

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LA RED
HIDROMETEOROLÓGICA EN LA REGIÓN NOR – ORIENTAL
DEL ECUADOR Y PROPUESTA DE SU OPTIMIZACIÓN COMO
PARTE DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA BÁSICA DEL
ECUADOR**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CARLOS ALBERTO VILLACRÉS ORTIZ

carlosalberto_1105@hotmail.com

SNEYDER DARÍO GALLEGOS SOTOMAYOR

dariosg17@hotmail.com

DIRECTOR: DR. ING. LAUREANO SALVADOR ANDRADE CHÁVEZ

laureano.andrade@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Carlos Alberto Villacrés Ortiz y Sneyder Darío Gallegos Sotomayor, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**CARLOS ALBERTO
VILLACRÉS ORTIZ**

**SNEYDER DARÍO
GALLEGOS SOTOMAYOR**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Alberto Villacrés Ortiz y Sneyder Darío Gallegos Sotomayor, bajo mi supervisión.

DR. ING. LAUREANO ANDRADE CH.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo el apoyo, motivación y sacrificio que realizaron para brindarme la oportunidad de cumplir mis sueños.

De igual manera para mi hermana Mariela por su confianza y apoyo incondicional, en los momentos difíciles de mi vida.

También para mis abuelitos, tíos y primos, quienes con su cariño y afecto me brindaron la fuerza necesaria para superarme y cumplir mis objetivos.

Un especial agradecimiento al Dr. Ing. Laureano Andrade por su paciencia, esfuerzo, dedicación y forma de trabajo.

Un sincero agradecimiento al personal docente y administrativo que conforman la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional por las enseñanzas y apoyo brindado a lo largo mi carrera.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología por facilitar la información hidrometeorológica y geográfica necesaria para la realización de este proyecto.

A todos mis compañeros de promoción por ofrecerme su amistad y con quienes pasamos momentos inolvidables.

Carlos Villacrés O.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por llenarme de dicha y bendiciones.

A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica.

Me gustaría agradecer sinceramente a mi director y tutor de Tesis, Dr. Laureano Andrade, por su esfuerzo, dedicación, su persistencia, orientaciones y su manera de trabajar.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

A la Escuela Politécnica Nacional por formarnos para un futuro competitivo y como personas de bien.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología por facilitar la información meteorológica y geográfica necesaria para la realización de este proyecto.

Sneyder Gallegos S.

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre, quien no solo me dio la vida, sino que se sacrificó durante toda su vida para tratar de brindarme lo necesario durante mi vida estudiantil. Gracias por todos los valores, principios y fuerza para salir adelante. Eres mi razón de ser.

Dedicado a mi padre, por confiar siempre en mí y brindarme el apoyo necesario para superar las adversidades.

Para Mariela, mi querida hermana muchas gracias por brindarme todo el cariño y por haber creído siempre en mí y nunca dudar que lo lograría.

Para mis sobrinos, Mónica y Junior a quienes quiero mucho.

Carlos Villacrés O.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de Tesis a Dios por iluminarme en cada paso que doy, por cuidar de mí y darme fortaleza para continuar.

A mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, principios, mi perseverancia y mi empeño y todo ello con una gran dosis de amor, cariño y comprensión.

A mi hermana por estar conmigo y apoyarme siempre, te quiero mucho.

A mi amor Carolina, por su paciencia, comprensión y confianza, gracias mi vida.

A mi hija Rafaela, un angelito que bajo del cielo para hacerme el hombre más feliz del mundo.

Sneyder Gallegos S.

CONTENIDO

| | |
|---|-------|
| DECLARACIÓN _____ | II |
| CERTIFICACIÓN _____ | III |
| CONTENIDO _____ | VIII |
| ÍNDICE DE CUADROS _____ | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS _____ | XIV |
| RESUMEN _____ | XVIII |
| ABSTRACT _____ | XIX |
| PRESENTACIÓN _____ | XX |
| CAPÍTULO 1 _____ | 1 |
| INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS _____ | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN _____ | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS _____ | 3 |
| 1.2.1 OBJETIVO GENERAL _____ | 3 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____ | 3 |
| CAPÍTULO 2 _____ | 5 |
| DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN GENERAL DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA EXISTENTE EN LAS PROVINCIAS DE SUCUMBÍOS, ORELLANA Y NAPO _____ | 5 |
| 2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO – GEOGRÁFICA DEL ECUADOR _____ | 5 |
| 2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO – GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ATENCIÓN _____ | 14 |
| 2.3 CATASTRO DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZONA DE ATENCIÓN _____ | 15 |
| 2.4 REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES EXISTENTES A NIVEL NACIONAL Y PARA LA ZONA DE ATENCIÓN _____ | 19 |
| CAPÍTULO 3 _____ | 38 |
| SISTEMATIZACIÓN DE LOS CRITERIOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS QUE JUSTIFIQUEN LA CONSTITUCIÓN DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA BÁSICA NACIONAL, DE UNA RED MÍNIMA Y DE ESTACIONES OPERACIONALES, QUE DEBEN SER OPERADAS POR EL INAMHI. _____ | 38 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.1 | DEMANDA DE INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ATENCIÓN | 38 |
| 3.1.1 | FUNCIÓN DE LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS NACIONALES | 38 |
| 3.1.2 | PROYECTOS DE AGUA POTABLE | 41 |
| 3.1.3 | GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA | 41 |
| 3.1.4 | CONTROL DE INUNDACIONES | 42 |
| 3.1.5 | NAVEGABILIDAD DEL RÍO NAPO | 42 |
| 3.1.6 | CALIDAD DEL AGUA | 43 |
| 3.2 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SERIES DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS | 44 |
| 3.2.1 | COBERTURA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN | 45 |
| 3.2.1.1 | Matriz de correlación de series de precipitación de las estaciones meteorológicas | 45 |
| 3.2.1.2 | Análisis de representatividad para otras variables meteorológicas | 55 |
| 3.2.1.3 | Gradientes de variables meteorológicas | 62 |
| 3.2.2 | COBERTURA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN | 66 |
| 3.2 | ANÁLISIS DE LAS SERIES DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE ACUERDO AL S.I.C. | 72 |
| 3.3 | CRITERIOS DE LA RED METEOROLÓGICA DEL ECUADOR (RME) | 87 |
| 3.4 | CRITERIOS DE LA RED HIDROLÓGICA DEL ECUADOR (RHE) | 90 |
| 3.5 | CRITERIOS DE ESTACIONES OPERACIONALES | 92 |
| CAPÍTULO 4 | | 94 |
| PROPUESTA DE REDES BÁSICA Y MÍNIMA PARA LA ZONA DE ATENCIÓN Y DE LAS ESTACIONES OPERACIONALES | | 94 |
| 4.1 | DEFINICIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN | 94 |
| 4.2 | REPRESENTATIVIDAD DE LA RME EN LA ZONA DE ATENCIÓN | 99 |
| 4.2.1 | ESTACIONES DEL INAMHI | 99 |
| 4.2.2 | ESTACIONES OPERADAS POR OTRAS INSTITUCIONES | 99 |
| 4.2.3 | ESTACIONES CON DISPONIBILIDAD DE DATOS MENSUALES DE VARIABLES METEOROLÓGICAS | 99 |

| | | |
|--|--|-----|
| 4.2.4 | ESTACIONES OPERACIONALES _____ | 100 |
| 4.2.5 | COBERTURA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS _____ | 100 |
| 4.3 | DEFINICIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN _____ | 102 |
| 4.4 | REPRESENTATIVIDAD DE LA RHE EN LA ZONA DE ATENCIÓN _____ | 105 |
| 4.4.1 | ESTACIONES DEL INAMHI _____ | 105 |
| 4.4.2 | ESTACIONES OPERADAS POR OTRAS INSTITUCIONES _____ | 105 |
| 4.4.3 | ESTACIONES CON REGISTROS DE SERIES MENSUALES DE CAUDALES _____ | 105 |
| 4.4.4 | ESTACIONES OPERACIONALES _____ | 106 |
| 4.4.5 | COBERTURA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS _____ | 106 |
| CAPITULO 5 _____ | | 108 |
| PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS BÁSICA Y MÍNIMA Y DE LAS ESTACIONES OPERACIONALES EN LAS PROVINCIAS DE SUCUMBÍOS, ORELLANA Y NAPO. _____ | | 108 |
| 5.1 | IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS _____ | 108 |
| 5.2 | IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS _____ | 109 |
| 5.3 | PRESUPUESTO _____ | 110 |
| CAPITULO 6 _____ | | 112 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____ | | 112 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____ | | 122 |
| ANEXOS _____ | | 124 |
| ANEXO No 1 _____ | | 125 |
| MAPAS TEMÁTICOS _____ | | 125 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1 Áreas de las regiones del Ecuador..... | 6 |
| Cuadro 2 Variación de las áreas con la altitud a nivel nacional..... | 7 |
| Cuadro 3 Zonas de Planificación..... | 8 |
| Cuadro 4 Sistemas Hidrográficos..... | 9 |
| Cuadro 5 Zonas Hidrológicas Homogéneas..... | 10 |
| Cuadro 6 Disponibilidad hídrica del Ecuador..... | 11 |
| Cuadro 7 Variación de las áreas con la altitud en la Zona de Atención | 14 |
| Cuadro 8 Estaciones meteorológicas operativas por INAMHI a nivel nacional (enero 2010)..... | 16 |
| Cuadro 9 Estaciones meteorológicas en la Zona de Atención (enero 2010)..... | 17 |
| Cuadro 10 Estaciones meteorológicas con datos históricos de precipitación | 17 |
| Cuadro 11 Estaciones hidrológicas en el país..... | 18 |
| Cuadro 12 Estaciones hidrológicas en la Zona de Atención | 18 |
| Cuadro 13 Estaciones con registro de caudales mensuales..... | 19 |
| Cuadro 14 Estaciones meteorológicas con registros de precipitación en el país | 21 |
| Cuadro 15 Distribución de las estaciones meteorológicas por tipo de estación y por región | 22 |
| Cuadro 16 Distribución altitudinal de las estaciones meteorológicas | 23 |
| Cuadro 17 Distribución de las estaciones meteorológicas en las Zonas de Planificación | 24 |
| Cuadro 18 Distribución de las estaciones con la altitud en la Zona de Atención. | 25 |
| Cuadro 19 Densidad mínima de estaciones pluviométricas y pluviográficas | 26 |
| Cuadro 20 Zonas de cobertura de pluviómetros y pluviógrafos según criterios de la OMM..... | 27 |
| Cuadro 21 Zonas de cobertura de pluviómetros y pluviógrafos según criterios de INAMHI..... | 27 |
| Cuadro 22 Cobertura de estaciones climatológicas según criterios de INAMHI.. | 29 |
| Cuadro 23 Distribución por regiones de las estaciones hidrológicas operativas . | 30 |
| Cuadro 24 Distribución de las estaciones hidrológicas en relación con las Zonas de Planificación | 31 |
| Cuadro 25 Distribución altitudinal de las estaciones hidrológicas | 32 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 26 Distribución de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención.. | 33 |
| Cuadro 27 Densidad mínima de estaciones hidrológicas (INAMHI, 2001)..... | 34 |
| Cuadro 28 Cobertura de las estaciones hidrológicas | 34 |
| Cuadro 29 Zonas de cobertura (INAMHI, 2001)..... | 34 |
| Cuadro 30 Densidad mínima de estaciones hidrológicas según la OMM | 35 |
| Cuadro 31 Cobertura de las estaciones hidrológicas según los criterios de la OMM | 35 |
| Cuadro 32 Zonas tipo de cobertura según recomendaciones de la OMM | 35 |
| Cuadro 33 Comparación de las áreas de cobertura según INAMHI y la OMM ... | 36 |
| Cuadro 34 Zonas Hidrológicas Homogéneas..... | 37 |
| Cuadro 35 Distribución de las Zonas Hidrológicas Homogéneas..... | 37 |
| Cuadro 36 Matriz de correlación de las estaciones meteorológicas ubicadas en las Laderas Orientales (precipitación mensual). | 46 |
| Cuadro 37 Matriz de correlación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Llanura Interior. | 51 |
| Cuadro 38 Densidades recomendadas para las estaciones registradoras de precipitación - Zona de Atención | 54 |
| Cuadro 39 Densidades obtenidas de estaciones con series de variables temperatura, humedad relativa y evaporación para la Zona de Atención. | 61 |
| Cuadro 40 Matriz de correlación con datos mensuales de las estaciones hidrológicas ubicadas en las laderas orientales. | 67 |
| Cuadro 41 Densidades obtenidas del análisis de correlación – laderas orientales (caudal medio mensual). | 68 |
| Cuadro 42 Matriz de correlación de las estaciones hidrológicas con datos diarios ubicadas en las laderas orientales. | 69 |
| Cuadro 43 Densidades obtenidas del análisis de correlación – Laderas Orientales (caudales medios diarios). | 70 |
| Cuadro 44 Matriz de correlación de las estaciones hidrológicas con caudales mensuales (Llanura Interior)..... | 70 |
| Cuadro 45 Densidades obtenidas del análisis de correlación – Llanura interior (caudal medio mensual). | 71 |
| Cuadro 46 Matriz de correlación de las estaciones hidrológicas con datos diarios ubicadas en la llanura interior..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 47 Estaciones con registro mensual de precipitación del año 1982 | 74 |
| Cuadro 48 Estaciones con registro mensual de caudales del año 1982 | 82 |
| Cuadro 49 Estaciones climatológicas propuestas para la Zona de Atención | 95 |
| Cuadro 50 Estaciones pluviográficas propuestas para la Zona de Atención..... | 95 |
| Cuadro 51 Estaciones de la Red Básica de la RME | 96 |
| Cuadro 52 Estaciones operativas del INAMHI redundantes | 96 |
| Cuadro 53 Resumen de la propuesta de las estaciones meteorológicas para la Zona de Atención | 98 |
| Cuadro 54 Áreas de cobertura de información de pluviómetros y pluviógrafos según Autores | 101 |
| Cuadro 55 Áreas de cobertura de las estaciones de la RME | 101 |
| Cuadro 56 Estaciones de la Red Básica de la RHE | 103 |
| Cuadro 57 Resumen de la propuesta de las Estaciones Hidrológicas para la Zona de Atención | 104 |
| Cuadro 58 Áreas de cobertura de las estaciones hidrológicas según Autores .. | 106 |
| Cuadro 59 Áreas de cobertura de las estaciones de la RHE | 107 |
| Cuadro 60 Estaciones Meteorológicas a implementarse en la primera fase | 108 |
| Cuadro 61 Estaciones Meteorológicas a implementarse en la segunda fase | 109 |
| Cuadro 62 Estaciones Hidrológicas a implementarse en la primera fase | 109 |
| Cuadro 63 Estaciones Hidrológicas a implementarse en la segunda fase..... | 109 |
| Cuadro 64 Presupuesto de las estaciones hidrometeorológicas de la primera fase | 110 |
| Cuadro 65 Presupuesto de las estaciones hidrometeorológicas de la segunda fase | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Corte este – oeste (por la línea ecuatorial – paralelo 1°27' S) | 7 |
| Figura 2 Áreas de influencia de los sistemas atmosféricos en el Ecuador | 13 |
| Figura 3 Número de estaciones meteorológicas en operación con registros de precipitación | 20 |
| Figura 4 Número de estaciones meteorológicas con datos históricos de precipitación | 21 |
| Figura 5 Distribución altitudinal y territorial de las estaciones meteorológicas | 23 |
| Figura 6 Red de estaciones hidrológicas activas operadas por INAMHI | 29 |
| Figura 7 Representatividad de las estaciones hidrológicas en el tiempo | 30 |
| Figura 8 Distribución de las estaciones por áreas y altitud | 32 |
| Figura 9. Red fluvial comercial Perú - Ecuador | 43 |
| Figura 10 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones - Laderas Orientales (precipitación media mensual). Estación base M436. | 47 |
| Figura 11 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Laderas Orientales (precipitación media mensual). Estación base M824. | 48 |
| Figura 12 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Laderas Orientales (precipitación media mensual). Estación base M188. | 48 |
| Figura 13 Relación del coeficiente de correlación con la distancias entre estaciones – Laderas Orientales (precipitación media anual). Estación base M436. | 49 |
| Figura 14 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Laderas Orientales (precipitación media anual). Estación base M824. | 49 |
| Figura 15 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Laderas Orientales (precipitación media anual). Estación base M490. | 50 |
| Figura 16 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones - Llanura Interior (precipitación media mensual). Estación base M070. | 51 |
| Figura 17 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Llanura Interior (precipitación media mensual). Estación base M293. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 18 Relación del coeficiente de correlación con las distancias entre estaciones – Llanura interior (precipitación media mensual). Estación base SETE. | 52 |
| Figura 19 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Llanura Interior (precipitación media anual). Estación base M070. | 53 |
| Figura 20 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Llanura Interior (precipitación media anual). Estación base M186. | 53 |
| Figura 21 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Llanura Interior (precipitación media anual). Estación base SETE. | 54 |
| Figura 22 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – temperatura media mensual. Estación base M061. | 56 |
| Figura 23 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – temperatura media mensual. Estación base M052. | 56 |
| Figura 24 Relación del coeficiente de correlación con la distancias entre estaciones – temperatura media mensual. Estación base SETE. | 57 |
| Figura 25 Relación del coeficiente de correlación con las distancias entre estaciones – temperatura media mensual, estación base M215. | 57 |
| Figura 26 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – temperatura media anual. Estación base M061. | 58 |
| Figura 27 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – temperatura media anual. Estación base M052. | 58 |
| Figura 28 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – humedad relativa mensual. Estación base M061. | 59 |
| Figura 29 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – humedad relativa mensual. Estación base M007. | 60 |
| Figura 30 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – evaporación mensual. Estación base M007. | 60 |
| Figura 31 Gradiente de variación de la precipitación media anual a lo largo de la provincia de Sucumbíos. | 62 |
| Figura 32 Gradiente de variación de la precipitación media anual a lo largo de las provincias de Napo y Orellana. | 63 |
| Figura 33 Gradiente de variación de la temperatura media anual a lo largo de la provincia de Sucumbíos. | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 34 Gradiente de variación de la temperatura media anual a lo largo de las provincias de Napo y Orellana. | 64 |
| Figura 35 Gradiente de variación de la humedad relativa anual a lo largo de la provincia de Sucumbíos. | 64 |
| Figura 36 Gradiente de variación de la humedad relativa anual a lo largo de las provincias de Napo y Orellana. | 65 |
| Figura 37 Gradiente de variación de la evaporación anual a lo largo de la provincia de Sucumbíos. | 65 |
| Figura 38 Gradiente de variación de la evaporación anual a lo largo de las provincias de Napo y Orellana. | 66 |
| Figura 39 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Laderas Orientales (caudal medio mensual). | 68 |
| Figura 40 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Laderas Orientales (caudales medios diarios). | 69 |
| Figura 41 Relación del coeficiente de correlación con la distancia entre estaciones – Llanura Interior (caudal medio mensual). | 71 |
| Figura 42 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M436 | 75 |
| Figura 43 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M203 | 76 |
| Figura 44 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M698 | 76 |
| Figura 45 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M490 | 77 |
| Figura 46 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M188 | 77 |
| Figura 47 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M697 | 78 |
| Figura 48 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M710 | 78 |
| Figura 49 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M007 | 79 |

| | |
|---|----|
| Figura 50 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación M484 | 79 |
| Figura 51 Error promedio mensual de los registros de precipitación para el año 1982 de las estaciones ubicadas en las laderas orientales..... | 80 |
| Figura 52 Error promedio mensual de los registros de precipitación para el año 1982 de las estaciones ubicadas en la llanura interior | 81 |
| Figura 53 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación H714..... | 83 |
| Figura 54 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación H718..... | 83 |
| Figura 55 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación H719..... | 84 |
| Figura 56 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación H722..... | 84 |
| Figura 57 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación H720..... | 85 |
| Figura 58 Valores mensuales interpolados con el método IDW para el año 1982 de la estación H721..... | 85 |
| Figura 59 Error promedio mensual de los registros de caudal para el año 1982 de las estaciones ubicadas en las laderas orientales..... | 86 |
| Figura 60 Error promedio mensual de los registros de caudal para el año 1982 de las estaciones ubicadas en la llanura interior | 87 |

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal el generar una metodología adecuada a las condiciones físico – geográficas y climáticas del país, para el diseño de la red de estaciones hidrometeorológicas, y validar esta metodología en la Zona de Atención, que comprende las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana.

Además se analiza la situación general de la red hidrometeorológica a nivel nacional y en la Zona de Atención así como también se definen los criterios científico – técnicos que justifican la constitución de la red hidrometeorológica básica del país y una red mínima de estaciones operacionales, que deben ser operadas por INAMHI.

Se incluye la propuesta de red de estaciones hidrometeorológicas y de estaciones operacionales con especial detalle para la Zona de Atención, además un plan justificado de implementación por etapas de la red hidrometeorológica, con los correspondientes presupuestos de construcción, equipamiento, operación y mantenimiento.

ABSTRACT

The present study has a main objective, to generate an adequate methodology to the physical, geographical and climatic conditions of the country, for the design of the hydrometeorological network stations, and validation this methodology in the Zone of Attention, which includes the provinces of Sucumbíos, Napo and Orellana.

Besides to analyze the general situation of the hydrometeorological network all over the country and in the Zone of Attention also to define scientific–technical point of view that justify the establishment of basic hydrometeorological network in the country and a minimum network of operational stations, which should be operated by INAMHI.

This includes the proposal of hydrometeorological network stations and operational stations with special detail for the Zone of Attention, as well as a justified plan of implementation for the stages of the hydrometeorological network, with the corresponding budgets of construction, equipment, operation and maintenance.

PRESENTACIÓN

Es creciente en el país la necesidad de información climática e hidrológica básica, que permita mejorar el conocimiento sobre la variabilidad meteorológica así como la disponibilidad de agua de los ríos, lagunas, pantanos y demás cuerpos de agua del país.

Si bien existen estaciones hidrometeorológicas en la región nor-oriental del país, operadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, y por otras instituciones públicas y privadas, la información existente es aún insuficiente a nivel zonal o a su vez ciertos sectores tienen una densidad excesiva, lo cual significa que se están duplicando esfuerzos y desperdiciando recursos.

En consecuencia, en base a la información disponible sobre las estaciones existentes, se pretende generar una propuesta de red de estaciones hidrometeorológicas para las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana, que permita a mediano plazo disponer de información sobre las variables climáticas e hidrológicas, que sea suficiente, confiable y oportuna, para soportar los diseños de las obras de aprovechamiento y control de agua de estas provincias.

El estudio está distribuido en 6 capítulos y los anexos, como se indica a continuación:

Capítulo 1. Introducción y Objetivos.- Se presenta una breve introducción del Ecuador y de la Zona de Atención, provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana. Además se detalla el marco del convenio de cooperación interinstitucional entre la Escuela Politécnica Nacional y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y su resultado, el presente proyecto de titulación.

Capítulo 2. Diagnóstico de la situación general de la red hidrometeorológica existente en las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana.- Se resume las características físicas, geográficas e hidrológicas a nivel nacional y en la Zona de

Atención, el catastro de estaciones hidrometeorológicas y su representatividad.

Capítulo 3. Sistematización de los criterios científicos y técnicos que justifiquen la constitución de la red hidrometeorológica básica nacional, de una red mínima y de estaciones operacionales, que deben ser operadas por el INAMHI.- El presente acápite contiene información sobre la función de los servicios meteorológicos y la demanda hidrometeorológica de los planes de desarrollo sectoriales. Además se realiza un análisis estadístico de las series de precipitación y caudales con los cuales se presenta la cobertura de las estaciones a nivel nacional en la Zona de Atención. Como resultado se detallan los criterios científico – técnicos de la Red Hidrometeorológica del Ecuador y de las estaciones operacionales.

Capítulo 4. Propuesta de redes básica y mínima para la Zona de Atención y de las estaciones operacionales.- Como resultado de la presente investigación se definen las estaciones hidrometeorológicas como propuesta de la Red Meteorológica del Ecuador (RME) y Red Hidrológica del Ecuador (RHE), así como la representatividad de la misma en la Zona de Atención.

Capítulo 5. Plan de implementación de las redes hidrometeorológicas básica y mínima y de las estaciones operacionales en las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana.- Se resume el plan de implementación de la propuesta de estaciones hidrometeorológicas con su respectivo presupuesto de construcción, equipamiento, operación y mantenimiento.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.- Se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado luego del desarrollo del presente estudio.

Anexos.- Comprende los mapas temáticos a nivel nacional y para la Zona de Atención. El catastro de estaciones hidrometeorológicas, las zonas hidrológicas homogéneas, las series mensuales de precipitación y caudales usadas en el análisis estadístico, entre otros se presentan en el CD adjunto de anexos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio es el resultado del Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Escuela Politécnica Nacional (EPN) suscrito el 26 de octubre de 2009, el mismo que se ejecutó bajo la dirección del Dr. Ing. Laureano Andrade con el soporte de los autores del presente proyecto de titulación. Los documentos generados fueron; Informe de la Fase I, Diagnóstico y formulación de criterios para la conformación de Redes Hidrometeorológicas, e Informe de la Fase II, Informe Final, del proyecto “ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA DE LA REGIÓN NOR-ORIENTAL DEL ECUADOR Y PROPUESTA DE SU OPTIMIZACIÓN COMO PARTE DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA BÁSICA DEL ECUADOR”.

Cabe indicar que a lo largo del desarrollo del estudio se trata a la Red Básica Nacional y Red mínima como una sola y única Red del Ecuador así:

- **Red Mínima Básica Hidrológica:** Es una Red conformada por un número mínimo de estaciones hidrométricas que permiten conocer de manera directa e indirecta los parámetros hidrológicos en cualquier punto de la región, en donde ha sido establecida con valores de error dentro de un rango aceptable (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001).
- **Red Mínima Básica Meteorológica:** Es el mínimo de estaciones, que representan los requerimientos básicos de información meteorológica de una región o país, que disponen del instrumental y equipos para las mediciones aplicadas al área de estudio; y que pueden ser operadas eficaz

y eficientemente, con los recursos disponibles, para la obtención de datos confiables y que satisfagan las necesidades generales y particulares. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001).

El espacio físico del estudio constituye el territorio continental ecuatoriano e insular, el análisis de la representatividad de la red de estaciones hidrometeorológica se limita a las estaciones que están actualmente en operación por el INAMHI a enero de 2010 y se apoya en las series de precipitaciones y caudales de las estaciones cuya información fue proporcionada por el INAMHI.

Ecuador se localiza en el noreste de América del Sur, tiene una superficie total de 256 370 km² incluyendo las áreas insulares; se distribuye en 24 provincias, con sus respectivos cantones y parroquias.

La Zona de Atención, que comprende las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana se extiende en dirección oeste – este desde las laderas orientales de la cordillera Real o Central hasta las llanuras orientales del Amazonas, y ocupa una superficie conjunta de 52 115 km², que representa el 20.3 % del territorio nacional.

Para facilitar el análisis desde el punto de vista físico- geográfico, meteorológico e hidrológico, que son temas fundamentales para la definición de las redes de monitoreo, se considera: la regionalización natural¹ (costa, sierra y oriente); la variabilidad del área con la altitud; las Zonas de Planificación conforme a la propuesta de SENPLADES en proceso de aprobación por la Asamblea; así también se analiza las áreas de influencia de los sistemas sinóptico, agrometeorológico, climático, y de los extremos meteorológicos; y, por último los sistemas hidrográficos del Ecuador. (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010).

¹ En el presente trabajo para separar las regiones naturales se adopta la cota 1000 m s.n.m. Este criterio de los autores se adapta adecuadamente a la variabilidad climática e hidrológica del país y al concepto de zona de llanura interior o de montaña de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para la definición de redes de mediciones hidrometeorológicas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar una metodología adecuada a las condiciones físico – geográficas y climáticas del país, para el diseño de las redes de estaciones hidrometeorológicas, y validar esta metodología en la región nororiental del país, comprendida por las provincias de Sucumbíos, Orellana y Napo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una evaluación general de la cobertura de las estaciones meteorológicas e hidrológicas del INAMHI a nivel nacional, de su estado de funcionamiento y de la calidad de la información generada. De manera detallada la evaluación se realizará para la red existente en las provincias de Sucumbíos, Orellana y Napo.
- Establecer los criterios científicos y técnicos que justifiquen la constitución de las redes de estaciones hidrometeorológicas que deben ser operadas por el INAMHI: red básica nacional y red mínima; y, de estaciones operacionales adicionales que deben implementarse para satisfacer objetivos específicos.
- Evaluar el grado de representatividad espacial y temporal de la información hidrometeorológica generada por las estaciones localizadas en las provincias de Sucumbíos, Orellana y Napo; se deberá analizar con mayor detalle las variables: precipitación, temperatura, aforos y caudal.
- Inventariar las estaciones hidrometeorológicas operadas por otras instituciones públicas o privadas, y proponer las formas de cooperación para compartir la información de estas estaciones a través de un sistema de información integrado.

- Generar una propuesta de red hidrometeorológica básica y de red hidrometeorológica mínima, definiendo la localización y tipo de estaciones, con especial detalle para el caso de las provincias de Sucumbíos, Orellana y Napo.
- Generar una propuesta de estaciones hidrometeorológicas operativas para las provincias de Sucumbíos, Orellana y Napo, para fines específicos como la operación de embalses, apoyo al diseño de proyectos hidroeléctricos, navegación, monitoreo de la calidad del agua y de los caudales ecológicos, predicción de crecidas y control de inundaciones. Estas estaciones deben cumplir fines específicos tanto por el tipo(s) de variable(s) a medir, como por el tiempo de operatividad.
- Generar un plan justificado de implementación por etapas de la red hidrometeorológica básica y de la red hidrometeorológica mínima para las provincias de Sucumbíos, Orellana y Napo, con los correspondientes presupuestos de construcción, equipamiento, operación y mantenimiento. Este Plan puede contemplar incluso la reubicación de estaciones.

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN GENERAL DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA EXISTENTE EN LAS PROVINCIAS DE SUCUMBÍOS, ORELLANA Y NAPO

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO – GEOGRÁFICA DEL ECUADOR

El Ecuador se localiza en el noreste de América del Sur, tiene una superficie total de 256 370 km² incluyendo las áreas insulares; se distribuye en 24 provincias, con sus respectivos cantones y parroquias. El estudio de evaluación de la red hidrometeorológica y propuesta de su optimización, se realiza en detalle para la región nororiental del Ecuador, y específicamente para las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana, que ocupan una superficie conjunta de 52 115 km², que representa el 20.3 % del territorio nacional (ver Mapa 1 del Anexo 1).

2.1.1 REGIONES NATURALES

La cordillera de Los Andes que cruza el país de norte a sur, divide el territorio nacional en 3 regiones bien definidas, y que se aprecian en el Mapa 1 del Anexo 1:

- a) La región Occidental o Costa se extiende desde el pie de monte, el cual para fines de la presente tesis se asume la cota 1 000 m s.n.m., hasta el Océano Pacífico, y está constituida en general por llanos y elevaciones de baja altura.
- b) La Sierra o región Interandina, está formada por cadenas montañosas (la Real o Central y la Occidental, y en el sur oriente del país se tiene la cordillera Oriental, de menor altura). Estas cordilleras están conectadas por elevaciones transversales, denominadas nudos, que en conjunto forman amplios valles interandinos.

- c) La región Amazónica se define desde el pie de monte oriental (cota 1 000 m s. n. m.) y se extiende hacia el este por la llanura amazónica.

A estas regiones se suma la región insular o islas Galápagos, ubicada al oeste aproximadamente 900 km desde la costa continental. Las áreas parciales de las regiones se incluyen en el Cuadro 1.

CUADRO 1 ÁREAS DE LAS REGIONES DEL ECUADOR

| Región | Superficie | |
|-----------------|--------------------|------------|
| | (km ²) | (%) |
| Costa | 69 917 | 27.3 |
| Sierra | 100 541 | 39.2 |
| Oriente | 76 979 | 30 |
| Islas | 8 933 | 3.5 |
| Nacional | 256 370 | 100 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

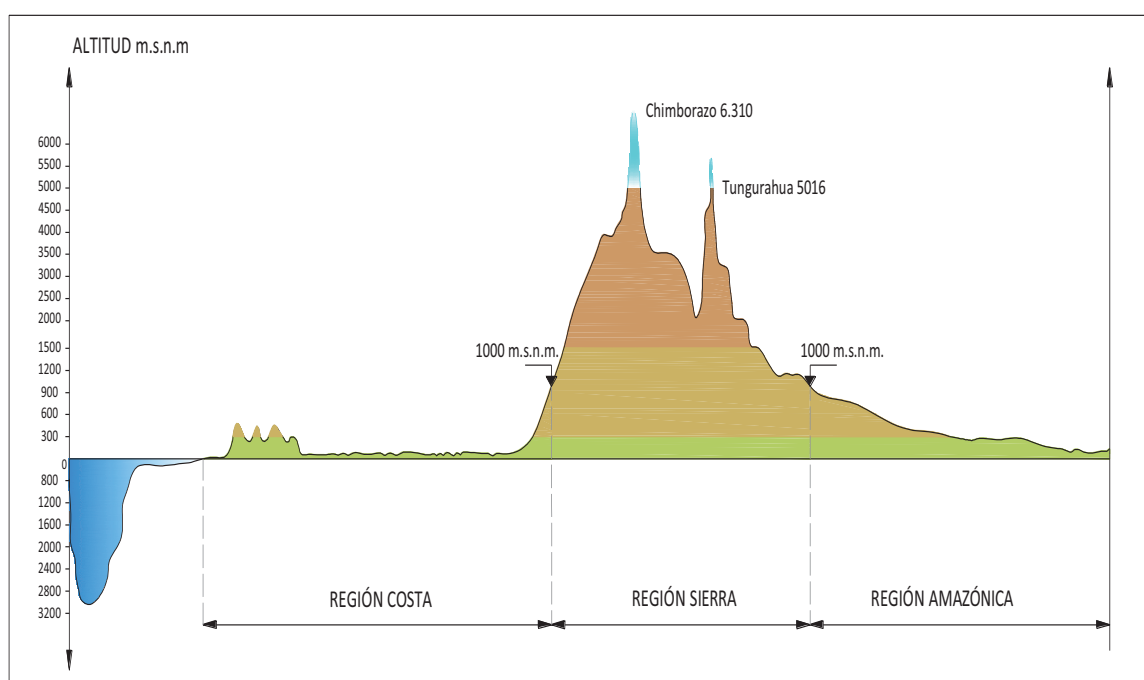
2.1.2 VARIACIÓN ALTITUDINAL DEL TERRITORIO DEL ECUADOR

El Ecuador observa un relieve muy irregular en sentido oeste – este (ver Figura 1), que varía gradualmente hasta el pie de monte, y luego se presentan áreas con relieve escarpado, que constituyen las laderas del oeste de la cordillera Occidental.

Del lado interior se presentan los escarpes orientales de esta cordillera, las hoyas interandinas y las laderas occidentales de la cordillera Real o Central (interiores a los valles interandinos), del otro lado se extienden las laderas orientales de relieve muy pronunciado y por último se aprecia la llanura oriental.

Los nevados son elevaciones de origen volcánico, que alcanzan los 6 000 m de altitud (Chimborazo – 6 310 m; Cotopaxi – 5 897 m).

FIGURA 1 CORTE ESTE – OESTE (POR LA LÍNEA ECUATORIAL – PARALELO 1°27' S)



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En zonas de montaña, los procesos físicos y climáticos, y como consecuencia los hidrológicos, tienen altas gradientes de variación, por tanto es fundamental conocer las franjas altitudinales que definen el territorio nacional (ver Cuadro 2).

CUADRO 2 VARIACIÓN DE LAS ÁREAS CON LA ALTITUD A NIVEL NACIONAL

| Intervalo de altitud (m s.n.m.) | Superficie | |
|------------------------------------|--------------------|------------|
| | (km ²) | (%) |
| < 1 000 | 160 695 | 62.7 |
| 1 000 – 2 000 | 35 927 | 14 |
| 2 000 – 3 000 | 28 837 | 11.2 |
| > 3 000 | 30 911 | 12.1 |
| Total | 256 370 | 100 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Del Cuadro anterior se deduce que las áreas con altitud 0 – 1 000 m s.n.m. ocupan el 62.7 % de todo el territorio del Ecuador, por tanto la zona montañosa

con cotas mayores a 1 000 m s.n.m. de altitud ocupa el 37.3 % del país. El área mayor a 3 000 m s.n.m. se extiende en el 12.1 % del Ecuador (30 911 km²).

2.1.3 ZONAS DE PLANIFICACIÓN

La SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2009) promueve una distribución territorial a través de 7 Zonas de Planificación, con la finalidad de acercar el gobierno a la población en los territorios y fortalecer el sistema nacional de competencias.

En el Cuadro 3 se presentan las Zonas de Planificación, en términos de superficie y su porcentaje respecto al total del territorio nacional (256 370 km²).

CUADRO 3 ZONAS DE PLANIFICACIÓN

| Zona de Planificación | | Provincias | Área (km ²) | % |
|-----------------------|--------------|---|-------------------------|------|
| 1 | Norte | Esmeraldas, Carchi, Imbabura, Sucumbíos | 42 498 | 16.6 |
| 2 | Centro-Norte | Pichincha, Orellana, Napo | 43 646 | 17 |
| 3 | Centro | Cotopaxi, Chimborazo, Pastaza, Tungurahua | 44 899 | 17.5 |
| 4 | Pacífico | Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas | 22 435 | 8.8 |
| 5 | Litoral | Bolívar, Los Ríos, Guayas, Santa Elena | 31 643 | 12.3 |
| 6 | Austro | Azuay, Cañar, Morona Santiago | 35 535 | 13.9 |
| 7 | Sur | El Oro, Loja, Zamora Chinchipe | 27 368 | 10.7 |
| Galápagos | | | 8 010 | 3.1 |

Fuente: (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2009)

2.1.4 SISTEMAS HIDROGRÁFICOS

El territorio ecuatoriano se divide en 31 sistemas hidrográficos (Consejo Nacional de Recursos Hídricos, 2002): 24 pertenecen a la vertiente del Pacífico (incluidos los territorios insulares) que ocupan 124 644 km² y que corresponde al 48.1 % del área total del país; y, 7 a la vertiente del Amazonas con una superficie de 131 726 km² que corresponde al 51.4 % de la superficie del Ecuador. Las áreas

insulares aledañas a la Costa ocupan 1 428 km² (0.5 % de todo el territorio nacional).

Para efectos de la presente investigación los 31 sistemas hidrográficos se agruparon en 24 (ver Cuadro 4), tomando en cuenta la semejanza de las características físico – geográficas y climáticas de ciertos sistemas de área pequeña, ubicados en la Costa. Este último criterio fue adoptado por el INAMHI para la difusión de los anuarios hidrológicos, en la presentación de los mapas de las estaciones.

CUADRO 4 SISTEMAS HIDROGRÁFICOS

| | Sistemas Hidrográficos | Número de Cuencas | Área Drenaje (km ²) |
|----|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1 | Carchi y Mira | 2 | 6 927 |
| 2 | Mataje | 1 | 237 |
| 3 | Cayapas | 1 | 6 421 |
| 4 | Verde | 7 | 1 904 |
| 5 | Esmeraldas | 1 | 21 553 |
| 6 | Muisne | 11 | 3 136 |
| 7 | Jama, Chone y Portoviejo | 8 | 7 444 |
| 9 | Zapotal | 11 | 5 738 |
| 10 | Guayas | 1 | 32 218 |
| 11 | Taura, Naranjal - Pagua, Cañar | 11 | 8 258 |
| 12 | Jubones | 1 | 4 361 |
| 13 | Santa Rosa, Arenillas | 3 | 1 715 |
| 14 | Zarumilla | 1 | 831 |
| 15 | Puyango | 1 | 3 682 |
| 16 | Catamayo | 1 | 7 178 |
| 17 | Puná | 1 | 923 |
| 18 | Putumayo | 1 | 5 604 |
| 19 | Napo | 1 | 59 505 |
| 20 | Pastaza | 1 | 23 190 |
| 21 | Tigre | 1 | 8 757 |
| 22 | Morona | 1 | 6 588 |
| 23 | Santiago | 1 | 24 920 |
| 24 | Chinchipe | 1 | 3 162 |

Fuente: (Consejo Nacional de Recursos Hídricos, 2002)

En el Mapa 2 del Anexo 1 se presentan los Sistemas hidrográficas del Ecuador.

2.1.5 CUENCAS HOMOGÉNEAS

La definición de Zonas Hidrológicas Homogéneas fue realizada en el contexto del Programa Nacional de Regionalización Agraria - PRONAREG (MAG - ORSTOM, 1982), con ayuda de cartas topográficas, geológicas, hidrogeológicas y de cobertura vegetal, en los años 70 e inicios de los 80.

Las Zonas Homogéneas son áreas en donde las características físico-climáticas de la superficie de drenaje varían muy poco, y consecuentemente la formación del escurrimiento es similar en cualquier parte o cuenca al interior de la zona.

En la definición de las Zonas se considera los siguientes factores:

- Pluviometría (H).
- Tipo de aporte subterráneo (P).
- Relieve (R).
- Altitud (A).
- Cobertura vegetal (V).

Cada uno de los factores tiene su propia gradación y para la definición de las Zonas se toma en cuenta también aspectos como la heterogeneidad de la precipitación, las cuencas con estación seca muy definida o poco definida. Estas Zonas están agrupadas también en grandes regiones del Ecuador como se indica en el Cuadro 5 y sus formas se aprecian en el Mapa 3 del Anexo 1.

CUADRO 5 ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS

| Cuencas de los ríos | | Zonas Hidrológicas Homogéneas |
|---------------------|---|-------------------------------|
| A | Pastaza, Chimbo y Chanchán | 61 |
| B | Cañar, Paute y Sur Ecuatoriano | 62 |
| C | Esmeraldas y Norte Ecuatoriano | 74 |
| D | Guayas, La Península y Manabí | 63 |
| E | Del Norte y Centro Oriente de la Amazonía | 8 |
| TOTAL | | 268 |

Fuente: (Consejo Nacional de Recursos Hídricos, 2002), (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001)

Las 268 zonas hidrológicas homogéneas definidas ocupan 232 843 km² del territorio nacional, en tanto que 23 527 km² de superficie que corresponde a islas no tienen definición.

2.1.6 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL ECUADOR

Las disponibilidades de agua de los sistemas hidrográficos dependen en gran medida de las precipitaciones estacionales, en consecuencia son abundantes en el período lluvioso y escasas, principalmente en las regiones costa y sierra, en el período de bajas precipitaciones.

La última evaluación de las disponibilidades hídricas del país corresponde al proyecto (INERHI – CEDEX, 1989), en el cual se determinó los caudales, que se presentan en el Cuadro 6. Se destaca que la descarga media total de todos los ríos del Ecuador asciende como caudal medio a 13 699 m³/s y en término de caudal 90 % de excedencia (caudal mínimo), a 4 655 m³/s.

CUADRO 6 DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL ECUADOR

| Vertiente | Área | Caudal | |
|--------------|--------------------|---------------------------|--------------|
| | (km ²) | Medio (m ³ /s) | 90% |
| Pacífico | 123 216 | 3 647 | 534 |
| Amazonas | 131 726 | 10 052 | 4 121 |
| Total | 254 942 | 13 699 | 4 655 |

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1989)

2.1.7 INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS METEOROLÓGICOS EN EL ECUADOR

El clima del Ecuador está influenciado por su ubicación en la zona ecuatorial o intertropical, y está condicionado por la influencia de las corrientes fría de Humboldt y cálida de El Niño, y también por la presencia de la cordillera de Los

Andes, que limita la circulación del aire en la atmósfera.

Se distinguen 3 tipos de clima claramente diferenciados, representativos de las regiones Costa, Sierra y Oriente, como se detalla a continuación.

El clima de la región Costa (27 % de la superficie) presenta dos estaciones claramente diferenciadas: lluviosa que se prolonga con ciertas irregularidades, entre enero y mayo de cada año, en este período se presenta aproximadamente el 80 % de lluvia anual; y también un período seco severo, con precipitaciones escasas o ausencia total de lluvia en algunos meses del año (agosto, septiembre).

El clima de la región Sierra, en particular las áreas intermontañas observan una distribución bimodal de lluvias (dos máximos en el año: febrero - abril y octubre), con un período de bajas precipitaciones entre junio y septiembre. En esta región las lluvias varían sensiblemente de un lugar a otro, en algunos valles incluso se aprecian valores por debajo de los 400 mm al año. La temperatura decrece con una tasa de -0.5 a -0.6 °C por cada 100 m de incremento en altitud. Entre los procesos climáticos de importancia se tiene las heladas.

La región Oriental que ocupa el 30 % del país, observa un clima tropical, caracterizada por las precipitaciones abundantes, que superan en algunas áreas los 4 000 mm por año y altas temperaturas, que exceden los 30 °C en el día y los 20 °C por la noche.

Los sistemas atmosféricos que se observan (ver Figura 2) en el país son:

- **Zona de convergencia intertropical** que ejerce influencia en las siguientes zonas: litoral noroccidental, interior noroccidental (costa), noroccidente (costa) litoral centro, interior centro, península de Sta. Elena, Golfo de Guayaquil, Litoral Sur, Interior Sur (costa), las Islas Galápagos.
- **Perturbaciones de la Cuenca Brasileña** que afecta en: extremo nororiental, planicie amazónica, noroccidente interior amazónico, planicie

central (amazónica) centro de las estribaciones de la cordillera oriental, extremo sur amazónico e interior centro y norte interandino.

- **Vaguada Ecuatorial** que influye en: extremo norte interandino, norte-centro interandino, nororiental interior, interior noroccidental (costa) litoral noroccidental, extremo nororiental, interior centro – norte interandino.
- **Vaguada o baja presión del Perú** que influye sobre: el extremo sur interandino, interior sur (costa), litoral sur y extremo sur amazónico.
- **Alta presión semipermanente del Pacífico Sur** que puede ocasionar déficit de precipitaciones en las siguientes zonas: litoral noroccidental, interior noroccidental (costa), noroccidente (costa), litoral centro, interior centro, península de Sta. Elena, Golfo de Guayaquil, Litoral Sur, Interior Sur (costa).

FIGURA 2 ÁREAS DE INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS EN EL ECUADOR



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO – GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ATENCIÓN

La Zona de Atención, que comprende las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana (ver Mapa 4 del Anexo 1) se extiende en dirección oeste – este desde las laderas orientales de la cordillera Real o Central hasta las llanuras orientales del Amazonas, y ocupa una superficie conjunta de 52 115 km², que representa el 20.3 % del territorio nacional. Por la variación altitudinal del terreno, esta zona ocupa tanto la región Sierra (con cotas mayores a 1 000 m s.n.m.) y la región Oriental, en donde las altitudes son menores a 1 000 m s.n.m. (ver Cuadro 7), con áreas de 12 474 y 39 641 km², respectivamente.

CUADRO 7 VARIACIÓN DE LAS ÁREAS CON LA ALTITUD EN LA ZONA DE ATENCIÓN

| Intervalo de altitud (m s.n.m.) | Superficie (km ²) | % |
|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| < 1 000 | 39 641 | 76.1 |
| 1 000 – 2 000 | 4 616 | 8.9 |
| 2 000 – 3 000 | 3 277 | 6.3 |
| > 3 000 | 4 581 | 8.7 |
| Total | 52 115 | 100 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

De acuerdo a la clasificación territorial de SENPLADES, la provincia de Sucumbíos se asienta en la Zona de Planificación Norte (junto con las provincias de Esmeraldas, Carchi e Imbabura), en tanto que las provincias de Napo y Orellana se localizan en la Zona de Planificación Centro – Norte, junto con la provincia de Pichincha.

Las 3 provincias forman parte de las cuencas de los sistemas hidrográficos de los ríos Putumayo y Napo, curso de agua que tiene como afluente principal al río Aguarico. De acuerdo a la clasificación de Zonas Hidrológicas Homogéneas, las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana ocupan 5 de ellas.

2.3 CATASTRO DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS A NIVEL NACIONAL Y EN LA ZONA DE ATENCIÓN

Si bien existen diferentes bases de datos sobre las estaciones meteorológicas e hidrológicas que operan a nivel nacional, y también de un catastro elaborado por el INAMHI (Ortega, F., 2006), el presente análisis se sustenta en los siguientes documentos proporcionados por el INAMHI:

- Lista de estaciones meteorológicas operadas por INAMHI a enero de 2010 (Anexo 2).
- Lista de estaciones hidrológicas operadas por INAMHI a enero de 2010 (Anexo 3).
- Listado de estaciones hidrometeorológicas en la Zona de Atención (Anexo 4).
- Estaciones con series mensuales de precipitación (Anexo 5) y estaciones con series mensuales de caudales (Anexo 6).

2.3.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Los tipos de estaciones meteorológicas que opera INAMHI, corresponden a la normativa internacional de la (World Meteorological Organization, 2007) y son los siguientes:

- **Estación agrometeorológica:** genera información meteorológica y biológica para la agricultura y/o aplicaciones biológicas.
- **Estación climatológica principal:** se realizan observaciones al menos tres veces al día sobre el tiempo atmosférico: precipitación, temperatura del aire, humedad, evaporación, heliofanía, dirección y velocidad del viento, etc.
- **Estación climatológica ordinaria:** se realizan observaciones al menos una vez al día, incluidas las lecturas diarias de temperaturas extremas y precipitación.

- **Estación pluviométrica:** tiene un pluviómetro estandarizado que permite medir la cantidad de lluvia precipitada entre dos mediciones consecutivas (generalmente día seguido y a la misma hora).
- **Estación pluviográfica:** permite el registro continuo de la precipitación, con lo cual se genera datos sobre la cantidad, intensidad, duración y período en que ha ocurrido la lluvia.
- Las estaciones aeronáuticas utilizadas para el tráfico aéreo son operadas por la Dirección de Aviación Civil (DAC).

La red de monitoreo meteorológica del INAMHI a nivel nacional consiste en 260 estaciones mientras que la Zona de Atención (provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana), cuenta con 16 estaciones meteorológicas. Existen estaciones meteorológicas operadas por otras instituciones públicas y privadas que generan información climática para sus necesidades específicas, tanto a nivel nacional como en la zona de interés, que no se incluyen en el presente análisis.

La distribución de las estaciones de acuerdo al tipo consta en el Cuadro 8, y en el Cuadro 9 se aprecia la información para la Zona de Atención.

CUADRO 8 ESTACIONES METEOROLÓGICAS OPERATIVAS POR INAMHI A NIVEL NACIONAL (ENERO 2010)

| Estación | Cantidad | % |
|-------------------------|-----------------|------------|
| Agrometeorológica | 13 | 5 |
| Climatológica Ordinaria | 71 | 27.3 |
| Climatológica Principal | 37 | 14.2 |
| Pluviográfica | 5 | 1.9 |
| Pluviométrica | 134 | 51.5 |
| Total | 260 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

El Mapa 5 del Anexo 1 presenta las estaciones climatológicas (incluye las agrometeorológicas, climatológicas principales y climatológicas ordinarias)

operadas por INAMHI a enero de 2010; las estaciones pluviométricas y pluviográficas constan en el Mapa 6.

CUADRO 9 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN (ENERO 2010)

| Institución | Estación | Cantidad | % |
|--------------|-------------------------|-----------|------------|
| INAMHI | Agrometeorológica | 1 | 3.3 |
| | Climatológica Ordinaria | 3 | 10 |
| | Climatológica Principal | 3 | 10 |
| | Pluviométrica | 9 | 30 |
| EMAAP-Q | Climatológica | 2 | 6.7 |
| | Pluviométrica | 9 | 30 |
| DAC | Aeronáutica y Sinóptica | 3 | 10 |
| Total | | 30 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Se dispone además de registros mensuales de precipitación de 837 estaciones a nivel nacional y 36 estaciones para la Zona de Atención, como se detalla en el Cuadro 10 (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010).

CUADRO 10 ESTACIONES METEOROLÓGICAS CON DATOS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN

| Zona | Estado | Cantidad | % |
|------------------|-----------|------------|------------|
| Todo el país | Operativa | 254 | 30.4 |
| | Otra | 583 | 69.6 |
| Total | | 837 | 100 |
| Zona de Atención | Operativa | 14 | 38.9 |
| | Otra | 22 | 61.1 |
| Total | | 36 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

2.3.2 ESTACIONES HIDROLÓGICAS

El INAMHI opera los siguientes tipos de estaciones hidrológicas:

- **Limnimétrica:** cuenta con limnímetros (escala o mira) para el registro del nivel del agua en el río o lago respecto a una referencia fija.

- **Limnigráfica:** estación fija que además de contar con un limnómetro o regla, tiene un instrumento para el registro continuo de niveles denominado limnógrafo, que registra las variaciones del nivel del agua y mantiene coincidencia con el nivel del limnómetro.
- **Automática:** consta de sensores que registran las variables hidrometeorológicas (precipitación, niveles, entre otras) y que pueden tener capacidad de transmisión vía satélite o por otro medio a un sitio de recepción y procesamiento.

Tomando en cuenta que el muestreo sedimentológico e hidroquímico es posible realizar en cualquier estación hidrológica que disponga de sección de aforo, se considera que las estaciones sedimentológicas e hidroquímicas no deben ser tratadas como estaciones diferentes a las limnimétricas o limnigráficas, sino que tienen rutinas adicionales en el trabajo de campo.

El conjunto de estaciones hidrológicas activas que opera el INAMHI a nivel nacional está conformado por 157, mientras que en la Zona de Atención se tiene 9 estaciones. En el Cuadro 11 constan las estaciones a nivel nacional y en el Cuadro 12 para la Zona de Atención.

CUADRO 11 ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN EL PAÍS

| Institución | Tipo de Estación | Cantidad | % |
|--------------|------------------|------------|------------|
| INAMHI | Limnimétrica | 92 | 58.6 |
| | Limnigráfica | 60 | 38.2 |
| | Automática | 5 | 3.2 |
| Total | | 157 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

CUADRO 12 ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

| Institución | Estación | Cantidad | % |
|--------------|--------------|-----------|------------|
| INAMHI | Limnimétrica | 3 | 15 |
| | Limnigráfica | 4 | 20 |
| | Automática | 2 | 10 |
| EMAAP-Q | Hidrométrica | 11 | 55 |
| Total | | 20 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Además se dispone de 224 estaciones con registros mensuales de caudales a nivel nacional y 18 estaciones en la Zona de Atención; en el Cuadro 13 se presenta un resumen de las estaciones con disponibilidad de esta información (las estaciones en detalle constan en el Anexo 6). En el Mapa 7 del Anexo 1 se encuentra la ubicación de las estaciones hidrológicas operadas por INAMHI a nivel nacional.

CUADRO 13 ESTACIONES CON REGISTRO DE CAUDALES MENSUALES

| Zona | Estado | Cantidad | % |
|------------------|-----------|------------|------------|
| Todo el país | Operativo | 131 | 58.5 |
| | Otro | 93 | 41.5 |
| Total | | 224 | 100 |
| Zona de Atención | Operativo | 6* | 33.3 |
| | Otro | 12 | 66.7 |
| Total | | 18 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

* Se desconocen los registros de caudales de 3 estaciones

2.4 REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES EXISTENTES A NIVEL NACIONAL Y PARA LA ZONA DE ATENCIÓN

2.4.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS A NIVEL NACIONAL Y SU EVOLUCIÓN

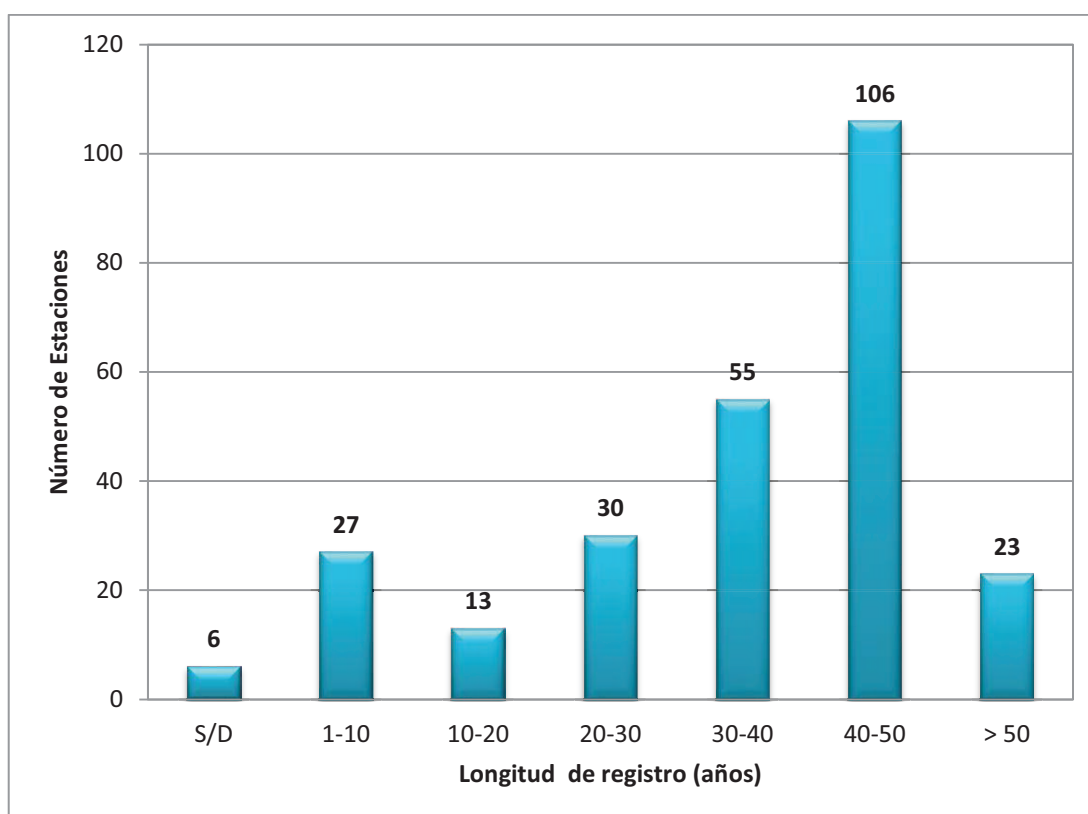
La mayoría de las estaciones meteorológicas del INAMHI y en general del país fueron instaladas durante los primeros años de la década de los sesenta, con la asistencia técnica de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Posteriormente, a través de varios proyectos nacionales e internacionales se ha generado recursos para operar y mantener la red de estaciones meteorológicas del INAMHI.

Con el transcurrir de los años la cobertura geográfica de las estaciones, la calidad del instrumental, la frecuencia de las inspecciones se ha reducido por una serie

de factores, siendo el principal, pero no el único, el económico (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001).

El análisis actualmente de la longitud de las series mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas operadas por INAMHI se presenta en la Figura 3.

FIGURA 3 NÚMERO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN OPERACIÓN CON REGISTROS DE PRECIPITACIÓN



Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Se deduce que las estaciones meteorológicas con más de 30 años de datos corresponden al 71 % de las series disponibles, lo que refleja que la mayoría de las estaciones tienen un período de datos representativo en el tiempo, y las estaciones tienen un período de maduración.

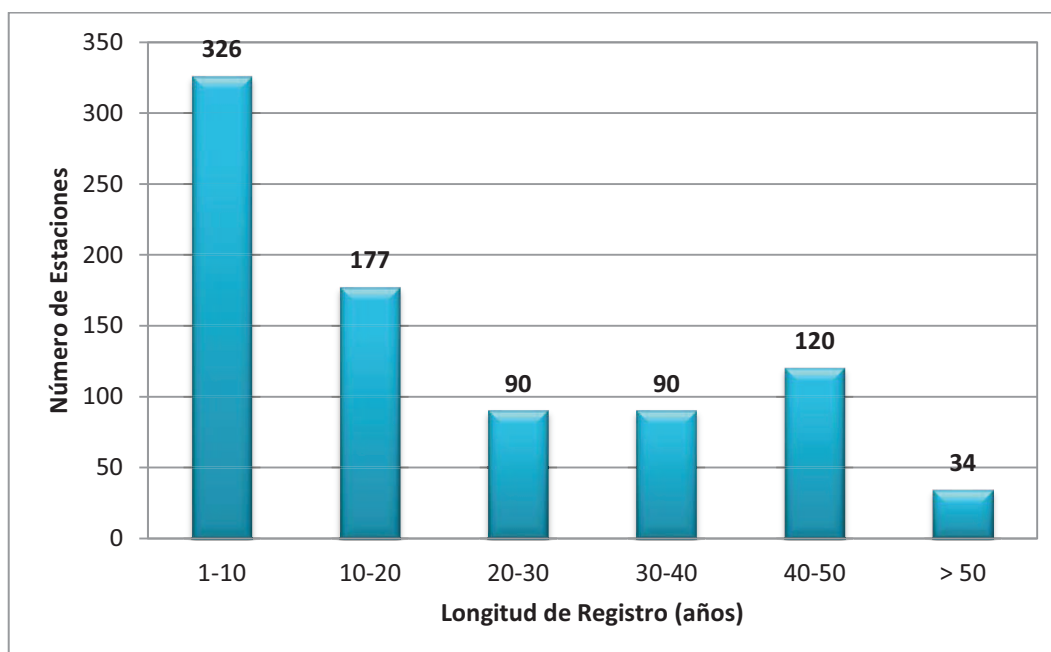
Existen registros históricos de precipitación de otras estaciones, las mismas que se pueden observar en el Cuadro 14 y su distribución por longitud de registro consta en la Figura 4.

CUADRO 14 ESTACIONES METEOROLÓGICAS CON REGISTROS DE PRECIPITACIÓN EN EL PAÍS

| Estación | | Cantidad |
|-------------------------------|----|------------|
| Anemográfica | AN | 4 |
| Agrometeorológica | AP | 15 |
| Aeronáutica | AR | 25 |
| Climatológica Especial | CE | 1 |
| Climatológica Ordinaria | CO | 184 |
| Climatológica Principal | CP | 103 |
| Plataforma Colectora de Datos | PC | 1 |
| Pluviográfica | PG | 73 |
| Pluviométrica | PV | 430 |
| Radio Sonda | RS | 1 |
| Total | | 837 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

FIGURA 4 NÚMERO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS CON DATOS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN



Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

La distribución de las estaciones meteorológicas activas operadas por INAMHI por regiones en el territorio ecuatoriano se presenta en el Cuadro 15.

CUADRO 15 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS POR TIPO DE ESTACIÓN Y POR REGIÓN

| Estación | Costa | Sierra | Oriente | Insular |
|-------------------------|------------|------------|-----------|----------|
| Agrometeorológica | 5 | 6 | 2 | - |
| Climatológica Principal | 14 | 16 | 4 | 3 |
| Climatológica Ordinaria | 21 | 46 | 3 | 1 |
| Pluviométrica | 37 | 87 | 8 | 1 |
| Pluviográfica | - | 5 | 1 | - |
| Subtotal | 77 | 160 | 18 | 5 |
| (%) | 29.7 | 61.5 | 6.9 | 1.9 |
| Total | 260 | | | |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

De la tabla anterior se destaca que el mayor número de estaciones meteorológicas se encuentran instaladas en la región Sierra (61.5 %), que representa el 39,2 % del territorio nacional. Esta situación se justifica ya que la variabilidad climática es mucho mayor en esta región en relación con zonas de llanura. La región Oriental es deficitaria de estaciones, con apenas 18 actualmente en operación, que representa apenas el 6,9 % y ocupa el 30 % del territorio nacional. La región Costa que soporta anualmente inundaciones tiene 76 estaciones meteorológicas en total.

En el Mapa 8 del Anexo 1 se aprecia la distribución espacial de las estaciones meteorológicas por regiones.

Para la región Sierra, que ocupa gran parte del territorio nacional (tiene el 37.3 % de toda el área) el conocimiento de la variación climática con la altitud es de gran importancia: por ello la necesidad de evaluar la representatividad de las estaciones con la altura.

En el Cuadro 16 se muestra la relación entre el porcentaje de área con el porcentaje de estaciones en las franjas altitudinales. En la Figura 5 se presenta la distribución altitudinal de las estaciones meteorológicas.

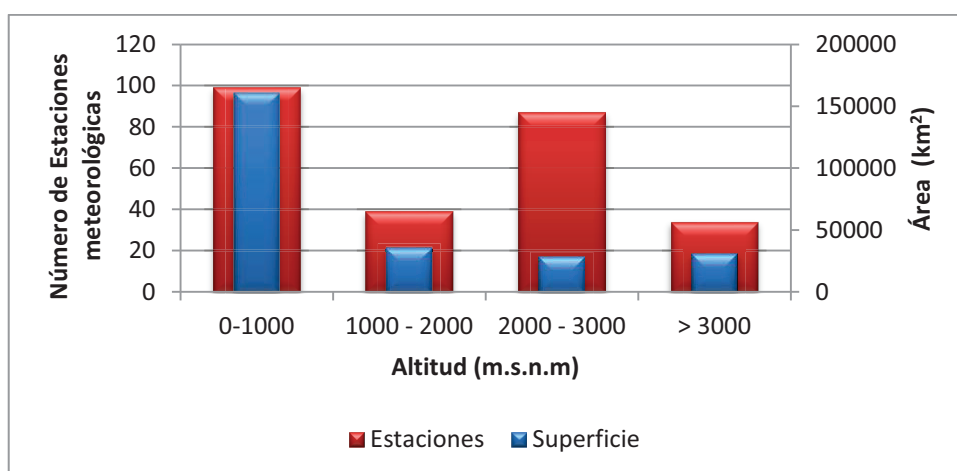
CUADRO 16 DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

| Característica | Altitud m s.n.m. | | | | | Total |
|----------------------------------|----------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0 - 500 | 500 - 1000 | 1000 - 2000 | 2000 - 3000 | > 3000 | |
| Superficie (km ²) | 160 695 | | 35 927 | 28 837 | 30 911 | 256 370 |
| Superficie (%) | 62.7 | | 14 | 11.3 | 12.1 | 100 |
| Estación | Número de Estaciones | | | | | |
| Agrometeorológica | 7 | - | 1 | 4 | 1 | 13 |
| Climatológica Principal | 19 | 2 | 2 | 12 | 2 | 37 |
| Climatológica Ordinaria | 21 | 4 | 14 | 19 | 13 | 71 |
| Pluviométrica | 35 | 10 | 21 | 48 | 18 | 132 |
| Pluviográfica | - | 1 | 1 | 4 | - | 6 |
| Total | 82 | 17 | 39 | 87 | 34 | 259 |
| (%) | 31.5 | 6.5 | 15 | 33.5 | 13.1 | 99.62 |
| (km²/estación) | 1 623.2 | | 921.2 | 331.5 | 909.2 | 989.9 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010), (Troncoso, A., Juan Gabriel B., 2010)

Del cuadro anterior se concluye en primer lugar que el número de estaciones es muy bajo y está lejos de las recomendaciones de las coberturas de estaciones. Sin embargo de lo anotado, se muestra que la relación (km²/estación) es alto para la región de llanura (cota menor a 1 000 m de altitud), y bajo para las áreas con cotas mayores a los 3 000 m de altitud.

FIGURA 5 DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL Y TERRITORIAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS



Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010), (Troncoso, A., Juan Gabriel B., 2010)

La evaluación de la representatividad de las estaciones meteorológicas por Zonas de Planificación se muestra en el Cuadro 17.

CUADRO 17 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LAS ZONAS DE PLANIFICACIÓN

| Zonas de Planificación | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|
| Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Galápagos |
| Agrometeorológica | 1 | 4 | 2 | 1 | 2 | - | 3 | - |
| Climatológica Principal | 10 | 7 | 14 | 7 | 9 | 9 | 14 | 1 |
| Climatológica Ordinaria | 7 | 4 | 4 | 3 | 9 | 6 | 1 | 3 |
| Pluviométrica | 23 | 21 | 26 | 21 | 9 | 17 | 15 | 1 |
| Pluviográfica | - | 1 | 1 | - | 1 | 2 | 1 | - |
| Subtotal | 41 | 37 | 47 | 32 | 30 | 34 | 34 | 5 |
| (%) | 15.8 | 14.2 | 18.1 | 12.3 | 11.5 | 13.1 | 13.1 | 1.9 |
| Total | 260 | | | | | | | |
| Relación (km² / estación) | 1 037 | 1 180 | 955 | 701 | 1 055 | 1 045 | 805 | 1 602 |

Fuente: (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2009), (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Se concluye que la distribución de las estaciones en las zonas de planificación fluctúa entre 701.1 km²/estación para la región 4 (Manabí Sto. Domingo de los Tsáchilas) y 1 633.5 km² /estación, que corresponde a las islas Galápagos. En el Mapa 9 del Anexo 1 se presenta la distribución de las estaciones meteorológicas en las Zonas de Planificación.

2.4.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

Las estaciones meteorológicas de la Zona de Atención se encuentran ubicadas entre los 0 y 1 000 m.s.n.m. (sin embargo existen áreas mayores a estas), el 94% de las estaciones se encuentra entre los 0 y 500 m.s.n.m. Las estaciones operadas por otras instituciones como la EMAAP-Q y la DAC podrían ser consideradas como parte de la red luego de un proceso de validación de la infraestructura y del instrumental, también de la calificación de los observadores (el Mapa 10 del Anexo 1, contiene las estaciones meteorológicas e hidrológicas

en la Zona de Atención); en el Cuadro 18 se presenta la distribución de las estaciones en la Zona de Atención en función de la altitud.

CUADRO 18 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES CON LA ALTITUD EN LA ZONA DE ATENCIÓN

| Territorio | Altitud | |
|------------------------------------|-----------------------------|------------|
| | 0-500 | 500 – 1000 |
| Superficie (km ²) | 52 115 | |
| Superficie (%) | 20.3 | |
| Estación | Número de Estaciones | |
| Agrometeorológica | 1 | - |
| Climatológica Principal | 2 | 1 |
| Climatológica Ordinaria | 3 | - |
| Pluviométrica | 9 | - |
| Pluviográfica | - | - |
| S/D* | - | - |
| Subtotal | 15 | 1 |
| (%) | 93.7 | 6.3 |
| (km² / estación) | 3 257 | |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

* Existen estaciones de la EMAAP-Q localizadas por sobre los 2 640 m de altitud en las cuencas de los ríos Papallacta, Quijos y Antisana (2 climatológicas y 9 pluviométricas), así también de la Dirección de Aviación Civil (DAC) que opera 3 estaciones en los aeropuertos de la zona. Esta información no se incluye en la tabla anterior.

En el Anexo 4 consta además el listado de estaciones meteorológicas operadas por otras instituciones en la Zona de Atención.

2.4.3 COBERTURA DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y PLUVIOGRÁFICAS

La (World Meteorological Organization, 2007) recomienda que el número de estaciones a instalar, por razones de economía, debe ser tan pequeño como sea posible y tan grande como las necesidades lo exijan. La ubicación de las estaciones debe ser representativa en condiciones de tiempo y espacio, y también

se debe considerar que la distancia entre las estaciones e intervalos de observación deben corresponder con la resolución espacial y temporal deseada de las variables meteorológicas.

Establece además que para algunas variables, como la precipitación, una separación de 10 km entre las estaciones puede ser suficiente en algunas áreas y para ciertos propósitos. Para algunas variables como la presión atmosférica y vientos superiores, una separación de 100 km entre las estaciones será suficiente (World Meteorological Organization, 2007).

La red de estaciones que opera el INAMHI está conformada al momento por 132 estaciones pluviométricas y por 6 estaciones pluviográficas, localizadas éstas últimas en las regiones Sierra y Oriental. La densidad de estaciones recomendada por la OMM para este tipo de estaciones se presenta en el Cuadro 19.

CUADRO 19 DENSIDAD MÍNIMA DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y PLUVIOGRÁFICAS

| Zona | Pluviométricas | | Pluviográficas | |
|-----------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| | Área (km ²) | Radio (km) | Área (km ²) | Radio (km) |
| Costera | 900 | 16.9 | 9 000 | 53.5 |
| Montañosa | 250 | 8.9 | 2 500 | 28.2 |

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

El área cubierta con información de precipitaciones de las estaciones actualmente en operación de acuerdo a la densidad propuesta por la OMM es de 81 825 km², que representa el 31.9% del total nacional. En cambio, de acuerdo a la práctica del INAMHI la superficie cubierta con información de estaciones es de 188 893 km², que representa el 73.7% de la superficie total del país.

Por lo tanto, el área sin cobertura de información es 68.1% según OMM y 26.3% de acuerdo al INAMHI. En el Cuadro 20 y en el Cuadro 21 se incluye la información de soporte, correspondiente.

CUADRO 20 ZONAS DE COBERTURA DE PLUVIÓMETROS Y PLUVIÓGRAFOS SEGÚN CRITERIOS DE LA OMM

| Zonas de cobertura de Estaciones Meteorológicas (pluviómetros y pluviógrafos) según criterios de la OMM | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----------|-----------------|------|------------|----------------------------|
| Territorio | Superficie (km ²) | Cobertura | km ² | % | Estaciones | km ² / estación |
| Nacional | 248 360 | Excesiva | 24 191 | 9.7 | 255 | 95 |
| | | Adecuada | 56 225 | 22.6 | | 220 |
| | | Ninguna | 167 944 | 67.6 | | 659 |
| Galápagos | 8 010 | Excesiva | 631 | 7.9 | 5 | 126 |
| | | Adecuada | 778 | 9.7 | | 156 |
| | | Ninguna | 6 601 | 82.4 | | 1 320 |
| Radio de Influencia de estaciones en zonas montañosas (km) | | | | | 8.9 | |
| Radio de Influencia de estaciones en zonas de llanura (km) | | | | | 16.9 | |

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

CUADRO 21 ZONAS DE COBERTURA DE PLUVIÓMETROS Y PLUVIÓGRAFOS SEGÚN CRITERIOS DE INAMHI

| Zonas de cobertura de Estaciones Meteorológicas (pluviómetros y pluviógrafos) según criterios del INAMHI | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------|-----------------|------|------------|----------------------------|
| Territorio | Superficie (km ²) | Cobertura | km ² | % | Estaciones | km ² / estación |
| Nacional | 248 360 | Excesiva | 143 506 | 57.8 | 255 | 563 |
| | | Adecuada | 41 191 | 16.6 | | 162 |
| | | Ninguna | 63 663 | 25.6 | | 250 |
| Galápagos | 8 010 | Excesiva | 1 650 | 20.6 | 5 | 330 |
| | | Adecuada | 2 546 | 31.8 | | 509 |
| | | Ninguna | 3 814 | 47.6 | | 763 |
| Radio de Influencia de estaciones en zonas montañosas (km) | | | | | 20 | |
| Radio de Influencia de estaciones en zonas de llanura (km) | | | | | 50 | |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001)

La información de soporte de los cuadros anteriores en forma gráfica consta en el Mapa 11 y en el Mapa 12, que se adjunta en el Anexo 1.

2.4.4 COBERTURA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Según el Manual (World Meteorological Organization, 2003) la red de estaciones climatológicas debe dar una representación satisfactoria de las características del

clima en todos los tipos de terreno, costa, regiones montañosas, llanuras, etc. Cada estación climatológica debe localizarse en un lugar y con determinadas especificaciones de manera que se garantice el funcionamiento continuo de la estación durante por lo menos 10 años. Especifica además que las estaciones climatológicas de referencia deben ser ubicadas con una exposición adecuada e inalterada dónde las observaciones puedan hacerse en las condiciones representativas. Los ambientes donde son ubicadas las estaciones no deben alterar la magnitud de las series de observación de manera que no afecte su homogeneidad.

La densidad y distribución de las estaciones climatológicas será establecida dependiendo de los elementos meteorológicos a ser observados, la topografía, uso de la tierra, y los requisitos para la información sobre los elementos climáticos específicos involucrados. La tasa de variación de los elementos climáticos para una localidad varía de acuerdo a la variable considerada. Una red corta (pequeño número de estaciones) es suficiente para el estudio de la presión atmosférica, en tanto que una red densa se requiere para el estudio de temperaturas máximas y mínimas, y redes muy densas por examinar la climatología de precipitación, viento, nieve y niebla, y sobre todo en las regiones de topografía significativa (World Meteorological Organization, 2006).

Se destaca además que identificando las estaciones redundantes se puede evaluar la posibilidad de optimizar la red; por ejemplo, eliminando estas estaciones se podrá reducir los costos o usar los recursos para establecer las estaciones en localidades en dónde se necesitan las observaciones con mayor eficiencia de cumplimiento de los objetivos de la red. Se debe tomar ventaja de la alta correlación espacial que existe para ciertos campos meteorológicos como la temperatura.

En el Cuadro 22 se presenta la cobertura de las estaciones climatológicas según criterios de INAMHI. Esta cobertura se realizó con un radio de acción recomendado para las estaciones con pluviógrafos de la OMM, debido a que no se encontró información del valor de la densidad para este tipo de estaciones.

CUADRO 22 COBERTURA DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS SEGÚN CRITERIOS DE INAMHI

| Cobertura de estaciones climatológicas según criterios de INAMHI | | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------------|------|------------|----------------------------|
| Territorio | Superficie | Cobertura | km ² | % | Estaciones | km ² / estación |
| Nacional | 248 360 | Excesiva | 60 032 | 24.2 | 104 | 577 |
| | | Adecuada | 66 551 | 26.8 | | 640 |
| | | Ninguna | 121 777 | 49.0 | | 1 171 |
| Galápagos | 8010 | Excesiva | 987 | 12.3 | 4 | 247 |
| | | Adecuada | 1 689 | 21.1 | | 422 |
| | | Ninguna | 5 334 | 66.6 | | 1 334 |
| Radio de Influencia de estaciones en zonas montañosas (km) | | | | | 25 | |
| Radio de Influencia de estaciones en zonas de llanura (km) | | | | | 30 | |

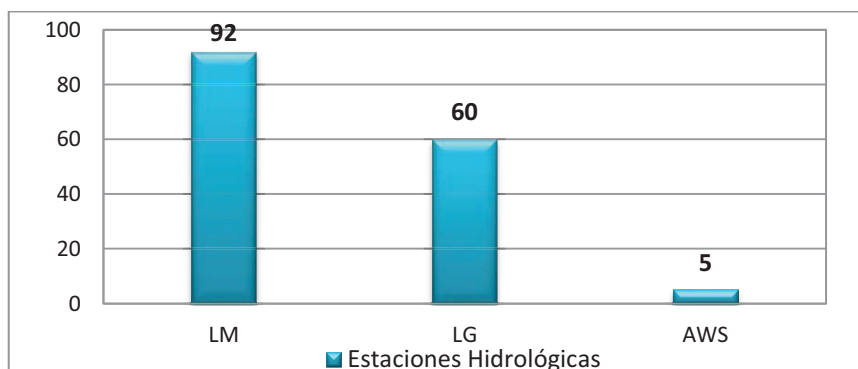
Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001)

En el Mapa 13 se presenta las zonas de cobertura de estaciones climatológicas.

2.4.5 ESTACIONES HIDROLÓGICAS A NIVEL NACIONAL Y SU EVOLUCIÓN

Las estaciones hidrométricas han operado en el país desde los años 50's, posteriormente en los años 60's bajo un programa de asistencia de la OMM se amplió el número de puestos de observación. La red de estaciones hidrológicas a nivel nacional está distribuida como se observa en la Figura 6, siendo al momento el mayor número de las estaciones de tipo limnimétrico.

FIGURA 6 RED DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS ACTIVAS OPERADAS POR INAMHI

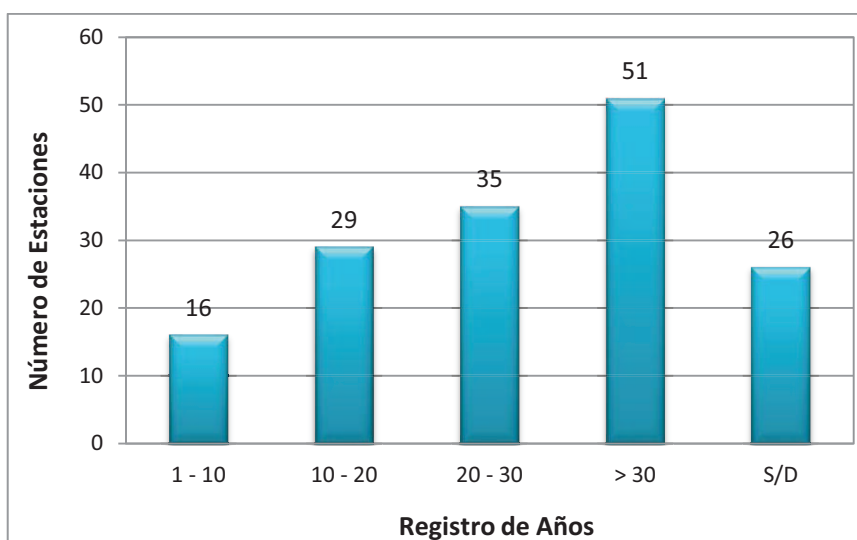


En donde:
 LM – limnimétrica
 LG – limnigráfica
 AWS - automática

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

En función de los registros de caudales mensuales correspondientes a las estaciones operativas del INAMHI se evaluó su representatividad en el tiempo, como se aprecia en la Figura 7, en donde se destaca que el número de estaciones con disponibilidad mayor a 30 años de datos es 51, y 86 tienen más de 20 años de información, que representa el 55 % de las estaciones consideradas.

FIGURA 7 REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN EL TIEMPO



Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

La distribución de las estaciones hidrológicas activas operadas por INAMHI por regiones se presenta en el Cuadro 23.

CUADRO 23 DISTRIBUCIÓN POR REGIONES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS OPERATIVAS

| REGIÓN | ÁREA (km ²) | ÁREA (%) | TIPO DE ESTACIÓN | | | | Estaciones | Estaciones (%) | Densidad (km ² /estación) |
|------------------|-------------------------|------------|------------------|-----------|----------|----------|------------|----------------|--------------------------------------|
| | | | LM | LG | AWS | S/D | | | |
| COSTA | 69 917 | 27.3 | 37 | 30 | 2 | 4 | 73 | 46.5 | 958 |
| SIERRA | 100 541 | 39.2 | 44 | 24 | - | - | 69 | 43.9 | 1 457 |
| ORIENTE | 76 979 | 30 | 8 | 4 | 1 | - | 15 | 9.6 | 5 132 |
| PUNÁ Y GALÁPAGOS | 8 933 | 3.5 | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | 256 370 | 100 | 89 | 58 | 3 | 4 | 157 | 100 | 1 633 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Del Cuadro anterior se destaca que las estaciones hidrológicas se encuentran distribuidas de manera similar en las regiones Costa y Sierra, con un 45%, mientras que en la región Oriente se tiene muy pocas estaciones, apenas un 9.6%, a pesar de representar el 30% de la superficie del país, y de poseer numerosas fuentes de agua.

La región que mejor cobertura de información tiene es la Costa ya que por cada 958 km² existe una estación, mientras que la Amazonía es la que más carece de información, pues por cada 5 132 km² existe una estación (ver Mapa 8 del Anexo 1). En el Cuadro 24 se incluye la distribución de las estaciones hidrológicas por Zonas de Planificación.

CUADRO 24 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN RELACIÓN CON LAS ZONAS DE PLANIFICACIÓN

| Zonas de Planificación | | | | | | | |
|---------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Estación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Limnimétrica | 10 | 6 | 19 | 6 | 12 | 19 | 20 |
| Limnigráfica | 14 | 18 | 2 | 6 | 8 | 7 | 5 |
| Automática | - | 2 | - | 1 | 1 | 1 | - |
| Sub Total | 24 | 26 | 21 | 13 | 21 | 27 | 25 |
| Porcentaje % | 15.3 | 16.6 | 13.4 | 8.3 | 13.4 | 17.2 | 15.9 |
| Total | 157 | | | | | | |
| km ² /estación | 1 770.8 | 1 678.7 | 2 138.0 | 1 725.8 | 1 506.8 | 1 316.1 | 1 094.7 |

Fuente: (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2009), (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

En el Cuadro 24 se observa que las estaciones se hallan distribuidas con cierta uniformidad en cada una de las Zonas de Planificación, con excepción de la Zona 4 en la que se tiene pocas estaciones. La zona con mayor densidad de estaciones es la zona 7, mientras que la zona 3 es la menos densa ya que por cada 2 138 km² se tiene una estación (ver Mapa 9 del Anexo 1).

En el Cuadro 25 se incluye la distribución altitudinal de las estaciones hidrológicas; la mayor concentración corresponde a cotas menores a 500 m s.n.m., aspecto que se justifica por la necesidad de dar respuesta a las

inundaciones. Mientras que a partir de los 3 000 m s.n.m. el número de estaciones es deficiente.

CUADRO 25 DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS

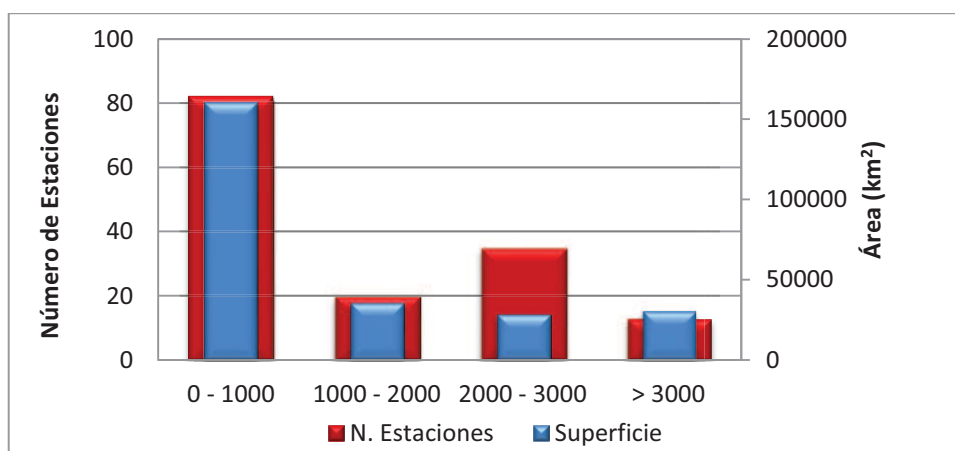
| | Altitud m.s.n.m. | | | | | Total |
|-------------------------------|----------------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| | 0 – 500 | 500 – 1 000 | 1 000 – 2 000 | 2 000 – 3 000 | > 3 000 | |
| Superficie (km ²) | 160 695 | 35 927 | 28 837 | 30 911 | 256 370 | |
| Superficie (%) | 62.7 | 14 | 11.3 | 12.1 | 100 | |
| Tipo de Estación | Número de Estaciones | | | | | |
| Limnimétrica | 35 | 10 | 10 | 27 | 7 | 89 |
| Limnigráfica | 19 | 15 | 10 | 8 | 6 | 58 |
| Automática | 3 | - | - | - | - | 3 |
| Número de Estaciones | 57 | 25 | 20 | 35 | 13 | 150* |
| (%) | 36.3 | 15.9 | 12.7 | 22.3 | 8.28 | 95.5 |
| km ² /estación | 1 959.7 | 1 796.4 | 823.9 | 2377.8 | 1709.1 | |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010), (Troncoso, A., Juan Gabriel B., 2010)

* No se disponen de datos de las 7 estaciones faltantes

En la Figura 8 se muestra el número de estaciones por km² según la altitud de las estaciones hidrológicas activas operadas por el INAMHI, se deduce que entre las cotas 2 000 a 3 000 m.s.n.m. se tiene la mayor cobertura de información hidrológica, pues por cada 824 km² existe una estación hidrológica.

FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES POR ÁREAS Y ALTITUD



Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010), (Troncoso, A., Juan Gabriel B., 2010)

2.4.6 ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

En el Cuadro 26 se indica la distribución de las estaciones hidrológicas en las provincias de la Zona de Atención, donde se destaca que el 85% del total se encuentran en la provincia de Napo, mientras que en la provincia de Sucumbíos la información es escasa ya que solo cuenta con un 5% de las estaciones (ver Mapa 10 del Anexo 1).

CUADRO 26 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

| Provincia | Área (km ²) | Tipo de Estación | | | Total | % | km ² /estación |
|--------------|----------------------------|------------------|----------|----------|-----------|------------|---------------------------|
| | | LM | LG | AWS | | | |
| Sucumbíos | 17 947 | 1 | - | - | 1 | 4.8 | 17 947 |
| Napo | 12 476 | 13 | 5 | - | 18 | 85.7 | 693 |
| Orellana | 21 691 | - | - | 2 | 2 | 9.5 | 10 846 |
| Total | 52 114 | 14 | 5 | 2 | 21 | 100 | 2 482 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Además de las estaciones operadas por el INAMHI en la Zona de Atención existen otras instituciones que cuentan con estaciones en dicha zona, las mismas que se las puede revisar en el Anexo 4 correspondiente a estaciones hidrológicas operadas por otras instituciones.

2.4.7 COBERTURA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS

El presente análisis se sustentó en varios documentos normativos (Organización Meteorológica Mundial, 1994), (World Meteorological Organization, 2007), así como en los documentos de planificación de las redes de medición (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001).

Para las estaciones hidrológicas, el INAMHI a través del documento (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001) establece ciertas recomendaciones sobre las coberturas de las estaciones que se muestran en el Cuadro 27, en tanto que en el Cuadro 28 se incluye la cobertura con estaciones.

CUADRO 27 DENSIDAD MÍNIMA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS (INAMHI, 2001)

| Región | Zona | Área (km ²) | Radio de acción (km) |
|---------|---|-------------------------|----------------------|
| Costa | Poblada, problemas de inundaciones y sequías. | 500 - 700 | 13 – 15 |
| | Poco pobladas | 1 500 | 22 |
| Sierra | Poblada, generalmente problemas de agua, condiciones variables y complicadas. | 300 | 10 |
| Oriente | Sin mayores problemas, casi despoblada | 5 000 – 10 000 | 40 – 56 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001)

CUADRO 28 COBERTURA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS

| Superficie Nacional (km ²) | Cobertura (km ²) | Porcentaje % | Núm. de Estaciones | (km ² /estación) |
|--|--|--------------|--------------------|-----------------------------|
| 256 370 | 75 337 | 29.4 | 157 | 480 |
| INAMHI | Radio de Influencia para zona costera | | | 14 km |
| | Radio de Influencia para zona montañosa | | | 10 km |
| | Radio de Influencia para llanuras interiores | | | 48 km |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001)

Como se observa en el Cuadro 28, la cobertura a nivel nacional de las estaciones hidrológicas es de 75 337 km² lo que corresponden al 29,4% de la superficie total; evidenciándose zonas que por una lado se hallan carentes de información y otras zonas en las cuales la información es redundante.

En el Cuadro 29 se muestran las áreas correspondientes a los diferentes grados de cobertura y se destaca que un 11% de la superficie nacional tienen un exceso de cobertura, mientras que un 70% carece de información.

El Mapa 14 del Anexo 1 muestra los diferentes tipos de zonas de cobertura según las recomendaciones del INAMHI.

CUADRO 29 ZONAS DE COBERTURA (INAMHI, 2001)

| Cobertura | Área (km ²) | Porcentaje (%) |
|--------------|-------------------------|----------------|
| Excesiva | 26 809 | 10.5 |
| Adecuada | 48 528 | 18.9 |
| Ninguna | 181 033 | 70.6 |
| TOTAL | 256 370 | 100 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En lo concerniente a este tipo de estaciones la OMM también tiene recomendaciones de las densidades mínimas, en función de sus características físicas, en el Cuadro 30 se muestra estas densidades, en tanto que en el Cuadro 31 se indica la cobertura.

CUADRO 30 DENSIDAD MÍNIMA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS SEGÚN LA OMM

| Unidad Fisiográfica | Densidad mínima | Radio de acción |
|---------------------|------------------------------|-----------------|
| | (km ² / estación) | (km) |
| Zona Costera | 2 750 | 30 |
| Zona Montañosa | 1 000 | 18 |
| Llanura Interior | 1 875 | 24 |
| Pequeñas Islas | 300 | 10 |

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

CUADRO 31 COBERTURA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA OMM

| Cobertura (km ²) | Cobertura (km ²) | Porcentaje % | Estaciones | (km ² /estación) |
|------------------------------|--|--------------|------------|-----------------------------|
| 256 370 | 124 559 | 48.6 | 157 | 793 |
| OMM | Radio de Influencia para zona costera | | | 30 km |
| | Radio de Influencia para zonas montañosas | | | 18 km |
| | Radio de Influencia para llanuras interiores | | | 24 km |

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

Según la OMM el área del territorio nacional cubierta por las estaciones hidrológicas es de 124 559 km² que corresponde al 48,6% de la superficie total.

En el Cuadro 32 se indica el tipo de cobertura, en donde se observa que el 30% de la superficie total tiene excesiva cobertura, mientras que la zona sin cobertura es mayor al 50% del área (ver Mapa 15 del Anexo 1).

CUADRO 32 ZONAS TIPO DE COBERTURA SEGÚN RECOMENDACIONES DE LA OMM

| Cobertura | Área (km ²) | Porcentaje (%) |
|--------------|-------------------------|----------------|
| Excesiva | 77 080 | 30.1 |
| Adecuada | 47 479 | 18.5 |
| Ninguna | 131 811 | 51.4 |
| Total | 256 370 | 100.0 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En vista que el análisis se realizó considerando las recomendaciones de cada caso, se presenta una comparación entre los resultados obtenidos. En el Cuadro 33 se muestran las áreas y los porcentajes que las estaciones representan según el tipo de zona de cobertura.

CUADRO 33 COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS DE COBERTURA SEGÚN INAMHI Y LA OMM

| Cobertura | INAMHI | | OMM | |
|--|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| | Área (km ²) | Porcentaje (%) | Área (km ²) | Porcentaje (%) |
| Excesiva | 26 809 | 10.5 | 77 080 | 30.1 |
| Moderada | 48 525 | 18.9 | 47 479 | 18.5 |
| Ninguna | 181 033 | 70.6 | 131 811 | 51.4 |
| TOTAL | 256 370 | 100 | 256 370 | 100 |
| Radio de Influencia para zona costera | | 14 km | | 30 km |
| Radio de Influencia para zona montañosa | | 10 km | | 18 km |
| Radio de Influencia para llanuras interiores | | 48 km | | 24 km |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Se concluye que existe una gran diferencia en los resultados, pero se obtuvieron valores semejantes de adecuada cobertura, (19% de la superficie nacional). Se observa en el Mapa 14 y en el Mapa 15 del Anexo 1 que existen áreas de redundancia especialmente en la región Costa, incrementándose a medida que se avanza hacia la región Sierra.

2.4.8 REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES DE ACUERDO AL CONCEPTO DE ZONAS HOMOGÉNEAS

Una Zona Hidrológica Homogénea comprende una área donde las características que determinan el régimen hidrológico tienen una variación mínima, consecuentemente la aptitud para producir el escurrimiento debe ser similar en todas las cuencas de esa zona (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001).

El territorio nacional cuenta con 268 Zonas Hidrológicas Homogéneas; las cuencas de los ríos Esmeraldas Norte ecuatoriano y la del río Guayas tienen un

ligero porcentaje mayor que las demás cuencas, a excepción de las cuencas de los ríos del Oriente que presentan más homogeneidad superficial (ver Cuadro 34). El listado completo de las Zonas Hidrológicas Homogéneas se incluye en el Anexo 7.

CUADRO 34 ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS

| GRANDES CUENCAS | | ZONAS | % |
|-----------------|---|------------|------------|
| A | Pastaza, Chimbo y Chanchán | 61 | 23 |
| B | Cañar, Paute y Sur Ecuatoriano | 62 | 23 |
| C | Esmeraldas y Norte Ecuatoriano | 74 | 28 |
| D | Guayas, La Península y Manabí | 63 | 24 |
| E | Del Norte y Centro Oriente de la Amazonía | 8 | 3 |
| TOTAL | | 268 | 100 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

En el Cuadro 35 se indica los porcentajes de las zonas con o sin estaciones representativas dependiendo a la cuenca a la que pertenezcan.

CUADRO 35 DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS

| | | ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS | | | | | | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|-----------------|----------|------------|
| | | Con estaciones representativas | | Sin estaciones representativas | | Sin información | | |
| Superficie (km ²) | | 87 618 | | 145 225 | | 23 527 | | 256 370 |
| Porcentaje (%) | | 34.2 | | 56.7 | | 9.2 | | 100 |
| GRANDES CUENCAS | | Número | % | Número | % | Número | % | |
| A | Pastaza, Chimbo y Chanchán | 31 | 50.8 | 30 | 49.2 | - | - | 61 |
| B | Cañar, Paute y Sur Ecuatoriano | 35 | 56.4 | 27 | 43.5 | - | - | 62 |
| C | Esmeraldas y Norte Ecuatoriano | 28 | 37.8 | 46 | 62.2 | - | - | 74 |
| D | Guayas, La Península y Manabí | 20 | 31.7 | 44 | 69.8 | - | - | 63 |
| E | Del Norte y Centro Oriente de la Amazonía | 3 | 37.5 | 5 | 62.5 | - | - | 8 |
| TOTAL | | 117 | 43.7 | 152 | 56.7 | - | - | 268 |

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010)

Del cuadro anterior se destaca que las cuencas de los ríos del sur ecuatoriano se hallan mejor representadas ya que alrededor del 57% de las Zonas Hidrológicas Homogéneas cuentan con al menos una estación representativa, (ver Mapa 16 del Anexo 1).

CAPÍTULO 3

SISTEMATIZACIÓN DE LOS CRITERIOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS QUE JUSTIFIQUEN LA CONSTITUCIÓN DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA BÁSICA NACIONAL, DE UNA RED MÍNIMA Y DE ESTACIONES OPERACIONALES, QUE DEBEN SER OPERADAS POR EL INAMHI.

3.1 DEMANDA DE INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ATENCIÓN

3.1.1 FUNCIÓN DE LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS NACIONALES

“Los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos trabajan 24 horas al día, durante todo el año, para mejorar la calidad de vida de todos. Las alertas tempranas y fiables sobre los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos emitidas por los Servicios permiten a los encargados de tomar decisiones, a las instituciones, a las poblaciones y a los particulares estar mejor preparados y, por consiguiente, salvar vidas y evitar reveses socioeconómicos”. “La OMM alerta al mundo sobre el agotamiento de la capa de ozono, la variabilidad del clima, el cambio climático y sus repercusiones, la disminución progresiva de los recursos hídricos, así como la contaminación del aire y el agua” (Organización Meteorológica Mundial, 2006).

Es obligación del INAMHI en su calidad de Servicio Meteorológico e Hidrológico del Ecuador actuar como impulsor y catalizador de la mejora del conocimiento sobre el tiempo atmosférico, el clima y el agua, y también para aplicar la correspondiente información a la protección de vidas y bienes, al desarrollo socioeconómico, a la protección del ambiente y también a la elaboración de políticas y normas en estos campos de acción. Además, el INAMHI constituye una

instancia idónea para el intercambio y la disponibilidad, de forma oportuna y amplia, de datos pertinentes y de productos de avanzada tecnología.

Entre los productos que generan los Servicios se destaca las alertas tempranas para prevenir desastres naturales y atenuar sus efectos, salvar vidas y reducir los daños materiales y ambientales. Cerca del 90 % de todos los desastres naturales están relacionados con el tiempo, el clima y el agua (Organización Meteorológica Mundial, 2006).

Entre los temas fundamentales que se requiere abordar para mejorar el conocimiento meteorológico e hidrológico se tiene:

- Transformar los datos que disponen los Servicios en productos útiles: mapas, pronósticos meteorológicos, datos digitales, predicciones climáticas, evaluaciones de riesgos, servicios de alerta temprana para el público en general.
- Intercambio y difusión de la información, utilizando las tecnologías más avanzadas.
- Prevención de desastres naturales y atenuación de sus efectos.
- Mejoramiento del conocimiento del sistema climático para realizar predicciones no solamente a corto plazo (días), mediano plazo (estaciones) sino largo plazo (1 año).
- Conocimiento del clima futuro a través del seguimiento de la evolución del clima y detección del cambio climático.
- Mejoramiento y ampliación de la información sobre radiación solar y vientos, como fuentes importantes de energía.
- Mejoramiento de la información y productos aplicados a la agricultura.
- Prevención de la degradación de tierras.
- Participación en programas de investigación que contribuyen a mejorar la comprensión científica de los procesos dinámicos y físicos de la atmósfera y el océano y de las interacciones de los diferentes elementos del sistema terrestre en todas las escalas de tiempo y de espacio.

El tiempo, el clima y el agua afectan a casi todos los sectores socioeconómicos: agricultura y pesca, energía, transporte, salud, seguros, deporte, turismo, recreación, etc. Por ello la necesidad de que el INAMHI preste servicios meteorológicos e hidrológicos cada vez más fiables y oportunos que contribuyan a la seguridad de la vida y a la protección de bienes, así como al bienestar y a la comodidad general de la comunidad.

La diversidad de los posibles usos de la información meteorológica y sobre los recursos hídricos implica la demanda de una considerable gama de tipos de datos, entre los cuales se destaca: presión atmosférica, temperaturas medias y extremas, humedad relativa, tensión de vapor, heliofanía; nubosidad; evaporación; dirección y velocidad del viento; humedad del suelo; precipitaciones; precipitación máxima en 24 horas; número de días con precipitación; niveles y caudales fluviales, así como niveles en lagos y embalses; niveles de agua subterránea; evapotranspiración; concentraciones y cargas de sedimentos en los ríos; y, calidad (bacteriológica, química y física) del agua superficial y del agua subterránea.

Las estadísticas incluyen: valores medios anuales, mensuales o estacionales, diarios y horarios; máximos, mínimos y percentiles seleccionados; desviación típica; asimetría de las series; registros continuos o analógicos en forma gráfica; y, registros digitales.

Se requieren datos tanto históricos como en tiempo real para cubrir toda la gama de necesidades, que van desde las previsiones meteorológicas e hidrológicas, las alertas tempranas, la planificación agroproductiva y del aprovechamiento del agua, hasta el diseño y operación de proyectos de infraestructura.

La Zona de Atención requiere de información hidrometeorológica tanto para evaluaciones sinópticas, climáticas, agrometeorológicas e hidrológicas generales, como para soportar diseños y la operación de obras de aprovechamiento y control del agua para abastecimiento urbano, generación hidroeléctrica, prevención de inundaciones, navegabilidad y control de la calidad del agua, entre otras.

3.1.2 PROYECTOS DE AGUA POTABLE

La creciente demanda de agua potable de la ciudad de Quito exige la captación y conducción del líquido vital de fuentes cada vez más distantes. Los sistemas principales en operación se abastecen de caudales de los ríos Pita y de las cabeceras del río Blanco, denominados fuentes occidentales, así también aprovechan caudales de las cuencas de cabecera de los ríos orientales como Papallacta, Oyacahi, Quijos y Antisana, mediante trasvases (sistema Papallacta Bombeo, Papallacta Ramal Norte y La Mica – Quito Sur).

La EMAAP-Q tiene además en carpeta el Proyecto Ríos Orientales (PRO) que consiste en la captación y regulación de 31 ríos para entregar 17 m³/s a la ciudad de Quito; las fuentes hídricas se encuentran a 70 km al sudeste de Quito, sobre los páramos de la Cordillera Central en el límite provincial entre Pichincha y Napo (Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2005). En el Mapa 17 del Anexo 1 se presentan los proyectos de agua potable en la Zona de Atención.

Entre las principales obras que conforman el esquema general del Proyecto se destacan tres embalses de regulación multianual, las captaciones y la conducción principal, túneles, etc. Los diseños han demandado y requerirán en el futuro próximo información hidrometeorológica detallada para el dimensionamiento de sus obras de ingeniería y también para su ulterior operación con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento y vida útil.

3.1.3 GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

La alta concentración de la producción de energía en las centrales hidroeléctricas Paute, Agoyán, San Francisco, que tienen régimen hidrológico amazónico y la ocurrencia de estiajes severos, pone al momento al servicio eléctrico en dependencia de la variabilidad climática y por ende de la distribución estacional de caudales, situación reflejada en el último período de estiaje oriental (noviembre

2009 – febrero 2010).

El CONELEC está impulsando estudios de proyectos de baja, mediana y alta capacidad de generación energética para aprovechar el alto potencial hidroeléctrico disponible en el país. Los proyectos identificados y que están en diferentes niveles de desarrollo, y que se localizan en las laderas orientales de las provincias del Napo y Sucumbíos tienen una capacidad de 2 191 MW. La información requerida para las fases de estudio consiste en datos de precipitación, caudales, etc. En el Mapa 18 del Anexo 1 se presentan los proyectos hidroenergéticos en la Zona de Atención.

3.1.4 CONTROL DE INUNDACIONES

Extensas áreas en la Zona de Atención tienen diferente nivel de amenaza por inundaciones, resultado de los desbordamientos de ríos. Lluvias torrenciales en las cuencas altas y medias de los ríos orientales, han causado inundaciones en poblaciones como El Coca, Pano, Tena, Misahuallí, Archidona y Cotundo, etc. En el Mapa 19 se representan las áreas susceptibles a inundación en la Zona de Atención.

En consecuencia, el INAMHI en convenio con otras organizaciones de gestión nacional, regional o local, está impulsando la implementación de sistemas de alerta temprana, para generar previsiones sobre posibles inundaciones. Para el efecto demanda de información de precipitaciones y caudales a mayor detalle, que exige la implementación de una red complementaria de estaciones operacionales, algunas con capacidad de transmisión en tiempo real, y que esté soportada en las estaciones de su red básica.

3.1.5 NAVEGABILIDAD DEL RÍO NAPO

El Plan Binacional de Navegabilidad del Río Napo en los segmentos ecuatoriano

exportación de crudo y derivados cuyos yacimientos se encuentran en la llanura interior amazónica. Gran parte de los bloques petroleros se localizan en las provincias de Orellana y Sucumbíos.

Los hidrocarburos son un tipo de contaminantes que afectan a la calidad del agua de manera importante. Por ejemplo, el suelo es contaminado con frecuencia por las actividades de producción de hidrocarburos, por la incorrecta disposición de líquidos y desechos industriales como las aguas servidas, aguas de formación, lodos de perforación, residuos sólidos y fluidos de perforación, las modificaciones topográficas por la construcción de helipuertos y plataformas.

El agua es otro elemento abiótico afectado por la actividad petrolera, que se expresa en el cambio de la calidad de agua por la incorrecta disposición de desechos sólidos y líquidos.

Por lo expuesto anteriormente es importante contar con estaciones hidrológicas aguas abajo de los ríos que cruzan los bloques petroleros y de sus principales líneas de transporte de crudo y derivados, para monitorear de manera continua la calidad del agua y disponer de una capacidad de alerta ante posibles cambios en la calidad del agua de los ríos de la zona. En el Mapa 20 del Anexo 1 se presentan los bloques petroleros en la Zona de Atención.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SERIES DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

La densidad necesaria de estaciones para el monitoreo de la precipitación es diferente en relación a variables como temperatura, evaporación; y por otra, la planificación demanda información a menor detalle respecto a la requerida por proyectos específicos de aprovechamiento hidráulico (agua potable, riego, hidroelectricidad, navegación, etc.).

El intervalo de tiempo es otro parámetro a tomar en cuenta; en ciertos proyectos

los valores mensuales pueden ser suficientes, en otros casos, se requiere datos diarios. También, la densidad de estaciones no debe ser la misma para todo un país, con características físico – geográficas y climáticas tan diversas, como es el Ecuador.

3.2.1 COBERTURA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

El análisis de la cobertura de las estaciones meteorológicas en la Zona de Atención se realizó en base a las series mensuales con más de 10 años de datos de las estaciones, con las cuales se generó la matriz de correlaciones. Las variables meteorológicas evaluadas son precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación en valores mensuales y en valores anuales. Se analizó también las gradientes de variación de precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación, en valores anuales, en relación con la distancia tomada en sentido oeste – este, a lo largo de la Zona de Atención.

3.2.1.1 Matriz de correlación de series de precipitación de las estaciones meteorológicas

Para la definición de la densidad óptima de una red, una técnica apropiada es la aplicación de correlaciones entre estaciones cercanas, para conocer el grado de dependencia entre las estaciones en función de la distancia entre ellas. En la práctica hidrometeorológica un coeficiente de correlación entre estaciones ($r > 0.7$) es suficiente para rellenar datos faltantes entre estaciones vecinas, pero más que ello, indica que el comportamiento climático es similar y justifica una buena parte de las desviaciones de los valores de la variable casual considerada respecto al valor medio.

Este análisis se desarrolló por separado para las Laderas Orientales (23.9 % del área de la Zona de Atención) y para la Llanura Interior, que ocupa el 76.1 % del

área, correspondientemente.

Las estaciones que se encuentran en las laderas orientales son 15, las mismas que disponen de más de 10 años de registros de series mensuales de precipitación, 5 pertenecen a las estaciones actualmente operadas por INAMHI y las restantes 10 poseen registros de precipitación y se desconoce su estado de funcionamiento. En el Anexo 8 se presentan las series mensuales de precipitación.

La matriz correlacionante que se obtuvo con las estaciones ubicadas en las laderas orientales (15) se muestra en el Cuadro 36 y los valores resaltados corresponden a aquellos con coeficientes de correlación mayor a 0.5.

CUADRO 36 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS UBICADAS EN LAS LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MENSUAL).

| Estación | M546 | M489 | M436 | M208 | M205 | M201 | M545 | M215 | M203 | M698 | M487 | M486 | M490 | M188 | M824 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M546 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| M489 | 0.61 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| M436 | 0.64 | 0.62 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| M208 | 0.50 | 0.38 | 0.52 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| M205 | - | 0.33 | 0.38 | 0.44 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| M201 | 0.59 | 0.49 | 0.80 | 0.63 | 0.44 | 1.00 | | | | | | | | | |
| M545 | 0.59 | 0.38 | 0.68 | 0.46 | 0.22 | 0.63 | 1.00 | | | | | | | | |
| M215 | 0.57 | 0.57 | 0.71 | 0.49 | 0.36 | 0.66 | 0.51 | 1.00 | | | | | | | |
| M203 | - | 0.21 | 0.28 | 0.34 | 0.72 | 0.35 | 0.30 | 0.23 | 1.00 | | | | | | |
| M698 | 0.63 | 0.45 | 0.53 | 0.49 | - | 0.49 | 0.62 | 0.56 | 0.10 | 1.00 | | | | | |
| M487 | 0.24 | 0.16 | 0.46 | 0.20 | 0.25 | 0.32 | 0.41 | 0.20 | 0.30 | 0.30 | 1.00 | | | | |
| M486 | 0.61 | 0.42 | 0.61 | 0.26 | 0.26 | 0.54 | 0.41 | 0.43 | 0.21 | 0.41 | 0.32 | 1.00 | | | |
| M490 | 0.55 | 0.20 | 0.56 | 0.39 | 0.16 | 0.49 | 0.35 | 0.39 | 0.16 | 0.40 | 0.22 | 0.30 | 1.00 | | |
| M188 | 0.65 | 0.35 | 0.68 | 0.47 | 0.25 | 0.60 | 0.57 | 0.35 | 0.18 | 0.61 | 0.24 | 0.44 | 0.25 | 1.00 | |
| M824 | 0.57 | 0.47 | 0.79 | 0.62 | 0.46 | 0.96 | 0.60 | 0.66 | 0.36 | 0.48 | 0.40 | 0.57 | 0.36 | 0.49 | 1.00 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

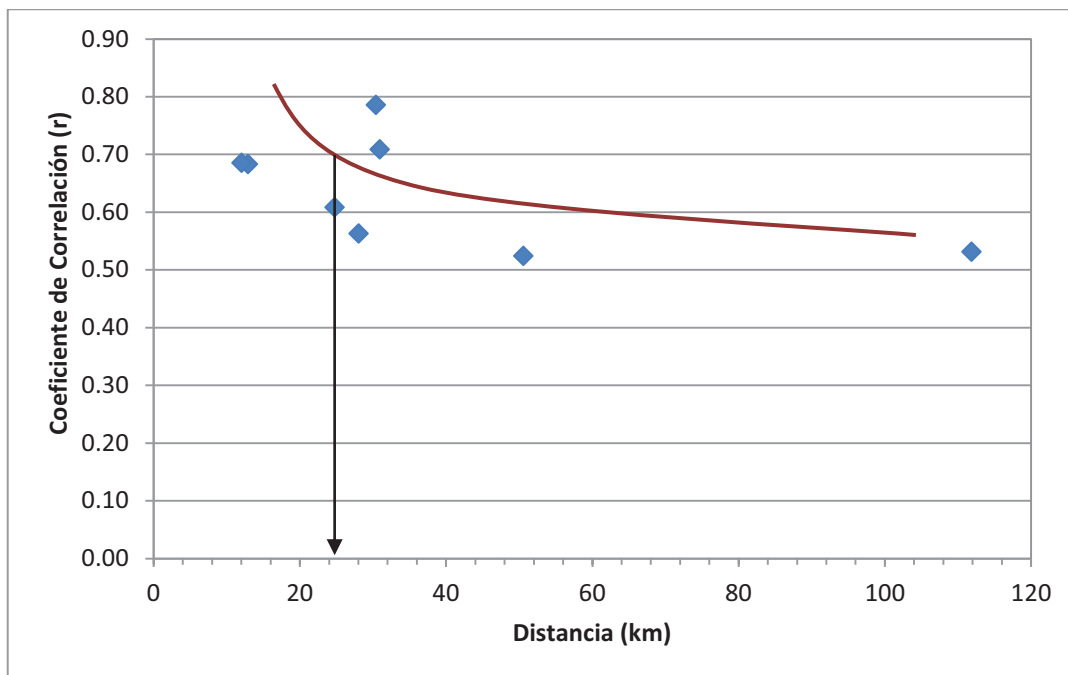
Los valores del coeficiente de correlación fueron graficados en función de la distancia entre estaciones, para las estaciones consideradas como de base, que se seleccionaron tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Las estaciones que presentan una mayor cantidad de valores del coeficiente de correlación mayor a 0.5.
- Las estaciones que por su ubicación se encuentran subjetivamente en el centro de la nube de dispersión espacial de las estaciones.
- Las estaciones con el mayor número de registros de años con series mensuales.

a) Laderas orientales

Estación base M436 (Cuyuja): en la Figura 10 se aprecia que los registros mensuales de precipitación son representativos, con un radio de influencia de 25 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

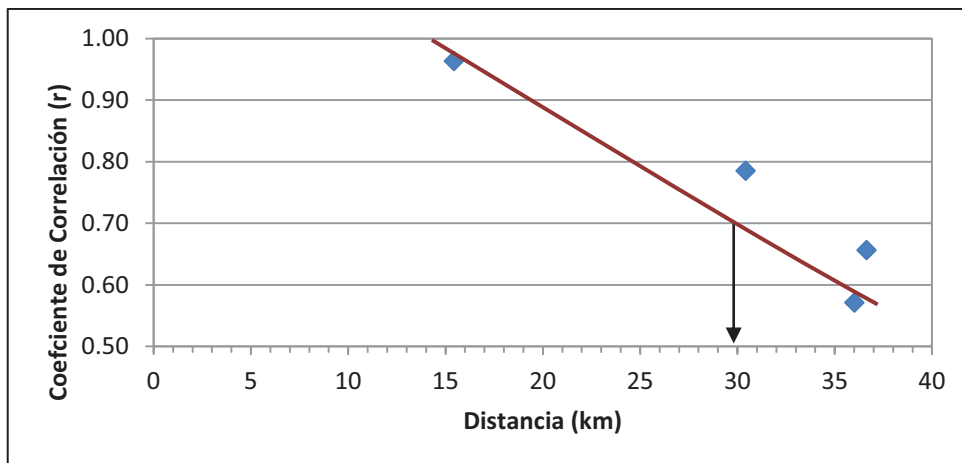
FIGURA 10 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES - LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL). ESTACIÓN BASE M436.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M824 (Santa Rosa AJ Quijos): en la Figura 11 se aprecia que los registros mensuales de precipitación son representativos con un radio de influencia de 30 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

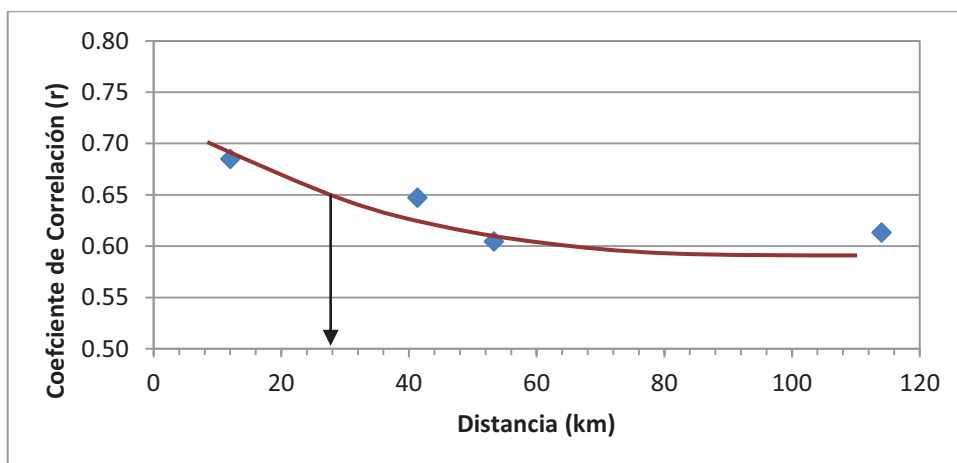
FIGURA 11 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL). ESTACIÓN BASE M824.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M188 (Papallacta): en la Figura 12 se aprecia que los registros mensuales de precipitación son representativos con un radio de influencia de 28 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.65$).

FIGURA 12 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL). ESTACIÓN BASE M188.

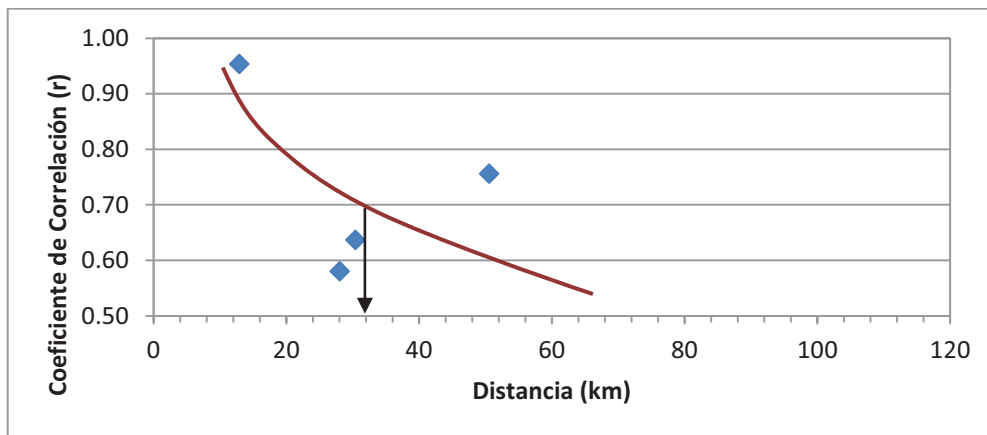


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Además se realizó el análisis con los datos anuales de precipitación, cuyos resultados se muestran a continuación.

Estación base M436 (Cuyuja): en la Figura 13 se aprecia que los registros anuales de precipitación son representativos de una área menor, con un radio de influencia de 32 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

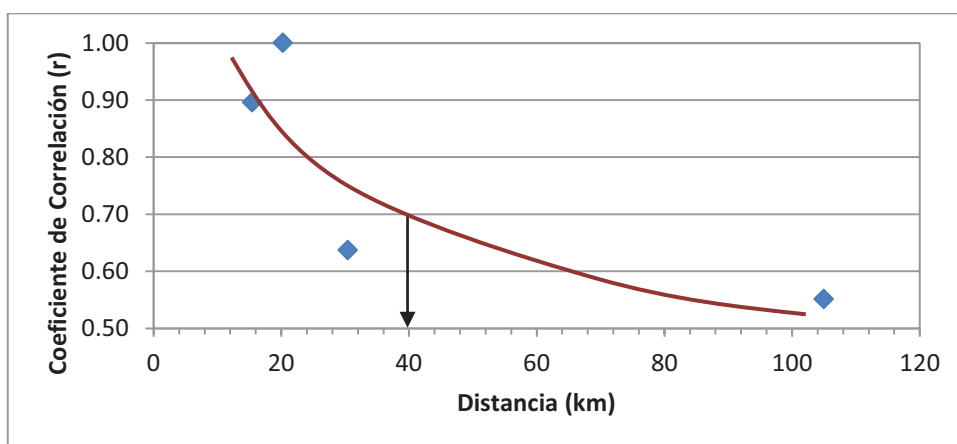
FIGURA 13 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL). ESTACIÓN BASE M436.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M824 (Santa Rosa AJ Quijos): en la Figura 14 se aprecia que los registros anuales de precipitación son representativos de una área menor, con un radio de influencia de 40 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

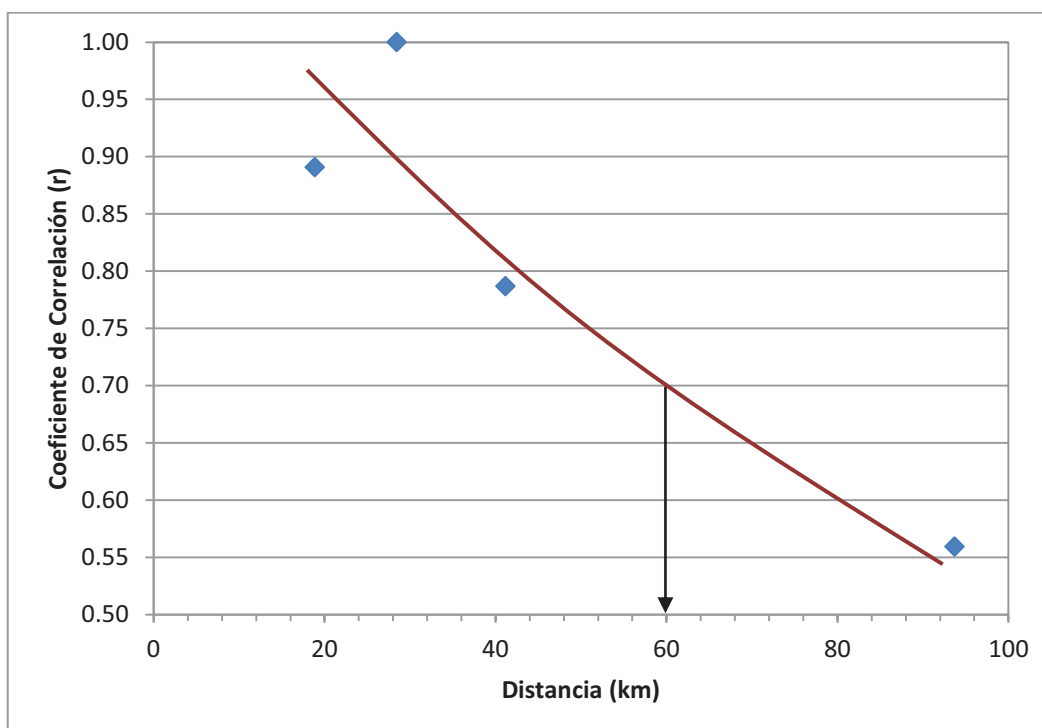
FIGURA 14 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL). ESTACIÓN BASE M824.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M490 (Sardinas): en la Figura 15 se aprecia que los registros anuales de precipitación son representativos de una área menor, con un radio de influencia de 60 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

FIGURA 15 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL). ESTACIÓN BASE M490.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

b) Llanura interior

Las estaciones ubicadas en la Llanura Interior son 17, las mismas que disponen de más de 10 años de registros de series mensuales de precipitación, 9 pertenecen a las estaciones actualmente operadas por INAMHI y las restantes 10 poseen registros de precipitación y se desconoce su estado de funcionamiento. En el Anexo 8 se presentan las series mensuales de precipitación.

La matriz correlacionante que se obtuvo con las estaciones ubicadas en la Llanura Interior se muestra en el Cuadro 37 y los valores resaltados corresponden a un coeficiente de correlación mayor a 0.5.

CUADRO 37 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS UBICADAS EN LA LLANURA INTERIOR.

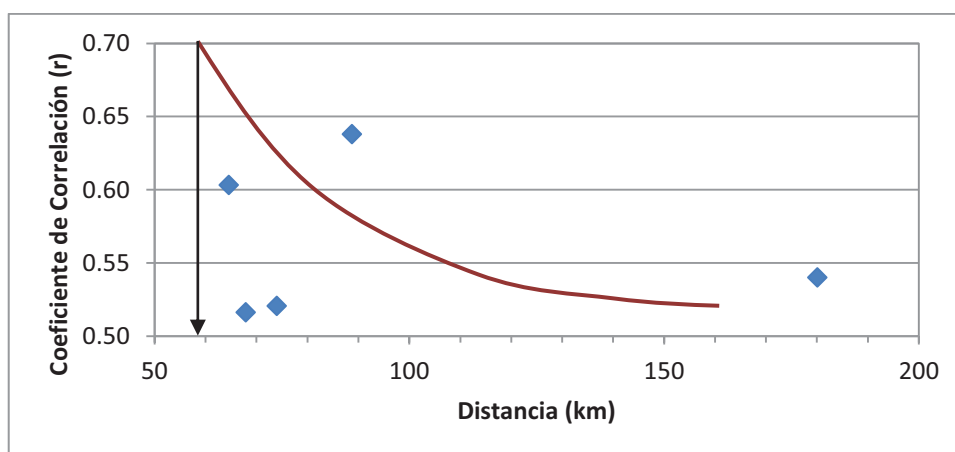
| Estación | M697 | M077 | M186 | M491 | M020 | M488 | M293 | M200 | M710 | M061 | M052 | M068 | M007 | M070 | M484 | M485 | SETE |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M697 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M077 | - | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| M186 | 0.36 | 0.19 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| M491 | 0.45 | - | 0.42 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| M020 | - | 0.39 | 0.09 | - | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| M488 | 0.27 | - | 0.24 | 0.31 | - | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| M293 | 0.29 | - | 0.61 | 0.50 | - | 0.34 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| M200 | 0.34 | - | 0.56 | 0.43 | 0.63 | 0.22 | 0.61 | 1.00 | | | | | | | | | |
| M710 | 0.41 | - | 0.57 | 0.49 | - | 0.37 | 0.57 | 0.66 | 1.00 | | | | | | | | |
| M061 | 0.20 | - | 0.48 | 0.29 | - | 0.24 | 0.66 | 0.58 | 0.44 | 1.00 | | | | | | | |
| M052 | 0.25 | - | 0.74 | 0.37 | - | 0.13 | 0.60 | 0.36 | 0.46 | 0.50 | 1.00 | | | | | | |
| M068 | 0.20 | 0.40 | 0.05 | 0.17 | 0.37 | 0.24 | 0.35 | 0.33 | 0.30 | 0.33 | 0.20 | 1.00 | | | | | |
| M007 | 0.37 | - | 0.32 | 0.43 | 0.61 | 0.22 | 0.37 | 0.41 | 0.39 | 0.39 | 0.36 | 0.65 | 1.00 | | | | |
| M070 | 0.48 | 0.11 | 0.18 | 0.64 | 0.11 | 0.45 | 0.52 | 0.42 | 0.60 | 0.50 | 0.54 | 0.16 | 0.52 | 1.00 | | | |
| M484 | 0.37 | 0.12 | 0.26 | 0.65 | 0.27 | 0.40 | 0.54 | 0.45 | 0.47 | 0.42 | 0.38 | 0.24 | 0.46 | 0.58 | 1.00 | | |
| M485 | 0.10 | 0.13 | 0.09 | 0.21 | 0.36 | 0.30 | 0.14 | 0.21 | 0.18 | 0.31 | 0.20 | 0.25 | 0.22 | 0.36 | 0.35 | 1.00 | |
| SETE | 0.61 | - | 0.53 | 0.51 | - | 0.47 | 0.40 | 0.96 | 0.62 | 0.37 | 0.53 | - | 0.40 | 0.81 | 0.61 | 0.22 | 1.00 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Los gráficos del coeficiente de correlación en función de la distancia de las estaciones se muestran a continuación, para las estaciones base consideradas.

Estación base M070 (Tena): en la Figura 16 se aprecia que los registros mensuales de precipitación son representativos con un radio de influencia de 59 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

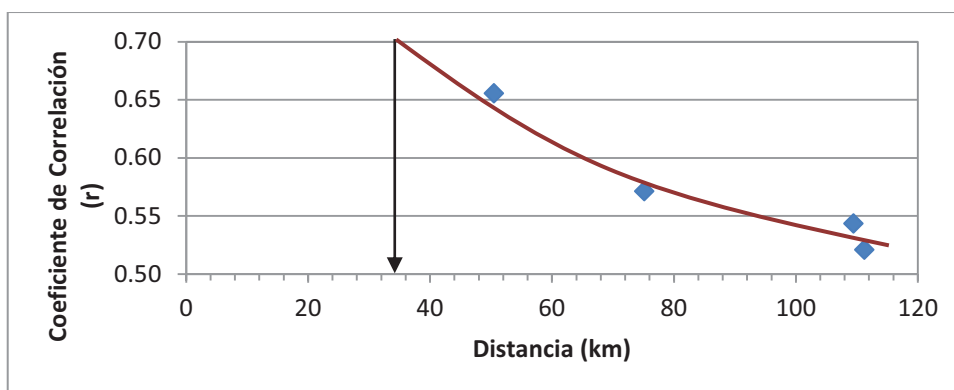
FIGURA 16 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES - LLANURA INTERIOR (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL). ESTACIÓN BASE M070.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M293 (Palmoriente Huashito): en la Figura 17 se aprecia que los registros mensuales de precipitación son representativos con un radio de influencia de diámetro de 38 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

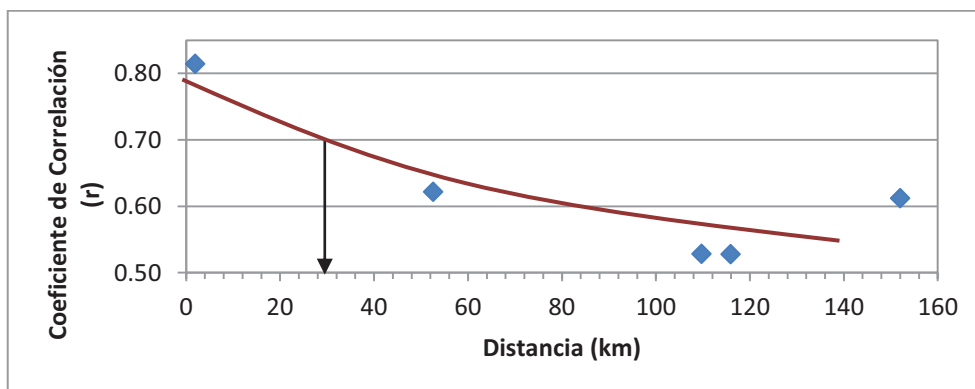
FIGURA 17 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LLANURA INTERIOR (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL). ESTACIÓN BASE M293.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base SETE (Tena): en la Figura 18 se aprecia que los registros mensuales de precipitación son representativos con un radio de influencia de 30 km y coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

FIGURA 18 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LAS DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES – LLANURA INTERIOR (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL). ESTACIÓN BASE SETE.



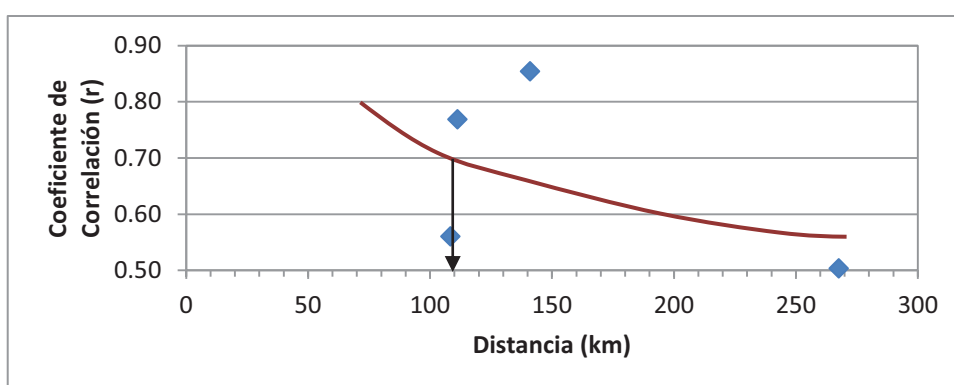
Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Además se realizó el análisis con los datos anuales de precipitación, los gráficos

de los mismos se muestran a continuación:

Estación base M070 (Tena): en la Figura 19 se aprecia que los registros anuales de precipitación son representativos con un radio de influencia de diámetro de 110 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

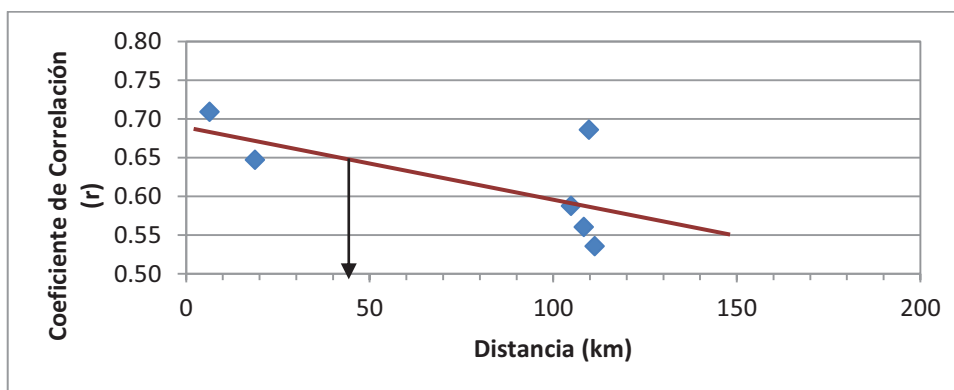
FIGURA 19 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LLANURA INTERIOR (PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL). ESTACIÓN BASE M070.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M186 (El Coca INAMHI): en la Figura 20 se aprecia que los registros anuales de precipitación son representativos de un área con radio de influencia de 45 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.65$).

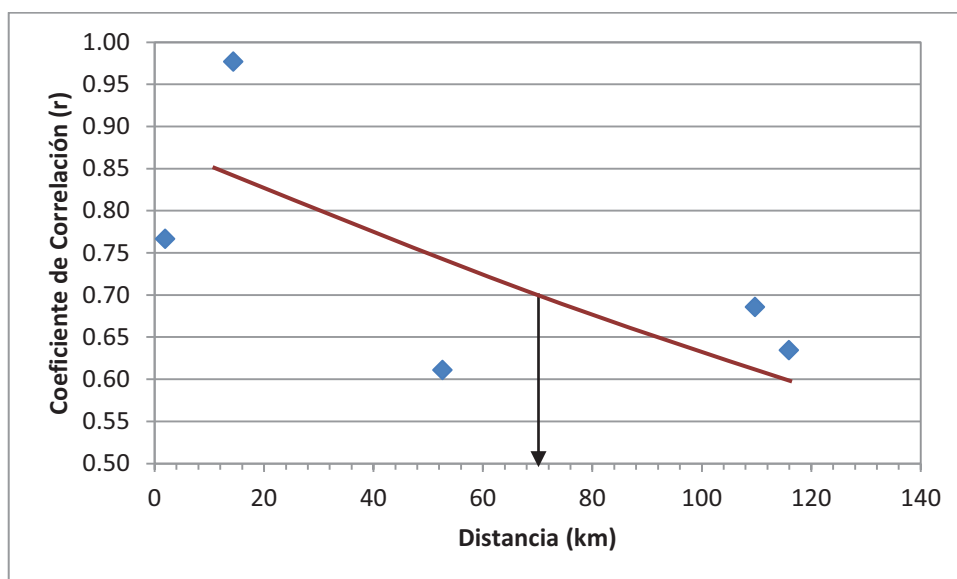
FIGURA 20 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LLANURA INTERIOR (PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL). ESTACIÓN BASE M186.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base SETE (Tena): en la Figura 21 se aprecia que los registros anuales de precipitación son representativos de un área con radio de influencia de diámetro de 70 km y coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

FIGURA 21 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LLANURA INTERIOR (PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL). ESTACIÓN BASE SETE.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Los resultados se sintetizan en Cuadro 38 en donde se incluye la distancia máxima requerida entre estaciones para alcanzar un grado de dependencia con coeficiente de correlación $r > 0.7$, tanto para las estaciones ubicadas en las Laderas Orientales y en la Llanura Interior. En el Mapa 21 del Anexo 1 se presenta la cobertura de las estaciones meteorológicas en la Zona de Atención con las densidades obtenidas del análisis de correlación.

CUADRO 38 DENSIDADES RECOMENDADAS PARA LAS ESTACIONES REGISTRADORAS DE PRECIPITACIÓN - ZONA DE ATENCIÓN

| | Variable | Estación base | M436 | M824 | M188 | M490 |
|------------|-----------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Laderas | Precipitación Mensual | Radio de influencia (km) | 25 | 30 | 28* | - |
| | | Densidad (km ² /estación) | 1 963 | 2 827 | 2 463 | - |
| Orientales | Precipitación Anual | Radio de influencia (km) | 32 | 40 | - | 60 |
| | | Densidad (km ² /estación) | 3 217 | 5 027 | - | 11 310 |

CUADRO 38 CONTINUACIÓN

| | Variable | Estación base | M070 | M293 | SETE | M186 |
|----------|-----------------------|--------------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| Llanura | Precipitación Mensual | Radio de influencia (km) | 59 | 38 | 30 | - |
| | | Densidad (km ² /estación) | 10 936 | 4 536 | 2 827 | - |
| Interior | Precipitación Anual | Radio de influencia (km) | 110 | - | 70 | 45* |
| | | Densidad (km ² /estación) | 38 013 | - | 15 394 | 6 362 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

*Distancia máxima para un coeficiente de correlación $r > 0.65$

Se deduce que en las Laderas Orientales se requiere una mayor densidad de estaciones para el registro de precipitaciones en relación a la Llanura Interior amazónica, y se recomienda asumir las siguientes densidades:

- Laderas Orientales: 2 000 km²/estación, que aproximadamente corresponde a un radio de influencia de 25 km.
- Llanura Interior: 6 000 km²/estación, que se relaciona con un radio de influencia aproximado de cada estación de 45 km.

3.2.1.2 Análisis de representatividad para otras variables meteorológicas

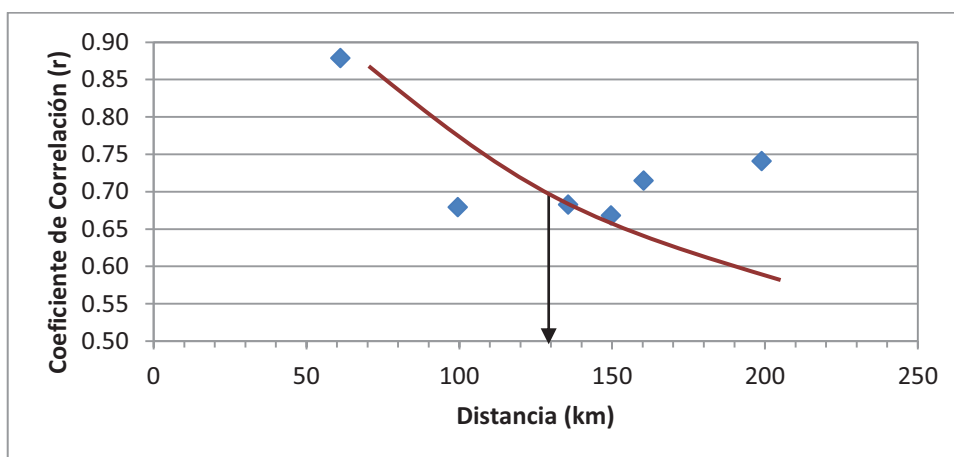
Se generó para la Zona de Atención las relaciones para el coeficiente de correlación en función de la distancia entre las estaciones que disponen de series mensuales de temperatura media mensual (7 estaciones), humedad relativa (7) y evaporación (4). Este análisis no se realizó por separado para la zona de laderas orientales y llanura interior por insuficiencia de estaciones con registros de esas variables. Los criterios asumidos para seleccionar las estaciones base son los mismos del análisis de la representatividad de la precipitación media mensual. Los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación:

a) Temperatura media mensual

Para las series mensuales de temperatura media (ver datos en el Anexo 9) se obtuvieron los siguientes gráficos de correlación en función de la distancia entre estaciones:

Estación base M061 (Lago Agrio-Aeropuerto): en la Figura 22 se aprecia que los registros mensuales de temperatura media son representativos para un área con radio de influencia de 130 km, con un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

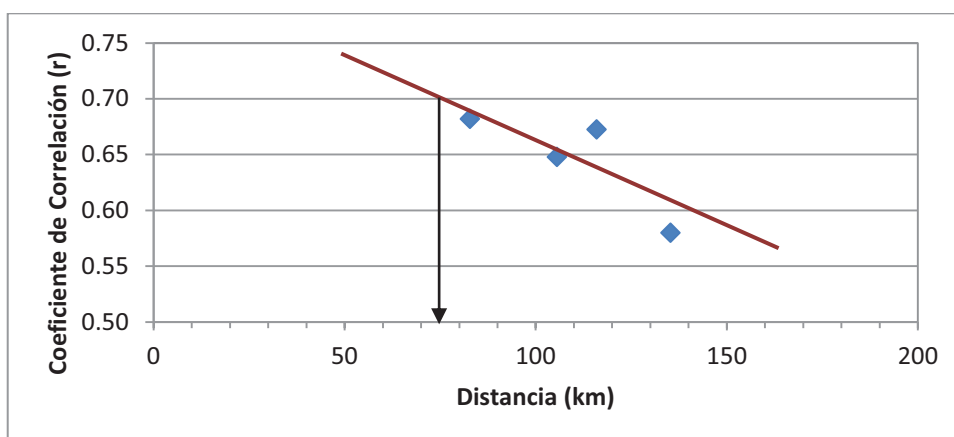
FIGURA 22 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN BASE M061.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M052 (El Coca-Aeropuerto): en la Figura 23 se aprecia que los registros mensuales de temperatura media son representativos para un área con radio de influencia de 75 km, con un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

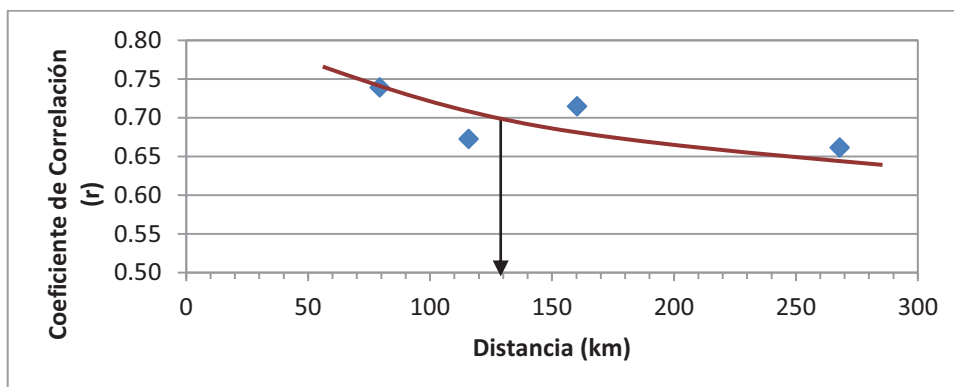
FIGURA 23 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN BASE M052.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base SETE (El Tena-Aeropuerto): en la Figura 24 se aprecia que los registros mensuales de temperatura media son representativos de una superficie con un radio de influencia de 130 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

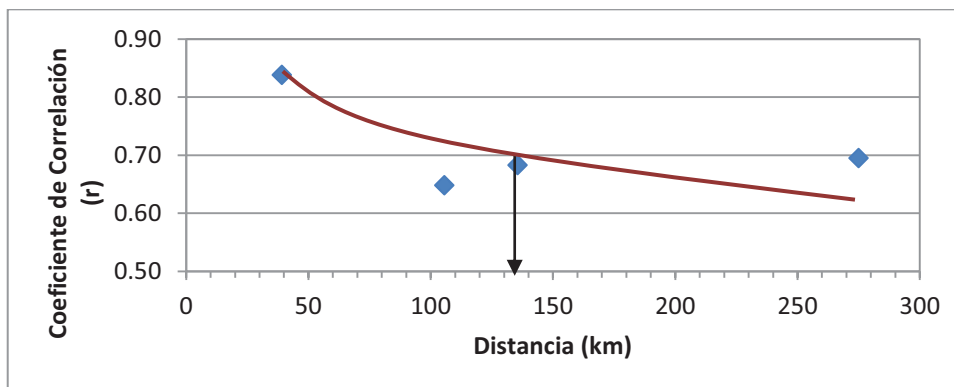
FIGURA 24 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES – TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, ESTACIÓN BASE SETE.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M215 (Baeza): en la Figura 25 se aprecia que los registros mensuales de temperatura media son representativos para un área con radio de influencia de 135 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

FIGURA 25 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LAS DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES – TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, ESTACIÓN BASE M215.



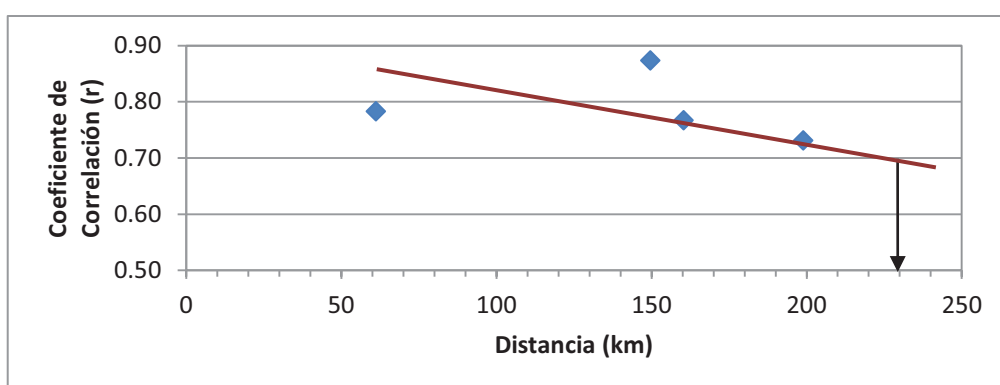
Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Para los valores anuales de temperatura media se obtuvieron los siguientes

gráficos de correlación en función de la distancia entre estaciones:

Estación base M061 (Lago Agrio-Aeropuerto): en la Figura 26 se aprecia que los registros anuales de temperatura media son representativos de una superficie con radio de influencia de 230 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

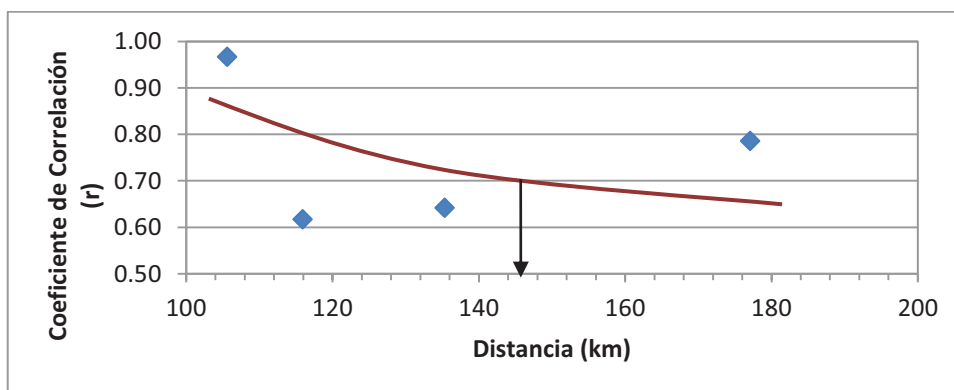
FIGURA 26 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – TEMPERATURA MEDIA ANUAL. ESTACIÓN BASE M061.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M052 (El Coca-Aeropuerto): en la Figura 27 se aprecia que los registros anuales de temperatura media son representativos con un radio de influencia de diámetro igual a 146 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

FIGURA 27 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – TEMPERATURA MEDIA ANUAL. ESTACIÓN BASE M052.



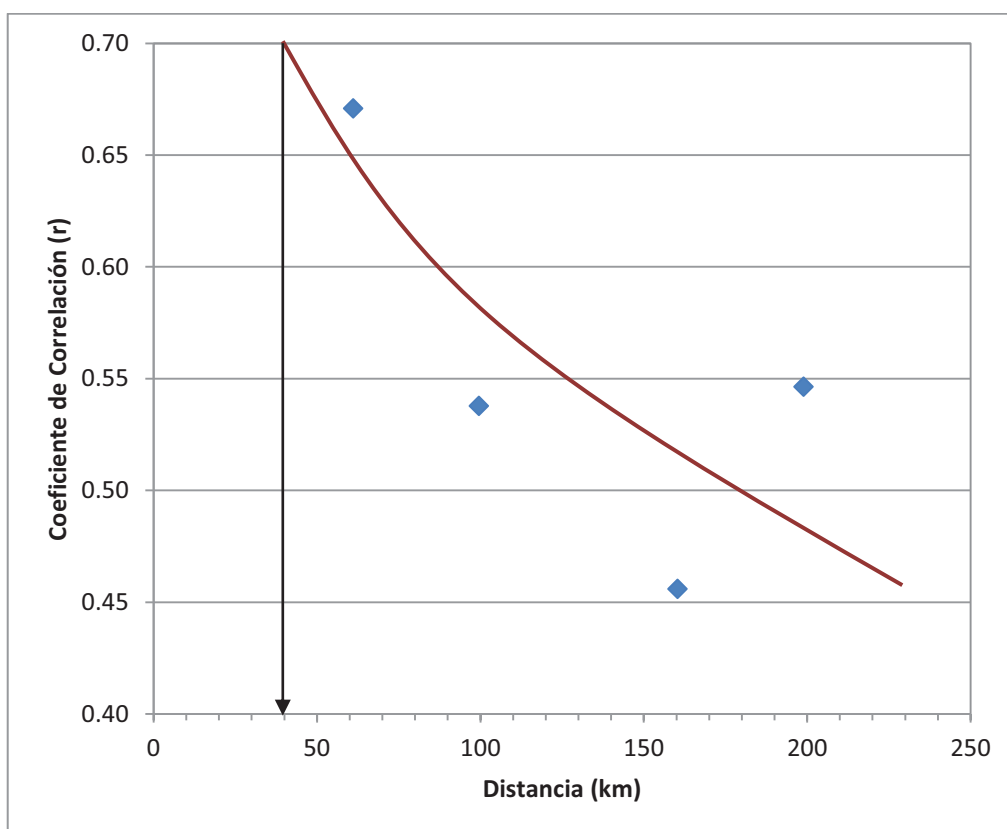
Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

b) Humedad Relativa

Para los valores mensuales de humedad relativa (ver datos en el Anexo 10) se obtuvieron los siguientes gráficos de correlación en función de la distancia entre estaciones:

Estación base M061 (Lago Agrio-Aeropuerto): en la Figura 28 se aprecia que los registros mensuales de humedad relativa son representativos con un radio de influencia de 40 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

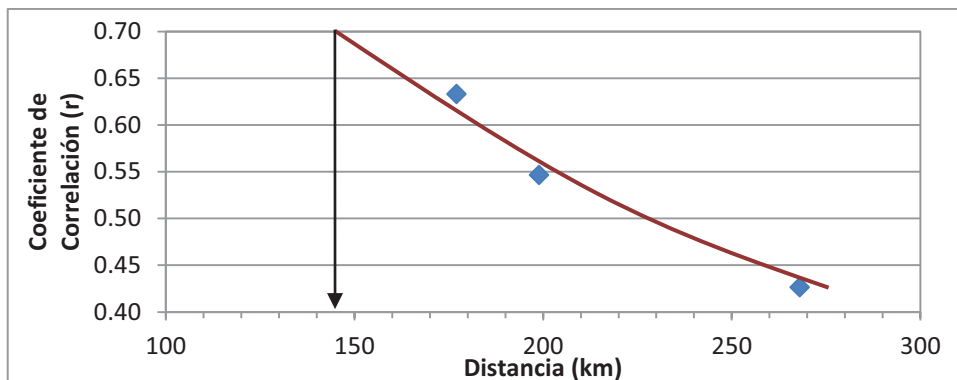
FIGURA 28 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – HUMEDAD RELATIVA MENSUAL. ESTACIÓN BASE M061.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Estación base M007 (Nuevo Rocafuerte): en la Figura 29 se aprecia que los registros mensuales de humedad relativa son representativos, con un radio de influencia de diámetro de 145 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$)

FIGURA 29 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – HUMEDAD RELATIVA MENSUAL. ESTACIÓN BASE M007.



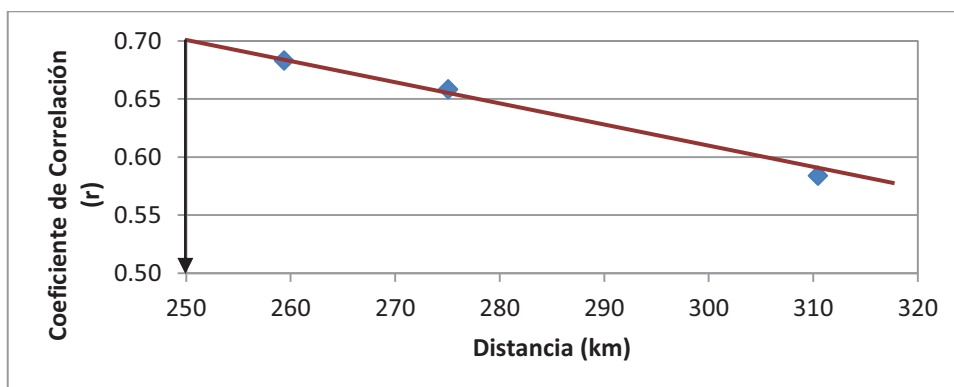
Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

c) Evaporación

Para los valores mensuales de la evaporación (ver datos en el Anexo 11) se obtuvo el siguiente gráfico de correlación en función de la distancia entre estaciones:

Estación base M007 (Nuevo Rocafuerte): en la Figura 30 se aprecia que los registros mensuales de evaporación son representativos al interior de un círculo con radio de influencia de 250 km, para un coeficiente de correlación ($r > 0.7$).

FIGURA 30 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – EVAPORACIÓN MENSUAL. ESTACIÓN BASE M007.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

El resumen de las densidades de estaciones obtenidas en el análisis de correlación para las variables meteorológicas de temperatura, humedad relativa y evaporación se presenta en el Cuadro 39.

CUADRO 39 DENSIDADES OBTENIDAS DE ESTACIONES CON SERIES DE VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y EVAPORACIÓN PARA LA ZONA DE ATENCIÓN.

| Variable | Estación base | M061 | M052 | SETE | M215 |
|---------------------------|--------------------------------------|---------|--------|--------|--------|
| Temperatura media mensual | Radio de influencia (km) | 130 | 75 | 130 | 135 |
| | Densidad (km ² /estación) | 53 093 | 17 671 | 53 093 | 57 256 |
| Temperatura media anual | Radio de influencia (km) | 230 | 146 | - | - |
| | Densidad (km ² /estación) | 166 190 | 66 966 | - | - |

| Variable | Estación base | M007 | M061 |
|--------------------------|--------------------------------------|--------|-------|
| Humedad Relativa mensual | Radio de influencia (km) | 145 | 40 |
| | Densidad (km ² /estación) | 66 052 | 5 027 |

| Variable | Estación base | M007 |
|---------------------|--------------------------------------|---------|
| Evaporación mensual | Radio de influencia (km) | 250 |
| | Densidad (km ² /estación) | 196 350 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

El análisis realizado permite concluir que variables meteorológicas como temperatura, evaporación y humedad relativa requieren un número menor de estaciones (densidad mayor) en relación con la precipitación.

Para el caso de las variables antes mencionadas con una densidad de 17 500 km²/estación, es decir un radio de acción aproximado de 75 km, la cobertura de información es representativa sobre la base de un coeficiente de correlación $r \geq 0.7$.

Por tanto, para toda la Zona de Atención que tiene una superficie total de 52 115 km², se necesitaría de apenas 3 estaciones meteorológicas de registro de variables meteorológicas como la temperatura, evaporación y humedad relativa.

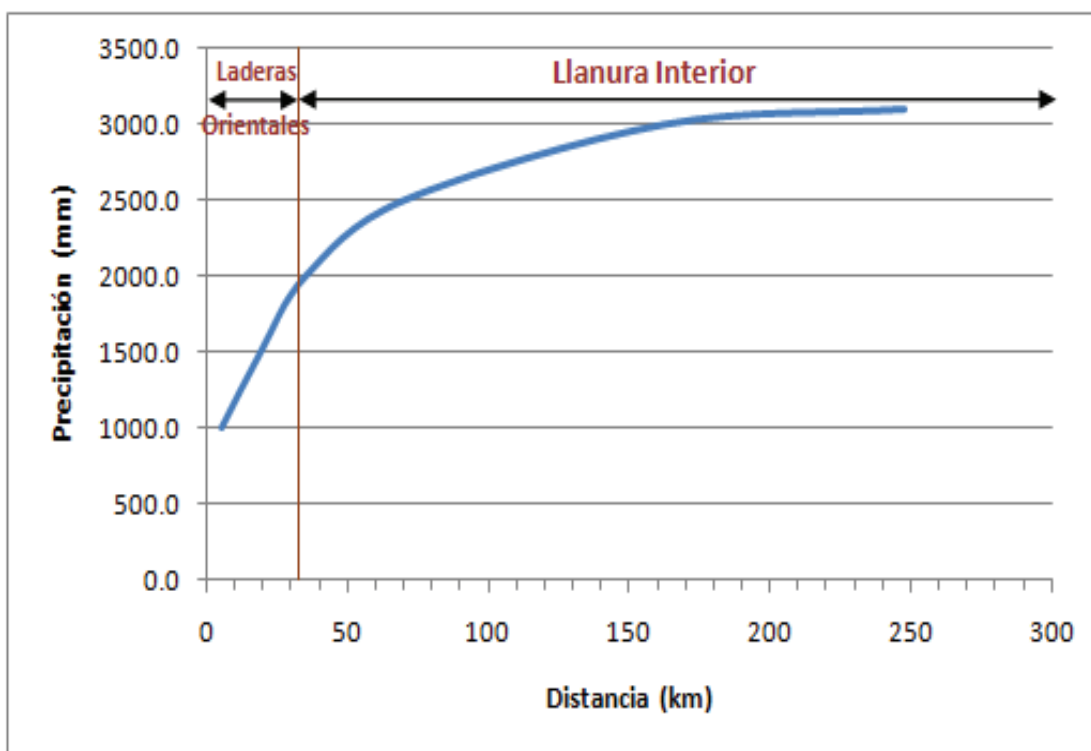
3.2.1.3 Gradientes de variables meteorológicas

Además del análisis de correlación entre estaciones se evaluó las gradientes de precipitación anual media, evaporación media anual, humedad relativa media anual y temperatura media anual a lo largo de un eje que atraviesa la provincia de Sucumbíos y de otro que cruza las provincias de Napo y Orellana en dirección oeste - este. La información básica se tomó del Atlas Climatológico del Ecuador (Troncoso, A., Juan Gabriel B., 2010), de la Escuela Politécnica Nacional.

a) Precipitación anual media

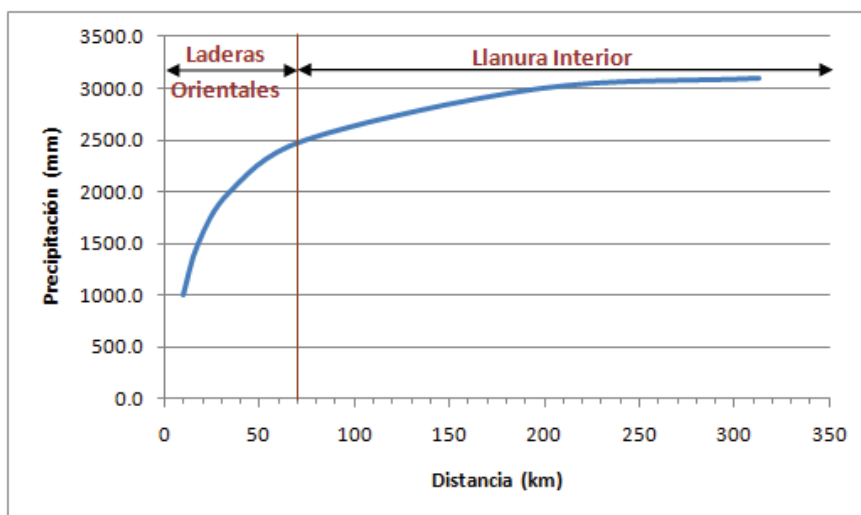
Las gradientes de la precipitación media anual en el sentido oeste – este de las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana se observan en la Figura 31 y Figura 32 respectivamente. En general las pendientes son mayores en las Laderas Orientales.

FIGURA 31 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL A LO LARGO DE LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

FIGURA 32 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL A LO LARGO DE LAS PROVINCIAS DE NAPO Y ORELLANA.

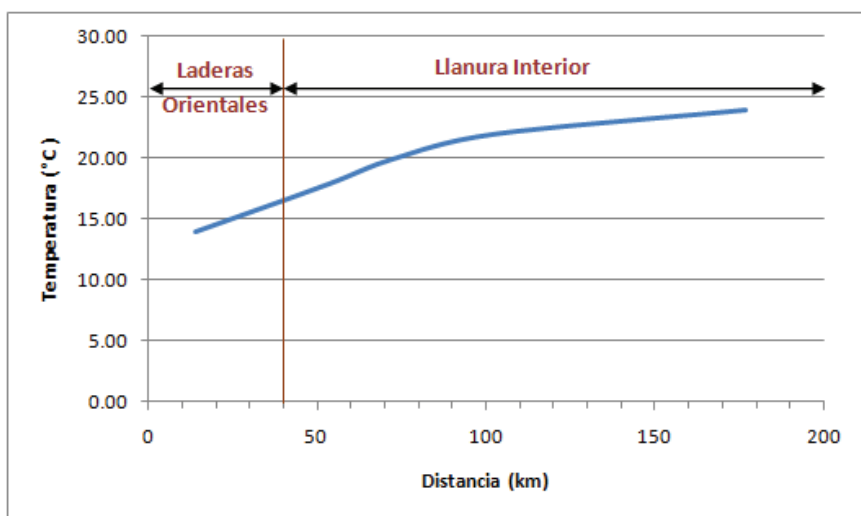


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

b) Temperatura media anual

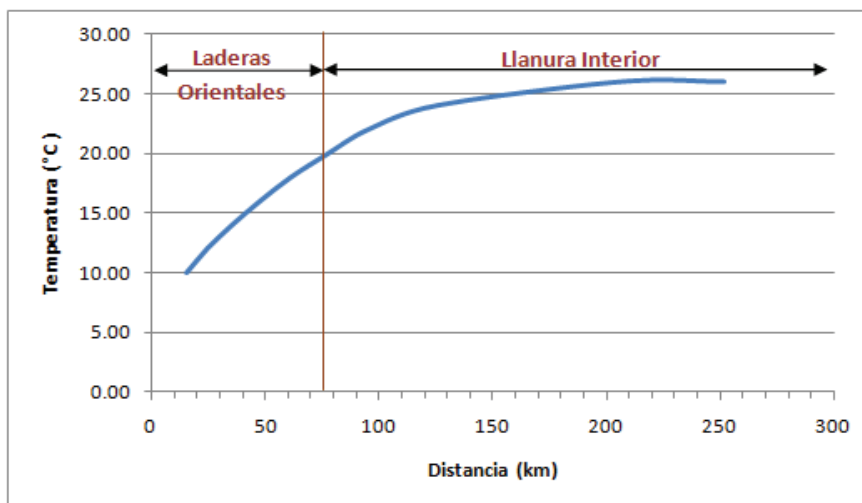
Las gradientes de variación de la temperatura media anual a través de las provincias de Sucumbíos, del Napo y Orellana se observan en la Figura 33 y Figura 34 respectivamente. Las pendientes son mayores en las Laderas Orientales.

FIGURA 33 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL A LO LARGO DE LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

FIGURA 34 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL A LO LARGO DE LAS PROVINCIAS DE NAPO Y ORELLANA.

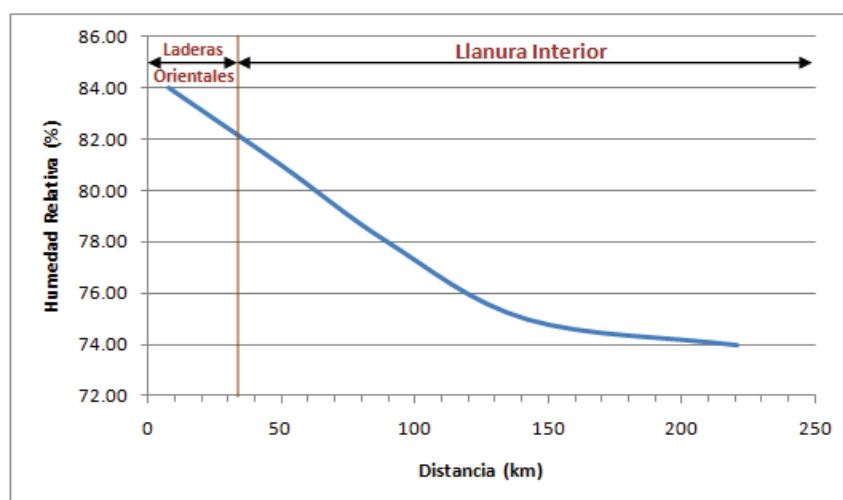


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

c) Humedad relativa anual

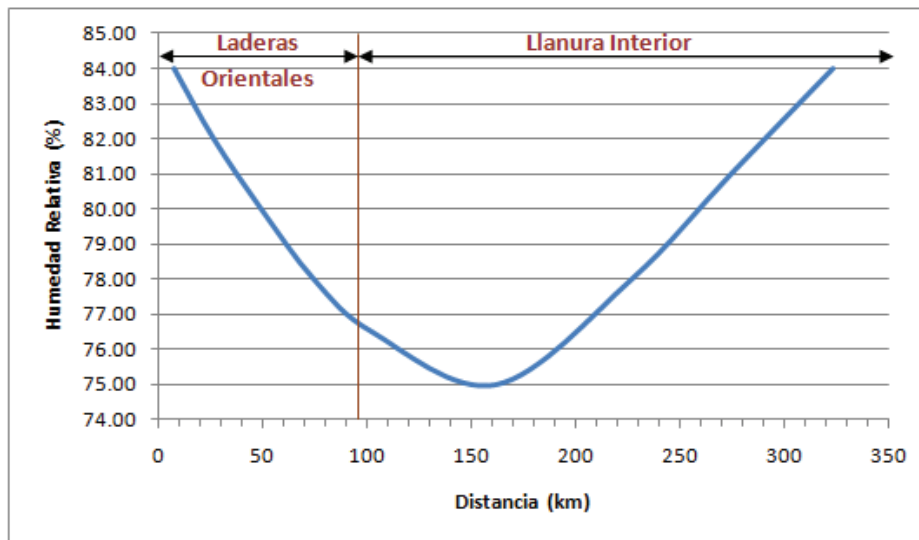
En la Figura 35 y Figura 36 la gradiente de la humedad relativa anual en general es mayor en las Laderas Orientales. Para el caso de las provincias de Napo y Orellana se aprecia el incremento de la humedad desde el pie de monte en dirección este.

FIGURA 35 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA ANUAL A LO LARGO DE LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

FIGURA 36 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA ANUAL A LO LARGO DE LAS PROVINCIAS DE NAPO Y ORELLANA.

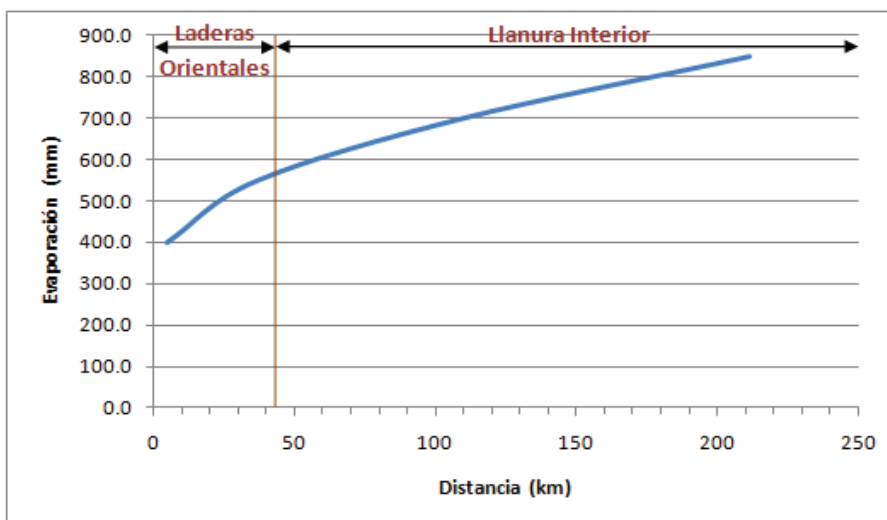


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

d) Evaporación anual media

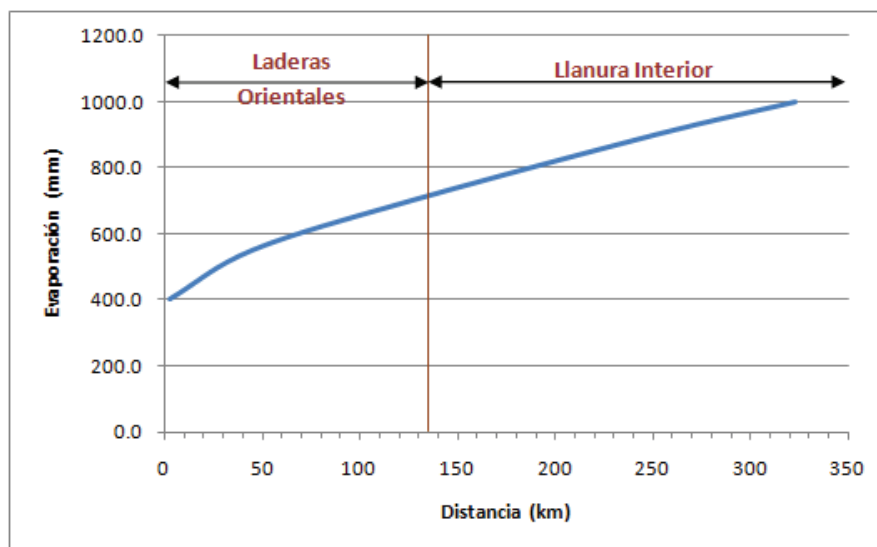
Como se observa en los gráficos las pendientes de variación de la evaporación anual, que se presentan en la Figura 37 y Figura 38 tienen una variación gradual, con valores máximos en las Laderas Orientales.

FIGURA 37 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA EVAPORACIÓN ANUAL A LO LARGO DE LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

FIGURA 38 GRADIENTE DE VARIACIÓN DE LA EVAPORACIÓN ANUAL A LO LARGO DE LAS PROVINCIAS DE NAPO Y ORELLANA.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

3.2.2 COBERTURA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

El análisis de correlación se realizó tanto para series mensuales como diarias de caudales de las estaciones hidrológicas que disponen de registros y que se encuentran en la Zona de Atención. La evaluación se realizó por separado tanto para las Laderas Orientales como para la Llanura Interior.

Las estaciones de base se seleccionaron considerando:

- Las localizadas aproximadamente en el centro de las otras estaciones.
- Estaciones con el mayor número de registros.
- Estaciones que presentan una mayor cantidad de coeficientes de correlación por sobre 0.5.

Así las estaciones H715 (Quijos A.J. Bombón), H718 (Quijos en Baeza) y H733 (Quijos A.J. Borja) se establecieron como estaciones de base para la zona de las Laderas Orientales, mientras que para la zona del pie de monte y Llanura Interior,

se seleccionaron las estaciones H720 (Misahuallí en Cotundo), H732 (Bombón AJ Quijos) y H735 (Coca en Codo Sinclair).

a) Laderas Orientales

➤ *Datos Mensuales*

Para la definición de la densidad óptima de una red, un criterio apropiado es establecer los grados de correlaciones entre estaciones de una zona, en función de la distancia entre ellas. Se considera un buen grado de correlación entre estaciones si es mayor a 0.7

El 68.75% de las estaciones que poseen datos se encuentran en la Ladera Oriental, es decir 11 estaciones de las cuales 4 están en operación actualmente. En el Anexo 12 se incluyen las series mensuales de caudales para cada una de las estaciones, y la matriz de correlación se presenta en el Cuadro 40, en donde se destacan los valores con $r > 0.5$.

CUADRO 40 MATRIZ DE CORRELACIÓN CON DATOS MENSUALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS UBICADAS EN LAS LADERAS ORIENTALES.

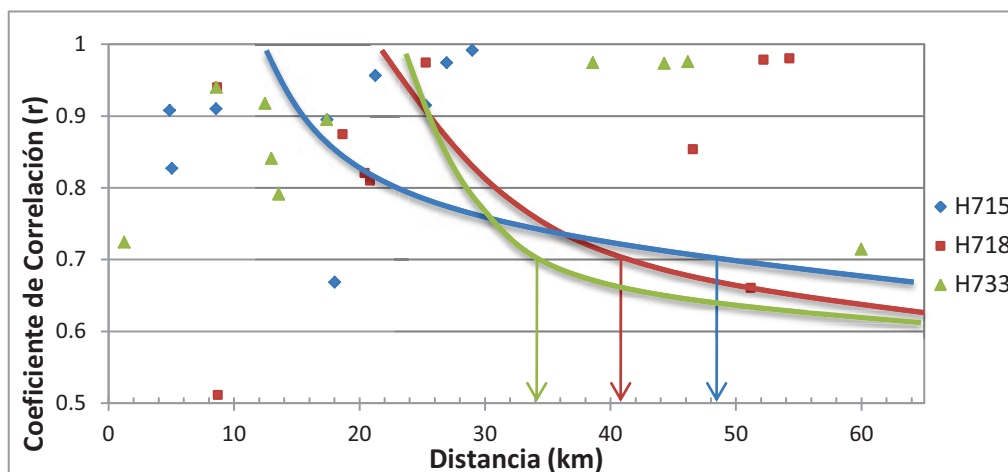
| | H714 | H715 | H717 | H718 | H719 | H722 | H723 | H726 | H727 | H729 | H733 |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H714 | 1 | | | | | | | | | | |
| H715 | 0.97 | 1 | | | | | | | | | |
| H717 | 0.98 | 0.99 | 1 | | | | | | | | |
| H718 | 0.98 | 0.92 | 0.98 | 1 | | | | | | | |
| H719 | 0.81 | 0.91 | 0.84 | 0.81 | 1 | | | | | | |
| H722 | 0.52 | 0.68 | 0.85 | 0.66 | 0.65 | 1 | | | | | |
| H723 | 0.51 | 0.67 | 0.41 | 0.51 | 0.50 | 0.43 | 1 | | | | |
| H726 | 0.996 | 0.96 | 0.98 | 0.85 | 0.85 | 0.57 | 0.50 | 1 | | | |
| H727 | 0.93 | 0.83 | 0.82 | 0.82 | 0.60 | 0.19 | 0.68 | 0.91 | 1 | | |
| H729 | 0.95 | 0.91 | 0.98 | 0.87 | 0.88 | 0.67 | 0.51 | 0.94 | 0.76 | 1 | |
| H733 | 0.97 | 0.90 | 0.98 | 0.94 | 0.79 | 0.71 | 0.72 | 0.98 | 0.84 | 0.92 | 1 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 39 se muestra la matriz correlacionante en la que se observa que los grados de correlación son representativos cuando el radio de influencia de una

estación varía entre 34 y 48 km; en el Cuadro 41 se observa las densidades mínimas para estas estaciones.

FIGURA 39 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (CAUDAL MEDIO MENSUAL).



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

CUADRO 41 DENSIDADES OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN – LADERAS ORIENTALES (CAUDAL MEDIO MENSUAL).

| Estaciones Base | H715 | H718 | H733 | Promedio |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|----------|
| Radio de influencia (km) | 48.3 | 40.8 | 34.2 | 41 |
| Densidad (km ² /estación) | 7 329 | 5 230 | 3 675 | 5 307 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

➤ **Datos Diarios**

Con el objetivo de afinar el cálculo del radio de influencia de una estación hidrológica en la zona definida como Laderas Orientales se complementa el análisis de correlaciones con las series de caudales diarios; y para el efecto se consideró las series del año 1982. En el Anexo 13 se muestran las tablas de datos diarios de caudales.

La matriz de correlación generada se muestra en el Cuadro 42, en donde se destacan los valores con coeficientes de correlación mayores a 0.5.

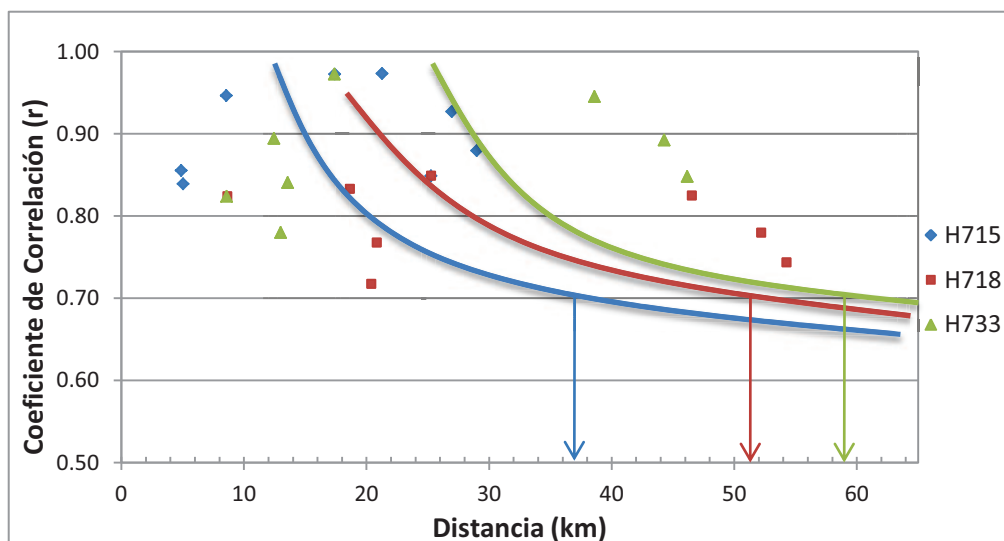
CUADRO 42 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS CON DATOS DIARIOS UBICADAS EN LAS LADERAS ORIENTALES.

| | H714 | H715 | H717 | H718 | H719 | H722 | H723 | H726 | H727 | H729 | H733 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H714 | 1 | | | | | | | | | | |
| H715 | 0.93 | 1 | | | | | | | | | |
| H717 | 0.90 | 0.88 | 1 | | | | | | | | |
| H718 | 0.78 | 0.85 | 0.74 | 1 | | | | | | | |
| H719 | 0.76 | 0.86 | 0.69 | 0.77 | 1 | | | | | | |
| H722 | 0.29 | 0.41 | 0.43 | 0.33 | 0.38 | 1 | | | | | |
| H723 | 0.50 | 0.44 | 0.53 | 0.31 | 0.23 | 0.06 | 1 | | | | |
| H726 | 0.96 | 0.97 | 0.89 | 0.82 | 0.82 | 0.34 | 0.47 | 1 | | | |
| H727 | 0.88 | 0.84 | 0.80 | 0.72 | 0.64 | 0.14 | 0.51 | 0.88 | 1 | | |
| H729 | 0.92 | 0.95 | 0.88 | 0.83 | 0.81 | 0.41 | 0.41 | 0.95 | 0.82 | 1 | |
| H733 | 0.89 | 0.97 | 0.85 | 0.82 | 0.84 | 0.38 | 0.44 | 0.95 | 0.78 | 0.89 | 1 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 40 se muestran las relaciones entre el coeficiente de correlación y la distancia entre las estaciones, y se observa que los caudales en esta zona son representativos cuando el radio de influencia de una estación es menor a 37 y 59 km. En el Cuadro 43 se observa las densidades mínimas para estas estaciones.

FIGURA 40 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LADERAS ORIENTALES (CAUDALES MEDIOS DIARIOS).



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

CUADRO 43 DENSIDADES OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN – LADERAS ORIENTALES (CAUDALES MEDIOS DIARIOS).

| Estaciones Base | H715 | H718 | H733 | Promedio |
|--------------------------------------|-------|-------|--------|----------|
| Radio de Influencia (km) | 37 | 51.5 | 59.2 | 49 |
| Densidad (km ² /estación) | 4 301 | 8 332 | 11 010 | 7 615 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

b) Pie de Monte y Llanura Interior

➤ **Datos Mensuales**

El 29.4% de la estaciones de la Zona de Atención con disponibilidad de caudales se localizan en la Llanura Interior Amazónica, es decir 5 de las estaciones y de las cuales 2 están en operación. En el Anexo 12 se incluyen las series de caudales mensuales de esta Zona.

La matriz de correlación que se obtuvo se muestra en el Cuadro 44, en donde se destacan los coeficientes de correlación mayores a 0.5.

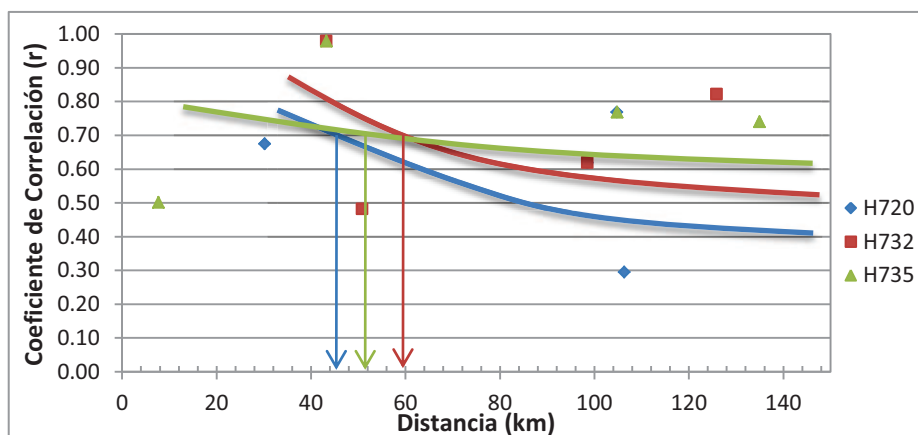
CUADRO 44 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS CON CAUDALES MENSUALES (LLANURA INTERIOR).

| | H682 | H720 | H721 | H732 | H735 |
|------|------|------|------|------|------|
| H682 | 1 | | | | |
| H720 | 0.30 | 1 | | | |
| H721 | 0.03 | 0.68 | 1 | | |
| H732 | 0.52 | 0.67 | 0.71 | 1 | |
| H735 | 0.50 | 0.77 | 0.71 | 0.93 | 1 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 41 se muestran las relaciones entre el coeficiente de correlación y la distancia entre estaciones y se destacan los radios de influencia, que varían entre 37 y 59 km. En el Cuadro 45 se observan las densidades mínimas para las estaciones hidrológicas.

FIGURA 41 RELACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE ESTACIONES – LLANURA INTERIOR (CAUDAL MEDIO MENSUAL).



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

CUADRO 45 DENSIDADES OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN – LLANURA INTERIOR (CAUDAL MEDIO MENSUAL).

| Estaciones Base | H720 | H732 | H735 | Promedio |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|----------|
| Radio de influencia(km) | 46 | 60 | 52 | 53 |
| Densidad (km ² /estación) | 6 648 | 11 310 | 8 495 | 8 714 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

– *Datos Diarios*

Del año 1982 se dispone de caudales diarios de 4 de las estaciones que se localizan en esta zona, cuyos valores se presentan en el Anexo 13. La matriz de correlación que se obtuvo se muestra en el Cuadro 46 donde se destacan los coeficientes de correlación mayores a 0.5.

CUADRO 46 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS CON DATOS DIARIOS UBICADAS EN LA LLANURA INTERIOR.

| | H682 | H720 | H721 | H732 |
|------|------|------|------|------|
| H682 | 1 | | | |
| H720 | 0.28 | 1 | | |
| H721 | 0.22 | 0.69 | 1 | |
| H732 | 0.25 | 0.47 | 0.55 | 1 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Como se puede observar los coeficientes de correlación obtenidos con los caudales diarios son bajos. En resumen, para las Laderas Orientales se obtuvieron radios de influencia menores con datos mensuales respecto a los datos diarios.

Como criterios de representatividad de las estaciones se recomienda una densidad de 5 000 km²/estación con un radio de influencia de 40 km para Las laderas Orientales y 7 500 km²/estación con un radio de influencia de 50 km para el Pie de Monte y Llanura Interior. En el Mapa 22 del Anexo 1 se presenta la cobertura de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención, con las densidades antes mencionadas.

3.2 ANÁLISIS DE LAS SERIES DE DATOS

HIDROMETEOROLÓGICOS DE ACUERDO AL S.I.C.

El análisis de las series mensuales de precipitación y caudales para las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana se realizó mediante el programa “Sistema de Información Climática” desarrollado en lenguaje Visual Basic que permite generar información meteorológica en valores mensuales para cualquier sitio geográfico del territorio ecuatoriano. Se utilizó el modelo de interpolación Inverse Distance Weighted (IDW), (Moreano, R., 2008).

IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTED)

El método IDW combina el concepto de vecindad entre sitios con disponibilidad de datos con un cambio gradual de las superficies definidas a través de una tendencia. Se supone que el valor del atributo Z, en una localidad donde su valor del atributo no es conocido, es un promedio de los valores de sus vecinos, pero considerando que los vecinos más cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados (Moreano, R., 2008).

La ecuación general del método es:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i * Z(x)_i)$$

Dónde:

| | |
|-------------|---|
| $Z^*(x)$ | Valor estimado de la variable |
| $Z(x)_i$ | Valor de la variable en el punto conocido (i) |
| λ_i | Peso de la estación (i) |
| n | Numero de estaciones consideradas |

Los pesos se calculan en función de la distancia entre las estaciones y el punto a interpolar, de la siguiente manera:

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}}$$

Dónde:

| | |
|-------------|--|
| λ_i | Peso de la estación (i) |
| d_{ij} | Distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar |
| β | Coefficiente de ponderación |

Mientras más sea el valor β , el peso de las estaciones más cercanas será superior. Para la optimización de este coeficiente se tiene que minimizar el error medio cuadrático (EMC) a través de una validación cruzada. Sin embargo como valor predeterminado se usa 2 (Moreano, R., 2008).

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x) - Z(x))^2}{n}}$$

Dónde:

| | |
|----------|-------------------------------|
| EMC | Error Medio Cuadrático |
| $Z^*(x)$ | Valor estimado de la variable |

| | |
|----------|---|
| $Z(x)_i$ | Valor de la variable en el punto conocido (i) |
| n | Tamaño de la muestra total |

3.2.1 ANÁLISIS DE LAS SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

Se aplicó el programa “Sistema de Información Climática” con el método IDW a las estaciones actualmente operadas por INAMHI (enero de 2010) y que disponen de registros de series mensuales de precipitación localizadas en la Zona de Atención.

El análisis de interpolación se realizó para el año 1982, debido a que el mayor número de estaciones operadas por INAMHI posee registros de precipitación para ese año. Las estaciones con registros ubicadas en las laderas orientales son cinco; 4 pluviométricas y 1 climatológica ordinaria, mientras que las localizadas en la llanura interior son cuatro; tres pluviométricas y una agrometeorológica, como se puede observar en el Cuadro 47.

CUADRO 47 ESTACIONES CON REGISTRO MENSUAL DE PRECIPITACIÓN DEL AÑO 1982

| Estaciones con registros de precipitación del año 1982 | | | | |
|--|--------|---------------------------|------|--------|
| Zona | Código | Nombre | Tipo | Altura |
| Laderas Orientales | M436 | CUYUJA | PV | 2380 |
| | M203 | EL REVENTADOR | PV | 1145 |
| | M698 | LA BONITA | PV | 1900 |
| | M490 | SARDINAS | PV | 1615 |
| | M188 | PAPALLACTA | CO | 3150 |
| Llanura Interior | M697 | PUERTO LIBRE (SP.COFANES) | PV | 680 |
| | M710 | CHONTA PUNTA | PV | 500 |
| | M007 | NUEVO ROCAFUERTE | AP | 265 |
| | M484 | ARCHIDONA | PV | 630 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

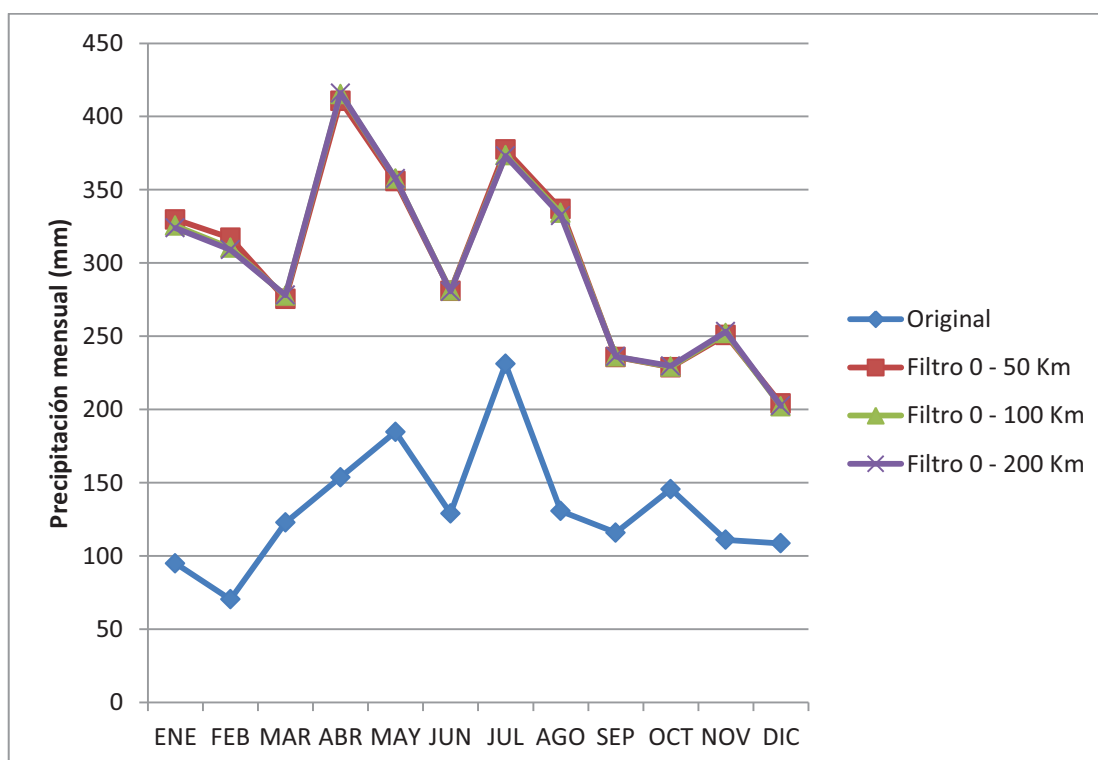
Los valores interpolados son comparados con los registros de precipitación de los anuarios meteorológicos para el año 1982, para definir zonas con mayor o menor error. La interpolación se realizó considerando los siguientes aspectos:

- Filtro de distancia 0 – 50 km.
- Filtro de distancia 0 – 100 km.
- Filtro de distancia 0 – 200 km.

a) Laderas Orientales

En la Figura 42 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M436 (Cuyuja). Como se puede observar el error promedio es alrededor del 140%, pero tienen igual tendencia.

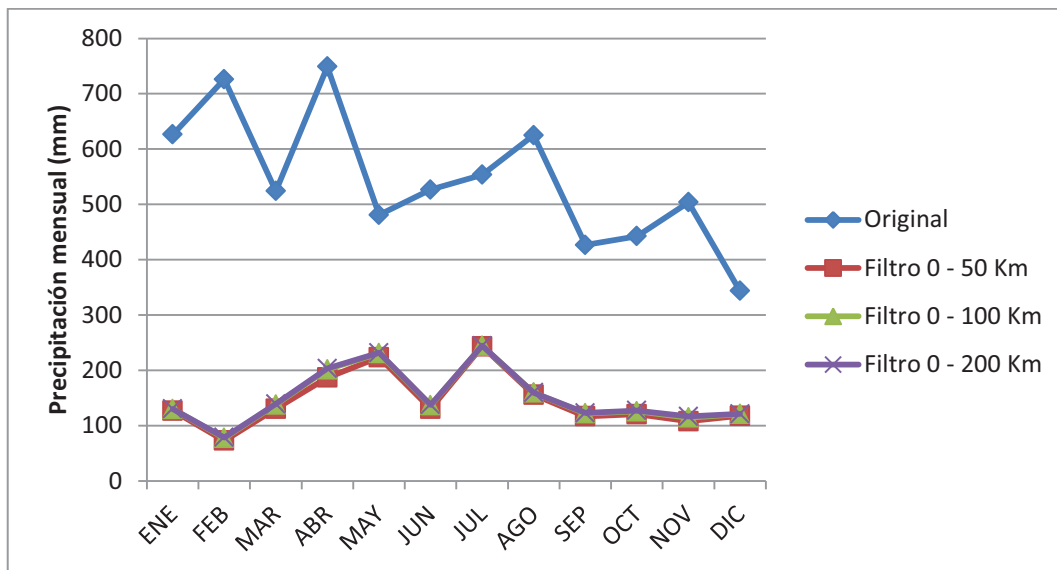
FIGURA 42 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M436



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 43 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M203 (El Reventador). Como se puede apreciar el error promedio es alrededor del 305%.

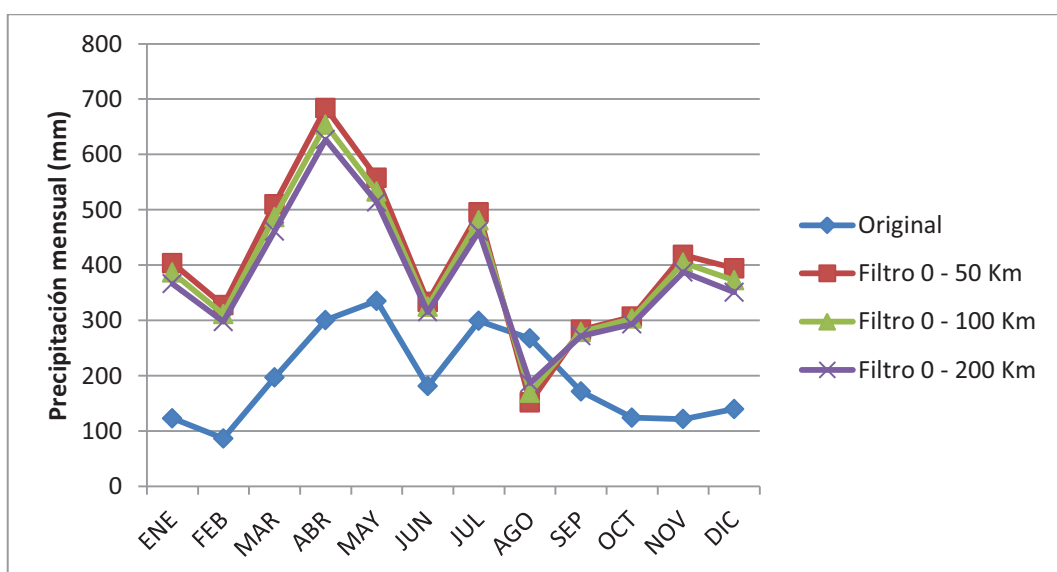
FIGURA 43 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M203



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 44 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M698 (La Bonita). Como se puede observar el error promedio es alrededor del 130%.

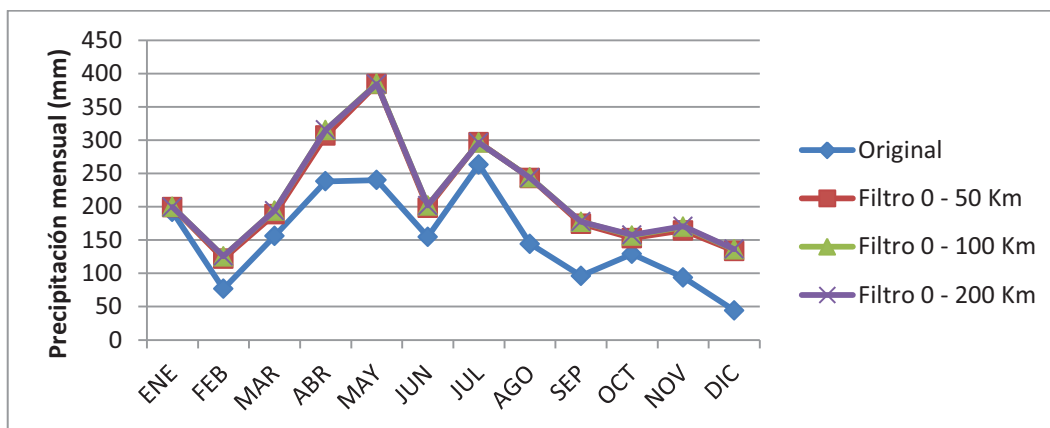
FIGURA 44 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M698



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 45 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M490 (Sardinas). Como se puede ver el error promedio es alrededor del 55%, pero tienen igual tendencia.

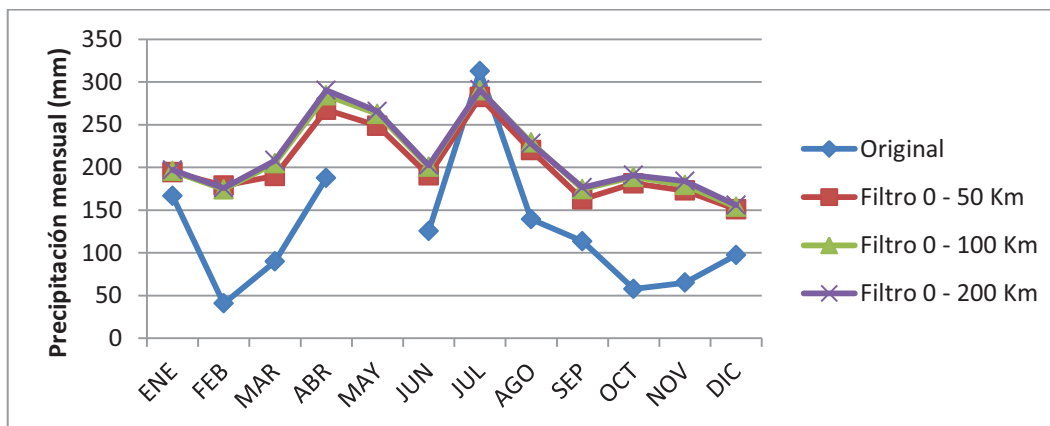
FIGURA 45 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M490



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 46 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M188 (Papallacta). Como se puede ver el error promedio es alrededor del 105%.

FIGURA 46 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M188

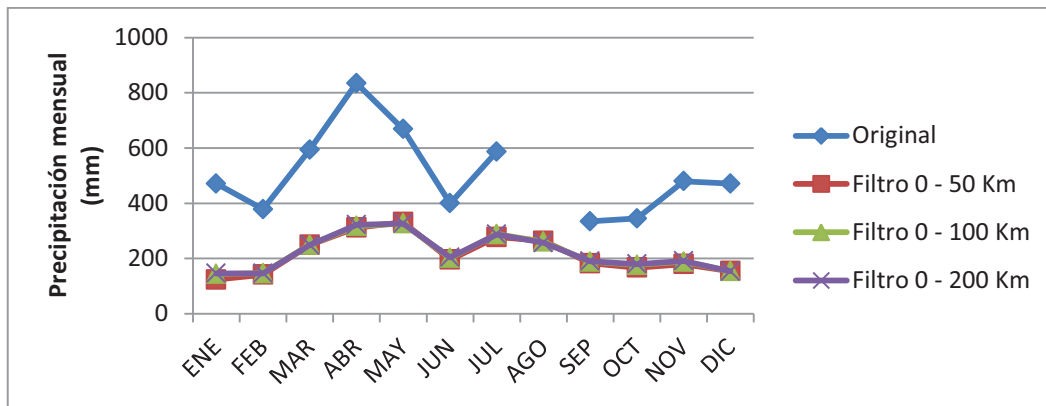


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

b) Llanura Interior

En la Figura 47 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M697 (Puerto Libre). Como se puede ver el error promedio es alrededor del 140%.

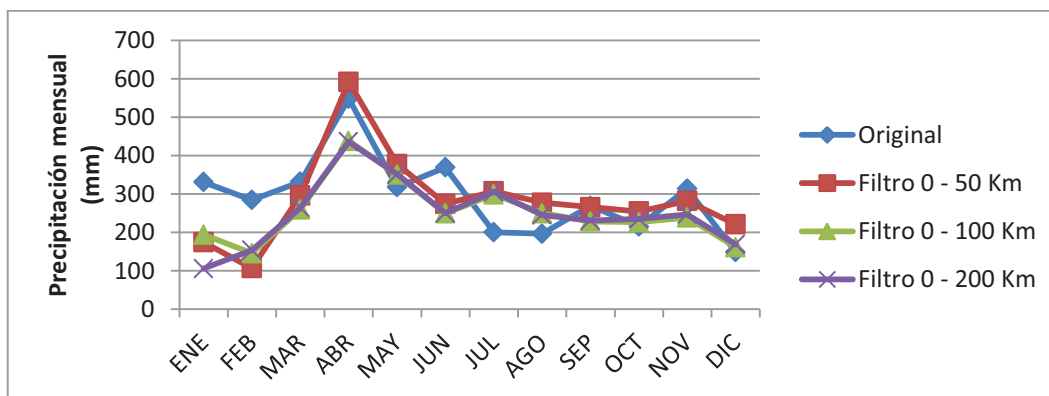
FIGURA 47 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M697



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 48 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M710 (Chonta Punta). Como se puede observar el error promedio es alrededor del 40%.

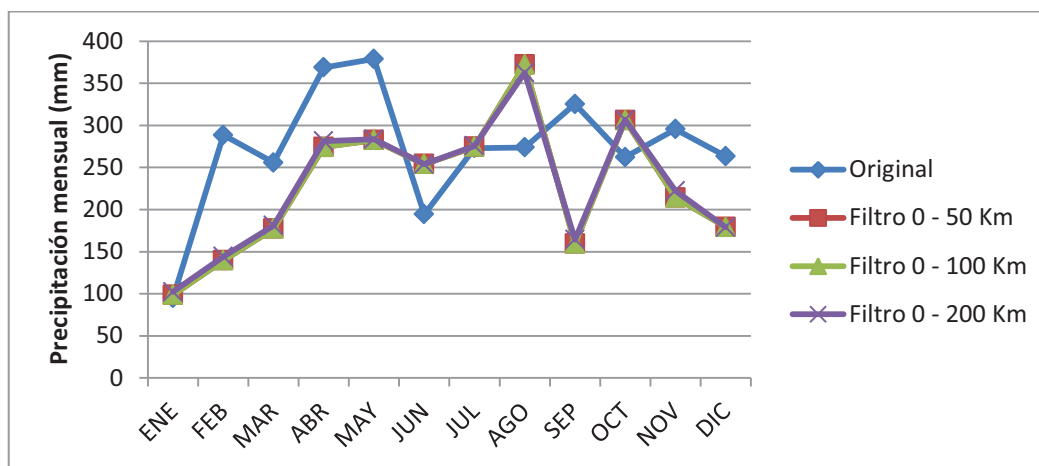
FIGURA 48 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M710



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 49 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M007 (Nuevo Rocafuerte). Como se aprecia el error promedio es alrededor del 40%.

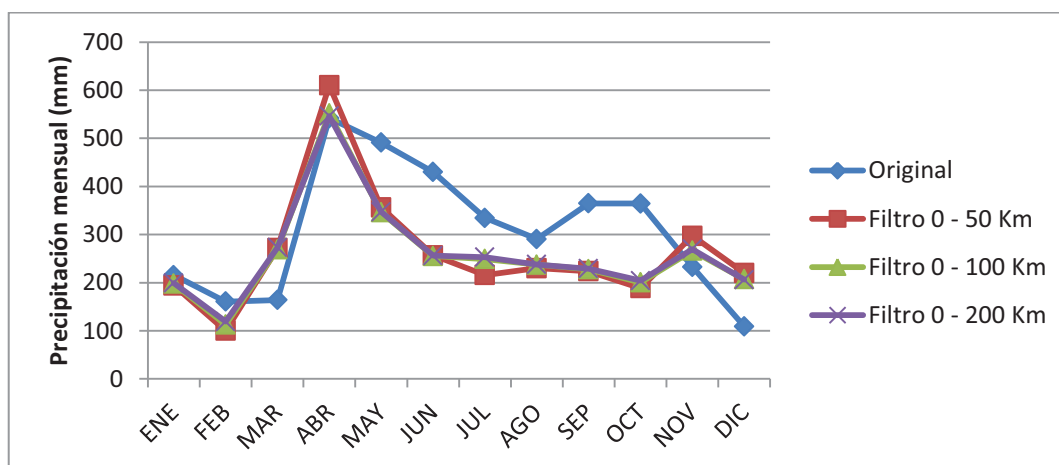
FIGURA 49 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M007



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 50 se presentan los valores interpolados de precipitación para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación M484 (Archidona). Como se puede ver el error promedio es alrededor del 46%.

FIGURA 50 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN M484

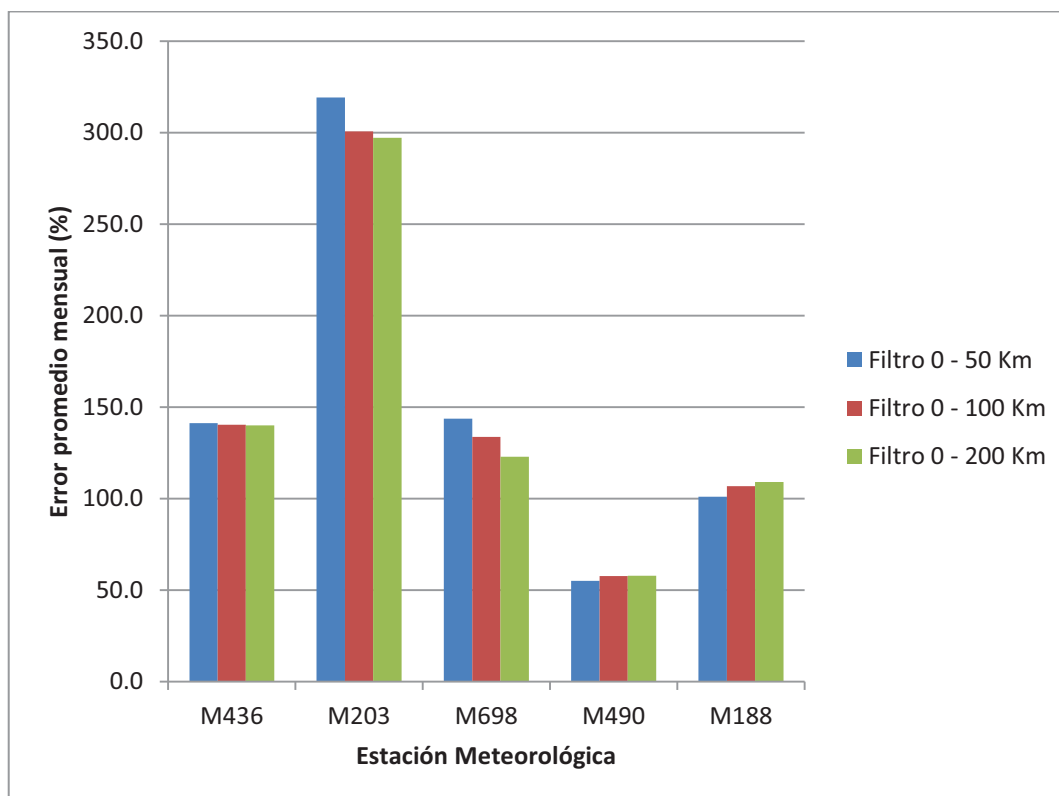


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 51 y 52 se presentan los errores promedios mensuales de las estaciones meteorológicas ubicadas en las laderas orientales y llanura interior respectivamente usadas para la interpolación con el método IDW, como se puede observar el error promedio en la Figura 51 es alrededor del 150% mientras que en la Figura 52 es cercano al 65%.

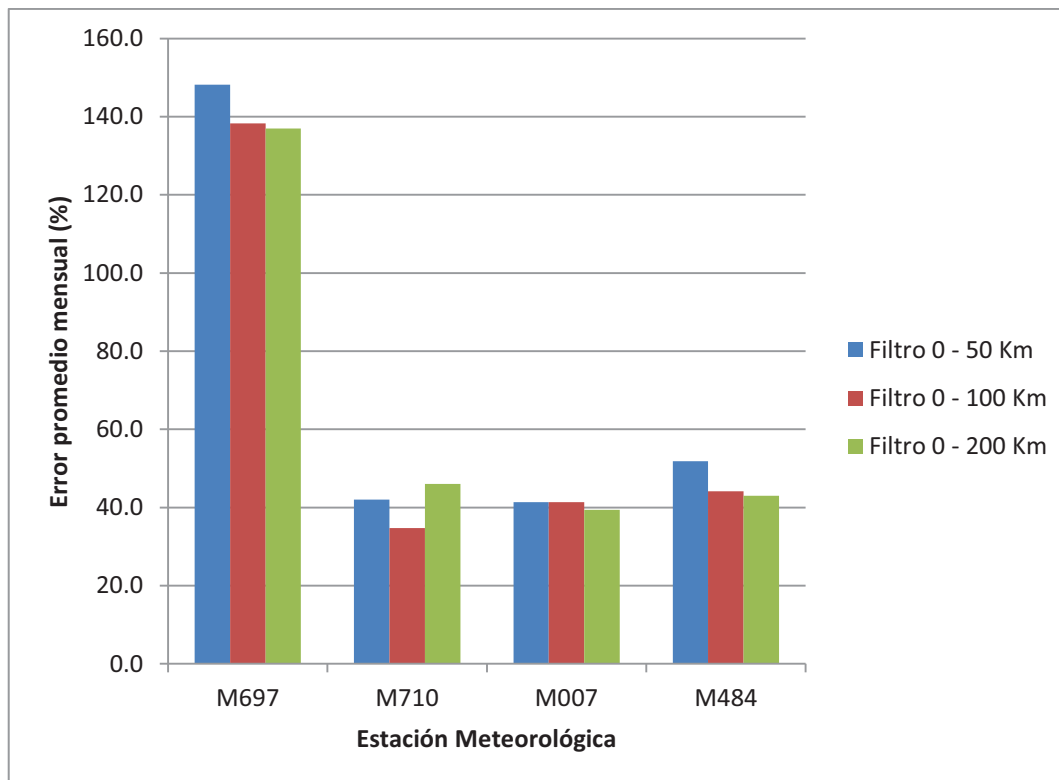
Estos resultados nos permiten concluir que en la zona de las laderas orientales se requiere un mayor número de estaciones (densidad menor) para el registro de la precipitación en comparación con las estaciones de la llanura interior que presentan un error más bajo y por ende requieren de una densidad mayor de estaciones. En el Mapa 23 del Anexo 1 se presentan los resultados del método IDW en la Zona de Atención con las áreas que requieren de un mayor número de estaciones meteorológicas.

FIGURA 51 ERROR PROMEDIO MENSUAL DE LOS REGISTROS DE PRECIPITACIÓN PARA EL AÑO 1982 DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN LAS LADERAS ORIENTALES.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

FIGURA 52 ERROR PROMEDIO MENSUAL DE LOS REGISTROS DE PRECIPITACIÓN PARA EL AÑO 1982 DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN LA LLANURA INTERIOR



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

3.2.2 ANÁLISIS DE LAS SERIES MENSUALES DE CAUDALES

Se aplicó el programa “Sistema de Información Climática” con el método IDW a las estaciones actualmente operadas por INAMHI (enero de 2010) y que disponen de registros de series mensuales de caudales localizadas en la Zona de Atención.

El análisis de interpolación se realizó para el año 1982, debido a que el mayor número de estaciones operadas por INAMHI posee registros de caudales (específicos) para ese año. Las estaciones con registros ubicadas en las laderas orientales son cuatro; 2 limnimétricas y 2 limnigráficas, mientras que las ubicadas en la llanura interior son cinco; 2 limnigráficas, 1 limnimétrica y 2 automáticas, como se puede observar en el Cuadro 48.

CUADRO 48 ESTACIONES CON REGISTRO MENSUAL DE CAUDALES DEL AÑO 1982

| Estaciones con registros de caudales del año 1982 | | | | |
|---|--------|--------------------------|------|--------|
| Zona | Código | Nombre | Tipo | Altura |
| Laderas Orientales | H714 | COCA EN SAN RAFAEL | LM | 1160 |
| | H718 | QUIJOS EN BAEZA | LM | 1770 |
| | H719 | QUIJOS DJ OYACACHI | LG | 1490 |
| | H722 | YANAHURCO DJ VALLE | LG | 3590 |
| Llanura Interior | H720 | MISAHUALLÍ EN COTUNDO | LG | 800 |
| | H721 | JATUNYACU DJ ILOCULIN | LG | 570 |
| | HB23 | AGUARICO EN NUEVA LOJA | LM | 299 |
| | HB24 | COCA EN SAN SEBASTIÁN | AWS | 320 |
| | HB25 | NAPO EN FCO. DE ORELLANA | AWS | S/D |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

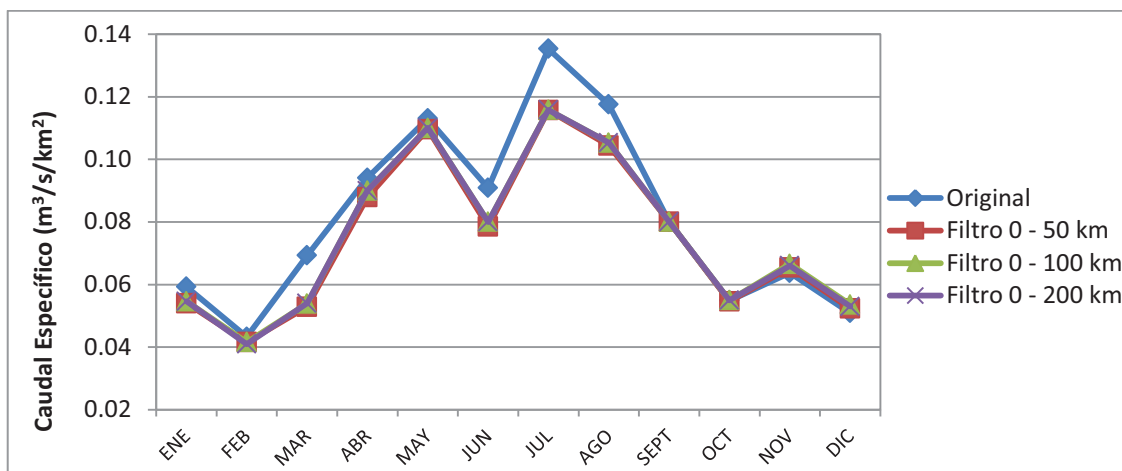
Los valores interpolados son comparados con los registros de caudales de los anuarios hidrológicos del año 1982, para definir zonas con mayor o menor error. La interpolación se realizó considerando los siguientes aspectos:

- Filtro de distancia 0 – 50 km.
- Filtro de distancia 0 – 100 km.
- Filtro de distancia 0 – 200 km.

a) Laderas Orientales

En la Figura 53 se presenta los valores interpolados de caudal para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación H714 (Coca en San Rafael). Como se puede observar el error promedio es alrededor del 8.5%.

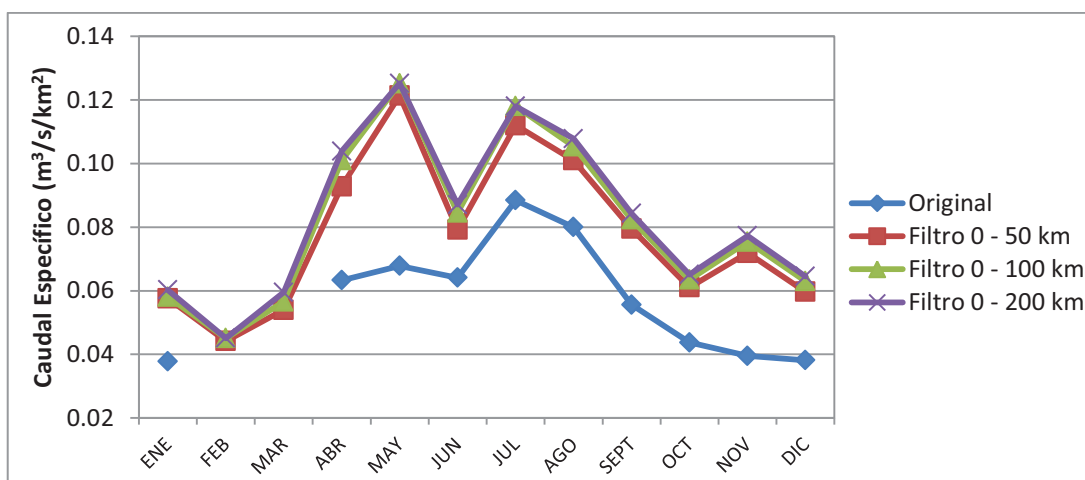
FIGURA 53 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN H714



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 54 se presenta los valores interpolados de caudal para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación H718 (Quijos en Baeza). Como se puede apreciar el error promedio es alrededor del 61%.

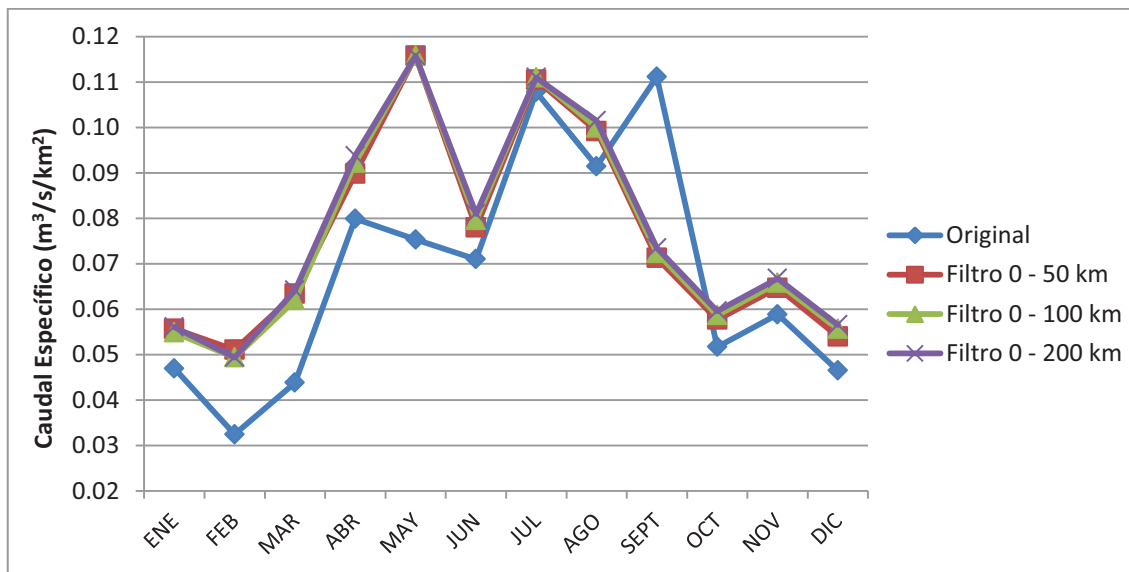
FIGURA 54 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN H718



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 55 se presenta los valores interpolados de caudal para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación H719 (Quijos DJ Oyacachi). Como se puede observar el error promedio es alrededor del 26%.

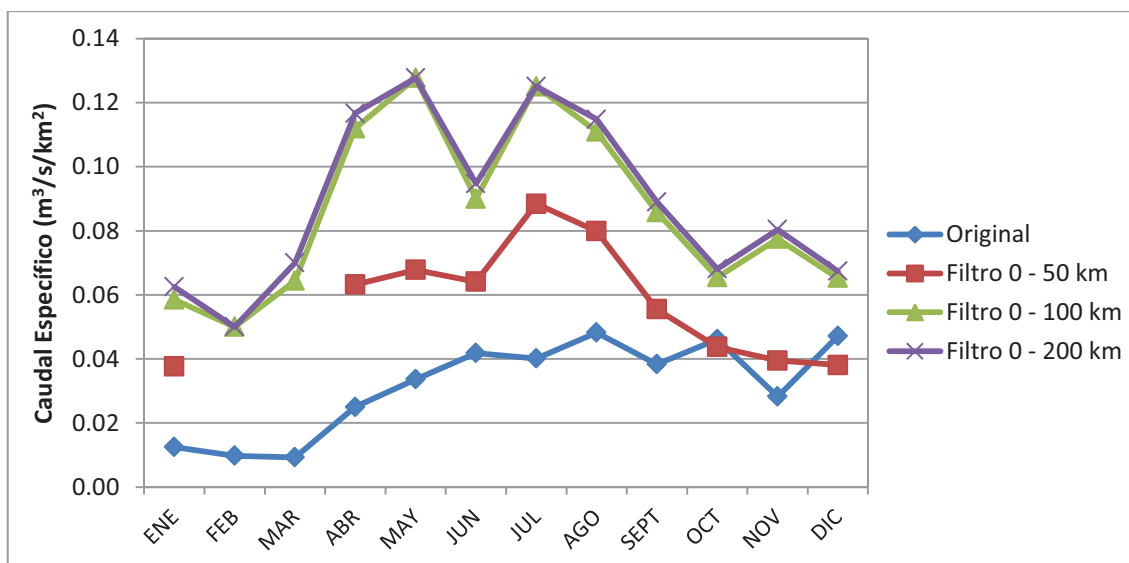
FIGURA 55 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN H719



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 56 se presenta los valores interpolados de caudal para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación H722 (Yanahurco DJ Valle). Como se puede ver el error promedio es alrededor del 190%.

FIGURA 56 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN H722

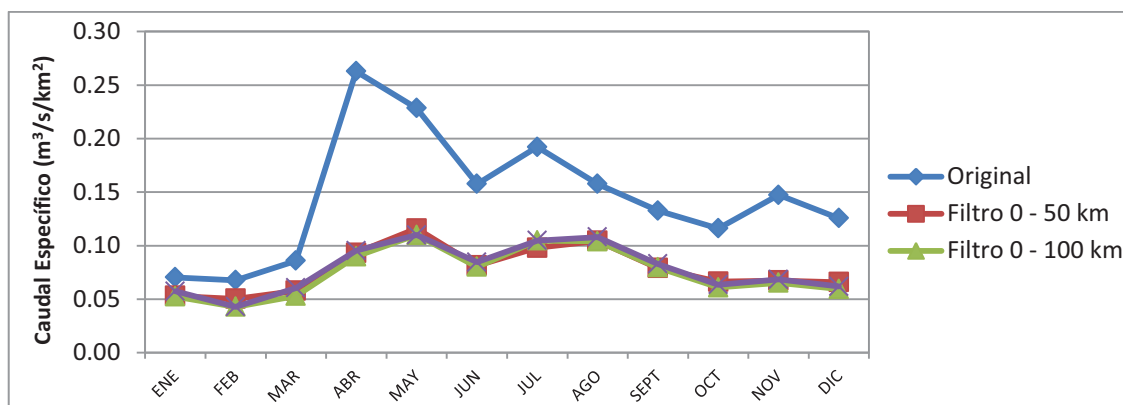


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

a) Llanura Interior

En la Figura 57 se presenta los valores interpolados de caudal para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación H720 (Misahuallí en Cotundo). Como se puede ver el error promedio es alrededor del 85%.

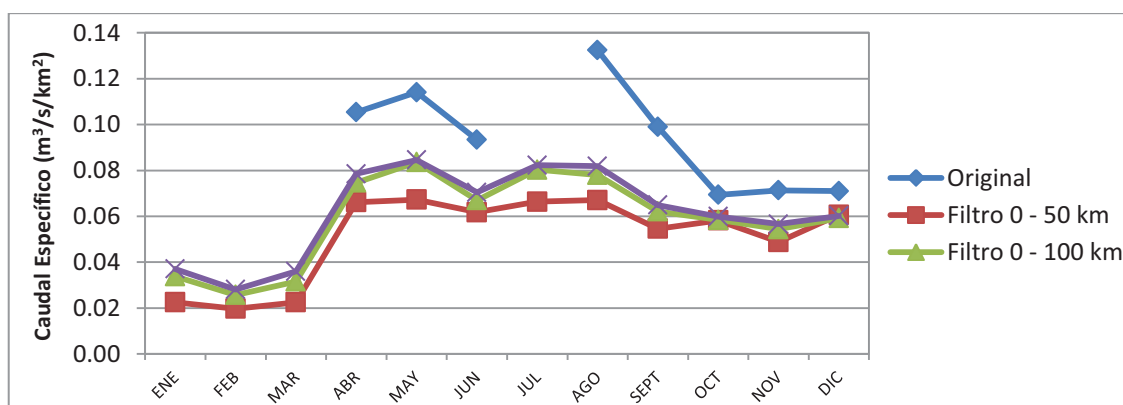
FIGURA 57 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN H720



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 58 se presenta los valores interpolados de caudal para el año 1982 comparados con los registros originales de la estación H721 (Jatunyacu DJ Iloculín). Como se puede observar el error promedio es alrededor del 62%.

FIGURA 58 VALORES MENSUALES INTERPOLADOS CON EL MÉTODO IDW PARA EL AÑO 1982 DE LA ESTACIÓN H721

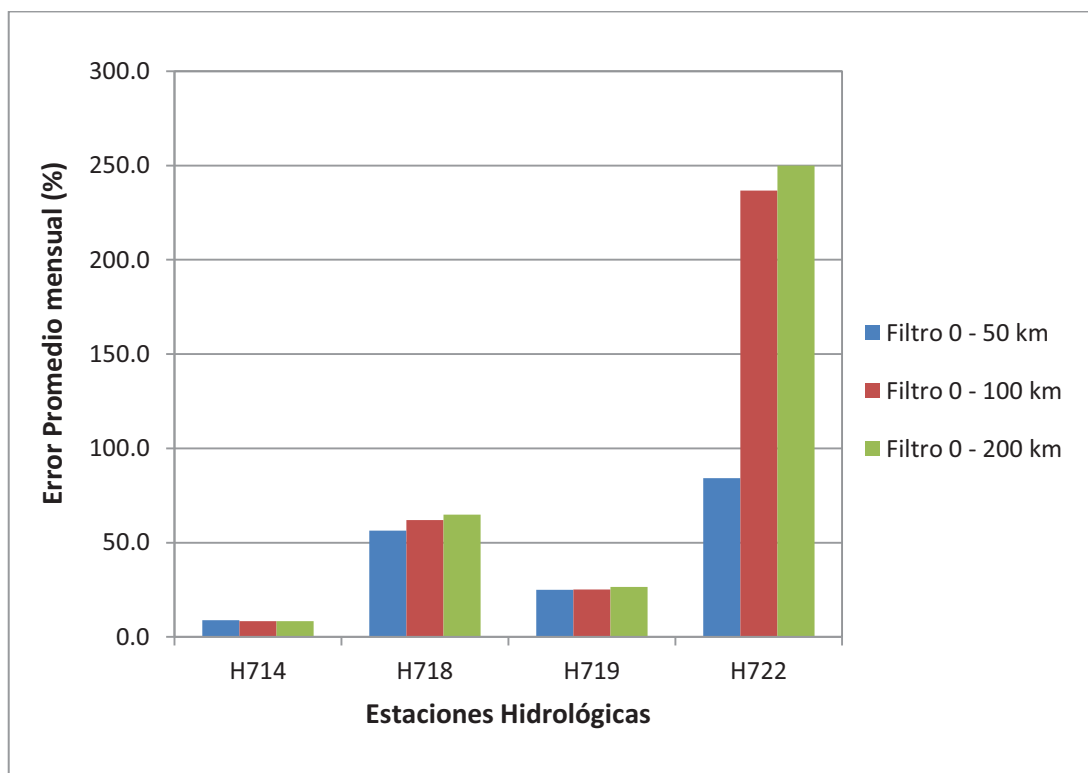


Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En la Figura 59 y 60 se presentan los errores promedios mensuales de las estaciones hidrológicas ubicadas en las laderas orientales y llanura interior respectivamente empleadas para la interpolación con el método IDW, como se puede observar el error promedio en la Figura 59 varía para cada estación, pero se mantiene la tendencia. En tanto que en la Figura 60 se observa que el error promedio alcanza un valor de 73%.

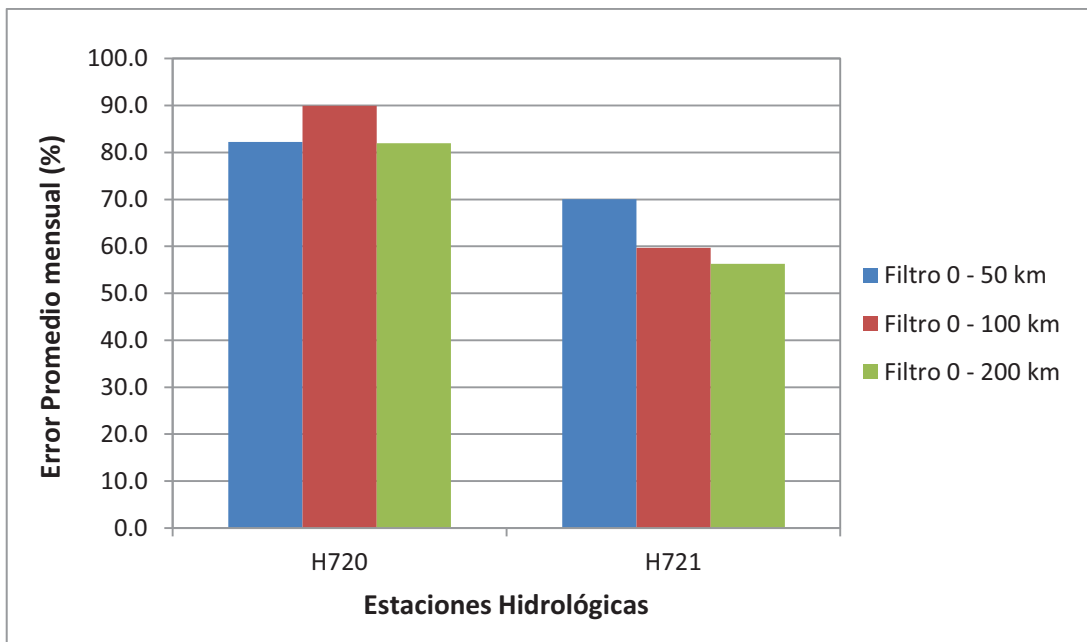
Estos resultados nos permiten concluir que existe una carencia notable de información hidrológica, principalmente en la zona de llanura interior y que los caudales en las laderas orientales son muy variables. En el Mapa 24 del Anexo 1 se presentan los resultados del método IDW en la Zona de Atención con las áreas que representan los diferentes grados de error obtenido mediante el sistema de información climática.

FIGURA 59 ERROR PROMEDIO MENSUAL DE LOS REGISTROS DE CAUDAL PARA EL AÑO 1982 DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN LAS LADERAS ORIENTALES.



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

FIGURA 60 ERROR PROMEDIO MENSUAL DE LOS REGISTROS DE CAUDAL PARA EL AÑO 1982 DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN LA LLANURA INTERIOR



Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

3.3 CRITERIOS DE LA RED METEOROLÓGICA DEL ECUADOR (RME)

La definición de las estaciones meteorológicas que conforman la RME en la Zona de Atención debe sustentarse en los siguientes criterios:

- La Red de Estaciones Meteorológicas de la República del Ecuador (La RME) es única y está compuesta por un conjunto de puestos de observación (estaciones), localizados en sitios determinados y con especificaciones técnicas estandarizadas de operación y que garanticen su funcionamiento permanente.
- Las estaciones de la RME son operadas y mantenidas principalmente por el INAMHI: podrán ser parte de ésta las estaciones operadas y mantenidas por otras instituciones del sector público o de carácter privado, que a

criterio del INAMHI la información que generan sea indispensable para complementar el conocimiento de la variabilidad espacial y temporal a nivel nacional. Para el efecto el INAMHI deberá formalizar la relación de manera que los estándares de calidad y representatividad de los datos sea uniforme para la RME a nivel nacional.

- El instrumental que dispongan las estaciones de la Red de Estaciones Meteorológicas debe ser cuidadosamente seleccionado y mantenido, procurando la calidad de las observaciones.
- Otras instituciones del sector público o privado podrán instalar y operar estaciones meteorológicas, para sus fines específicos, sin que estas sean parte de la Red de Estaciones Meteorológicas del Ecuador. Por tanto, no todas las estaciones que operan en el país forman parte de la RME.
- Las estaciones de la RME podrán ser de tipo sinóptico, agrometeorológico, climático, pluviométrico o pluviográfico, de acuerdo a los requerimientos del INAMHI.
- La densidad de las estaciones debe ser determinada en función de las variables a observar y del rango de error que se determine. Naturalmente la precipitación en la zona intertropical o ecuatorial, tiene gran importancia y también es extremadamente variable de un lugar a otro, por tanto su monitoreo demanda de una densidad de puestos de observación mayor en relación a variables como la temperatura, cuyo gradiente de variación en zonas de montaña tiene tendencias claras.
- Las observaciones de la RME deben ser realizadas con el soporte de instrumental estandarizado, debidamente homologado y mantenido. Se puede en estas estaciones complementar pero no remplazar la toma de información con sensores automáticos e incluso sistemas de transmisión, principalmente para fines sinópticos y previsiones de extremos meteorológicos.

- La definición respecto al tipo de estaciones en general guarda relación con la realidad físico – geográfica y sobre la variabilidad del tiempo y el clima del país, sin embargo se requiere hacer ajustes respecto a la densidad adecuada pero sobre todo en la política institucional para la definición y sostenimiento de la RME y sus observaciones rutinarias.
- La densidad de las estaciones pluviométricas o pluviográficas a ubicar en las Laderas Orientales, determinada por los autores es de 2 000 km²/estación y para la Llanura Interior Amazónica – 6 000 km²/estación. La OMM recomienda densidades de 2 000 y 10 000 km²/estación, correspondientemente.
- La densidad de las estaciones que registran variables meteorológicas como temperatura, humedad relativa y evaporación sería del orden de 17 500 km²/ estación, para toda la Zona de Atención. Pero considerando que la evaluación se realizó con datos mensuales, se adopta la densidad propuesta por la OMM (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2001), que corresponden a 10 000 km²/ estación, para toda la Zona de Atención, que corresponde principalmente al concepto de Llanura Interior.
- El diseño de la RME considera también la instalación de pluviógrafos o pluviómetros en las cuencas de drenaje con estaciones de la Red Hidrológica de Estaciones, para apoyo a las evaluaciones hidrológicas; en algunas cuencas de difícil acceso la colocación de pluviógrafos o simplemente tanques pluviométricos puede aportar con información muy importante para realizar evaluaciones de balance hídrico. Por tanto al interior de las cuencas de drenaje se proponen estaciones de tipo pluviográfico.
- Las estaciones de la RME garantizan que la cobertura de información meteorológica para la Zona de Atención sea representativa, es decir que cubran la mayor parte de su superficie, y que estén adecuadamente dispuestas.

- El diseño de la RM no está direccionado solo con el objetivo de cubrir con información toda la Zona de Atención, sino que además guarda relación con la demanda de información sectorial para proyectos hidroeléctricos, de agua potable, navegación del río Napo, entre otros.

3.4 CRITERIOS DE LA RED HIDROLÓGICA DEL ECUADOR (RHE)

- La red de estaciones hidrológicas del país es única y está conformada por un conjunto de estaciones localizadas en sitios específicos y bajo estándares de operación que garanticen su correcto funcionamiento. Están destinadas a la medición de caudales, niveles, sedimentos y otros parámetros físico – químicos de los cursos de agua.
- Estas estaciones son operadas y mantenidas principalmente por el INAMHI; se puede considerar estaciones operadas por otras instituciones, bajo convenio o acuerdo que garanticen los estándares de calidad en la operación.
- El instrumental que dispongan las estaciones de la RHE debe ser cuidadosamente seleccionado y mantenido, procurando la calidad de las observaciones.
- Se debe asociar el concepto de densidad de estaciones al tipo de cuenca (micro, meso y macro escala) ya que los parámetros que éstas miden son integrales de las cuencas.

Los criterios a mayor detalle que se tomaron en cuenta para la definición de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención, se indican a continuación:

1. Diferente densidad de estaciones para la Ladera Oriental como para la Llanura Interior.

2. Caudales Específicos de las cuencas de drenaje.
3. Escalonamiento de las estaciones hidrológicas con un desnivel de 500 m s.n.m., con el fin de cubrir la variabilidad de caudales en función de las características físico – geográficas.

El procedimiento para la definición de las estaciones fue el siguiente:

- Determinar el número de estaciones requeridas en la Zona de Atención en función de las densidades determinadas: para las Laderas Orientales – 5 000 km²/estación y para la Llanura Interior – 7 500 km²/estación. Con estas densidades se definió el número de estaciones de la RHE para la Zona de Atención.
- Mantener las estaciones hidrológicas actualmente en operación, puesto que están distribuidas en la Zona de Atención, y particularmente cubren las Laderas Orientales.
- Considerando que aún existe déficit de estaciones hidrológicas, se consideró la reconstrucción (reinstalación) de estaciones que disponen de registros de caudales.
- Para aquellas áreas en donde no existen estaciones, se propone la construcción de nuevas estaciones, para de esta manera disponer de un número adecuado de estaciones hidrológicas en la Zona de Atención.
- También se priorizó la reconstrucción e instalación de estaciones que pueden generar información hidrológica de apoyo a la demanda sectorial, pero siempre bajo el concepto que otras instituciones deberán, mantener, complementar o instalar estaciones para disponer de registros a mayor detalle en relación con los que se obtiene de la RHE.

3.5 CRITERIOS DE ESTACIONES OPERACIONALES

La definición de las estaciones operacionales en la Zona de Atención debe sustentarse en los siguientes criterios:

- Son estaciones adicionales a las del INAMHI (RME) y (RHE) y se construyen y operan para cumplir objetivos específicos, como son soportar estudios o diseños de proyectos de agua potable, de generación hidroeléctrica, para el monitoreo de la calidad del agua, el control de inundaciones, la navegabilidad, etc. Estos estudios o proyectos en general demandan información hidrometeorológica más detallada de la que generan las redes del INAMHI, en cualquier caso las estaciones operacionales deberán soportarse en las estaciones de las redes del INAMHI, que disponen por lo general de registros de mayor longitud en tiempo.
- La operación y mantenimiento de estas estaciones no es responsabilidad de INAMHI sin embargo ésta institución puede colaborar en el diseño, operación y mantenimiento de la estaciones operacionales, mediante convenios o acuerdos.
- En el presente estudio no se proponen estaciones para fines operacionales, sino que se indica cuales estaciones del INAMHI (de las existentes y propuestas) pueden ser utilizadas como estaciones de base para generar información muy valiosa para fines específicos. Tomando en cuenta la demanda de información sectorial.
- Aquellas estaciones de la RME y RHE pueden ser parte de las estaciones de alerta temprana para el caso de inundaciones. En consecuencia deberán instrumentarse con equipos automáticos de recolección, almacenamiento y transmisión.
- Las estaciones operacionales son susceptibles de ser levantadas al cumplir

su objetivo para un proyecto específico, incluso algunas de ellas deberían ser retiradas por razones de modificaciones en las condiciones físicas o hidráulicas de los cauces.

- A manera de ejemplo, se explica la relación entre las estaciones operacionales y las estaciones de las Red Meteorológica del Ecuador (RME) y de la Red Hidrológica del Ecuador (RHE) para el caso de los sistemas de aprovechamiento de agua en la zona de Papallacta de la EMAAP-Q.
 - Los sistemas de agua potable localizados en esta zona son: Papallacta Bombeo, Papallacta Ramal Norte, La Mica – Quito Sur y Ríos Orientales (en fase de estudio).
 - Las evaluaciones hidrológicas para estos proyectos se han realizado en función de los registros de las estaciones hidrométricas de la RHE del INAMHI: río Papallacta (HCJB), río Yanahurco D.J. Valle, Quijos en Baeza y río Quijos en Oyacachi. En tanto que las estaciones operacionales son aquellas que ha construido la EMAAP-Q y que opera de acuerdo a su capacidad institucional.
 - Las estaciones indicadas anteriormente también soportan los estudios para desarrollos hidroenergéticos en la zona (Proyecto Coca – Codo Sinclair, La Victoria, Baeza, etc.).

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE REDES BÁSICA Y MÍNIMA PARA LA ZONA DE ATENCIÓN Y DE LAS ESTACIONES OPERACIONALES

4.1 DEFINICIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

Como resultado de investigación del proyecto de titulación se propone las estaciones para la Zona de Atención que deberían formar parte de La Red Básica de Estaciones Meteorológicas (RME), de la República del Ecuador, para el efecto se aplicó los siguientes conceptos:

- Se tomó en cuenta las densidades indicadas en el acápite 3.4, para el establecimiento global del número de estaciones requeridas tanto climatológicas como pluviográficas o pluviométricas. La selección de estaciones pluviométricas o pluviográficas dependerá de la capacidad y confiabilidad del observador.
- Se priorizó las estaciones actualmente en operación y se analizó también las estaciones que disponen de información y que al momento no están operando, es decir que requieren reconstrucción.
- También se tomó en cuenta las estaciones pluviométricas o pluviográficas para acompañar a las estaciones hidrológicas de la RHE.
- Las estaciones propuestas permiten disponer de un nivel de información básico, que puede soportar los diseños y tareas de operación de sectores como la generación hidroeléctrica, agua potable, etc.

- En la definición de las estaciones nuevas se tomó en cuenta las áreas con déficit de cobertura.

El Cuadro 49 incluye las densidades de estaciones y el número de estaciones climatológicas requerido para la Zona de Atención. Y el Cuadro 50 presentan similar información pero sobre las estaciones registradoras de precipitación.

CUADRO 49 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PROPUESTAS PARA LA ZONA DE ATENCIÓN

| ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Zona | Autores km ² /estación | OMM km ² /estación | Adoptada km ² /estación | Zona Atención km ² | Estaciones Calculadas | <u>Estaciones Propuestas</u> |
| Laderas Orientales | 17 600 | 10 000 | 10 000 | 12 474 | 1 | 3 |
| Llanura Interior | | | 10 000 | 39 641 | 4 | 6 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

CUADRO 50 ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS PROPUESTAS PARA LA ZONA DE ATENCIÓN

| ESTACIONES PARA EL REGISTRO DE LLUVIAS (Pluviográficas) | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Zona | Autores km ² /estación | OMM km ² /estación | Adoptada km ² /estación | Zona Atención km ² | Estaciones Calculadas | Estaciones Adicionales | Soporte Hidrológico | <u>Estaciones propuestas</u> |
| Laderas Orientales | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 12 474 | 6 | 3 | 3 | 6 |
| Llanura Interior | 6 000 | 10 000 | 6 000 | 39 641 | 7 | 1 | 1 | 2 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Las estaciones de la RME, entendidas como básicas se detallan en el Cuadro 51 y se aprecian en el Mapa 15 del Anexo 1. El número total de estaciones meteorológicas para la Zona de Atención alcanza 17, distribuidas en 10 climatológicas y 7 pluviométricas o pluviográficas.

CUADRO 51 ESTACIONES DE LA RED BÁSICA DE LA RME

| LADERAS ORIENTALES | | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|------|--------------|---------------|-----------|-----------|--------------------------------|
| CÓDIGO | NOMBRE | TIPO | LATITUD | LONGITUD | ELEVACIÓN | PROVINCIA | OBSERVACIONES |
| M188 | Papallacta | CO | 0° 21' 54" S | 78° 8' 41" W | 3150 | Napo | |
| M203 | El reventador | PG | 0° 25' 18" S | 77° 58' 0" W | 1145 | Sucumbíos | |
| M490 | Sardinas | PG | 0° 22' 16" S | 77° 48' 6" W | 1615 | Napo | |
| M697 | Puerto libre (sp. cofanes) | PG | 0° 20' 0" N | 77° 30' 0" W | 680 | Sucumbíos | |
| MA54 | Sierrazul | CO | 2° 21' 0" S | 79° 38' 10" W | 12 | Napo | |
| M205 | San Rafael | CP | 0° 5' 13" N | 77° 34' 34" W | 1 353 | Sucumbíos | Reinstalar |
| M208 | Rio Salado | CP | 0° 12' 0" S | 77° 39' 0" W | 1 310 | Napo | Reinstalar (cambio a PG) |
| M711 | Mulatos AJ Verdeyacu | PG | 0° 55' 0" S | 78° 8' 0" W | 1 100 | Napo | Reinstalar |
| LLANURA INTERIOR | | | | | | | |
| M007 | Nuevo Rocafuerte | AP | 0° 55' 0" S | 75° 25' 0" W | 265 | Orellana | |
| M070 | Tena-hda. Chaupishungo | CO | 0° 59' 5" S | 77° 48' 50" W | 665 | Napo | |
| M293 | Palmorente-huashito | CP | 0° 19' 0" S | 77° 4' 6" W | 360 | Orellana | |
| M563 | Loreto | PG | 0° 41' 33" S | 77° 18' 42" W | 420 | Orellana | |
| MB77 | Lumbaquí | CP | 0° 2' 19" S | 77° 20' 2" W | 580 | Sucumbíos | |
| MB92 | Tarapoa | CP | 0° 39' 21" S | 80° 23' 43" W | 12 | Sucumbíos | |
| P55 | Diguchi | PG | 0° 34' 5" S | 78° 15' 53" W | - | Napo | Convenio EMAAP-Q (cambio a PG) |
| Nv1 | Pobl. Centro Aucayacu | CP | 0° 36' 54" S | 76° 39' 32" W | - | Orellana | Construir |
| Nv2 | Pobl. Mohuanoyacu | CP | 1° 15' 39" S | 76° 9' 15" W | - | Orellana | Construir |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Las estaciones que el INAMHI tiene en operación y que como resultado del análisis de representatividad son consideradas redundantes (5 estaciones pluviométricas) debido a que se encuentran dentro del área de influencia de las estaciones de la RME, se recomienda levantarlas (ver Cuadro 52).

En el Mapa 25 del Anexo 1 se presenta la propuesta de estaciones meteorológicas (RME) en la Zona de Atención.

CUADRO 52 ESTACIONES OPERATIVAS DEL INAMHI REDUNDANTES

| CÓDIGO | NOMBRE | TIPO | LATITUD | LONGITUD | ELEVACIÓN | PROVINCIA |
|--------|---------------------|------|--------------|---------------|-----------|-----------|
| M436 | Cuyuja | PV | 0° 25' 0" S | 78° 2' 58" W | 2380 | NAPO |
| M485 | Zatzayacu Arosemena | PV | 1° 11' 29" S | 77° 51' 25" W | 628 | NAPO |
| M698 | La bonita | PV | 0° 27' 0" N | 77° 28' 0" W | 1900 | SUCUMBÍOS |
| M710 | Chonta punta | PV | 0° 56' 0" S | 77° 21' 0" W | 500 | NAPO |
| MB07 | Huaticocha | PV | 0° 45' 40" S | 77° 29' 14" W | 640 | ORELLANA |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

El Cuadro 53 resume la propuesta de estaciones meteorológicas para la Zona de Atención, en donde se presenta además la relación entre las estaciones y los sectores demandantes de información en la Zona de Atención.

Entre las estaciones indicadas se debe seleccionar las **ESTACIONES DE REFERENCIA**, definidas como puestos de observación cuyas áreas de influencia no tienen cambios significativos en sus características físico – geográficas. Los Meteorólogos del INAMHI deberán en las visitas de campo seleccionar las Estaciones de Referencia de la RME.

CUADRO 53 RESUMEN DE LA PROPUESTA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA LA ZONA DE ATENCIÓN

| RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR EN LA ZONA DE ATENCIÓN | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|------|--------------|---------------|-----------|-----------|-----|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------|
| CÓDIGO | NOMBRE | TIPO | LATITUD | LONGITUD | ELEVACIÓN | PROVINCIA | RME | Sistemas Atmosféricos | Proyectos Hidroeléctricos | Cuencas Hidrográficas | Agua Potable | PROPUESTA |
| M188 | Papallacta | CO | 0° 21' 54" S | 78° 8' 41" W | 3150 | Napo | X | X | X | X | X | Operativa |
| M203 | El reventador | PV | 0° 25' 18" S | 77° 58' 0" W | 1145 | Sucumbios | X | | X | X | | Operativa |
| M490 | Sardinas | PV | 0° 22' 16" S | 77° 48' 6" W | 1615 | Napo | X | | | X | | Operativa |
| M697 | Puerto libre (sp. cofanes) | PV | 0° 20' 0" N | 77° 30' 0" W | 680 | Sucumbios | X | | X | X | | Operativa |
| MA54 | Sierrazul | CO | 2° 21' 0" S | 79° 38' 10" W | 12 | Napo | X | X | X | X | | Operativa |
| P55 | Diguchi | PG | 0° 34' 5" S | 78° 15' 53" W | - | Napo | X | | X | X | X | Convenio EMAAP-Q (cambio a PG) |
| M205 | San Rafael | CP | 0° 5' 13" N | 77° 34' 34" W | 1 353 | Sucumbios | X | X | X | X | | Reinstalar |
| M208 | Rio Salado | PG | 0° 12' 0" S | 77° 39' 0" W | 1 310 | Napo | X | | | X | | Reinstalar (cambio a PG) |
| M711 | Mulatos AJ Verdeyacu | PG | 0° 55' 0" S | 78° 8' 0" W | 1 100 | Napo | X | | X | X | | Reinstalar |
| M007 | Nuevo Rocafuerte | AP | 0° 55' 0" S | 75° 25' 0" W | 265 | Orellana | X | X | | X | | Operativa |
| MB92 | Tarapoa | CP | 0° 39' 21" S | 80° 23' 43" W | 12 | Sucumbios | X | X | | X | | Operativa |
| M293 | Palmeriente-huashito | CP | 0° 19' 0" S | 77° 4' 6" W | 360 | Orellana | X | X | | X | | Operativa |
| MB77 | Lumbaquí | CP | 0° 2' 19" S | 77° 20' 2" W | 560 | Sucumbios | X | X | | X | | Operativa |
| M070 | Tena-hda. Chaupishungo | CO | 0° 59' 5" S | 77° 48' 50" W | 665 | Napo | X | X | | X | | Operativa |
| M563 | Loreto | PV | 0° 41' 33" S | 77° 18' 42" W | 420 | Orellana | X | | | X | | Operativa |
| NV1 | Pobl. Centro Aucaiyacu | PG | 0° 36' 54" S | 76° 39' 32" W | - | Orellana | X | | | X | | Construir |
| NV2 | Pobl. Mohuanoyacu | CP | 1° 15' 39" S | 76° 9' 15" W | - | Orellana | X | X | | | | Construir |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

4.2 REPRESENTATIVIDAD DE LA RME EN LA ZONA DE ATENCIÓN

La representatividad espacial y temporal de las estaciones meteorológicas depende de la adecuada distribución de los puestos de observación en un territorio, de las variables meteorológicas consideradas y también de los objetivos que se pretende alcanzar. Las estaciones meteorológicas localizadas en la Zona de Atención son las siguientes:

4.2.1 ESTACIONES DEL INAMHI

Las estaciones meteorológicas operadas por INAMHI a enero de 2010, en las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana son 16 estaciones, que se distribuyen de la siguiente manera: 1 agrometeorológica, 3 climatológicas ordinarias, 3 climatológicas principales y 9 pluviométricas. En el Mapa 10 del Anexo 1 se presentan las estaciones meteorológicas operadas al momento por INAMHI.

4.2.2 ESTACIONES OPERADAS POR OTRAS INSTITUCIONES

Además de las estaciones operadas por INAMHI, existen estaciones meteorológicas operadas por otras instituciones públicas y privadas en la Zona de Atención que generan información climática para sus necesidades específicas. La Dirección de Aviación Civil (DAC) opera 3 estaciones aeronáuticas-sinópticas, mientras que la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable Quito (EMAAP-Q) 2 climatológicas y 9 pluviométricas (ver Mapa 10 del Anexo 1).

4.2.3 ESTACIONES CON DISPONIBILIDAD DE DATOS MENSUALES DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

En la Zona de Atención existen 31 estaciones operativas y no operativas que

disponen de más de 10 años de registros de precipitación mensual. Siete estaciones con datos de temperatura media mensual, siete con datos mensuales de humedad relativa, 4 con series mensuales de evaporación y seis con datos mensuales de temperatura máxima.

Estas estaciones fueron consideradas en los análisis estadísticos de correlación generados para la Zona de Atención. En el Mapa 11 del Anexo 1 se presentan las estaciones con disponibilidad de series mensuales de precipitación en la Zona de Atención.

4.2.4 ESTACIONES OPERACIONALES

Este tipo de estaciones son adicionales a aquellas de la red básica, y que se implementan con el propósito de disponer de información meteorológica a mayor detalle para satisfacer requerimientos de sectores específicos de desarrollo (agua potable, generación hidroeléctrica, navegación, etc.).

4.2.5 COBERTURA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

El análisis de la representatividad de las estaciones meteorológicas se realizó con las estaciones actualmente operadas por INAMHI a enero de 2010 y con las densidades obtenidas en el análisis de la cobertura de las estaciones meteorológicas. La densidad recomendada para las estaciones ubicadas, considerando la variable precipitación mensual media es: Laderas Orientales - 2 000 km²/estación, mientras que para las estaciones de la Llanura Interior se propone 6 000 km²/estación.

La cobertura de información en la Zona de Atención de las estaciones meteorológicas actualmente operadas por el INAMHI, para el caso de la precipitación es: 55.9 % (29 113 km²), mientras que el área sin cobertura 23 002 km² (44.1%), como se puede ver en el Cuadro 54.

CUADRO 54 ÁREAS DE COBERTURA DE INFORMACIÓN DE PLUVIÓMETROS Y PLUVIÓGRAFOS SEGÚN AUTORES

| Región | Zona | Superficie (km ²) | % |
|------------------------------|---------------|-------------------------------|-------------|
| Laderas Orientales 12 474 | Cubierta | 5 603 | 59.3 |
| | Sin cobertura | 6 871 | 40.7 |
| Llanura interior 39 641 | Cubierta | 23 510 | 44.9 |
| | Sin cobertura | 16 131 | 55.1 |
| Total con cobertura | | 29 113 | 55.9 |
| Total sin cobertura | | 23 002 | 44.1 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

En el Mapa 21 del Anexo 1 se presenta la cobertura de las estaciones meteorológicas en la Zona de Atención generadas en el presente estudio (acápites 4.3.5).

La cobertura de información final con la propuesta de estaciones de la RME es de 89.3 % (46 520 km²), mientras que el área sin cobertura 5 595 km² (10.7 %), como se puede ver en el Cuadro 55. El área sin cobertura corresponde principalmente a sectores ubicadas en la provincia de Sucumbíos en los límites con Colombia, de difícil operación y mantenimiento.

En el Mapa 26 del Anexo 1 se presentan las áreas de cobertura de acuerdo a la propuesta de estaciones de la RME para la Zona de Atención.

CUADRO 55 ÁREAS DE COBERTURA DE LAS ESTACIONES DE LA RME

| Región | Zona | Superficie (km ²) | % |
|------------------------------|---------------|-------------------------------|-------------|
| Laderas Orientales 12 474 | Cubierta | 11 499 | 92.2 |
| | Sin cobertura | 975 | 7.8 |
| Llanura interior 39 641 | Cubierta | 35 021 | 88.3 |
| | Sin cobertura | 4 620 | 11.7 |
| Total con cobertura | | 46 520 | 89.3 |
| Total sin cobertura | | 5 595 | 10.7 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

La RME sirve de apoyo para el diseño y la construcción de proyectos hidroenergéticos y también como sustento de información de los sistemas atmosféricos que actúan sobre la Zona de Atención (ver Mapa 17 y 18 respectivamente del anexo 1).

4.3 DEFINICIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA ZONA DE ATENCIÓN

Como resultado del presente estudio se generó la propuesta de estaciones de la RHE para la Zona de Atención, las cuales se deben considerar como estaciones básicas del INAMHI.

Del análisis de representatividad de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención se concluyó que la densidad apropiada es: Laderas Orientales – 5 000 km²/estación, y para la Llanura Interior amazónica – 7 500 km²/estación. Por tanto se requiere disponer de 3 estaciones en las Laderas Orientales y en la Llanura Interior – 5 estaciones.

De acuerdo a los criterios establecidos de densidad, las estaciones hidrológicas ahora en operación (4 en las Laderas Orientales y 5 en la Llanura Interior) cubren las necesidades de información hidrológica para la RHE. No obstante, el escalonamiento de estaciones impone la necesidad de reinstalar 4 y construir 5 nuevas estaciones, que deberán implementarse en los cursos principales de los ríos Aguarico y Napo.

Incluyendo las estaciones requeridas para cumplir con el escalonamiento, la densidad de estaciones global para la Zona de Atención es de 2 900 km²/estación, valor que se acerca a la recomendación de la OMM (2 000 km²/estación para la Llanura Interior).

En el Cuadro 56 se muestran las estaciones que se proponen a ser operadas tanto para las Laderas Orientales como para la Llanura Interior y en la Mapa 27 del Anexo 1 se muestran dichas estaciones.

CUADRO 56 ESTACIONES DE LA RED BÁSICA DE LA RHE

| ESTACIONES DE LA RHE UBICADAS EN LAS LADERAS ORIENTALES | | | | | | | | | |
|---|--------|------------------------------------|------|------------|---|-------------|---|-----------|---------------|
| RÍO | CÓDIGO | ESTACIÓN | TIPO | LATITUD | | LONGITUD | | ELEVACIÓN | OBSERVACIONES |
| Papallacta | H718 | QUIJOS EN BAEZA | LM | 0° 27' 16" | S | 77° 53' 11" | W | 1770 | Operativa |
| Papallacta | H719 | QUIJOS DJ OYACACHI | LG | 0° 18' 10" | S | 77° 46' 30" | W | 1490 | Operativa |
| Quijos | H714 | COCA EN SAN RAFAEL | LM | 0° 6' 5" | S | 77° 34' 32" | W | 1160 | Operativa |
| Valle | H722 | YANAHURCO DJ VALLE | LG | 0° 43' 36" | S | 78° 18' 18" | W | 3590 | Operativa |
| Zambuyacu | H759 | VERDEYACU AJ MULATOS | LG | 1° 2' 0" | S | 78° 1' 0" | W | 1200 | Reinstalar |
| ESTACIONES DE LA RHE UBICADAS EN LA LLANURA INTERIOR | | | | | | | | | |
| Dué | H682 | DUE AJ AGUARICO | LG | 0° 1' 40" | N | 77° 23' 15" | W | 550 | Reinstalar |
| Aguarico | H683 | LUMBAQUI EN LUMBAQUI (DJ AGUARICO) | LM | 0° 3' 3" | N | 77° 18' 24" | W | 440 | Reinstalar |
| Aguarico | HB23 | AGUARICO EN NUEVA LOJA | LM | 0° 2' 38" | N | 76° 48' 30" | W | 299 | Operativa |
| Aguarico | Hv1 | Comina Pucapeña | LG | 0° 17' 42" | S | 76° 8' 25" | W | 240 | Construir |
| Aguarico | Hv2 | Zancudo | LG | 0° 33' 29" | S | 75° 28' 37" | W | 195 | Construir |
| Coca | HB24 | COCA EN SAN SEBASTIÁN | AWS | 0° 20' 23" | S | 77° 0' 19" | W | 320 | Operativa |
| Jatunyacu | H721 | JATUNYACU DJ ILOCULÍN | LG | 1° 5' 14" | S | 77° 55' 8" | W | 570 | Operativa |
| Misahuallí | H720 | MISAHUALLÍ EN COTUNDO | LG | 0° 50' 28" | S | 77° 47' 49" | W | 800 | Operativa |
| Napo | HB25 | NAPO EN FRANCISCO DE ORELLANA | AWS | 0° 28' 24" | S | 76° 58' 57" | W | 300 | Operativa |
| Napo | Hv3 | Zamora | LG | 0° 34' 32" | S | 75° 58' 31" | W | 190 | Construir |
| Típutini | Hv4 | Urbina | LG | 0° 48' 25" | S | 75° 40' 23" | W | 200 | Construir |
| Yasuni | Hv5 | Puerto Ventura | LG | 0° 58' 27" | S | 75° 25' 33" | W | 200 | Construir |
| Napo | HA20 | NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE | LG | 0° 54' 20" | S | 75° 25' 40" | W | 200 | Reinstalar |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Considerando que las estaciones propuestas además de pertenecer a la red de estaciones hidrológicas del Ecuador cumplen otros objetivos, en el Cuadro 57 se indica un resumen de las estaciones y los objetivos que pueden cumplir, mientras que en los Mapas 19 (Control de Inundaciones) y 20 (Control de Calidad del Agua) del Anexo 1 se puede observar dichas estaciones.

Entre las estaciones indicadas se debe seleccionar las **ESTACIONES DE REFERENCIA**, definidas como puestos de observación cuyas áreas de influencia no tienen cambios significativos en sus condiciones físico – geográficas. Los Hidrólogos del INAMHI deberán en las visitas de campo seleccionar las Estaciones de Referencia de la RHE.

CUADRO 57 RESUMEN DE LA PROPUESTA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS PARA LA ZONA DE ATENCIÓN

| RIO | CÓDIGO | NOMBRE DE LA ESTACIÓN | TIPO | UBICACIÓN | | | RHE | TIPO DE MONITOREO | | | | PROPUESTA | |
|------------|--------|------------------------------------|------|------------|----------|-------------|-----|-------------------|--------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|
| | | | | Latitud | Longitud | Elevación | | Provincia | Calidad Agua | Inundación. | Navegación. | | Proyectos Hidroeléctricos |
| Quijpos | H714 | COCA EN SAN RAFAEL | LM | 0° 6' 5" | S | 77° 34' 32" | W | 1160 | Napo | x | | | Operativa |
| Papallacta | H718 | QUIJOS EN BAEZA | LM | 0° 27' 16" | S | 77° 53' 11" | W | 1770 | Napo | x | | x | Operativa |
| Papallacta | H719 | QUIJOS DJ OYACACHI | LG | 0° 18' 10" | S | 77° 46' 30" | W | 1490 | Napo | x | | x | Operativa |
| Misahuallí | H720 | MISAHUALLÍ EN COTUNDO | LG | 0° 50' 28" | S | 77° 47' 49" | W | 800 | Napo | x | | x | Operativa |
| Jatunyacu | H721 | JATUNYACU DJ ILOCULÍN | LG | 1° 5' 14" | S | 77° 55' 8" | W | 570 | Napo | x | | x | Operativa |
| Valle | H722 | YANAHURCO DJ VALLE | LG | 0° 43' 36" | S | 78° 18' 18" | W | 3590 | Napo | x | | | Operativa |
| Aguarico | HB23 | AGUARICO EN NUEVA LOJA | LM | 0° 2' 38" | N | 76° 48' 30" | W | 299 | Sucumbios | x | x | | Operativa |
| Coca | HB24 | COCA EN SAN SEBASTIAN | AWS | 0° 20' 23" | S | 77° 0' 19" | W | 320 | Orellana | x | x | | Operativa |
| Napo | HB25 | NAPO EN FRANCISCO DE ORELLANA | AWS | 0° 28' 24" | S | 76° 58' 57" | W | 300 | Orellana | x | x | | Operativa |
| Dué | H682 | DUE AJ AGUARICO | LG | 0° 1' 40" | N | 77° 23' 15" | W | 550 | Sucumbios | x | | x | Reinstalar |
| Aguarico | H683 | LUMBAQUI EN LUMBAQUI (DJ AGUARICO) | LM | 0° 3' 3" | N | 77° 18' 24" | W | 440 | Sucumbios | x | | | Reinstalar |
| Zambuyacu | H759 | VERDEYACU AJ MULLATOS | LG | 1° 2' 0" | S | 78° 1' 0" | W | 1200 | Napo | x | | | Reinstalar |
| Napo | HA20 | NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE | LG | 0° 54' 20" | S | 75° 25' 40" | W | 200 | Orellana | x | x | | Reinstalar |
| Aguarico | Hv1 | Comina Pucapeña | LG | 0° 17' 42" | S | 76° 8' 25" | W | 240 | Sucumbios | x | | | Construir |
| Aguarico | Hv2 | Zancudo | LG | 0° 33' 29" | S | 75° 28' 37" | W | 195 | Orellana | x | | | Construir |
| Napo | Hv3 | Zamora | LG | 0° 34' 32" | S | 75° 58' 31" | W | 190 | Orellana | x | x | | Construir |
| Tiputini | Hv4 | Urbina | LG | 0° 48' 25" | S | 75° 40' 23" | W | 200 | Orellana | x | x | | Construir |
| Yasuni | Hv5 | Puerto Ventura | LG | 0° 58' 27" | S | 75° 25' 33" | W | 200 | Orellana | x | x | | Construir |
| Cuyabeno | Hv6 | Cuyabeno | LG | 0° 15' 46" | S | 75° 53' 27" | W | 190 | Sucumbios | | x | | Construir |
| Napo | INO1 | ITAYA | LM | 0° 25' 06" | S | 76° 32' 14" | W | 224 | Orellana | | | x | Convenio INOCAR |
| Napo | INO2 | PANACCOCHA | LM | 0° 27' 07" | S | 76° 04' 04" | W | 201 | Orellana | | | x | Convenio INOCAR |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

4.4 REPRESENTATIVIDAD DE LA RHE EN LA ZONA DE ATENCIÓN

La representatividad espacial y temporal de la red de estaciones hidrológicas depende de la adecuada distribución de las estaciones en el territorio, considerando cada una de las variables que se está monitoreando y los objetivos que se pretende alcanzar. Las estaciones hidrológicas localizadas en la Zona de Atención son las siguientes:

4.4.1 ESTACIONES DEL INAMHI

Las estaciones hidrológicas que se encuentran en operación a enero de 2010 en las provincias de Napo, Sucumbíos y Orellana son 9, de las cuales 4 son limnigráficas, 3 limnimétricas y 2 son automáticas (de registro continuo que son equiparables a las limnigráficas). En el Mapa 10 del Anexo 1 se presentan las estaciones hidrológicas operadas por el INAMHI a enero de 2010, en la Zona de Atención.

4.4.2 ESTACIONES OPERADAS POR OTRAS INSTITUCIONES

Además de las estaciones que opera el INAMHI, se tiene estaciones hidrológicas pertenecientes a otras instituciones, que cumplen objetivos específicos. Una de las instituciones que mantiene estaciones hidrológicas en la Zona de Atención es la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAAP – Q) con 11 estaciones (ver Mapa 10 del Anexo 1). INOCAR opera 5 estaciones hidrológicas en el río Napo, de apoyo a la navegación, que se localizan en Coca, Itaya, Panacocha, Bloque 15 y Nuevo Rocafuerte.

4.4.3 ESTACIONES CON REGISTROS DE SERIES MENSUALES DE CAUDALES

Existen 16 estaciones hidrológicas que poseen registros de caudales, de las cuales 5 disponen más de 30 años de registros y el resto no alcanzan los 10 años de datos. En el Mapa 11 del Anexo 1 se presentan las estaciones con registro de series de caudales en la Zona de Atención.

4.4.4 ESTACIONES OPERACIONALES

Del análisis de la demanda de información de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención en cuanto a generación hidroeléctrica, agua potable (Proyecto Ríos Orientales) de la EMAAP-Q, bloques petroleros, navegabilidad del río Napo y zonas inundables, se desprende la necesidad de aumentar el número de estaciones que serán de tipo operacional y tienen como objetivo generar información para fines específicos. No obstante, la propuesta de estaciones de la Red Hidrológica del Ecuador (RHE) toma en cuenta también estos requerimientos sectoriales.

4.4.5 COBERTURA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS

La cobertura de estaciones hidrológicas se presenta en el Cuadro 58, para el efecto se ha tomado en cuenta las densidades generadas en el presente Estudio (capítulo. 3) sobre la base de una densidad de 5 000 km²/estación para las Laderas Orientales y 7 500 km²/estación para la Llanura Interior.

CUADRO 58 ÁREAS DE COBERTURA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS SEGÚN AUTORES

| Zona de Atención | Superficie Total | Zona Con Cobertura | | Zona Sin Cobertura | |
|---------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| | (km ²) | Superficie (km ²) | Porcentaje (%) | Superficie (km ²) | Porcentaje (%) |
| Laderas Orientales | 12 474 | 9 131 | 73.20 | 3 343 | 26.80 |
| Pie de Monte y Llanura Interior | 39 641 | 16 258 | 41.01 | 23 383 | 58.99 |
| Total | 52 115 | 25 389 | 48.72 | 26 726 | 51.28 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Del cuadro anterior se destaca que la mayor cobertura de estaciones corresponde a las Laderas Orientales ya que más del 70% de la superficie posee información, mientras que en la Llanura Interior el grado de cobertura es menor con apenas el 41%. En resumen, el 48% del territorio total de la Zona de Atención dispone de información representativa de caudales (ver Mapa 22 del Anexo 1).

En el Mapa 28 del Anexo 1 se muestran las cuencas hidrológicas que se encuentran representadas por las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención, de donde se concluye que con las estaciones que actualmente están en operación se dispone de información para las cuencas altas y medias de los principales ríos de la Zona de Atención, mientras que para las cuencas bajas se observa la falta de estaciones de monitoreo hidrológico.

Con la implementación de estas estaciones hidrológicas se llegaría a cubrir el 81.2 % (42 308 km²), mientras que el área sin cobertura 9 807 km² (18.8 %), como se puede ver en el Cuadro 59. En el Mapa 29 del Anexo 1 se presentan las áreas de cobertura de la propuesta de estaciones de la RHE para la Zona de Atención.

CUADRO 59 ÁREAS DE COBERTURA DE LAS ESTACIONES DE LA RHE

| Zona de Atención | Superficie Total | Zona Con Cobertura | | Zona Sin Cobertura | |
|---------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| | (km ²) | Superficie (km ²) | Porcentaje (%) | Superficie (km ²) | Porcentaje (%) |
| Laderas Orientales | 12 474 | 9 952 | 79.8 | 2 522 | 20.22 |
| Pie de Monte y Llanura Interior | 39 641 | 32 356 | 81.6 | 7 285 | 18.38 |
| Total | 52 115 | 42 308 | 81.2 | 9 807 | 18.82 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

CAPITULO 5

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS BÁSICA Y MÍNIMA Y DE LAS ESTACIONES OPERACIONALES EN LAS PROVINCIAS DE SUCUMBÍOS, ORELLANA Y NAPO.

El Plan de Implementación de las estaciones de la RME y RHE, que se propone deberá concretarse en dos fases o etapas, como se indica a continuación.

Primera Fase: mantenimiento de las estaciones actualmente en operación y reconstrucción de ciertas estaciones que operaban en la Zona de Atención. Ver Cuadro 60 y Cuadro 62, para las estaciones meteorológicas e hidrológicas, respectivamente.

Segunda Fase: Construcción, operación y mantenimiento de las nuevas estaciones. Ver Cuadro 61 y Cuadro 63 para las estaciones de la RME y RHE, respectivamente.

5.1 IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Primera Fase

CUADRO 60 ESTACIONES METEOROLÓGICAS A IMPLEMENTARSE EN LA PRIMERA FASE

| CÓDIGO | NOMBRE | TIPO | LATITUD | LONGITUD | ELEVACIÓN | PROVINCIA | OBSERVACIONES |
|--------|----------------------|------|-------------|---------------|-----------|-----------|--------------------------------|
| M205 | San Rafael | CP | 0° 5' 13" N | 77° 34' 34" W | 1 353 | Sucumbíos | Reinstalar |
| M208 | Rio Salado | CP | 0° 12' 0" S | 77° 39' 0" W | 1 310 | Napo | Reinstalar (cambio a PG) |
| M711 | Mulatos AJ Verdeyacu | PG | 0° 55' 0" S | 78° 8' 0" W | 1 100 | Napo | Reinstalar |
| P55 | Diguchi | PG | 0° 34' 5" S | 78° 15' 53" W | - | Napo | Convenio EMAAP-Q (cambio a PG) |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Segunda Fase

CUADRO 61 ESTACIONES METEOROLÓGICAS A IMPLEMENTARSE EN LA SEGUNDA FASE

| CÓDIGO | NOMBRE | TIPO | LATITUD | LONGITUD | ELEVACIÓN | PROVINCIA | OBSERVACIONES |
|--------|-----------------------|------|--------------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| Nv1 | Pobl. Centro Aucayacu | CP | 0° 36' 54" S | 76° 39' 32" W | - | Orellana | Construir |
| Nv2 | Pobl. Mohuanoyacu | CP | 1° 15' 39" S | 76° 9' 15" W | - | Orellana | Construir |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

5.2 IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS

Primera Fase

CUADRO 62 ESTACIONES HIDROLÓGICAS A IMPLEMENTARSE EN LA PRIMERA FASE

| RIO | CÓDIGO | NOMBRE DE LA ESTACIÓN | TIPO | PROVINCIA | LONGITUD | LATITUD | COTA |
|-----------|--------|------------------------------------|------|-----------|---------------|--------------|------|
| Dué | H682 | DUE AJ AGUARICO | LG | Sucumbíos | 77° 23' 15" W | 0° 1' 40" N | 550 |
| Aguarico | H683 | LUMBAQUI EN LUMBAQUI (AJ AGUARICO) | LM | Sucumbíos | 77° 18' 24" W | 0° 3' 3" N | 440 |
| Zambuyacu | H759 | VERDEYACU AJ MULATOS | LG | Napo | 78° 1' 0" W | 1° 2' 0" S | 1200 |
| Napo | HA20 | NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE | LG | Orellana | 75° 25' 40" W | 0° 54' 20" S | 200 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

Segunda Fase

CUADRO 63 ESTACIONES HIDROLÓGICAS A IMPLEMENTARSE EN LA SEGUNDA FASE

| RIO | CÓDIGO | NOMBRE DE LA ESTACIÓN | TIPO | PROVINCIA | LONGITUD | LATITUD | COTA |
|----------|--------|-----------------------|------|-----------|---------------|--------------|------|
| Aguarico | Hv1 | Comina Pucapeña | LG | Sucumbíos | 76° 8' 25" W | 0° 17' 42" S | 240 |
| Aguarico | Hv2 | Zancudo | LG | Orellana | 75° 28' 37" W | 0° 33' 29" S | 195 |
| Napo | Hv3 | Zamora | LG | Orellana | 75° 58' 31" W | 0° 34' 32" S | 190 |
| Tiputini | Hv4 | Urbina | LG | Orellana | 75° 40' 23" W | 0° 48' 25" S | 200 |
| Yasuní | Hv5 | Puerto Ventura | LG | Orellana | 75° 25' 33" W | 0° 58' 27" S | 200 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

5.3 PRESUPUESTO

El presupuesto global del Plan de Implementación alcanza los siguientes rubros:

Fase 1 - Inversión: **US\$ 73 200,00 (año 1);**

Fase 2 – Inversión: **US\$ 187 000,00 (año 2).**

Por tanto el costo total de inversión asciende a US\$ 260 000,00

Costo anual de operación y mantenimiento, considerando que todas las estaciones de la Fase 1 y de la Fase 2 están operando, asciende a US\$ 105 800,00.

Los costos parciales se incluyen en el Cuadro 64 y en el Cuadro 65 para la Primera Fase y para la Segunda Fase, respectivamente.

CUADRO 64 PRESUPUESTO DE LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS DE LA PRIMERA FASE

| ESTACIONES | Propuesta | Cantidad | Costo Parcial* | | | Costo Unitario | Total |
|----------------|---|----------|----------------|--------------|--------------|----------------------|----------|
| | | | Obra Civil | Adecuaciones | Instrumental | | |
| Meteorológicas | Convenio | 1 | 0.0 | 200.0 | 0.0 | 200.0 | 200.0 |
| | Reinstalar | 3 | 5,000.0 | 1,000.0 | 3,000.0 | 9,000.0 | 27,000.0 |
| | Costos de Operación y Mantenimiento anual | | | | | 6,600.0 | 26,400.0 |
| | <i>Subtotal</i> | | | | | <i>53,600.0</i> | |
| Hidrológicas | Reinstalar | 4 | 7,500.0 | 1,000.0 | 3,000.0 | 11,500.0 | 46,000.0 |
| | Costos de Operación y Mantenimiento anual | | | | | 5,000.0 | 20,000.0 |
| | <i>Subtotal</i> | | | | | <i>66,000.0</i> | |
| TOTAL | | | | | | \$ 119,600.00 | |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

*Rubros referenciales estimados por INAMHI

**CUADRO 65 PRESUPUESTO DE LAS ESTACIONES
HIDROMETEOROLÓGICAS DE LA SEGUNDA FASE**

| ESTACIONES | Propuesta | Cantidad | Costo Parcial* | | | Costo Unitario | Total |
|----------------|---|----------|----------------|--------------|--------------|----------------|----------------------|
| | | | Obra Civil | Adecuaciones | Instrumental | | |
| Meteorológicas | Construir | 4 | 10,000.0 | 2,000.0 | 6,000.0 | 18,000.0 | 72,000.0 |
| | Costos de Operación y Mantenimiento anual | | | | | 6,600.0 | 26,400.0 |
| | <i>Subtotal</i> | | | | | | 98,400.0 |
| Hidrológicas | Construir | 5 | 15,000.0 | 2,000.0 | 6,000.0 | 23,000.0 | 115,000.0 |
| | Costos de Operación y Mantenimiento anual | | | | | 6,600.0 | 33,000.0 |
| | <i>Subtotal</i> | | | | | | 148,000.0 |
| TOTAL | | | | | | | \$ 246,400.00 |

Fuente: (Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés., 2010)

*Rubros referenciales estimados por INAMHI

Los costos de operación y mantenimiento incluyen los valores de un observador calificado a tiempo completo para las estaciones Climatológicas.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para el análisis de la representatividad de las estaciones hidrometeorológicas tanto a nivel nacional como en la Zona de Atención se describen brevemente las condiciones físico – geográficas, meteorológicas e hidrológicas. Su conocimiento es fundamental para analizar la representatividad espacio – temporal de las estaciones. Para el efecto se caracterizó:
 - a) Las regiones naturales del Ecuador: Costa, Sierra, Oriente e Insular.
 - b) La variación altitudinal del Ecuador continental con los siguientes rangos:
 - i) hasta 1 000 m, ii) desde 1 000 m a 2 000 m, iii) de 2 000 m a 3 000 m, iv) mayor a 3 000 m de altitud.
 - c) Las Zonas de Planificación de SENPLADES.
 - d) La división en 31 sistemas hidrográficos, agrupados en 24 en el presente estudio.
 - e) Las Zonas Hidrológicas Homogéneas de PRONAREG (MAG - ORSTOM, 1982)

- El clima del Ecuador está influenciado por su ubicación en la zona ecuatorial o intertropical, y está condicionado por las corrientes frías del Humboldt y cálida del niño, y por la cordillera de los Andes. Los sistemas atmosféricos inciden en el tiempo y clima del país y la propuesta de red de estaciones hidrometeorológicas sirven de apoyo en la generación de información climática e hidrológica.

- Las evaluaciones (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1989) determinaron que la descarga media total de todos los ríos del Ecuador asciende como caudal medio a 13 699 m³/s y en término de caudal 90 % de excedencia, a 4 655

m³/s. Las áreas con mayores rendimientos específicos medios anuales corresponden a los páramos y zonas de altura por sobre los 3 000 m y también las laderas exteriores de la cordillera de los Andes, con valores que exceden los 50 l/s/km². En ciertas áreas de la región litoral los caudales específicos son mínimos, menores a 10 l/s/km².

- La Zona de Atención, provincias de Sucumbíos Napo y Orellana tiene una superficie conjunta de 52 115 km², que representa el 20.3 % del territorio nacional. Por la variación altitudinal del terreno, esta zona ocupa tanto la región Montañosa – Laderas Orientales (con cotas mayores a 1 000 m s.n.m.) con una superficie de 12 473 km² y la región Oriental, en donde las altitudes son menores a 1 000 m s.n.m. y representa una área de 39 641 km², respectivamente.
- Las estaciones meteorológicas que opera el INAMHI son: agrometeorológicas, climatológicas principales, climatológicas ordinarias, pluviométricas y pluviográficas. INAMHI además opera estaciones de tipo sinóptico.
- La red de monitoreo meteorológico del INAMHI a nivel nacional consiste de 260 estaciones, mientras que la Zona de Atención (provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana) cuenta con 16 estaciones meteorológicas. Existen además estaciones operadas por otras instituciones públicas y privadas, que generan información climática para sus necesidades específicas.
- La evaluación general de la cobertura de las estaciones meteorológicas a nivel nacional se la realizó, tomando en cuenta que se disponen solamente de series de precipitación, considerando los siguientes grupos de estaciones:
 - a) Estaciones agrometeorológicas, 13 en total.
 - b) Estaciones climatológicas (que incluyen a las agrometeorológicas) y que suman 121.
 - c) Estaciones pluviométricas y pluviográficas que al momento son 139; tomando en cuenta todas las estaciones meteorológicas, puesto que

disponen de instrumentos de medición de la precipitación, se tiene en total 260 puestos.

- El mayor número de estaciones meteorológicas se encuentra instalado en la región Sierra (61.5 %), que representa el 39.2 % del territorio nacional. La región Costa que soporta anualmente inundaciones apenas tiene 77 estaciones meteorológicas en operación (29.6%). La región Oriente tiene un déficit de estaciones, con apenas 18 actualmente en operación que corresponden al 6.9 % del total de estaciones y se asientan sobre el 30 % del territorio nacional.
- La distribución de las estaciones es escasa por sobre los 3 000 m de altitud (34 estaciones). La mayor parte de estaciones (99) se localizan por debajo de los 1 000 m de altitud (en el 62.7 % de la superficie nacional) y en la franja entre los 2 000 y 3 000 m se tienen 87 estaciones, asentadas en el 11.2 % del territorio ecuatoriano.
- La distribución de las estaciones en las Zonas de Planificación fluctúa entre 701 km²/estación para la región (Manabí, Sto. Domingo de los Tsáchilas), con 32 estaciones meteorológicas, y 1 634 km²/estación, que corresponden a las islas Galápagos; con apenas 5 estaciones.
- Como resultado del análisis del grado de cobertura de las estaciones meteorológicas según criterios del INAMHI y OMM, se tiene:
 - a) La cobertura de información de lluvias en el país es de 32.3 % (según OMM), de la cual el 9.7 % de la superficie tiene excesiva cobertura. El 67.6 del área no dispone de datos, especialmente en la región Oriente.
 - b) Los datos de precipitación cubren el 74.4 % del territorio nacional (según INAMHI), teniendo redundancia en el 57.8 % de toda la superficie. No se dispone de datos en el 25.6 % del Ecuador.
- La Zona de Atención requiere de información hidrometeorológica

principalmente para los siguientes propósitos:

- a) Soportar y operar los sistemas de agua potable de la EMAAP-Q, cuyas fuentes hídricas orientales se encuentran a unos 70 km al sudeste de Quito, sobre los páramos de la vertiente oriental de la Cordillera Central en el límite provincial entre Pichincha y Napo.
 - b) Soportar los diseños que el CONELEC tiene en carpeta de proyectos de baja, mediana y alta capacidad energética para aprovechar el potencial hidroeléctrico de las laderas orientales de las provincias del Napo y Sucumbíos; la potencia a instalar es del orden de 2 191 MW.
 - c) El control y previsión de inundaciones resultantes de lluvias intensas en las laderas orientales que afectan a poblaciones como Pano, Coca, Tena y Misahuallí.
 - d) Soportar el Plan Binacional de Navegabilidad del Río Napo, que en el segmento ecuatoriano tiene una longitud de 240 km.
 - e) El monitoreo de la calidad del agua en las inmediaciones de los bloques petroleros que se encuentran en las provincias de Orellana y Sucumbíos.
- El análisis de correlación entre las series mensuales de precipitación se realizó con todas las estaciones meteorológicas que disponen de series de 10 años ubicadas al interior de la Zona de Atención. En la práctica hidrometeorológica un coeficiente de correlación entre estaciones ($r > 0.7$) puede ser suficiente para rellenar datos faltantes o para extrapolar datos de una localidad a otra.
- El análisis se efectuó por separado con las estaciones que se encuentran ubicadas en la Zona Montañosa (Laderas Orientales), 15 en total y para la Llanura Interior (área por debajo de la cota 1 000 m s.n.m.), con 17 estaciones, obteniéndose los siguientes resultados:
- a) Las laderas orientales demandan una mayor densidad de estaciones para el registro de precipitaciones, debido a la orografía del terreno.
 - b) Se recomienda una densidad de 2 000 km²/estación con un radio de influencia de 25 km en las Laderas Orientales.

- c) Para la Llanura Interior se propone una densidad de 6 000 km²/estación con un radio de influencia de 45 km.
- También se evaluó los coeficientes de correlación entre estaciones con series de temperatura, humedad relativa y evaporación en la Zona de Atención. Para el efecto se trabajó con series mensuales de temperatura media (7 estaciones), humedad relativa (7 estaciones) y evaporación (4 estaciones). Por la limitada disponibilidad de datos se realizó un análisis global obteniéndose los siguientes resultados:
- a) Se requiere un número menor de estaciones (densidad mayor) que en el caso de la precipitación debido al alto grado de dependencia que existe entre estas variables.
- b) Para un coeficiente de correlación ($r \geq 0.7$) la densidad necesaria es 17 671 km²/estación, que corresponde a un radio de acción de aproximadamente 75 km.
- c) Por tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos, para cubrir la Zona de Atención se requerirá de apenas 3 estaciones meteorológicas para conocer el comportamiento de variables como la temperatura, evaporación y humedad relativa.
- Para evaluar los resultados obtenidos de densidad de estaciones se analizó las gradientes de las variables climáticas como la precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, en dirección oeste – este. Se concluye que existe una marcada diferencia en el comportamiento de estas características del clima en las Laderas Orientales y en la Llanura Interior.
- El análisis de la representatividad de las estaciones meteorológicas se realizó con las estaciones actualmente operadas por INAMHI a enero de 2010 y con las densidades obtenidas en el análisis de la cobertura de las estaciones meteorológicas, ajustadas en función de las recomendaciones de la OMM, obteniéndose los siguientes resultados:

- a) Para las Laderas Orientales, con una densidad de 2 000 km²/estación y la Llanura interior, con una densidad de 6 000 km²/estación; la cobertura en el caso de la precipitación en la Zona de Atención es del 55.9 % (29 113 km²), mientras que el áreas sin cobertura es 23 002 km² (44.1%).
- b) Por limitaciones en la disponibilidad de registros de las otras variables meteorológicas, la densidad que se propone para las estaciones climatológicas en general es de 10 000 km²/estación, valor recomendado por la OMM, referido por (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 1986).
- Se analizó las series mensuales de precipitación para el año 1986 mediante el programa de información climática con el método IDW obteniéndose resultados que nos permiten concluir que en la zona de las Laderas Orientales se requiere un mayor número de estaciones (densidad menor) para el registro de la precipitación en comparación con las estaciones localizadas en la Llanura Interior que presentan un error más bajo y por ende requieren de una densidad mayor de estaciones. Además la precipitación estimada con el programa presenta una misma tendencia que los valores reales y se recomienda modificar los valores calculados por un coeficiente a fin de obtener un valor muy cercano al de los anuarios meteorológicos.
 - La red de estaciones hidrológicas del país operadas por el INAMHI está conformada al momento por 157 estaciones de las cuales 92 son limnimétricas, 60 limnigráficas y 5 Automáticas. Además se dispone de registros mensuales de caudales de 221 estaciones en total.
 - Existe una carencia de criterios que determinen la necesidad de instalar las estaciones hidrometeorológicas a nivel nacional, ya que como se pudo evidenciar existen zonas en las cuales la información es muy poca o nula, y zonas en donde se tiene demasiada información.
 - Las regiones Costa y Sierra tienen la mayor cobertura de información hidrológica, pues una estación representa 958 km² y 1 457 km²

respectivamente. La región oriental tiene la menor cobertura de datos hidrológicos, pues una estación corresponde a 5 132 km².

- El conjunto de estaciones hidrológicas activas que opera el INAMHI en la Zona de Atención, que comprende las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana, la conforman 9 estaciones hidrológicas de las cuales 4 son limnigráficas, 3 limnimétricas y 2 son automáticas. Otras instituciones como la DAC (5 estaciones) y el EMAAP-Q (11 estaciones) disponen de instalaciones de medición de variables hidrológicas en esta Zona.
- El instrumental y los equipos que actualmente opera el INAMHI, es obsoleto e insuficiente para la creciente demanda de información hidrometeorológica que en la actualidad requiere el país.
- La cobertura de las estaciones hidrológicas según recomendaciones de la OMM es del 48.6% a nivel nacional, de la cual el 30 % tiene redundancia (excesiva cobertura) en la Costa junto a las estribaciones de la cordillera Occidental, en tanto que el 51.4% no dispone de información hidrológica, principalmente en el Oriente y en las Islas.
- Según recomendaciones del INAMHI (densidades más altas) la cobertura de las estaciones hidrológicas a nivel nacional sería del 29.4 % del territorio, de la cual el 10 % tiene redundancia. En consecuencia, el 70 % de la superficie del Ecuador no dispone de registros hidrométricos representativos.
- El análisis de correlación realizada en función de los registros de caudales medios mensuales de las estaciones en operación del INAMHI, con datos de más de 30 años, muestra lo siguiente:
 - a) Costa: el 30 % de las correlaciones entre estaciones tienen coeficientes de correlación significativos ($r > 0.7$), el 47 % presenta cierto nivel de dependencia en las series ($r > 0.6$).
 - b) Sierra: el 7 % de las correlaciones tiene coeficientes de correlación

mayores a 0.7, y el 17 % de las correlaciones obtenidas tiene un $r > 0.6$.

c) Oriente: el grado de correlación entre las dos estaciones que tienen más de 30 años de datos es igual a 0.68.

- Se recomienda una densidad de 5 000 km²/estación con un radio de influencia de 40 km para las Laderas Orientales y 7 500 km²/estación con un radio de influencia de 50 km para la Llanura Interior, que incluye el pie de monte bajo los 1 000 m s.n.m.
- Las estaciones hidrológicas ubicadas en distintas cotas del curso principal o de sus afluentes permitirán evaluar la variabilidad del caudal, que resulta de los cambios en el comportamiento del clima en sentido oeste – este y también de las variaciones en las características físico- geográficas de la superficie de drenaje. El mayor número de las estaciones hidrológicas se encuentran ubicadas entre las cotas 0 – 500 m s.n.m. y 1 000 – 2 000 m s.n.m., en tanto que el número de estaciones es bajo para cotas entre 500 – 1 000 m s.n.m. y por sobre los 2 000 m s.n.m.
- Del análisis de la demanda de información de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención en cuanto a generación hidroeléctrica, agua potable (Proyecto Ríos Orientales) de la EMAAP-Q, bloques petroleros, navegabilidad del río Napo y zonas inundables, se desprende la necesidad de aumentar el número de estaciones que serán de tipo operacional y tienen como objetivo generar información hidrológica para fines específicos.
- Los criterios a mayor detalle que se tomaron en cuenta para la definición de las estaciones hidrológicas en la Zona de Atención, se indican a continuación:
 - a) Diferente densidad de estaciones para la zona de las Laderas Orientales como para la Llanura Interior.
 - b) Escalonamiento de las estaciones hidrológicas con un desnivel de 500 m s.n.m., con el fin de cubrir la variabilidad de caudales en función de las características físico – geográficas.

c) Caudales Específicos de las cuencas de drenaje.

- De acuerdo a los criterios establecidos de densidad, las estaciones hidrológicas ahora en operación (4 en las Laderas Orientales y 5 en la Llanura Interior) cubren las necesidades de información hidrológica para la RHE. No obstante, el escalonamiento de estaciones impone la necesidad de reinstalar 4 y construir 5 nuevas estaciones, que deberán implementarse en los cursos principales de los ríos Aguarico y Napo.
- Incluyendo las estaciones requeridas para cumplir con el escalonamiento, la densidad de estaciones global para la Zona de Atención es de 2 900 km²/estación, valor que se acerca a la recomendación de la OMM (2 000 km²/estación para la Llanura Interior).
- La definición de los criterios científico – técnicos de las estaciones meteorológicas que conforman la RME y de las estaciones operaciones se presentan en el acápite 3.4 y 3.6 respectivamente.
- Como resultado del presente estudio se propone las estaciones para la Zona de Atención que deberían formar parte de La Red Básica de Estaciones Meteorológicas (RME), de la República del Ecuador, la misma que se presenta en el Cuadro 53.
- Como resultado del presente estudio se generó la propuesta de estaciones de la RHE para la Zona de Atención, las cuales se deben considerar como estaciones básicas del INAMHI. Dicha propuesta se la puede apreciar en el Cuadro 57.
- Se analizó las series mensuales de caudales específicos para el año de 1982 mediante el programa computacional “Sistema de Información Climática” con el método IDW obteniéndose resultados que nos permiten concluir que en la zona de las Laderas Orientales los caudales son muy variables en comparación con los de la zona de Llanura Interior. Además cabe señalar que

los caudales obtenidos con el programa presentan una misma tendencia que los valores reales.

- El Plan de Implementación de las estaciones de la RME y RHE, que se propone deberá concretarse en dos fases o etapas:
 - a) Primera Fase: mantenimiento de las estaciones actualmente en operación y reconstrucción de ciertas estaciones que operaban en la Zona de Atención (período 1 año).
 - b) Segunda Fase: Construcción, operación y mantenimiento de las nuevas estaciones (período 1 año).

- El presupuesto global del Plan de Implementación alcanza los siguientes rubros:
 - a) Fase 1 - inversión: \$ 73 200.00 (año 1)
 - b) Fase 2 – inversión \$ 187 000.00 (año 2)
 - c) El costo total de inversión por tanto alcanza la suma \$ 260 000.00

- El costo anual de la operación y mantenimiento, considerando que todas las estaciones de la RME y RHE están operando en la Zona de Atención, alcanza la suma de \$ 105 800.00

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, Laureano S., Gallegos, Sneyder D., Carlos A. Villacrés. (2010). Convenio Interinstitucional EPN - INAMHI "Estudio de Evaluación de la Red Hidrometeorológica en la Región Nor-Oriental del Ecuador y Propuesta de su Optimización como parte de la Red Hidrometeorológica Básica del Ecuador". Quito: EPN.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2006). Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano. Quito: CONELEC.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2009). Plan Maestro de Electrificación 2009-2020. Quito: CONELEC.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2002). Gestión de los Recursos Hídricos del Ecuador, Políticas y Estrategias. Quito: CNRH.
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito. (2005). Estudios hidrológicos a nivel de factibilidad del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales. Quito: EMAAP-Q.
- Instituto de Hidrología, Meteorología de Estudios Ambientales. (1998). Diseño y optimización de la red de estaciones hidrológicas. Bogotá: IDEAM.
- Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (1989). Plan nacional de recursos hidráulicos del Ecuador. Quito: INERHI .
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (1986). Informe del Estudio de la Planificación de la Red Hidrométrica. Quito: Departamento de Estudios.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2001). Planificación de la Red Hidrometeorológica del Ecuador. Quito: INAMHI.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010). Estaciones meteorológicas e hidrológicas operativas y series de precipitación y caudales mensuales. Quito: INAMHI.
- MAG - ORSTOM. (1982). Estudios hidrológicos e hidrogeológicos regionales. Quito: MAG.

- Moreano, R. (2008). Sistema de Información para la Interpolación Espacial y Temporal de Datos sobre el Tiempo Atmosférico y el Clima del Ecuador. Quito: EPN.
- Organización Meteorológica Mundial. (1994). Guía de Prácticas Hidrológicas OMM - No. 168. Geneve: OMM.
- Organización Meteorológica Mundial. (2006). La OMM de un vistazo, Trabajar unidos para vigilar, comprender y predecir el tiempo, el clima y el agua. Ginebra: OMM.
- Ortega, F. (2006). Catastro de estaciones meteorológicas e hidrológicas. Quito: INAMHI.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2008). Plan Nacional del Buen Vivir (2009 - 2013). Quito: SENPLADES.
- Troncoso, A., Juan Gabriel B. (2010). Atlas Climatológico del Ecuador. Quito: EPN.
- World Meteorological Organization. (2003). Manual of the Global Observing System, Volume I - Global Aspects, WMO No. 544. Geneve: WMO.
- World Meteorological Organization. (2006). Guide To Climatological Practices WMO No. 100. Geneve: WMO.
- World Meteorological Organization. (2006). Prevención de los desastres naturales y atenuación de sus efectos. Boletín 55. Geneve: WMO.
- World Meteorological Organization. (2007). Guide To The Global Observing System WMO No. 488. Geneve: WMO.

ANEXOS

ANEXO No 1
MAPAS TEMÁTICOS