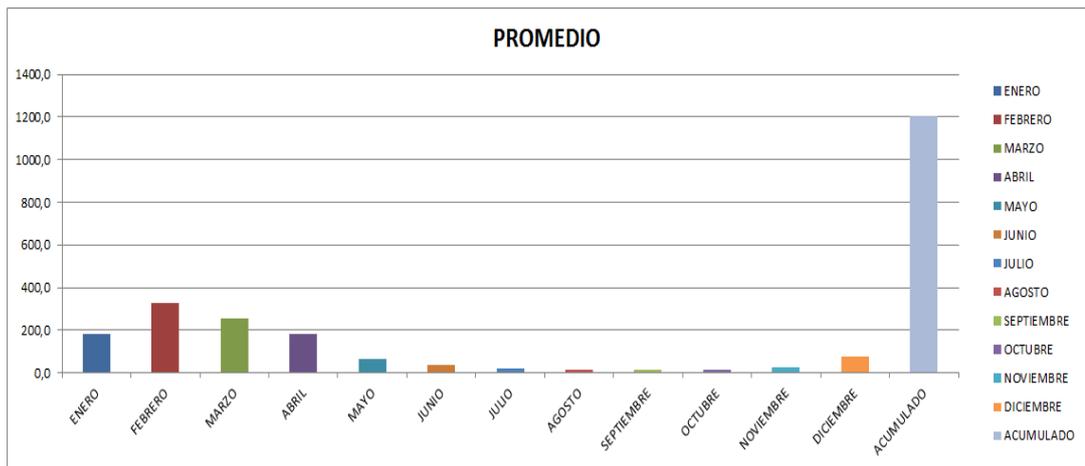
**Figura 32: Precipitaciones Estación S. T. Tsáchilas 1991 – 2010.**



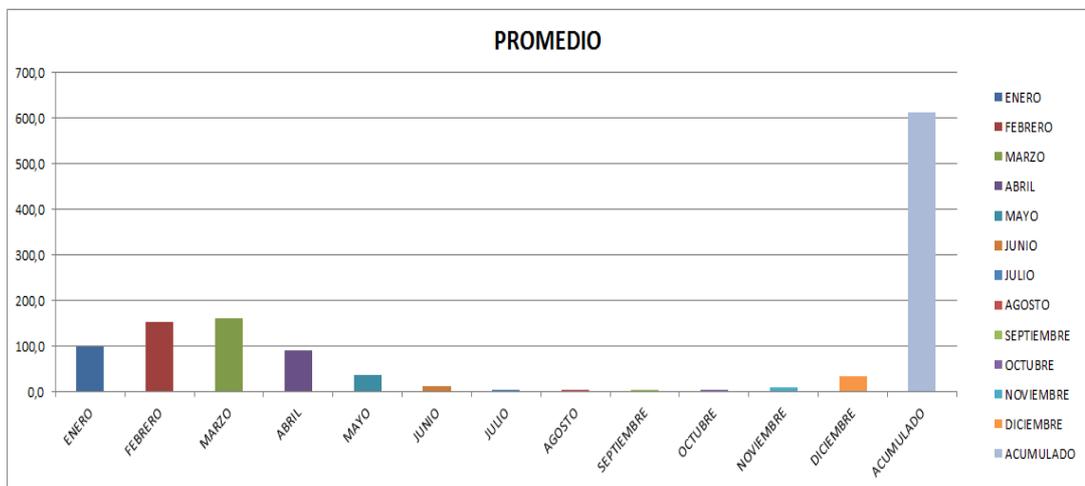
**Figura 33: Precipitaciones Estación Rocafuerte 1991 – 2010.**



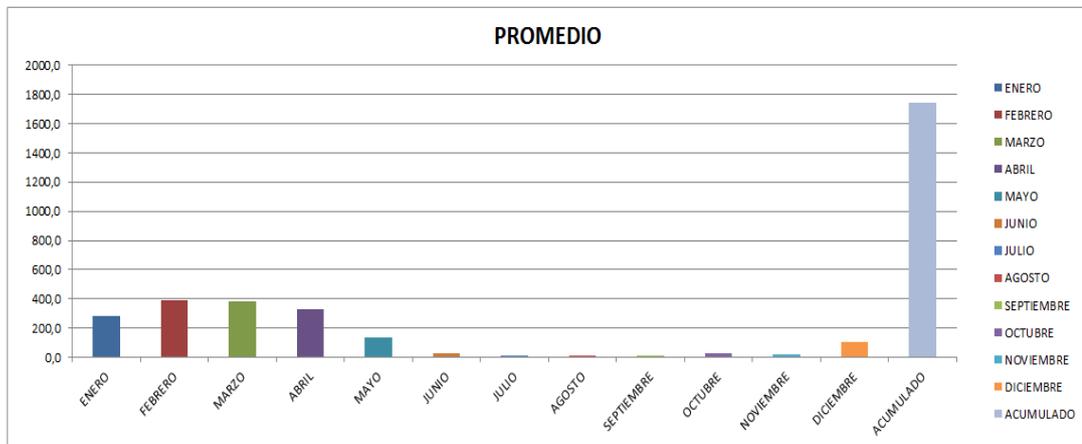
**Figura 34: Precipitaciones Estación Chone 1991 – 2010.**



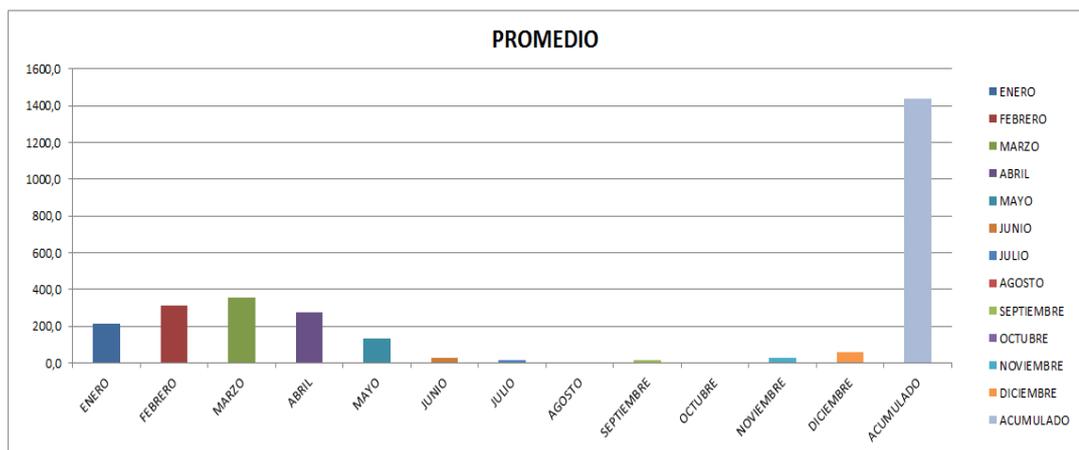
**Figura 35: Precipitaciones Estación Portoviejo 1991 – 2010.**



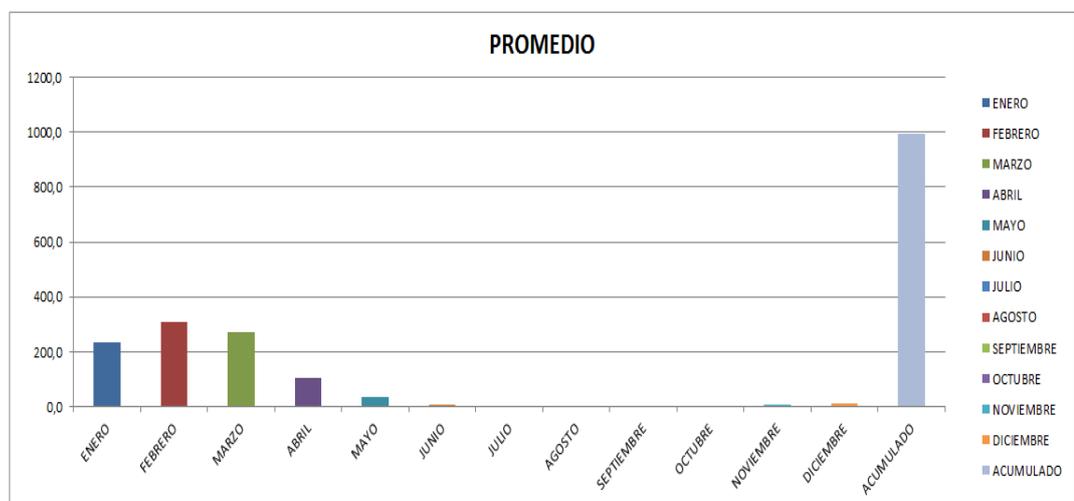
**Figura 36: Precipitaciones Estación Olmedo Manabí 1991 – 2010.**



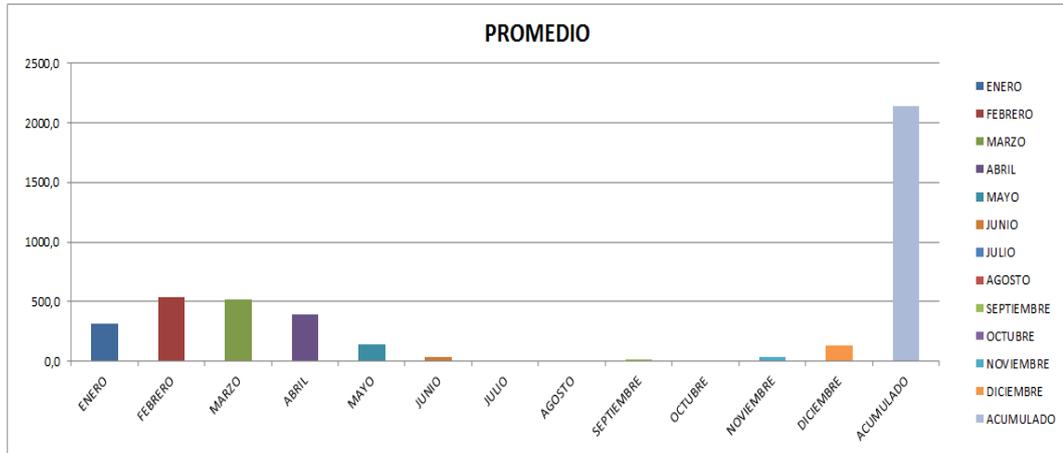
**Figura 37: Precipitaciones Estación Camposano #2 1991 – 2010.**



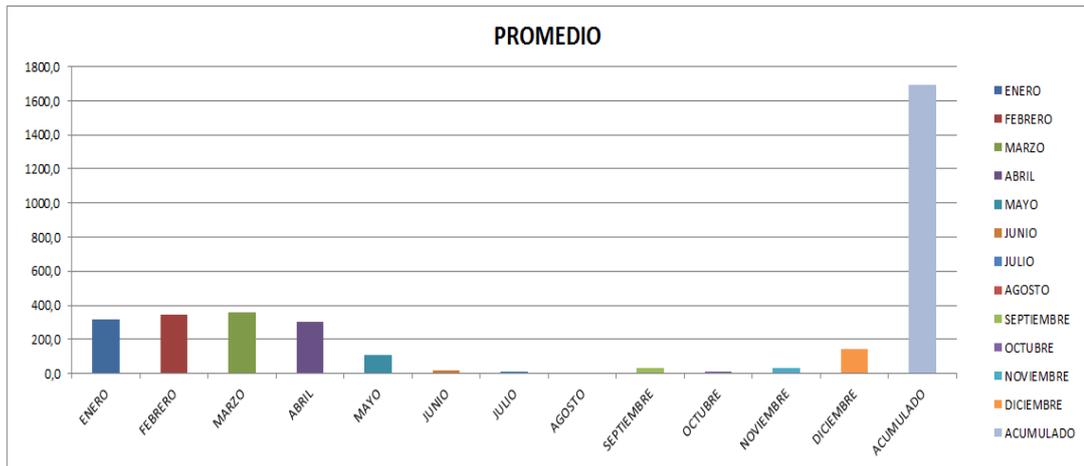
**Figura 38: Precipitaciones Estación Julcuy 1991 – 2010.**



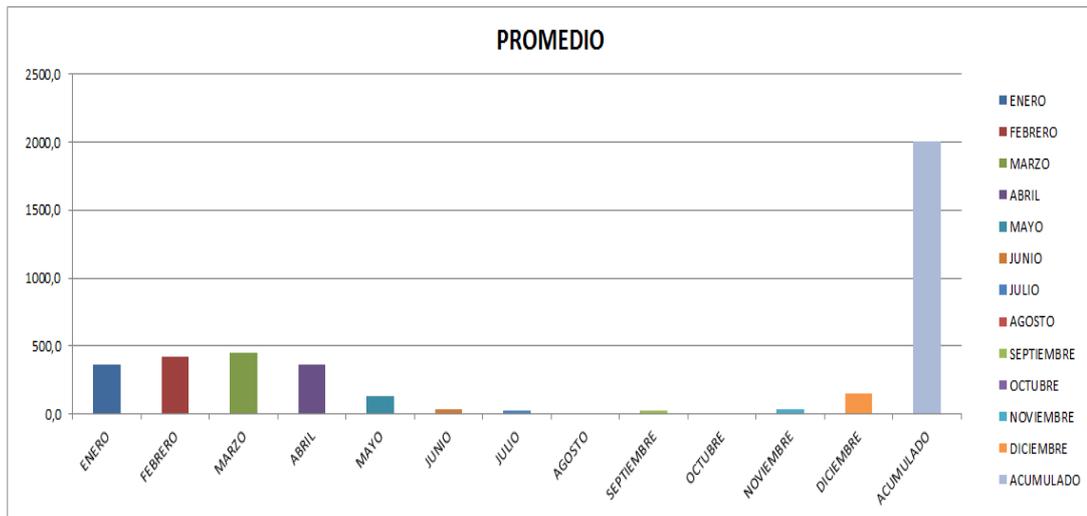
**Figura 39: Precipitaciones Estación Babahoyo – UTB 1991 – 2010.**



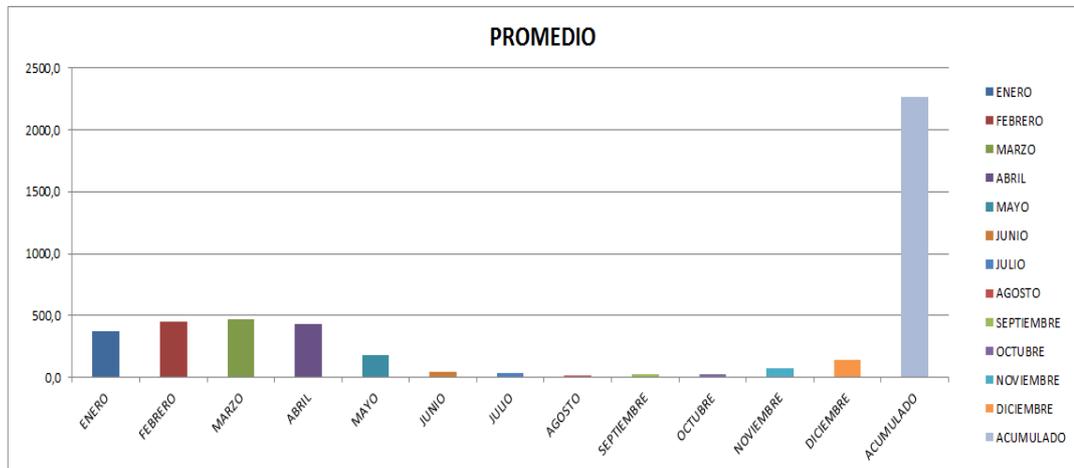
**Figura 40: Precipitaciones Estación Vinces 1991 – 2010.**



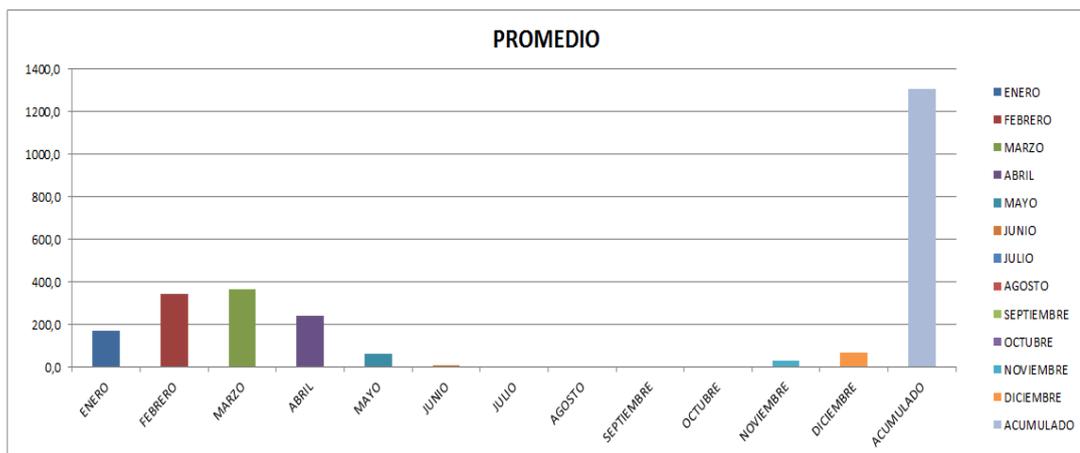
**Figura 41: Precipitaciones Estación Pueblo Viejo 1991 – 2010.**



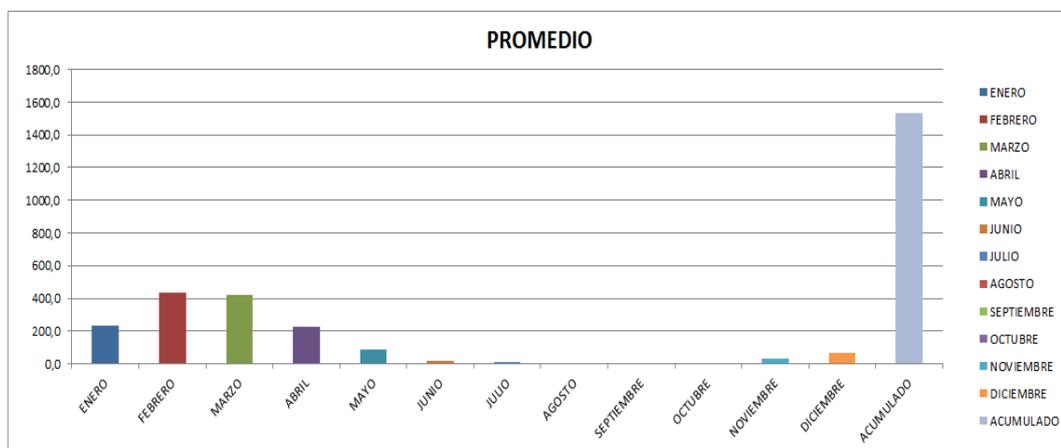
**Figura 42: Precipitaciones Estación Pichingue 1991 – 2010.**



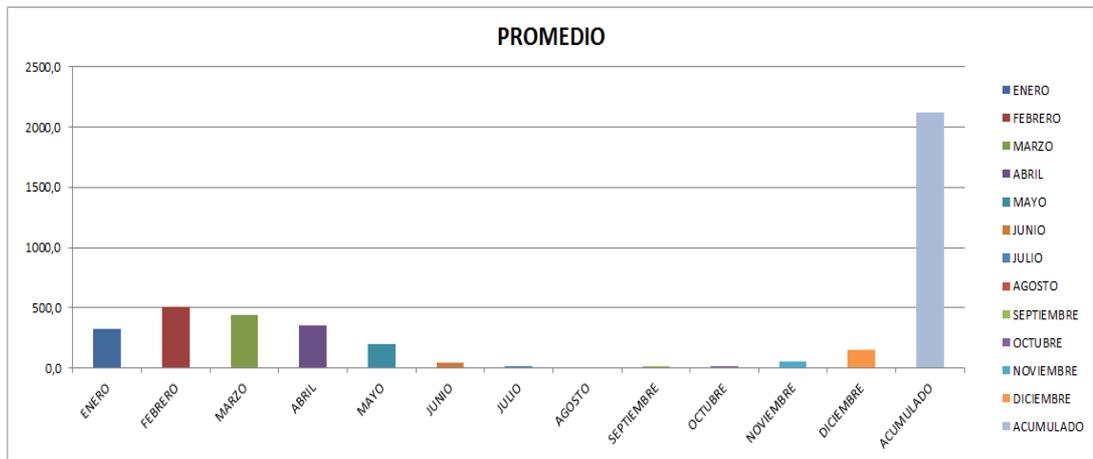
**Figura 43: Precipitaciones Estación Guayaquil 1991 – 2010.**



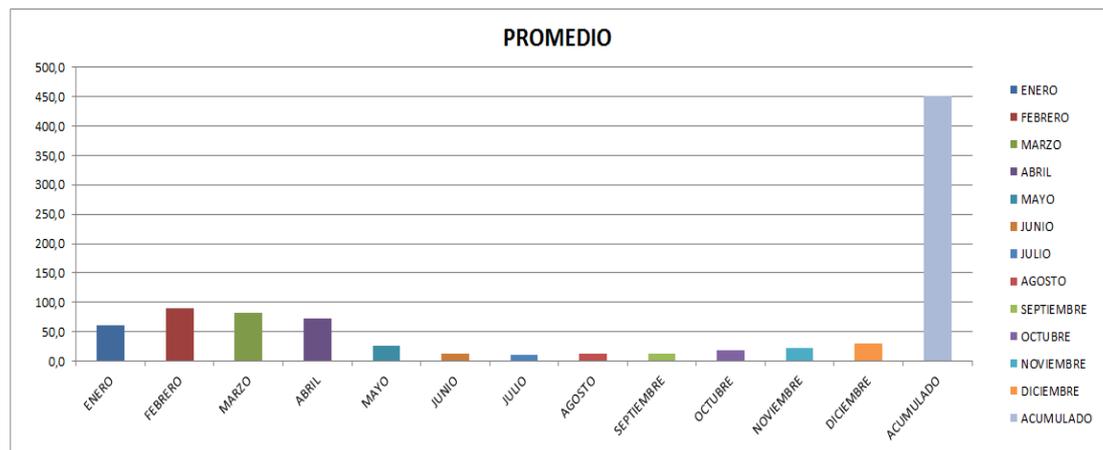
**Figura 44: Precipitaciones Estación Milagro 1991 – 2010.**



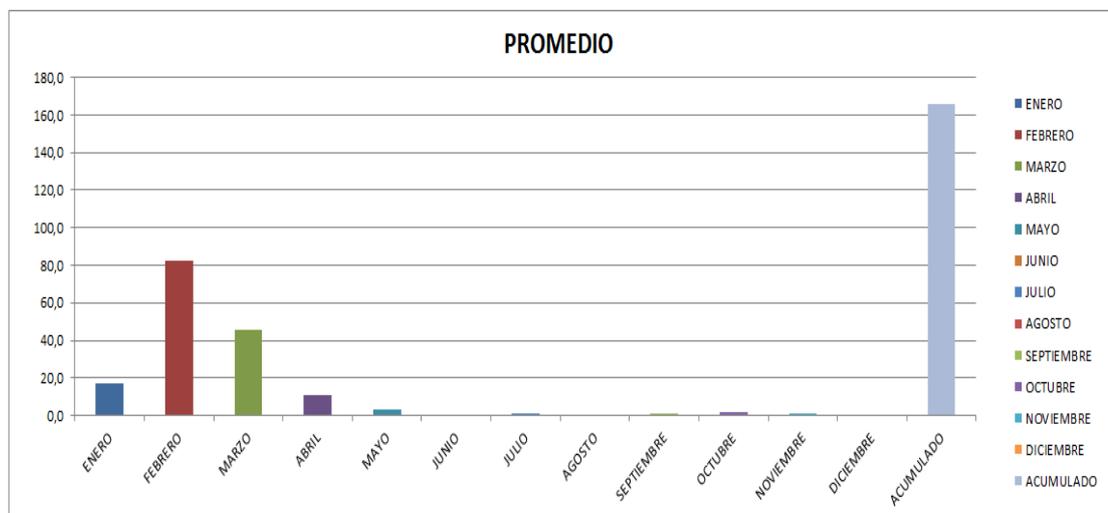
**Figura 45: Precipitaciones Estación San Carlos 1991 – 2010.**



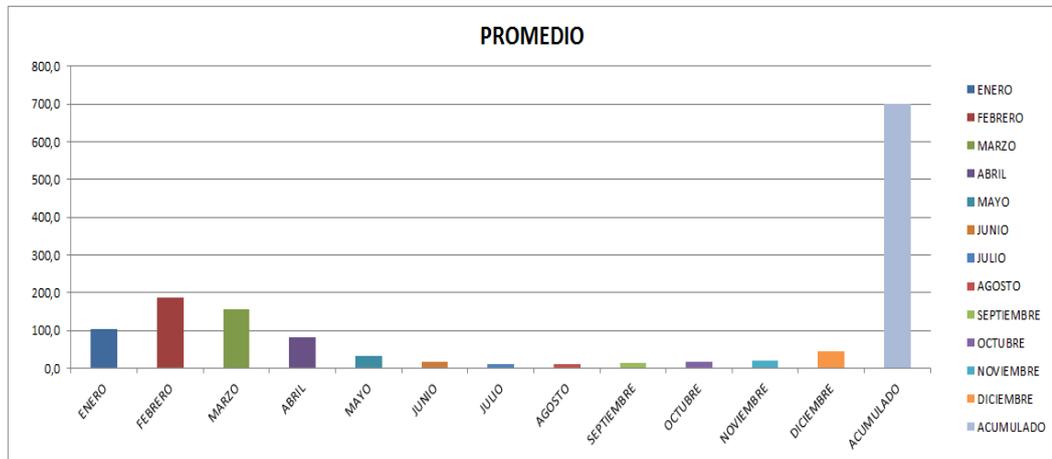
**Figura 46: Precipitaciones Estación Naranjal 1991 – 2010.**



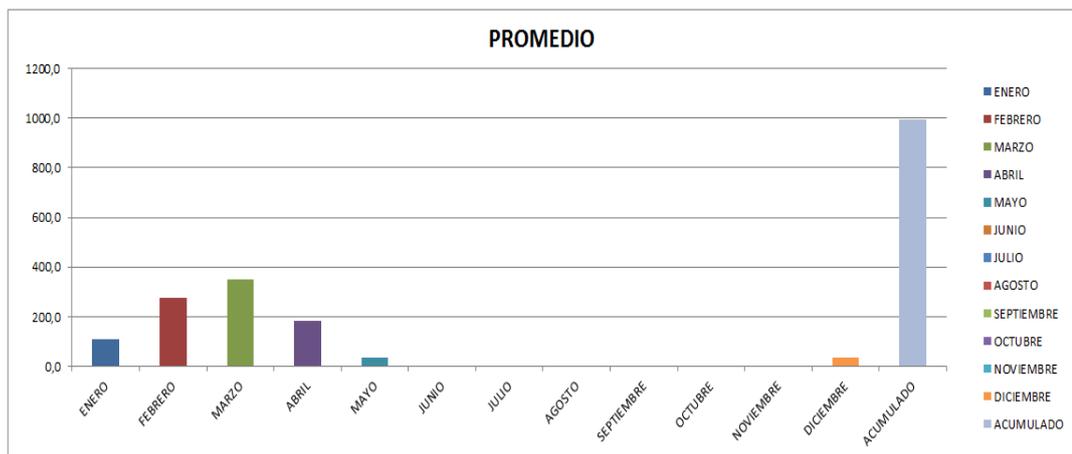
**Figura 47: Precipitaciones Estación Santa Elena 1991 – 2010.**



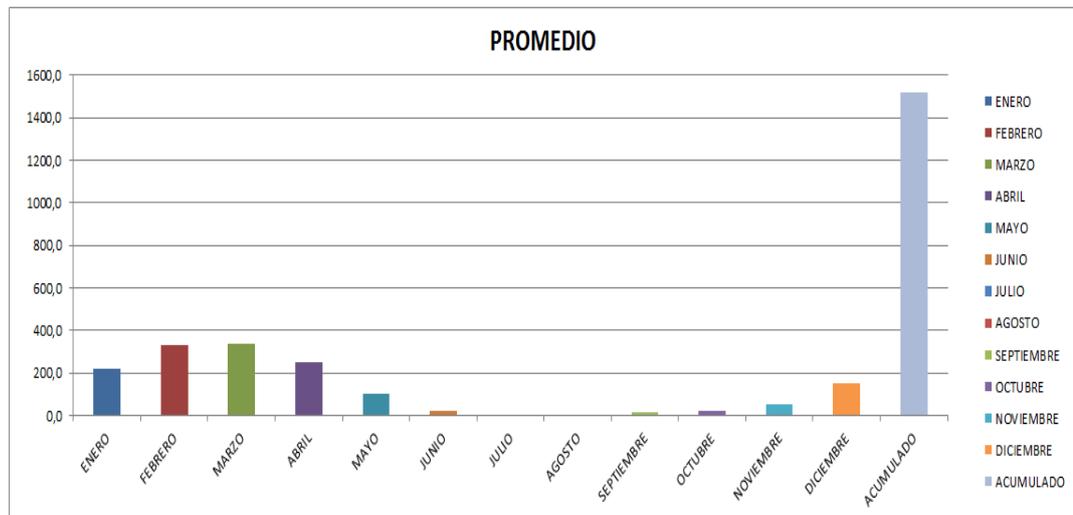
**Figura 48: Precipitaciones Estación Sta. Ines 1991 – 2010.**



**Figura 49: Precipitaciones Estación Zapotillo 1991 – 2010.**



**Figura 50: Precipitaciones Estación Zaruma 1991 – 2010.**

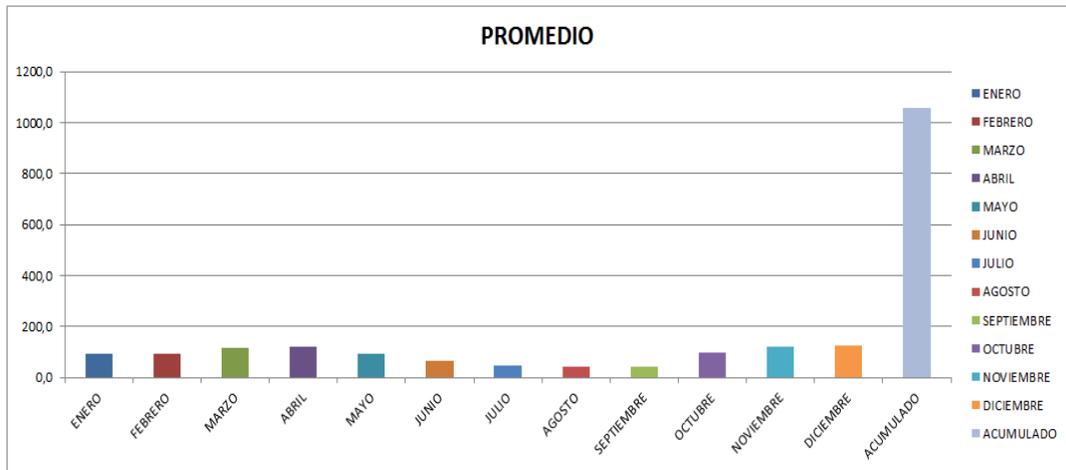


Para la región de la Sierra se obtuvo el siguiente cuadro comparativo con sus gráficas respectivas.

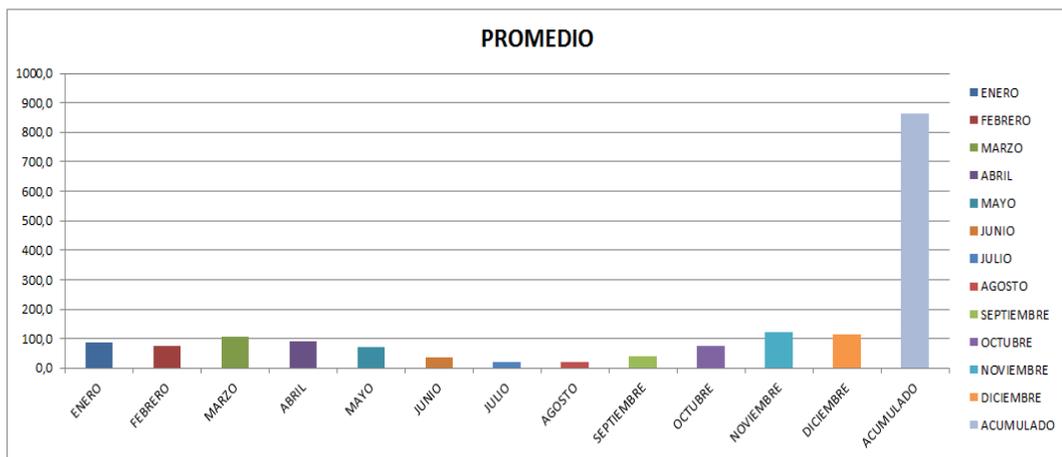
**Tabla 36: Precipitaciones en un periodo de 20 años.**

| PROVINCIA  | ESTACION   | N° | LAT. (°) | ALT. (m) | PRECIPITACIONES PERIODO 20 AÑOS |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           | ACUMULADO |
|------------|--|----|----------|----------|---------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|            |  |    |          |          | PROMEDIO                        |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |           |
|            |  |    |          |          | ENERO                           | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |           |
| CARCHI     | SAN GABRIEL<br>EL ANGEL  | 22 | 0,60     | 2860     | 94,3                            | 94,5    | 114,4 | 119,6 | 92,2  | 63,7  | 46,7  | 43,7   | 43,8       | 95,8    | 119,4     | 127,5     | 1055,5    |
|            |  | 23 | 0,63     | 3000     | 88,6                            | 75,1    | 107,8 | 90,2  | 71,1  | 36,8  | 20,8  | 20,3   | 39,7       | 76,4    | 122,3     | 114,1     | 863,2     |
| IMBABURA   | CAHUASQUI-FAO<br>OTAVALO<br>INGUINCHO                                  | 24 | 0,52     | 2335     | 84,1                            | 74,2    | 98,2  | 79,9  | 56,8  | 22,7  | 9,5   | 7,4    | 29,0       | 63,5    | 96,2      | 87,2      | 708,7     |
|            |  | 25 | 0,24     | 2550     | 71,4                            | 74,6    | 124,7 | 122,6 | 99,7  | 43,3  | 19,5  | 15,5   | 49,2       | 80,3    | 105,7     | 85,6      | 892,3     |
|            |  | 26 | 0,26     | 3140     | 126,3                           | 102,5   | 175,2 | 177,6 | 127,4 | 57,5  | 20,3  | 18,6   | 60,3       | 96,6    | 143,2     | 130,3     | 1235,9    |
| PICHINCHA  | LA TOLA<br>INAQUITO<br>TABACUNDO<br>IZOBAMBA                           | 27 | 0,23     | 2480     | 70,8                            | 74,6    | 124,6 | 114,4 | 71,2  | 30,9  | 15,1  | 14,1   | 51,6       | 100,4   | 119,1     | 81,7      | 868,6     |
|            |  | 28 | 0,17     | 2789     | 87,9                            | 107,0   | 155,5 | 168,6 | 106,9 | 40,4  | 22,0  | 21,9   | 63,6       | 105,0   | 126,0     | 111,2     | 1115,9    |
|            |  | 29 | 0,03     | 2790     | 53,1                            | 56,7    | 78,1  | 87,0  | 59,7  | 30,7  | 13,2  | 8,6    | 34,2       | 61,0    | 72,5      | 70,2      | 625,0     |
|            |  | 30 | 0,37     | 3058     | 130,2                           | 151,5   | 199,7 | 202,2 | 155,7 | 73,6  | 37,4  | 35,4   | 82,0       | 118,9   | 162,1     | 159,1     | 1507,8    |
| COTOPAXI   | EL CORAZON<br>RUMIPAMBA  | 31 | 1,13     | 1471     | 352,6                           | 429,8   | 509,6 | 383,5 | 185,8 | 56,4  | 28,4  | 21,5   | 41,2       | 52,3    | 67,0      | 201,7     | 2329,7    |
|            |  | 32 | 1,02     | 2685     | 46,2                            | 50,2    | 64,1  | 66,9  | 50,0  | 31,9  | 18,3  | 15,5   | 27,3       | 45,2    | 69,2      | 56,1      | 540,6     |
| BOLIVAR    | CHILLANES  | 33 | 1,98     | 2330     | 116,2                           | 157,8   | 186,9 | 160,2 | 56,2  | 14,6  | 7,3   | 4,2    | 12,5       | 17,2    | 29,4      | 54,1      | 816,5     |
| TUNGURAHUA | BAÑOS<br>QUEROCHACA<br>PEDRO F. C. (COL)                               | 34 | 1,39     | 1695     | 67,7                            | 78,9    | 95,1  | 128,2 | 143,8 | 177,8 | 171,8 | 130,2  | 85,0       | 66,4    | 72,8      | 67,9      | 1285,5    |
|            |  | 35 | 1,37     | 2865     | 34,4                            | 44,5    | 53,4  | 68,5  | 66,2  | 73,7  | 52,4  | 40,7   | 32,5       | 36,6    | 50,6      | 41,9      | 595,3     |
|            |  | 36 | 1,35     | 2910     | 28,7                            | 41,4    | 48,6  | 63,0  | 61,2  | 62,3  | 39,9  | 38,2   | 27,7       | 32,5    | 52,0      | 36,4      | 531,7     |
| CHIMBORAZO | CHUNCHI<br>GUASLAN   | 37 | 2,28     | 2177     | 59,5                            | 78,8    | 96,0  | 80,2  | 37,8  | 13,0  | 2,8   | 1,8    | 8,5        | 11,5    | 24,1      | 34,4      | 448,5     |
|            |  | 38 | 1,72     | 2750     | 43,6                            | 56,8    | 85,2  | 91,9  | 86,5  | 43,3  | 24,1  | 20,7   | 26,4       | 59,9    | 58,0      | 46,1      | 642,4     |
| CAÑAR      | CAÑAR  | 39 | 2,55     | 3083     | 38,7                            | 58,0    | 80,5  | 64,0  | 53,4  | 30,6  | 20,3  | 16,2   | 24,3       | 36,9    | 44,9      | 40,7      | 508,3     |
| AZUAY      | PAUTE<br>GUALACEO<br>PALMAS<br>EL LABRADO                              | 40 | 2,80     | 2194     | 48,1                            | 73,2    | 96,3  | 91,0  | 63,5  | 55,4  | 42,4  | 33,0   | 41,3       | 61,5    | 86,8      | 83,0      | 775,3     |
|            |  | 41 | 2,88     | 2230     | 63,2                            | 76,9    | 97,3  | 96,0  | 69,3  | 50,3  | 31,4  | 24,8   | 38,8       | 82,9    | 105,6     | 77,0      | 813,4     |
|            |  | 42 | 2,72     | 2400     | 62,0                            | 80,1    | 96,8  | 148,5 | 146,8 | 195,8 | 154,6 | 118,2  | 99,1       | 75,1    | 85,4      | 80,3      | 1342,6    |
|            |  | 43 | 2,73     | 3335     | 94,3                            | 120,4   | 150,4 | 156,8 | 128,1 | 106,2 | 89,4  | 66,5   | 75,4       | 89,2    | 110,8     | 109,9     | 1297,4    |
| LOJA       | MALACATOS<br>YANGANA<br>CELICA<br>CARIAMANGA<br>LA ARGELIA<br>SARAGURO | 44 | 4,22     | 1453     | 53,5                            | 89,6    | 122,2 | 77,8  | 34,0  | 9,0   | 5,5   | 4,6    | 14,4       | 77,5    | 59,7      | 76,6      | 624,2     |
|            |  | 45 | 4,37     | 1835     | 120,3                           | 183,1   | 204,2 | 121,7 | 79,4  | 63,2  | 44,7  | 37,8   | 34,1       | 82,5    | 85,3      | 119,2     | 1175,4    |
|            |  | 46 | 4,10     | 1904     | 147,1                           | 280,8   | 305,6 | 155,1 | 43,8  | 5,9   | 3,1   | 0,7    | 8,1        | 17,3    | 22,6      | 62,4      | 1052,4    |
|            |  | 47 | 4,33     | 1950     | 134,2                           | 282,9   | 379,9 | 243,9 | 86,3  | 21,5  | 7,9   | 4,7    | 25,2       | 52,4    | 80,5      | 123,5     | 1442,7    |
|            |  | 48 | 4,04     | 2160     | 92,1                            | 127,7   | 153,2 | 99,1  | 60,3  | 60,8  | 48,2  | 42,8   | 38,9       | 64,0    | 72,0      | 94,2      | 953,2     |
|            |  | 49 | 3,61     | 2525     | 79,8                            | 112,9   | 138,5 | 101,4 | 61,4  | 41,0  | 27,3  | 22,5   | 31,5       | 53,4    | 67,2      | 95,4      | 832,2     |

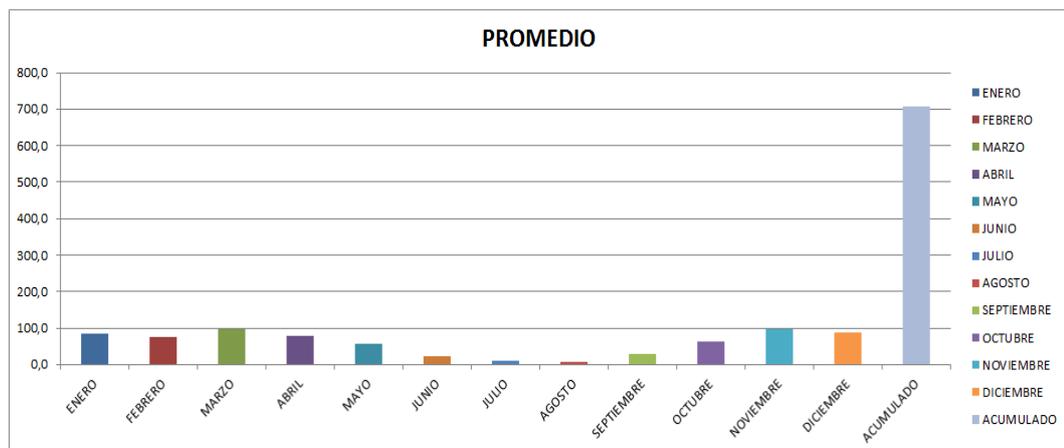
**Figura 51: Precipitaciones Estación San Gabriel 1991 – 2010.**



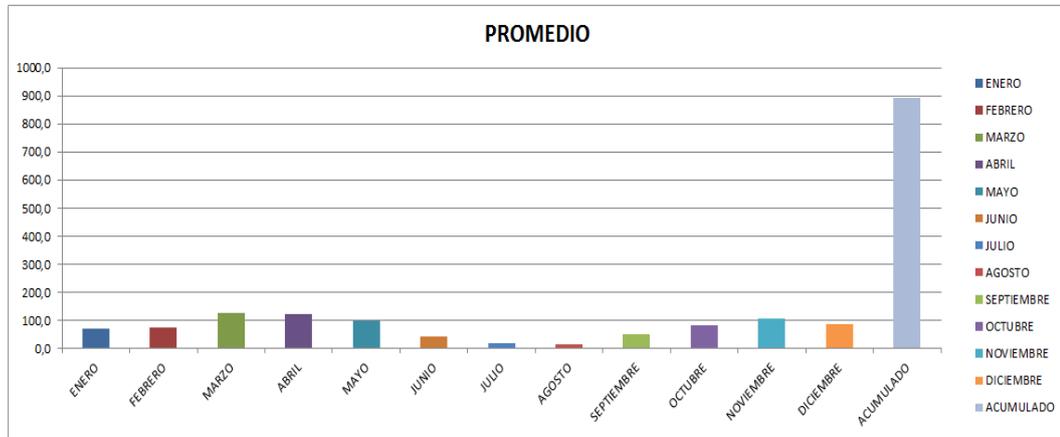
**Figura 52: Precipitaciones Estación El Angel 1991 – 2010.**



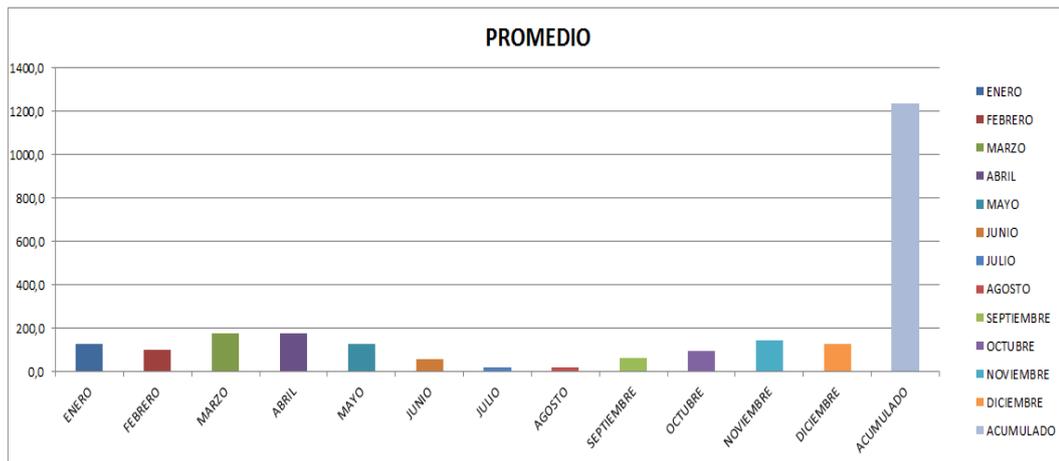
**Figura 53: Precipitaciones Estación Cahuasqui-Fao 1991 – 2010.**



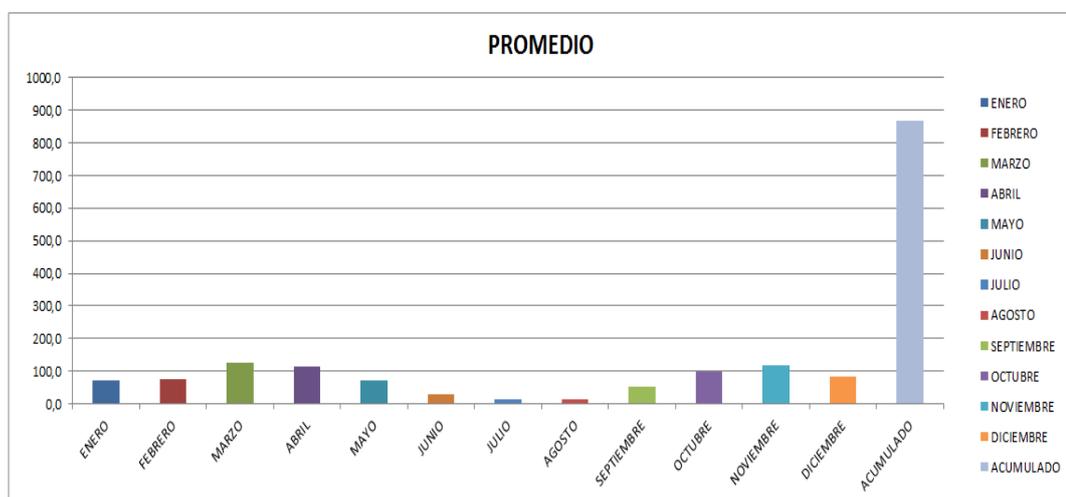
**Figura 54: Precipitaciones Estación Otavalo 1991 – 2010.**



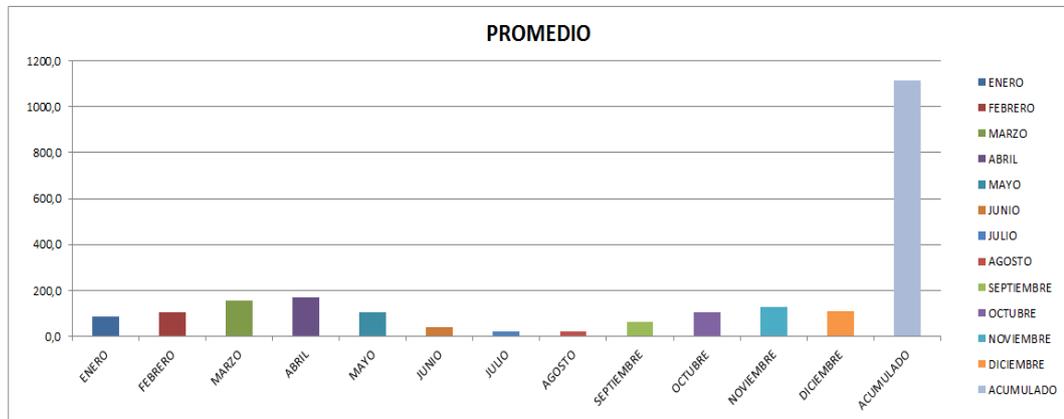
**Figura 55: Precipitaciones Estación Inguincho 1991 – 2010.**



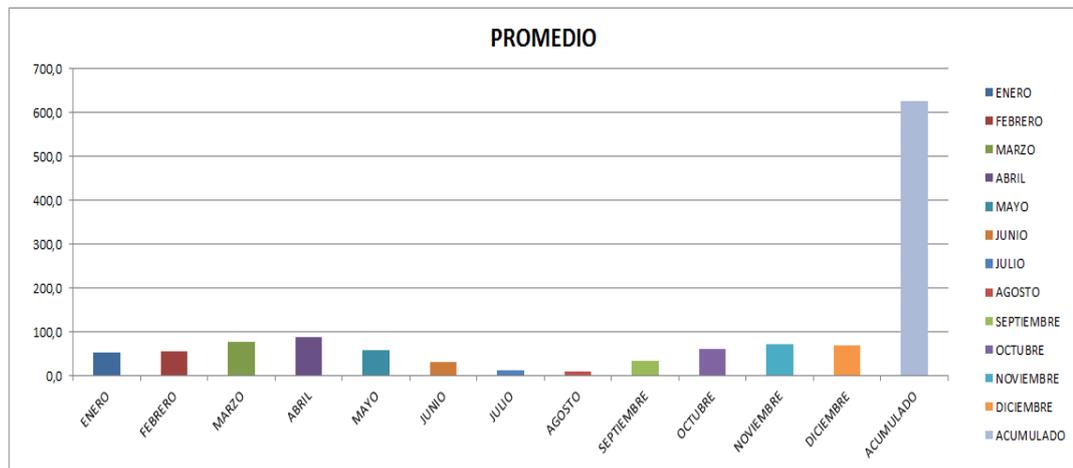
**Figura 56: Precipitaciones Estación La Tola Manabí 1991 – 2010.**



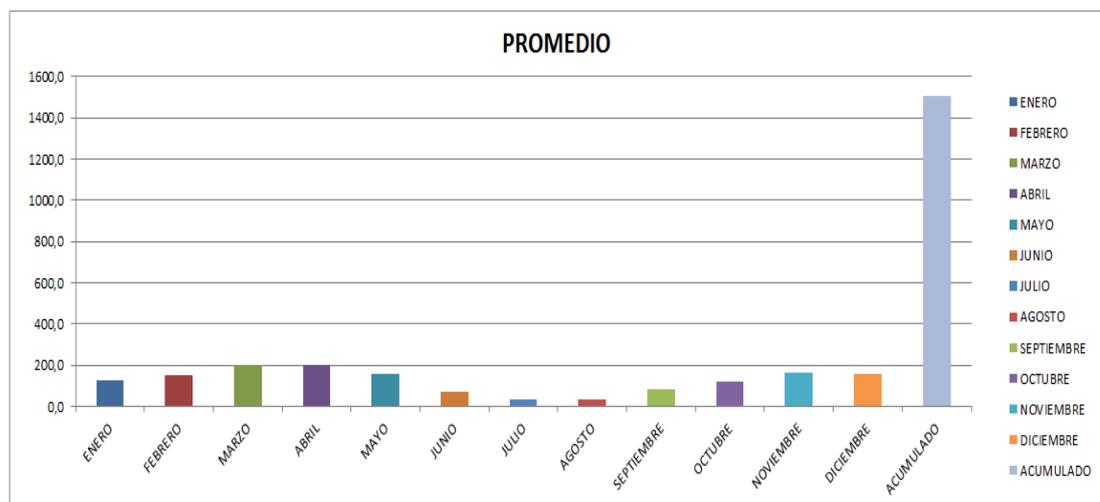
**Figura 57: Precipitaciones Estación Inaquito 1991 – 2010.**



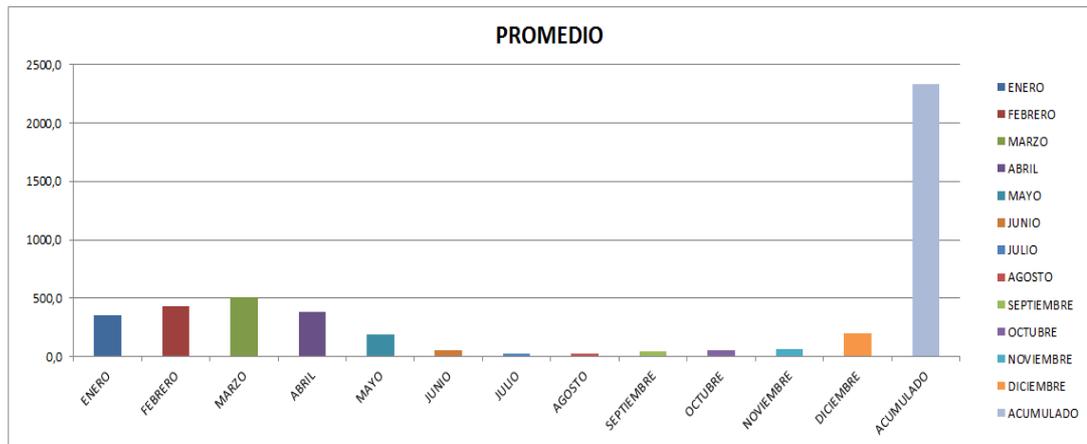
**Figura 58: Precipitaciones Estación Tabacundo 1991 – 2010.**



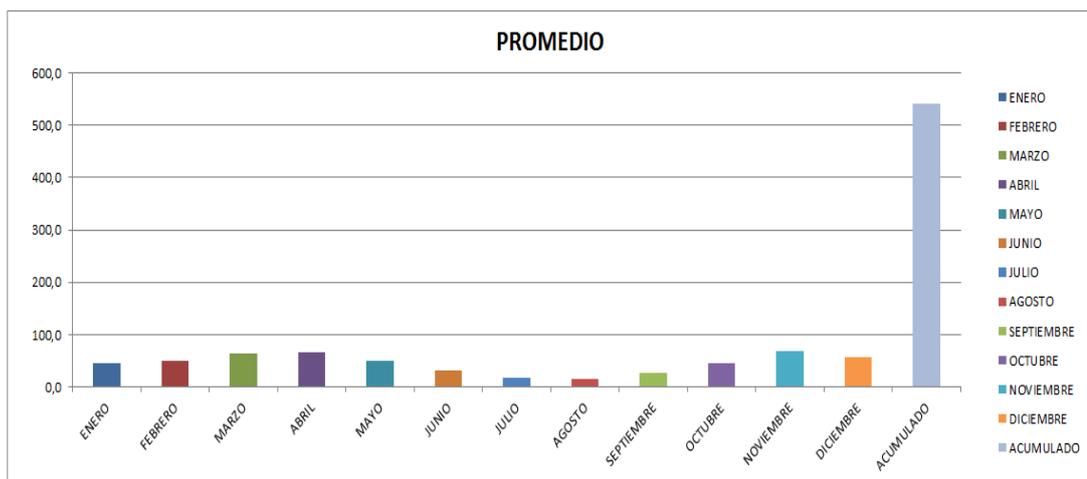
**Figura 59: Precipitaciones Estación Izobamba 1991 – 2010.**



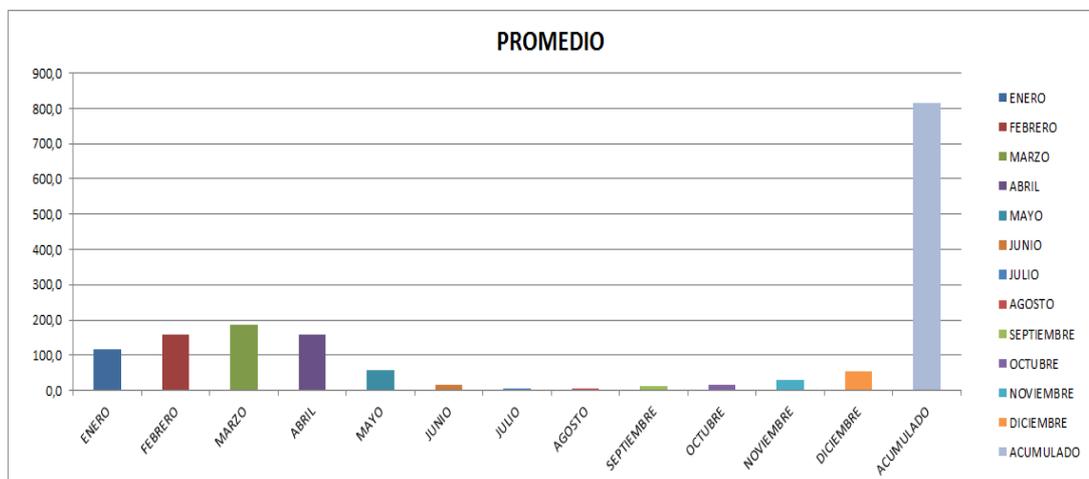
**Figura 60: Precipitaciones Estación El Corazón 1991 – 2010.**



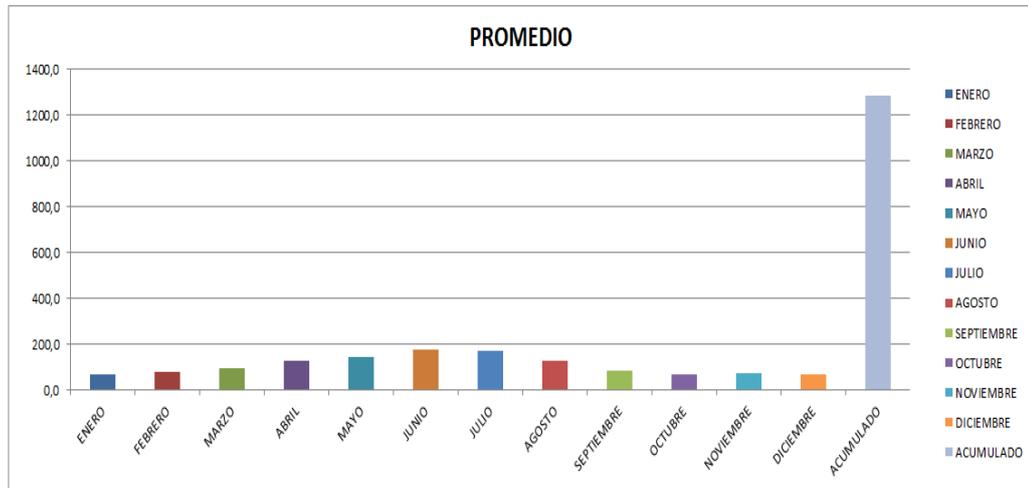
**Figura 61: Precipitaciones Estación Rumipamba 1991 – 2010.**



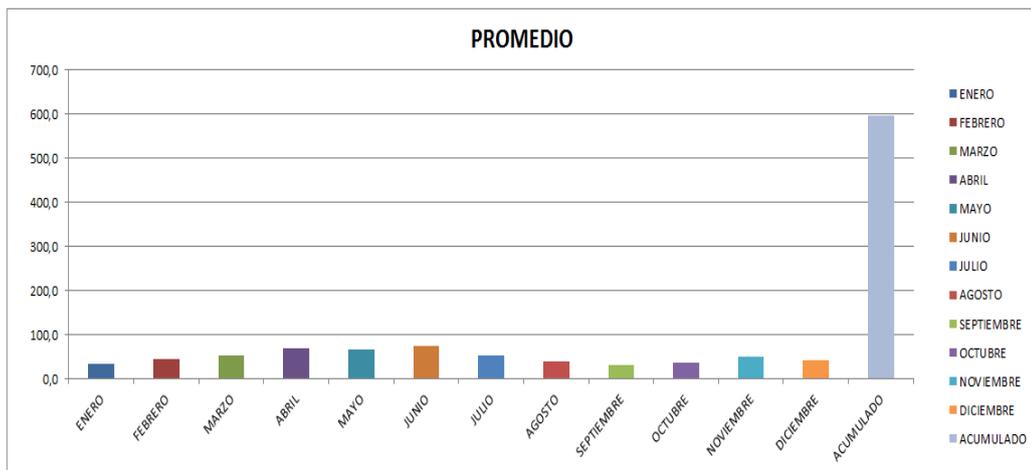
**Figura 62: Precipitaciones Estación Chillanes 1991 – 2010.**



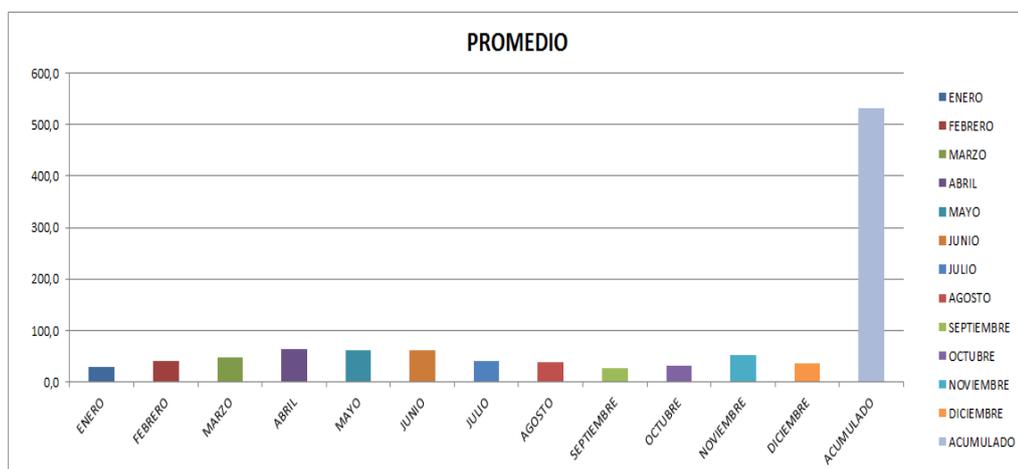
**Figura 63: Precipitaciones Estación Baños 1991 – 2010.**



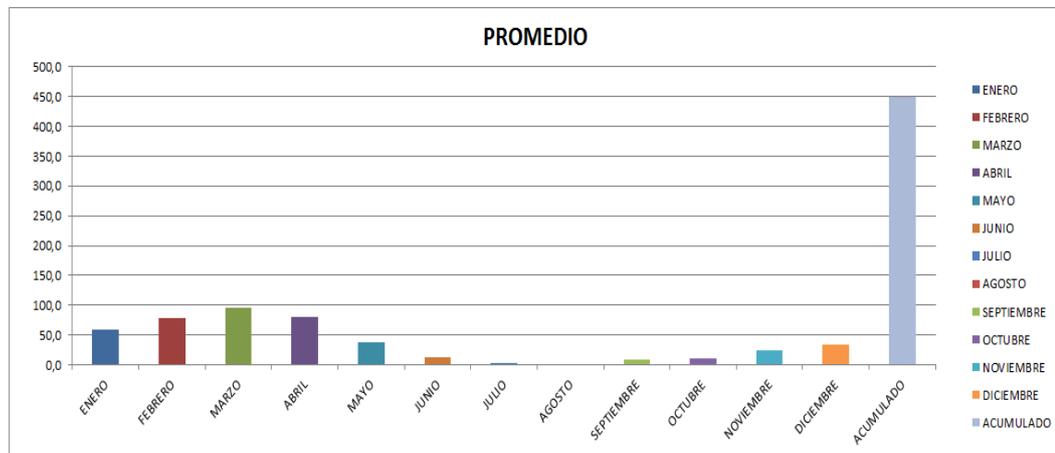
**Figura 64: Precipitaciones Estación Querochaca 1991 – 2010.**



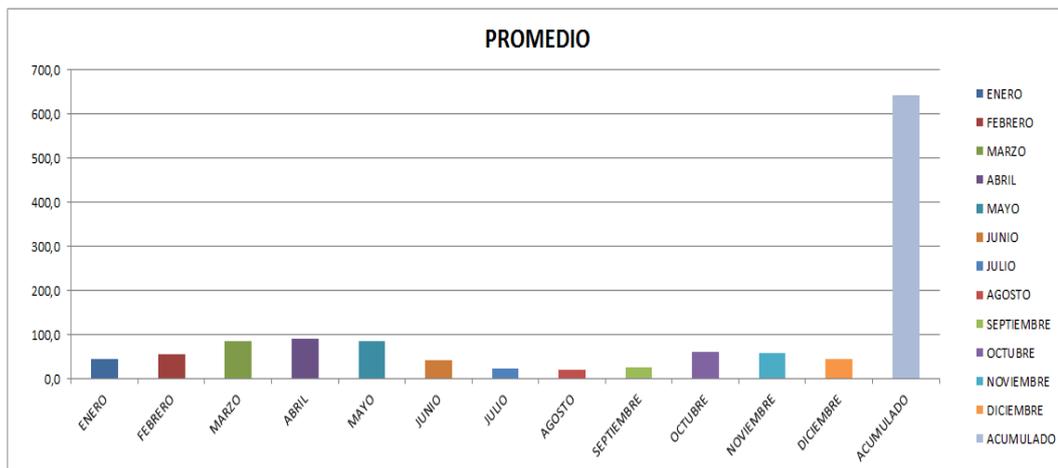
**Figura 65: Precipitaciones Estación Pedro F, C, (Col) 1991 – 2010.**



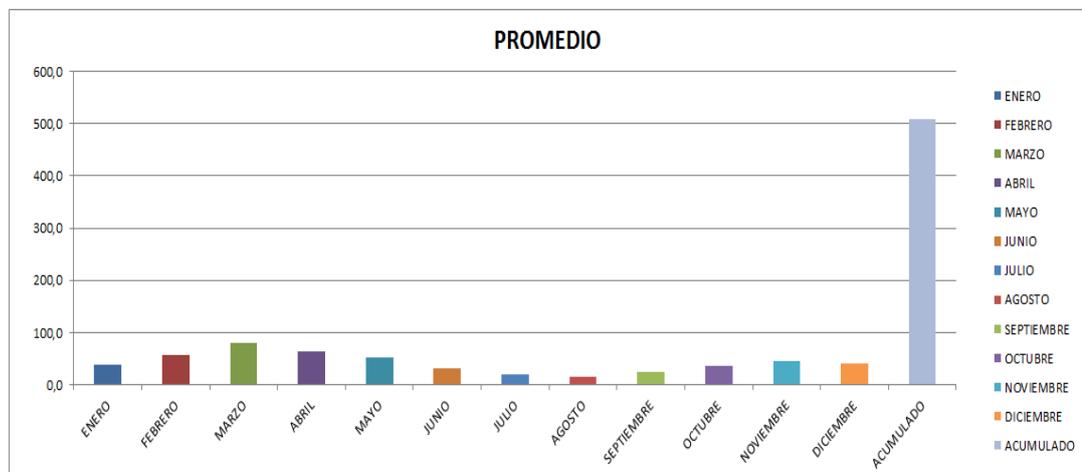
**Figura 66: Precipitaciones Estación Chunchi 1991 – 2010.**



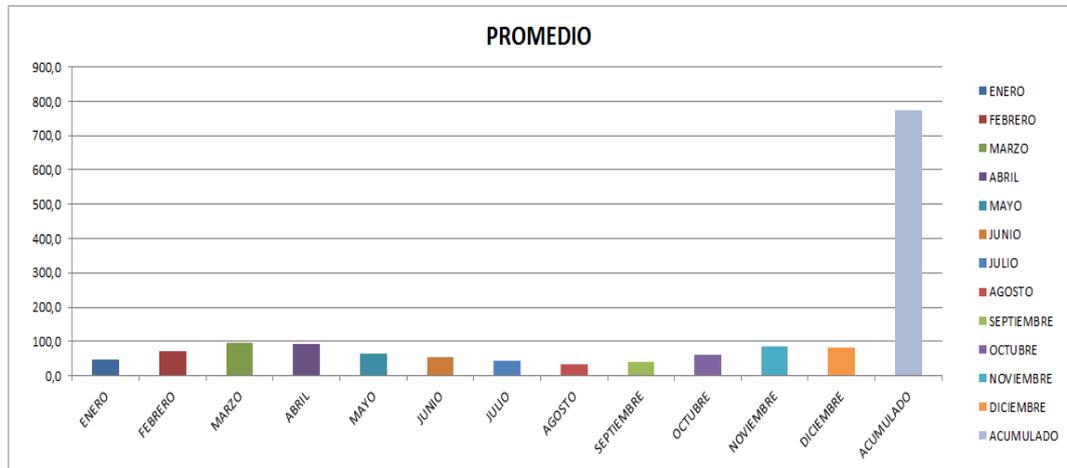
**Figura 67: Precipitaciones Estación Guaslan 1991 – 2010.**



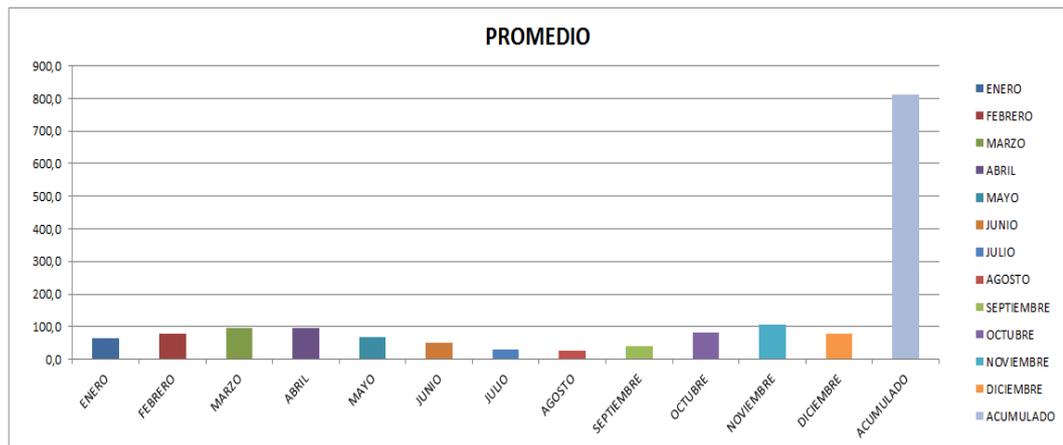
**Figura 68: Precipitaciones Estación Cañar 1991 – 2010.**



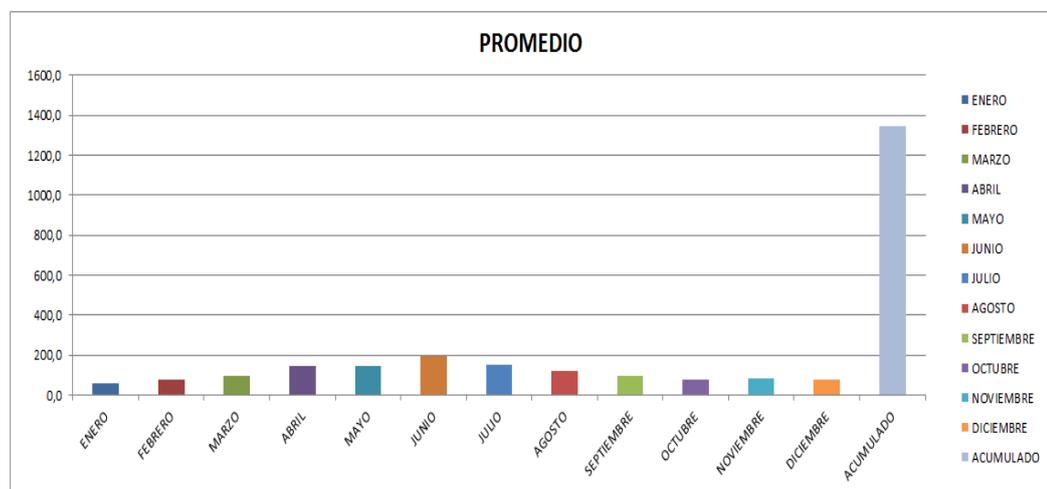
**Figura 69: Precipitaciones Estación Paute 1991 – 2010.**



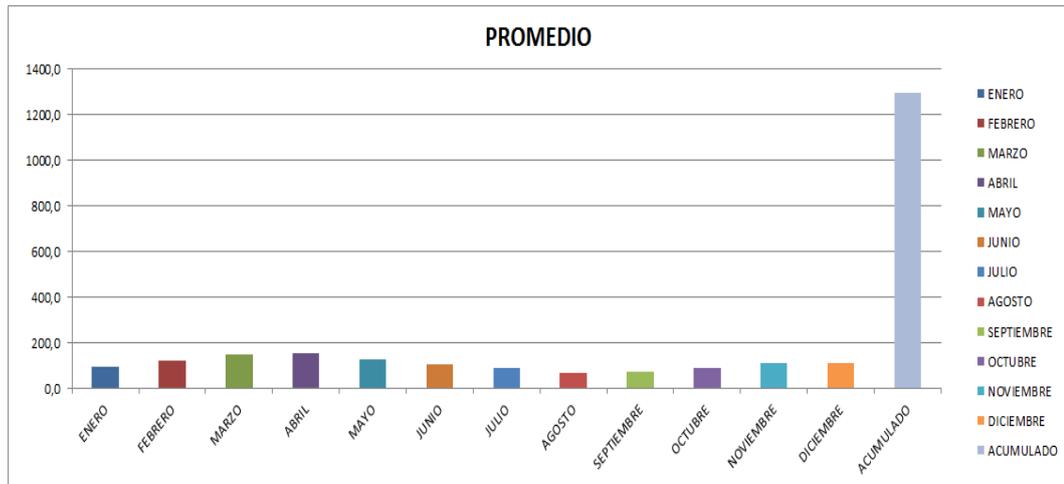
**Figura 70: Precipitaciones Estación Gualaceo 1991 – 2010.**



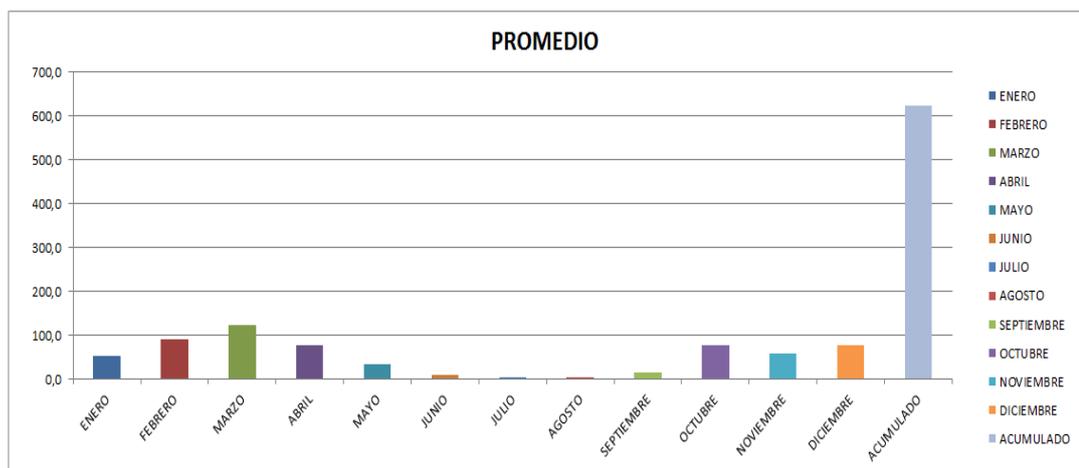
**Figura 71: Precipitaciones Estación Palmas 1991 – 2010.**



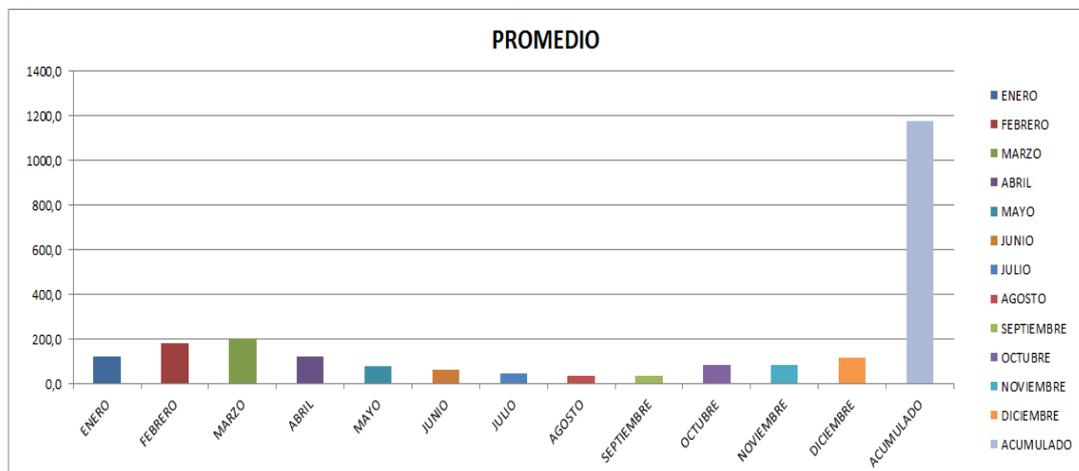
**Figura 72: Precipitaciones Estación El Labrado 1991 – 2010.**



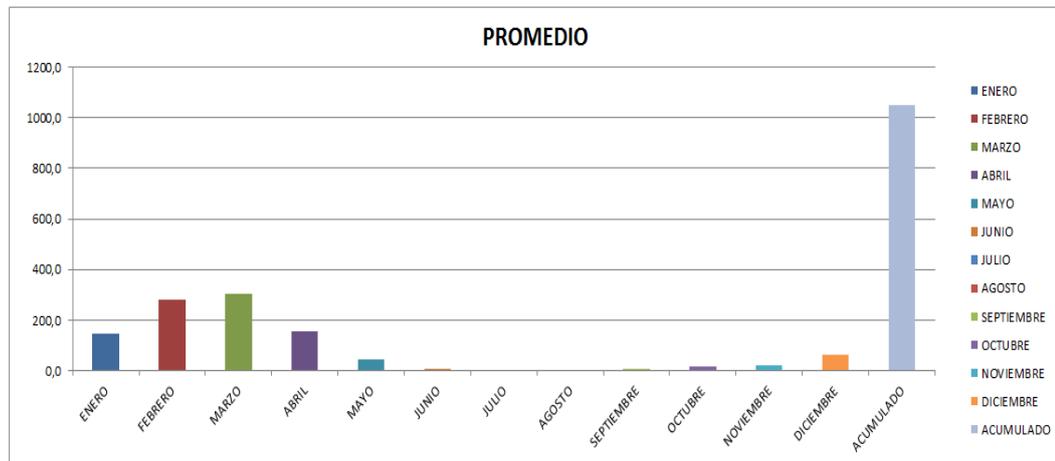
**Figura 73: Precipitaciones Estación Malacatos 1991 – 2010.**



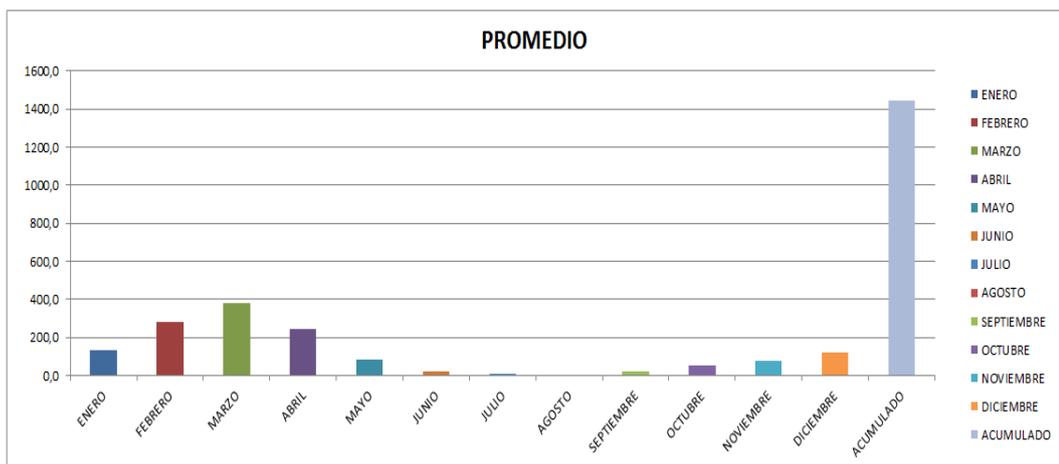
**Figura 74: Precipitaciones Estación Yangana 1991 – 2010.**



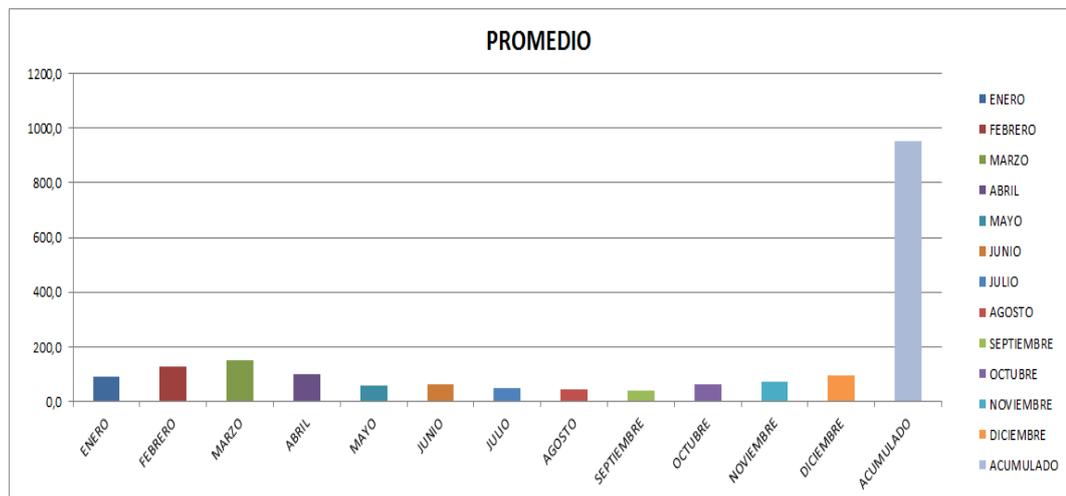
**Figura 75: Precipitaciones Estación Célica 1991 – 2010.**



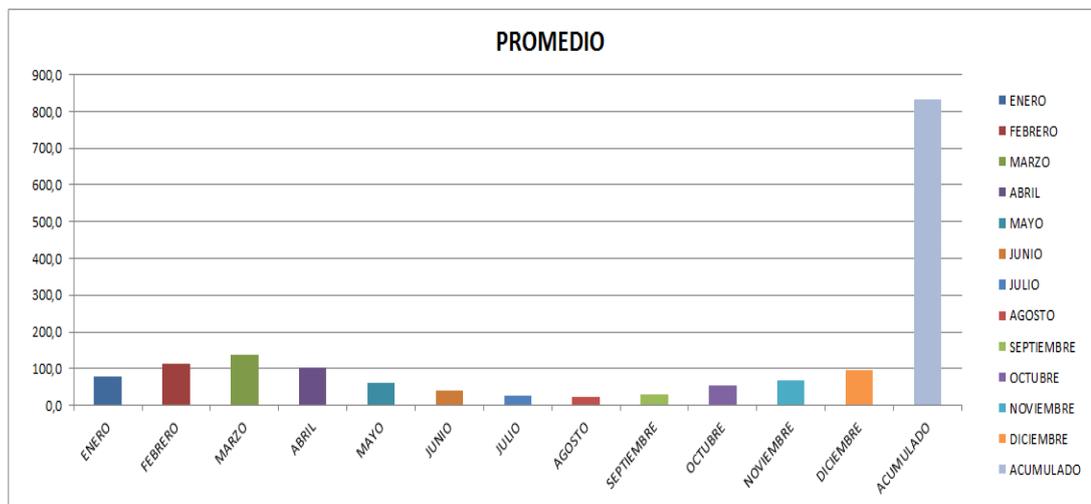
**Figura 76: Precipitaciones Estación Cariamanga 1991 – 2010.**



**Figura 77: Precipitaciones Estación La Argelia 1991 – 2010.**



**Figura 78: Precipitaciones Estación Saraguro 1991 – 2010.**

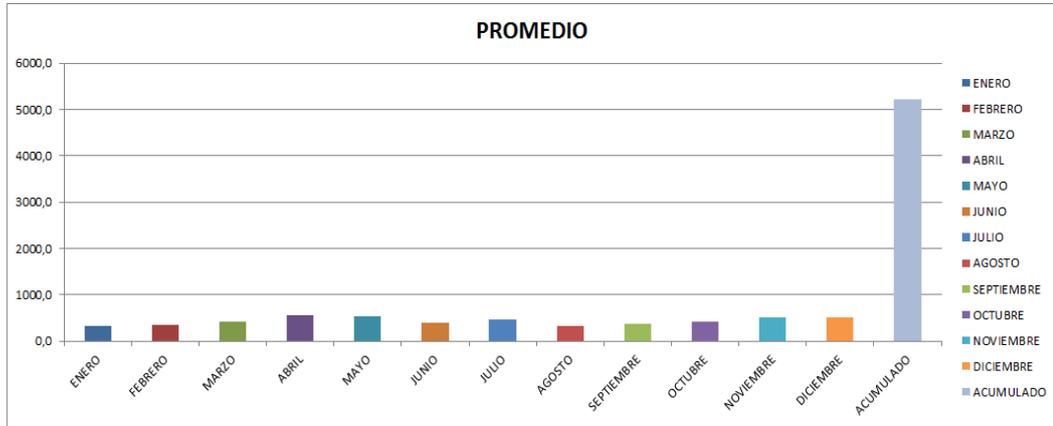


Para la región Amazónica se obtuvo el siguiente cuadro comparativo con sus graficas respectivas.

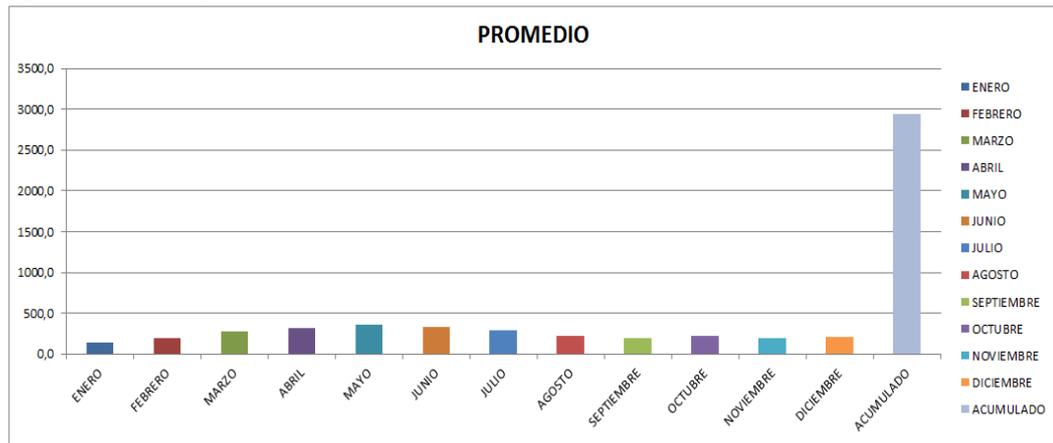
**Tabla 37: Precipitaciones en un periodo de 20 años.**

| PROVINCIA       | ESTACION         | N° | LAT. (°) | ALT. (m) | PRECIPITACIONES PERIODO 20 AÑOS |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |        | ACUMULADO |
|-----------------|------------------|----|----------|----------|---------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|-----------|
|                 |                  |    |          |          | PROMEDIO                        |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |        |           |
|                 |                  |    |          |          | ENERO                           | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |        |           |
| SUCUMBIOS       | LUMBAQUI         | 50 | 0,04     | 580      | 338,2                           | 348,3   | 415,1 | 554,7 | 534,1 | 407,6 | 468,6 | 336,4  | 379,2      | 421,9   | 510,8     | 502,7     | 5217,4 |           |
| ORELLANA        | NUEVO ROCAFUERTE | 51 | 0,92     | 265      | 137,0                           | 190,4   | 270,4 | 316,6 | 355,0 | 329,8 | 291,1 | 225,2  | 194,1      | 226,3   | 189,2     | 213,1     | 2938,3 |           |
| NAPO            | PALMORIENTE      | 52 | 0,31     | 288      | 231,7                           | 274,3   | 359,0 | 366,3 | 372,0 | 349,2 | 248,0 | 215,5  | 277,6      | 291,6   | 334,6     | 310,5     | 3630,4 |           |
| PASTAZA         | PUYO             | 53 | 1,51     | 960      | 333,7                           | 323,0   | 372,2 | 476,2 | 499,4 | 453,7 | 365,1 | 287,6  | 320,0      | 377,7   | 381,1     | 384,0     | 4573,7 |           |
| MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA       | 54 | 3,40     | 750      | 98,4                            | 108,2   | 157,9 | 214,4 | 219,5 | 238,8 | 167,1 | 123,1  | 134,1      | 127,1   | 116,4     | 108,1     | 1812,8 |           |
|                 | SANGAY           | 55 | 1,69     | 880      | 301,7                           | 311,1   | 352,7 | 431,8 | 385,0 | 343,7 | 267,7 | 230,8  | 253,8      | 334,6   | 337,9     | 340,2     | 3891,1 |           |
| ZAMORA          | YANZATZA         | 56 | 3,84     | 830      | 156,0                           | 155,6   | 220,0 | 213,5 | 233,0 | 225,3 | 182,7 | 111,1  | 148,0      | 167,3   | 160,0     | 202,7     | 2175,2 |           |

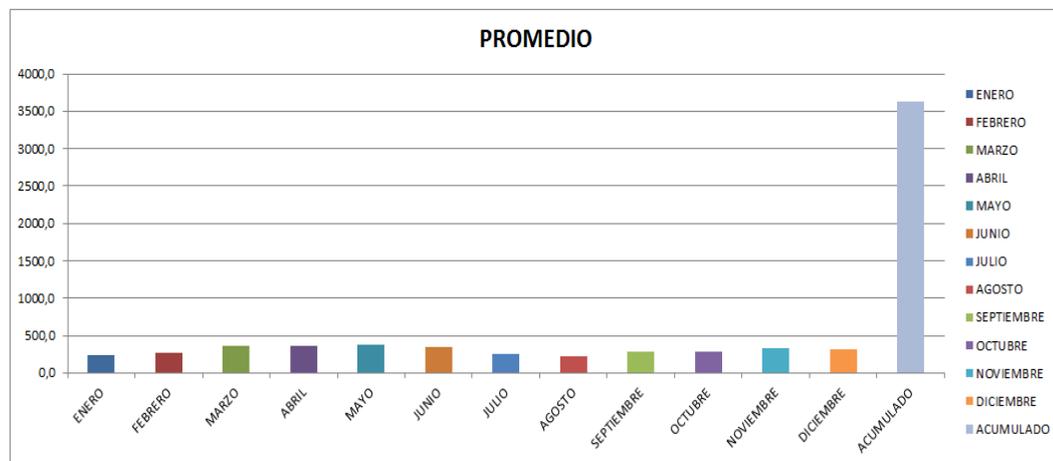
**Figura 79: Precipitaciones Estación Lumbaqui 1991 – 2010.**



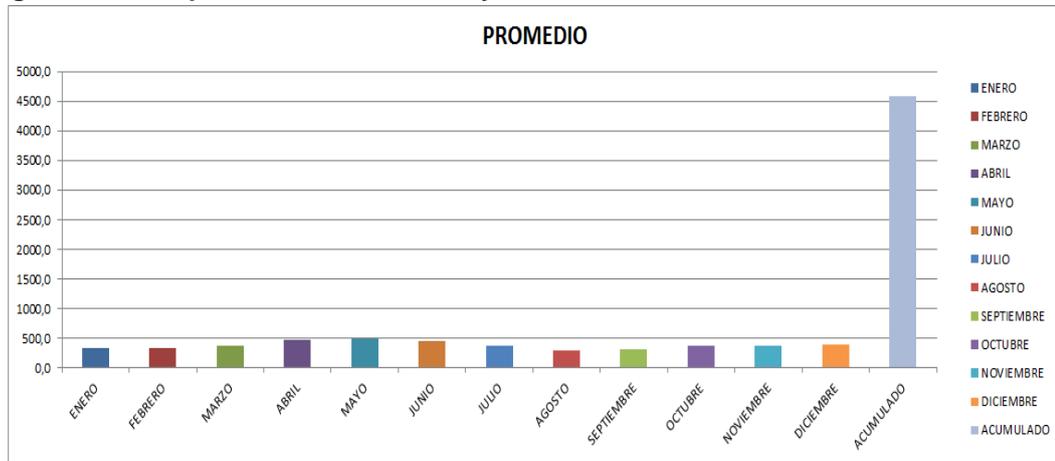
**Figura 80: Precipitaciones Estación Rocafuerte 1991 – 2010.**



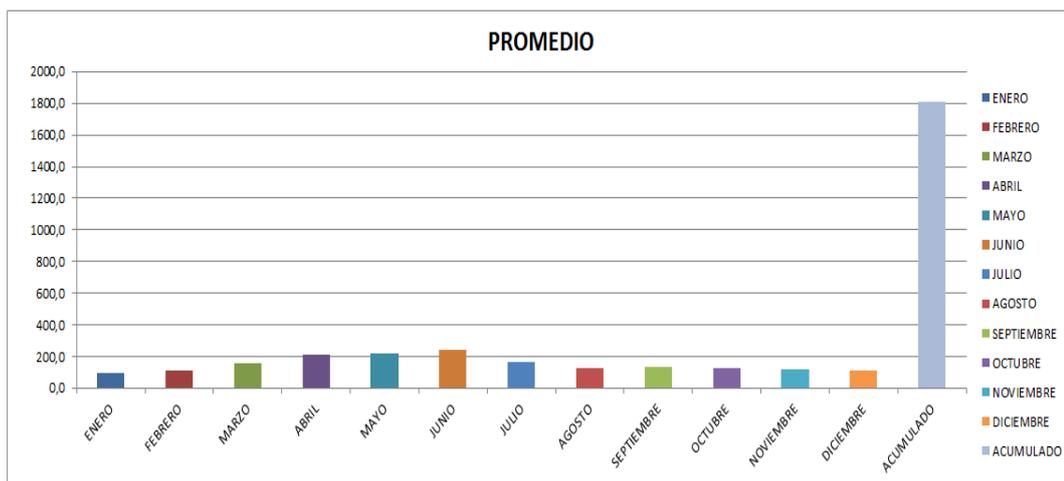
**Figura 81: Precipitaciones Estación Palmoriente 1991 – 2010.**



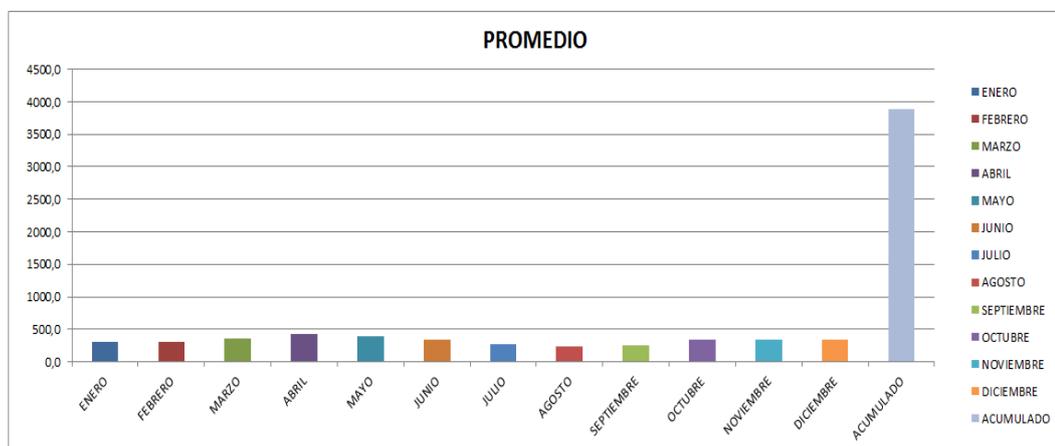
**Figura 82: Precipitaciones Estación Puyo 1991 – 2010.**



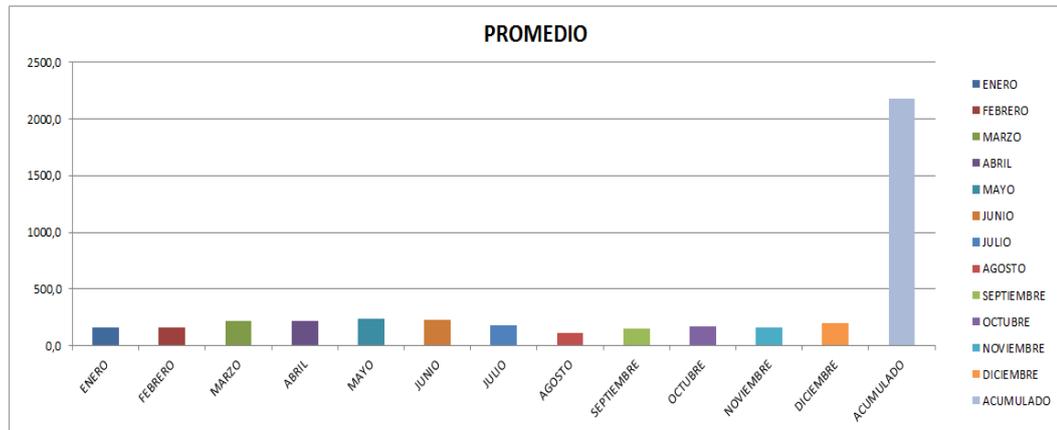
**Figura 83: Precipitaciones Estación Gualaquiza 1991 – 2010.**



**Figura 84: Precipitaciones Estación Sangay 1991 – 2010.**



**Figura 85: Precipitaciones Estación Yanzatza 1991 – 2010.**



## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

- A partir de la información recopilada del INAMHI y de un procedimiento de ajuste desarrollado para el caso de las altas temperaturas, se han podido calcular las temperaturas requeridas en el pavimento para el empleo del Método Superpave para la calificación de asfaltos.
- Se han determinado para las diferentes estaciones meteorológicas seleccionadas para nuestro estudio y distribuidas en las diferentes regiones, los grados de performance PG que se necesitan para los cementos asfálticos a utilizar en el Ecuador.
- Se elaboraron dos mapas con la zonificación de los PG a emplear, tanto para un nivel de confiabilidad del 50% como del 98%.
- Se realizó la relación entre las variaciones de temperaturas y las altitudes tanto para las temperaturas del aire y las temperaturas del pavimento.
- Se determinó las variaciones de precipitaciones confiable mensuales a partir de la información del INAMHI correspondiente a los últimos 20 años, donde se incluye además el volumen de precipitaciones acumuladas anuales.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Que el INAMHI u otras instituciones interesadas en esta problemática vial, lleven registros meteorológicos con la información diaria que permita en un futuro una determinación más exacta de las temperaturas máximas por el Método Superpave.
- Que la información climática presentada en este estudio sirva como apoyo para los estudios de pavimentos que se realizan en el país.

## BIBLIOGRAFÍA

- Jugo, A. (1997). *Propuesta de una Metodología para la Selección de Ligantes Asfálticos en Venezuela basada en las nuevas Especificaciones Convenir y los Criterios Superpave*. 9no Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, p.p. 653 - 664. Asunción, Paraguay.
- Domínguez, J & Sancho M. (1999). *Desarrollo de un Mapa de Áreas Geográficas del Perú basado en las condiciones de clima y temperatura del pavimento, para la selección de los grados de asfalto <<Superpave>>*, 10mo CILA, p.p. 479 - 490. Sevilla, España.
- Asphalt Institute (1998). *Antecedentes de los Métodos de Ensayo de Ligantes Asfálticos de Superpave*. Traducido por Instituto Panamericano de Carreteras. U.S.A.
- Kraemer, C & Angel del Val, M (1993). *Firmes y Pavimentos*. (1ra ed.), Madrid: Servicio de Publicaciones Colegios de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Vásquez, L. "Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras".  
<http://www.camineros.com/docs/cam036.pdf>.  
(2013, Septiembre, 29).
- INAMHI. "CONOZCA EL INAMHI".  
<http://www.inamhi.gob.ec/index.php/conozca-el-inamhi>.  
(2013, Septiembre, 29).

Atlas del Ecuador 2013.

Enciclopedia del Ecuador, Editorial Océano Grupo Editorial, S.A. (1999).

Geografía del Ecuador “El Espacio y sus Pueblos” (José Hidrovo Peña Herrera), 3 Edición.

El clima del Ecuador.

<http://internacional.universia.net/latinoamerica/datospaíses/ecuador/clima.htm>. (2013, Noviembre 4).

Pattillo, B. “Consideraciones generales sobre diseño de pavimentos asfálticos”. Revista de Ingeniería de Construcción, N°4. p.p. 94 – 110.

THENOUX, G. “Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito”.  
<http://es.scribd.com/doc/155727620/06ThenouxDiseoBajotransito>. (2013, Noviembre 15).

Sistema de selección de asfaltos para uso vial.  
<http://www.e-asfalto.com/superpave/>. (2013, Diciembre 2).

Asfaltos.  
<http://www.petroperu.com.pe/portalweb>. (2013, Diciembre 5).

Comparación de módulos dinámicos de probetas elaboradas por el Método Marshall y por el Método Superpave.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169233242007000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169233242007000100006&script=sci_arttext). (2013, Diciembre 4).

- Contreras, C. "Mapa de recomendación de uso de ligantes asfálticos según clasificación Superpave, aplicado al tramo entre Santiago y los Ángeles".  
[www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/contreras\\_c/.../contreras\\_c.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/contreras_c/.../contreras_c.pdf).  
(2013, Diciembre 4).
- Vinicio, M. "Superpave" Ministerio de Obras Publicas de el Salvador.
- Céspedes, C "Método Superpave"  
<http://es.scribd.com/doc/174320422/Trabajo-Superpave-2013>.  
(2013, Diciembre 5).
- Clima del Ecuador.  
<http://www.en-ecuador.com/clima.php>.  
(2013, Diciembre 6).
- Crespo, C. "Vías de comunicación caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos". 3 Edición.
- Anuarios mensuales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.  
INAMHI.  
[www.inamhi.gob.ec](http://www.inamhi.gob.ec).
- Alarcón, J. "Firmes asfálticos, composición, deterioro y rehabilitación"  
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5906/09CAPITULO2.pdf>  
(2013, Diciembre 12).
- McDaniel, R.S. (2007). Current Superpave Mix Design Practice. Transportation Research Circular Number E-C 124. T.R.B. pp. 2-11.
- Pérez, N. (2012). "Evaluación del módulo de resiliencia, en trayectorias de humedecimiento y secado"  
<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt355.pdf>  
(2013, Diciembre 14).
- Rodríguez, A & Castillo, H. "La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas". Volumen 2. Editorial Limusa.
- Calo, D. (2012). "Diseño y construcción de pavimentos de hormigón".  
<http://www.actualizarmiweb.com/sites/icpa/publico/files/01.pdf>  
(2013, Diciembre 14).