



TESE DE DOUTORAMENTO

**Modelamiento Computacional del
Recurso Solar y Eólico para
aplicación de Sistemas de Energía
Renovable**

Juan Peralta Jaramillo

Doctorado en Energías Renovables
y Sostenibilidad Energética

FACULTAD DE FÍSICA

SANTIAGO DE COMPOSTELA

AÑO 2014



TESE DE DOUTORAMENTO

**Modelamiento Computacional del
Recurso Solar y Eólico para
aplicación de Sistemas de Energía
Renovable**

Asdo.

Juan Peralta Jaramillo

Doctorado en Energías Renovables
y Sostenibilidad Energética

FACULTAD DE FÍSICA

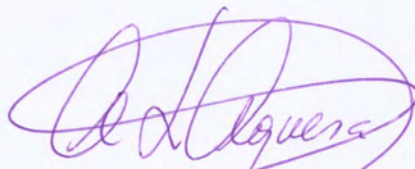
SANTIAGO DE COMPOSTELA

AÑO 2014

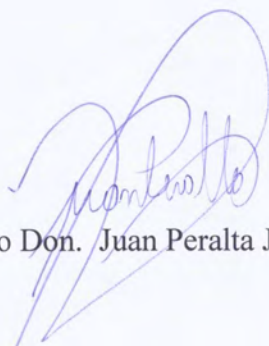
ÁNGELES LÓPEZ AGÜERA, PROFESORA TITULAR DEL AREA DE FISICA ATOMICA MOLECULAR Y NUCLEAR DE LA UNIVERSIDAD SANTIAGO DE COMPOSTELA

AUTORIZA a Don. Juan Peralta Jaramillo a presentar la tesis titulada "MODELAMIENTO COMPUTACIONAL DEL RECURSO SOLAR Y EOLICO PARA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE", para optar por el grado de Doctor, la cual ha sido realizada bajo mi dirección en el departamento de Física de Partículas en el marco del programa Doctoral de Energías Renovables y Sostenibilidad Energética.

Y para que así conste, se expide en Santiago de Compostela en Octubre de 2014



Fdo. Dra. Ángeles López Agüera



Fdo Don. Juan Peralta Jaramillo

RESUMEN

En el Ecuador la información del potencial energético local de que se dispone es bastante básica, antigua o sin validación alguna; con estudios aislados, que no permiten en la práctica una planificación energética optimizada basada en recursos renovables.

El trabajo que se presenta contribuirá a la generación de información confiable del potencial energético renovable nacional y se desarrolla en el campo de evaluación de recursos energéticos renovables utilizando modelos de predicción numérica, específicamente el modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting (WRF) y la posterior validación de resultados obtenidos por medio de la comparación estadística con las observaciones locales para el Ecuador Continental. Como primera etapa se procedió al inventario y evaluación de la información disponible por medio de las estaciones meteorológicas y sus series de tiempo. Posteriormente se realizó la adaptación y la configuración del modelo WRF acorde a la caracterización geográfica y climática desarrollada dentro de la presente tesis. El procesamiento de los archivos de salida de las simulaciones de la radiación solar y del campo de viento, la construcción de mapas de recurso y el proceso de validación se realizó por medio de una serie de scripts desarrollados en el software MATLAB R2011b.

La investigación realizada contribuirá a la elaboración de proyectos relacionados al cambio de las fuentes de energía dentro de la matriz energética ecuatoriana, al desarrollo y adaptación tecnológica de los sistemas de energización a partir de energía solar y eólica en el mercado nacional y a la prospección apropiada de la información disponible con relación al potencial energético local.

PALABRAS CLAVES: RECURSO, SOLAR, EOLICA, ESTACIONES METEREOLÓGICAS, SERIES DE TIEMPO, MODELO, VIENTO, HELOFANIA

ABSTRACT

In Ecuador the information of local energy potential available is rather basic, old or without validation; with isolated studies, and not in practice allow optimized energy planning based on renewable resources.

The work presented here will contribute to the generation of reliable available national renewable energy and it's developed in the field of renewable energy resources assessment using numerical prediction models, specifically the mesoscale model Weather Research and Forecasting (WRF) and the subsequent validation of results obtained by statistical comparison with local observations to Ecuador Continental. As a first step, we proceeded to catalog and assess the information available through weather stations and its time series. Subsequently, adaptation and configuration of the WRF model according to the geographical and climatic characterization was performed. The processing of output files simulations of solar radiation and wind, the construction of maps and the resource validation process was carried out through a series of scripts developed in MATLAB R2011b software.

The investigation will contribute to the development of projects related to the change of energy sources in the energy mix Ecuador, technological development and adaptation of power systems from solar and wind power in the domestic market and the appropriate survey information regarding the local energy potential.

KEYWORDS: Resource, solar, wind, weather stations, time series, model, hours of sunlight



A mi Familia

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) del Gobierno de la República del Ecuador , por la confianza depositada al permite realizar mis estudios de cuarto nivel en calidad de becario del estado ecuatoriano.

Mi más profundo y sincero agradecimiento a la Prof. Dra. Ángeles López Agüera, por su orientación, consejos, paciencia e invaluable ayuda a lo largo de mi estancia académica y proceso de elaboración de la presente tesis

Al Dr. Alfredo Barriga por su amistad y apoyo permanente a lo largo de mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros que me han apoyado permanentemente en especial a Emérita Delgado, Carlos Otero, e Ian Sosa. Además de Gustavo Aveiga por toda la ayuda brindada desde el Ecuador.

A todas las personas e Instituciones en especial al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y al Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador que colaboraron con la información necesaria para realización de este trabajo.

Finalmente quiero hacer un reconocimiento al Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) por las facilidades brindadas para el desarrollo y culminación de este trabajo.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1 Introducción y motivación.....	1
1.2 Objetivo General.....	3
1.2.1 Objetivos Específicos.....	3
CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL Y NACIONAL.....	5
2.1 La situación energética mundial.....	5
2.2 Energía y Pobreza	8
2.3 El papel de las energías renovables.....	9
2.4 Atlas de Recursos Energéticos Renovables.....	11
2.5 La situación energética en Ecuador.....	11
2.5.1 Contexto Energético Ecuatoriano.....	12
2.5.1.1 Marco Institucional, Legal y Político.....	12
2.5.1.2 Información Energética General del Estado ecuatoriano.....	17
2.5.1.3 Formas y Fuentes de Energía.....	18
2.5.1.4 Evolución de la Oferta y Demanda.....	19
2.5.1.5 Matriz Energética Ecuatoriana.....	20
2.5.2 Situación Actual de la matriz Energética Nacional.....	20
2.5.2.1 Oferta Energética.....	21
2.5.2.2 Demanda Energética.....	22
2.5.3 Electrificación en el Ecuador.....	23
2.5.3.1 Proyección en la Demanda de Energía Eléctrica.....	24
2.5.4 Barreras Existentes para las Fuentes Renovables.....	25
CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR.....	26
3.1 Introducción.....	26
3.2 Conceptos Básicos.....	27
3.2.1 Coordenadas geográficas.....	27
3.2.2 Radiación Solar	27
3.2.3 Atmósfera.....	30
3.2.3.1 Descripción de la atmosfera.....	30
3.2.4 Clima y Tiempo Atmosférico.....	31
3.2.4.1 Variables que caracterizan el clima.....	31
3.2.4.2 Factores que inciden el clima.....	33
3.2.4.3 Sistemas de observación meteorológica.....	33
3.2.5 Movimientos atmosféricos.....	34

3.2.5.1	Circulación del Aire en la Atmosfera.....	34
3.2.6	Escalas Meteorológicas.	35
3.3	División Geográfica y Climática del Ecuador.	37
3.3.1	Tipos de Climas Existentes en el Ecuador.....	40
3.4	Inventario de Estaciones Meteorológicas en el Ecuador.	43
3.4.1	Tipos de estaciones meteorológicas en el Ecuador.....	44
3.4.1.1	Entidades locales	46
3.4.1.2	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador	47
3.4.1.3	Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR).	49
3.4.1.4	Dirección de General de Aviación Civil.	50
3.4.1.5	Otras Instituciones.....	51
3.5	Información Histórica y Bases de Datos.....	51
3.5.1	Bases de Datos	52
3.5.2	Metodología de Evaluación y Filtrado de las Series de Tiempo.	53
3.5.2.1	Series De Tiempo de Distancia Recorrida del Viento (INAMHI)	54
3.5.2.2	Series De Tiempo de Dirección Predominante del Viento (INAMHI)..	56
3.5.2.3	Series De tiempo de Magnitud y Dirección del Viento (INOCAR)	60
3.5.2.4	Series de Tiempo de Heliofanía (INAMHI).....	60
3.6	Análisis de las Estaciones Representativas.....	63
3.6.1	Análisis de la Series de tiempo de Distancia Recorrida del Viento	63
3.6.2	Análisis de la Series de tiempo de Dirección Predominante del Viento .	65
3.6.2.1	Análisis de la Series De tiempo perteneciente al INOCAR.....	67
3.6.2.2	Análisis de la Series De tiempo perteneciente al DGAC.....	70
3.6.2.3	Análisis de la Series de tiempo de Heliofanía, INAMHI.....	72
3.7	Distribución Final de la Estaciones Representativas Aptas para validación.	74
3.8	Conclusiones.....	75
APLICACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO.....		79
4.1	Modelos de Predicción Meteorológica	79
4.2	Modelos Globales	82
4.3	Modelo Regionales	83
4.1.1.	Condiciones Iniciales y de contorno en los Modelos de Mesoescala.....	84
4.4	Modelo mesoscalar utilizado:Weather Research Forecasting	84
4.4.1.	Funcionamiento del WRF.....	84
4.4.1.1.	WRF Preprocessing System (WPS).....	86
4.4.1.2.	Procesamiento WRF (REAL WRF).....	87
4.4.2.	Parametrizaciones existentes WRF.....	87

4.4.2.1.	Parametrizaciones de microfísica	88
4.4.2.2.	Parametrizaciones de Convección de Cúmulos	89
4.4.2.3.	Parametrizaciones de la Capa de Superficial	91
4.4.2.4.	Parametrizaciones de Modelos de Superficie	91
4.4.2.5.	Parametrizaciones de la Capa Límite Planetaria.....	92
4.4.2.6.	Parametrizaciones de Radiación	93
4.5	Configuración del Modelo.....	95
4.4.1.	Dominio y Área de Estudio.....	95
4.4.2.	Condiciones Iniciales o Frontera Empleadas	101
4.4.3.	Selección de Parametrizaciones	101
4.4.4.	Soporte computacional.....	102
4.4.5.	Ejecución del modelo	102
4.4.6.	Tratamiento posterior de la información.....	104
4.4.7.	Validación de datos	105
4.6	Conclusiones del Capitulo.....	105
	SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	107
5.1	Introducción.....	107
5.2	Antecedentes.....	107
5.3	Selección de conjunto de datos de referenciales de simulación	109
5.3.1	Criterio de Selección.....	112
5.4	Simulaciones del WRF.....	115
5.5	Post-proceso de la salidas del Modelo WRF.....	115
5.6	Validación de las salidas del Modelo	119
5.6.1	Correlaciones de Heliofania y Radiación Solar.	119
5.6.2	Estimadores Estadísticos Empleados.	123
5.6.3	Resultados de la Validación	126
5.6.4	Comparación de Resultados: Modelo WRF y ERA INTERIM	131
5.7	Conclusiones.....	132
	SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL VIENTO	135
6.1	Introducción.....	135
6.2	Antecedentes.....	135
6.3	Selección de conjunto de datos de referenciales de simulación	137
6.4	Simulaciones del WRF: Velocidad de Viento.....	141
6.5	Post-proceso de la salidas del Modelo WRF.....	142
6.5.1	Resultados Gráficos del Post-Procesamiento.....	142
6.5.2	Evaluación del Potencial de Energía Eólica.....	147

6.6	Validación de las salidas del Modelo.....	150
6.6.1	Descripción de la metodología de validación.....	151
6.6.2	Resultados de Validación	152
6.6.2.1	Validación de la Velocidad de Viento.....	152
6.6.2.2	Resultados de la validación de la Dirección de Viento.....	159
6.7	Conclusiones	161
	CONCLUSIONES GENERALES Y LINEAS FUTURAS	163
	NOMENCLATURA	167
	ABREVIATURA.....	169
	BIBLIOGRAFÍA	171
	ANEXOS.....	179



INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Evolución de la Producción de Energía y el PIB a nivel mundial.....	5
Figura 2. 2. Consumo de Energía Mundial año 2011 – 2012.....	6
Figura 2. 3. Consumo estimado de Energía Mundial para el año 2030.....	6
Figura 2. 4. Proyección del Crecimiento de demanda de Energía.....	7
Figura 2. 5 .Relación entre HDI y EDI año 2010.....	9
Figura 2. 6. División Política del Ecuador	12
Figura 2. 7 . Modelo Energético Integrado.	17
Figura 2. 8. Evolución de la Oferta de Energía en el Ecuador.....	19
Figura 2. 9. Evolución de la Demanda Energética en el Ecuador.....	19
Figura 2. 10. Elementos de la Matriz Energética del Ecuador.....	20
Figura 2. 11. Oferta de Energía Primaria.....	21
Figura 2. 12. Oferta de Electricidad.....	21
Figura 2. 13. Demanda Energética del Ecuador.....	22
Figura 2. 14. Consumo de Electricidad por Sector.....	22
Figura 2. 15. Oferta de Electricidad año 2012.....	23
Figura 3. 1. Variaciones latitudinales en la radiación solar entrante anual (insolación), la densidad de energía y la distancia a la superficie.....	28
Figura 3. 2. Balance de Energía	29
Figura 3.3. Perfil Térmico de Atmósfera	31
Figura 3. 4. Circulación General del Aire en la Atmósfera.....	35
Figura 3. 5. Relieve del Ecuador.....	38
Figura 3. 6. Principales Sistemas Meteorológicos.....	39
Figura 3. 7. Tipos de Climas en el Ecuador	43
Figura 3. 8. Tipos de Estaciones en el Ecuador.....	46
Figura 3. 9. Estaciones del INAMHI en el Ecuador.....	48
Figura 3. 10. Estaciones por Provincia en la región Costa.....	48
Figura 3. 11. Estaciones por Provincia en la región Sierra.....	48
Figura 3. 12. Estaciones por Provincia en la región Oriente.....	49
Figura 3. 13. Localización de la Estaciones INOCAR en el perfil costero.....	50
Figura 3. 14. Localización de la Estaciones de la DGAC	51
Figura 3. 15. Distribución de las Estaciones Representativas DRV por provincias.....	56
Figura 3. 16. Distribución de las Estaciones Representativas DRV por Tipo.....	56
Figura 3. 17. Distribución Provincial de las Estaciones Representativas, Dirección predominante.....	59
Figura 3. 18. Distribución de las Estaciones Representativas, Dirección predominante por Tipo.....	60
Figura 3. 19. Distribución de las Estaciones Representativas, Heliofanía por provincias.....	62
Figura 3. 20. Distribución de las Estaciones Representativas, Heliofanía por Tipo.....	63
Figura 3. 21. Distancia Recorrida del Viento por región (m/s).....	64
Figura 3. 22. Dirección Predominante de Viento por Regiones.....	65
Figura 3. 23. Media Anual de Velocidad (m/s) de las Estaciones por región.....	67
Figura 3. 24. Velocidad Promedio, Estaciones del INOCAR	67
Figura 3. 25. Velocidad Mensual y Rosas de Vientos Estaciones Inocar	69
Figura 3. 26. Valores Mensuales de Heliofanía por región.....	72
Figura 3. 27. Promedio Anual de heliofanía por Estación.....	73
Figura 3. 28. Nubosidad Mensual por Región.....	74
Figura 3. 29. Número de Estaciones Representativas por Provincias.....	75
Figura 4. 1. Coordenadas Verticales Sigma	81
Figura 4. 2 Ejemplo de Celda de un NWP	81
Figura 4. 3. Procesos físicos en la atmosfera y sus interacciones	81
Figura 4. 4. Diagrama de los componentes del modelo WRF.....	85
Figura 4. 5. Estructura de trabajo del WPS	86

Figura 4. 6. Área de Estudio	95
Figura 4. 7. Dominios del Modelo WRF	99
Figura 4. 8. Dominio analizado. Altura del terreno (m).	100
Figura 4. 9. Flujograma de Ejecución del Modelo.	103
Figura 5. 1. Irradiación Solar Global (KWh/m ²)	108
Figura 5. 2. Mapa de Insolación Solar del Ecuador.....	108
Figura 5. 3. Mapas mensuales de Radiación Solar (ERA-INTERIM).....	111
Figura 5. 4. Mapas mensuales de radiación Solar para Ecuador (ERA-INTERIM).....	112
Figura 5. 5. Valores de la pruebas Lilliefors para un día específico de cada estación del año.....	113
Figura 5. 6. Índices de la Prueba Lilliefors en la región de Ecuador.....	113
Figura 5. 7. Porcentaje de celdas que pasan la prueba Lilliefors en la región de Ecuador.....	114
Figura 5. 8. Mapa de Diferencias para el 4 de Mayo.....	115
Figura 5. 9. Promedio Anual de Radiación Solar (WRF).....	116
Figura 5. 11. Valores Mensual de la fracción de Claridad a Cielo despejado	121
Figura 5. 12. Valores de Medias Mensuales Radiación Solar Global Estimada	121
Figura 5. 13. Estaciones utilizadas para la validación.....	124
Figura 5. 14. Histograma del Sesgo Altura Modelo vs Estación.....	125
Figura 5. 15. Valores de Radiación WRF vs Estaciones	126
Figura 5. 16. Valores de Bías por región.....	127
Figura 5. 17. Valores de MAE por región.....	128
Figura 5. 18. Valores de RMSE por Región.....	128
Figura 5. 19. Diferencia entre el Valor del Modelo y el estimado con la Observaciones, Región Costa	129
Figura 5. 20. Diferencia entre el Valor del Modelo y el estimado con la Observaciones, Región Sierra.	130
Figura 5. 21. Diferencia entre el Valor del Modelo y el estimado con la Observaciones, Región Oriente.....	131
Figura 6. 1. Mapa velocidad de viento a 30m-AWS	136
Figura 6. 2. Dominio de selección de días tipos	140
Figura 6. 3. Mapa de Media Anual de Velocidad (WRF)	143
Figura 6. 4. Velocidad Media Mensual (WRF) Ecuador.....	143
Figura 6. 5. Mapa Mensuales de Velocidad del Viento (WRF) para Ecuador	145
Figura 6. 6. Dirección Predominante del Viento Mensual	146
Figura 6. 7 Histograma de frecuencia de velocidades	147
Figura 6. 8. Coeficiente K Mensual, distribución de Weibull	148
Figura 6. 9. Coeficiente C Mensual, distribución de Weibull	149
Figura 6. 10. Potencial Eólico Disponible estimado para el Ecuador (WRF)	150
Figura 6. 11. Ubicación de las Estaciones Seleccionadas	150
Figura 6. 12. Sesgo de Altura Modelo Estación	151
Figura 6. 13. Histograma del Sesgo Altura Modelo vs Estación.....	151
Figura 6. 14. Valores de Velocidad de Viento,WRF vs Estaciones	152
Figura 6. 15. Valores de Velocidad de Viento,WRF vs Estaciones poor Institución.....	153
Figura 6. 16. Valores de Bías por Institución.....	154
Figura 6. 17. Valores de Bías por Institución y Región.....	155
Figura 6. 18. Estaciones por rango de R ² y tipos de Clima	156
Figura 6. 19. Rosas de Viento: Modelo – Observaciones, Inocar	160
Figura 6. 20. Bías Referencial de la Dirección Predominante por Región.....	161
Figura 6. 21. Bías Referencial de la Dirección Predominante por Clima.....	161

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Indicadores de la Energía Renovable.....	10
Tabla 2. 2. Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh).....	16
Tabla 2. 3. Proyección de la Demanda Anual de Energía Eléctrica.....	24
Tabla 3. 1. Escalas Meteorológicas.....	36
Tabla 3. 2. Criterios utilizados por Pourrut.....	40
Tabla 3. 3. Principales Características de los Climas de Ecuador.....	42
Tabla 3. 4. Abreviaturas empleadas para los tipos de Clima del Ecuador.....	43
Tabla 3. 5. Estaciones del INAMHI por región y tipo.....	47
Tabla 3. 6. Estaciones Principales INOCAR.....	49
Tabla 3. 7. Estaciones Principales DGAC.....	50
Tabla 3. 8. Series de tiempo facilitadas por el INAMHI.....	52
Tabla 3. 9. Series de tiempo facilitadas por el INOCAR.....	52
Tabla 3. 10. Porcentaje de Datos Validos en la Series De tiempo de Estaciones del Inamhi.....	54
Tabla 3. 11. Número de Estaciones por rango de años.....	54
Tabla 3. 12. Estaciones Representativas Seleccionadas DRV.....	55
Tabla 3. 13. Porcentaje de Datos Validos en la Series De tiempo de Dirección Predominante.....	57
Tabla 3. 14. Número de Estaciones por rango de años.....	57
Tabla 3. 15. Estaciones Representativas Seleccionadas Dirección predominante.....	57
Tabla 3. 16. Estaciones Representativas del INOCAR.....	60
Tabla 3. 17. Porcentaje de Datos Validos en la Series De tiempo de Heliofania.....	61
Tabla 3. 18. Número de Estaciones por rango de años.....	61
Tabla 3. 19. Estaciones Representativas Seleccionadas, Heliofania.....	61
Tabla 3. 20. Direcciones Predominantes de Viento, Estaciones del INOCAR.....	68
Tabla 3. 21. Velocidad Media (m/s), Estaciones de la DGAC.....	71
Tabla 3. 22. Estaciones Representativas con registro completo de variables.....	75
Tabla 4.1. Principales esquemas de parametrizaciones disponibles en WRF, versión 3.4.....	88
Tabla 4.2. Resumen de la revisión bibliográfica relacionada a Atlas de Recurso Solar.....	96
Tabla 4.3. Resumen de la revisión bibliográfica relacionada a Atlas de Recurso Eólico.....	96
Tabla 4.4. Resumen de la revisión bibliográfica de los principales trabajos realizados en Ecuador con WRF.....	98
Tabla 4.5. Configuración de los Dominios del WRF.....	99
Tabla 5. 1. Radiación Solar (kWh/m ² día) estimada para las Estaciones Representativas.....	122
Tabla 5. 2. Valores de RSME de Radiación Solar Global obtenidos por varios investigadores.....	124
Tabla 5. 3. Estimadores Estadísticos para la media anual de Radiación Solar.....	127
Tabla 5. 4. Ubicaciones Provincial y Climática de la estaciones en la región Costa.....	130
Tabla 5. 5. Ubicaciones Provincial y Climática de la estaciones en la región Sierra.....	131
Tabla 5. 6. Ubicaciones Provincial y Climática de la estaciones en la región Oriente.....	131
Tabla 5. 7. Comparación de los Estimadores Estadísticos del WRF y ERA INTERIM.....	132
Tabla 5. 8. Comparación de los Estimadores Estadísticos del WRF y ERA INTERIM, por Región.....	132
Tabla 6. 1. Velocidad de Viento en el Ecuador.....	136
Tabla 6. 2. Índice de error de la Selección de Días Aleatorios.....	140
Tabla 6. 3. Días Tipos Seleccionados.....	141
Tabla 6. 4. Estimadores Estadísticos para la Velocidad Media Anual.....	153
Tabla 6. 5. Estimadores Estadísticos para la Velocidad Media Anual por Institución.....	153
Tabla 6. 6. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución.....	157
Tabla 6. 7. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución, Región Sierra.....	157
Tabla 6. 8. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución, Región Costa.....	158
Tabla 6. 9. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución, Región Oriente.....	158

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

En la publicación del World Energy en noviembre del 2013 la Agencia Internacional de la Energía (AIE) presentó los últimos estudios y proyecciones del panorama energético mundial para los próximos 20 años. Estas proyecciones contemplan un escenario energético basado en una explotación intensiva y profunda de los recursos asociado con el aumento de la demanda energética en todo el globo. Según los mismos estudios, no se esperan disminuciones considerables de las fuentes energéticas fósiles, principalmente petróleo, con las consecuencias e impactos preocupantes a nivel energético por la reducción de las reservas, económico por el aumento del precio combustible, social por el aumento de la brecha de la pobreza y medioambientales generados por el cambio climático y el aumento de gases de efecto invernadero.

En esas condiciones, las energías renovables surgen como un mecanismo dentro del panorama energético que puede permitir la sostenibilidad medioambiental a la vez que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático potenciando la reducción de la huella ecológica, pues se reducen las emisiones contaminantes a la atmósfera y las plantas de generación de energía por medio de fuentes renovables pueden ser instaladas próximas a los lugares de consumo. Toda esta sinergia en torno a las fuentes renovables de energía ha permitido la cooperación entre países desarrollados y países en vías de desarrollo por medios de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, que día a día va ganando valor e importancia en el mercado mundial.

Aunque las energías renovables tienen la ventaja de una menor incidencia en el medio ambiente en comparación con otras fuentes de energía, su rendimiento está condicionado en la mayor parte de los casos por variaciones en el tiempo y en el clima. Entre las fuentes energéticas más dependientes del emplazamiento se sitúan la energía eólica y la energía solar. Una de las posibles alternativas para abordar el problema de la intermitencia de los recursos energéticos de origen renovable y su nivel de aprovechamiento, es estudiar su potencial y complementariedad espacio-temporal creando un “mixing energético” adecuado para lo cual es imprescindible un profundo conocimiento del recurso existente.

La motivación de este trabajo ha surgido en el marco del desarrollo energético y fomento de las fuentes de energía renovable definido en el “Plan Nacional del Buen Vivir” del gobierno del Ecuador. Sin embargo el alto grado de complejidad topográfica, la diversidad de condiciones climáticas y la insuficiente distribución y densidad de las estaciones meteorológicas que poseen un registro histórico corto o irregular en toda la superficie del territorio continental, dificultan la evaluación de los recursos renovables en el país. Por tal razón, una aproximación mediante herramientas de simulación numérica, puede ser de gran utilidad para estimar y orientar sobre el potencial y la densidad energética existente. Estos

modelos, una vez validados con observaciones servirán para la realización de cartas o mapas energéticos en regiones y/o países donde no exista un histórico de datos experimentales y además sirvan como mecanismos para el fomento y adaptación tecnológica de las energías renovables.

El presente trabajo se plantea como una herramienta para mitigar la ausencia de información local y ordenada relacionada al potencial energético del recurso solar y eólico, por medio de la identificación de zonas o sitios con un nivel de disponibilidad adecuado para el desarrollo de proyectos de energías renovables.

Tras la introducción, contenida en el presente capítulo, el capítulo 2 se dedica a realizar una revisión bibliográfica de literatura publicada hasta la fecha donde se hace referencia al contexto energético de la situación mundial y nacional o local en el marco de las energías renovables.

En el capítulo 3, se describe las características geográficas y climáticas en la región del Ecuador. Se presentan los resultados del inventario realizado con relación a las estaciones meteorológicas existentes en el país. Asimismo, se presentan los resultados del procesamiento, análisis y evaluación de las series de tiempo de las estaciones a partir de los registros de la distancia recorrida, velocidad y dirección del viento y heliofania.

En el capítulo 4, se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte con respecto al uso de modelos de Predicción Numérica en el campo energético. A continuación se hace una descripción detallada del modelo de mesoescala WRF (Weather Research and Forecasting model) que se utilizó en la presente tesis. Finalmente se enumeran los pasos necesarios para la selección de dominios de trabajo y parametrizaciones en función de la variabilidad espacio-temporal y de las condiciones climatológicas de la zona de estudio.

El capítulo 5 se dedica al análisis dedicado a la predicción de recurso solar. Se analizan los resultados obtenidos de las simulaciones para el caso de la radiación solar global y su proceso de validación a partir de observaciones locales. En primer lugar se detalla la metodología empleada para la selección de los días tipos de simulación. Se hace una descripción del post procesamiento de las salidas numéricas del modelo y se presentan los resultados en forma gráfica por medio de mapas. Finalmente se presentan la validación de los resultados del modelo mediante el cálculo de los estimadores estadísticos.

En el capítulo 6, se presentan los resultados obtenidos de la simulación del campo de viento y su proceso de validación para la región continental del Ecuador. Como primer punto se describe la metodología empleada para la selección de los días tipo de simulación. Seguidamente se presentan los mapas de velocidad y dirección de viento y potencia eólica disponible obtenido a partir del procesamiento de la salida numérica del modelo. Por último, se hace una descripción detallada del proceso y resultados obtenidos de la validación de las predicciones del modelo y las observaciones locales.

Finalmente en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y aportaciones de los estudios realizados así como las principales líneas de acción futuras para trabajos de investigación.

1.2 OBJETIVO GENERAL

El Objetivo general de la tesis es desarrollar un atlas de recurso energéticos solar , y eólico, empleando un modelo computacional de escala regional que permitan generar una primera estimación formal del potencial y la disponibilidad energética del recurso solar y eólico en el Ecuador a partir de la información disponible nacional e internacional.

1.2.1 Objetivos Específicos.

- Realizar un inventario de las principales estaciones meteorológicas existentes en el territorio continental.
- Desarrollar herramientas de soporte Computacional por medio del software Matlab para el procesamiento de las variables meteorológicas y energéticas a utilizarse en la presente tesis.
- Obtener por medio de la modelación computación mapas de radiación solar y del campo de Vientos para el Ecuador Continental.
- Validar los resultados obtenidos por el modelo con las observaciones o registros históricos existentes en el Ecuador.
- Identificar zonas geográficas para la instalación o relocalización de estaciones meteorológicas de la red local
- Establecer grado complementariedad espacial o temporal entre el recurso solar y eólico a nivel local
- Reconocer zonas de potencial y disponibilidad energética apropiados para la instalación de sistemas de energía renovable



CAPITULO 2.

CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL Y NACIONAL

2.1 LA SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL.

Hoy en día la energía es un elemento fundamental en el desarrollo y crecimiento de la economía a escala mundial. Sin embargo, son las transformaciones de energía o los servicios energéticos los cubren una demanda amplia y variada desde la iluminación, confort, refrigeración, transporte, comunicación, tecnologías de información, producción de bienes y servicios, entre otros (Rogner, Hans-Holger y Anca Popescu, 2000). Básicamente nuestro modelo socioeconómico requiere energía para su funcionamiento y la tendencia mundial muestra crecimiento de la demanda energética conforme crece la economía. En este sentido se puede observar en la Figura 2. 1 que el Producto Interno Bruto (PIB) de los países está tendencialmente acoplado al crecimiento energético. Entre 1980 y 2000, el PIB real mundial creció a una media ligeramente inferior al 3% anual, y el crecimiento mundial de energía creció a una media ligeramente inferior al 2%.

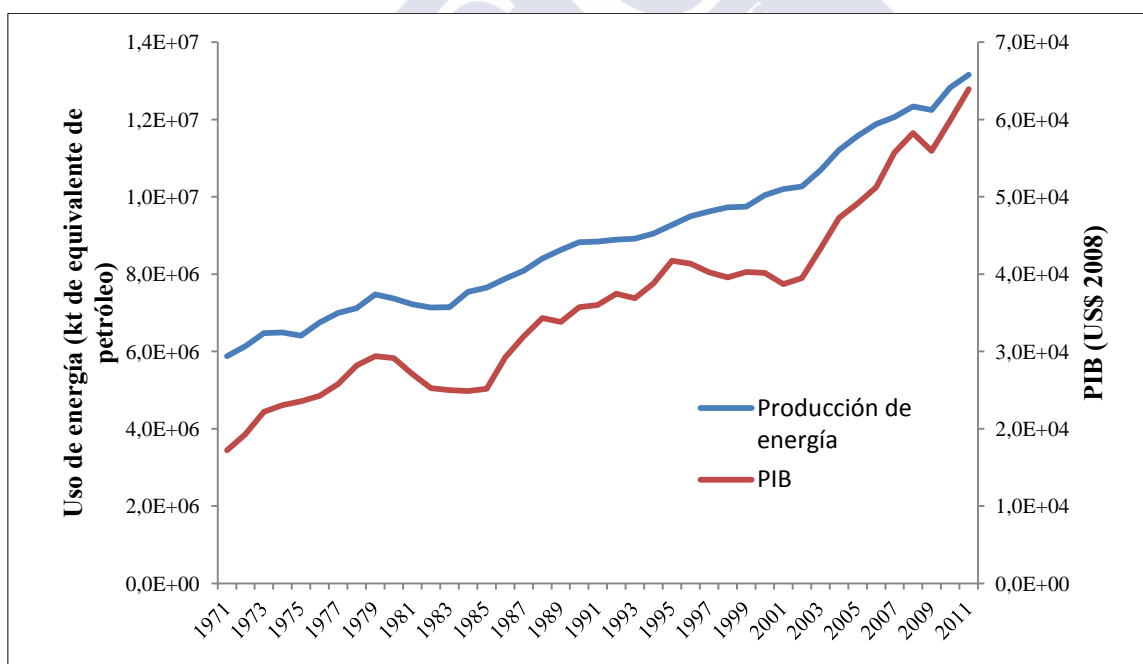


Figura 2. 1. Evolución de la Producción de Energía y el PIB a nivel mundial.
 Fuente: <http://datos.bancomundial.org/catalogo-de-datos> (Adaptado por el autor)

La demanda de energía sigue creciente y la matriz energética mundial. Se estimó que para el año 2012 el consumo mundial de energía proviene en más del 80% de combustibles fósiles; en segundo lugar se encuentra las fuentes renovables con 16%. (Figura 2. 2) Y además, se siguen haciendo inversiones considerables especialmente en fuentes fósiles de energía. Las subvenciones a las mismas alcanzaron los \$ 544000 millones de dólares sólo para el 2012. (NINA NETZER, BÄRBEL KOFLER, 2014) (REN21, 2014). Según la Agencia

Internacional para la Energía se espera un pequeño aumento en el consumo de energía generada a partir de fuentes renovables a partir de los próximos años, pero el petróleo, gas y carbón continuaran siendo la primera fuente de energía, aproximándose a un 83% del consumo de energía para el año 2030. (Figura 2. 3)

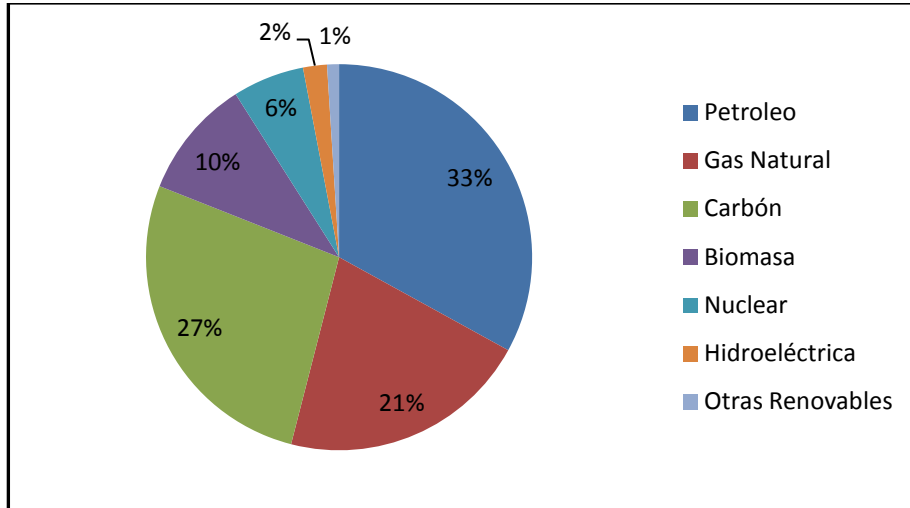


Figura 2. 2. Consumo de Energía Mundial año 2011 - 2012
Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2012)

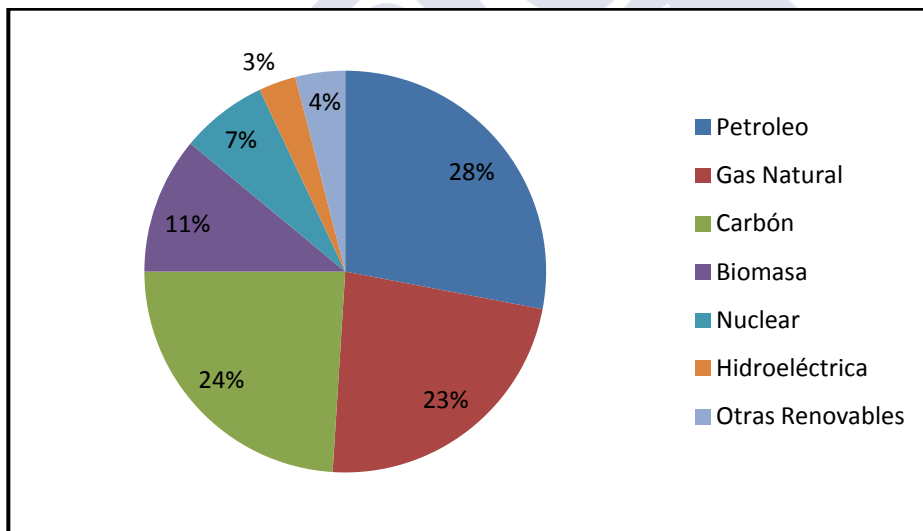


Figura 2. 3. Consumo estimado de Energía Mundial para el año 2030
Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2012)

Asimismo las proyecciones del consumo y demanda de energía a medio plazo por parte de la Agencia Internacional de Energía, indica que la misma está trasladándose decididamente hacia las economías emergentes, en particular China, India y Oriente Medio derivado a su crecimiento socioeconómico, derivando a aumentar un tercio la utilización mundial de la energía. (Figura 2. 4) (International Energy Agency, 2013), afectando a los países con economías emergentes y en vías de desarrollo por el aumento progresivo del precio del petróleo y sus derivados principalmente.

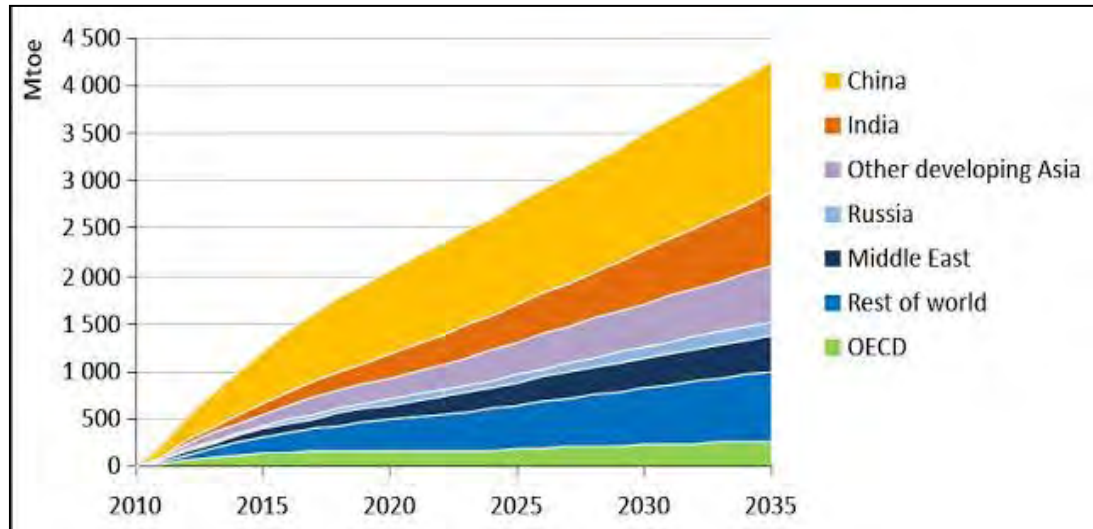


Figura 2. 4. Proyección del Crecimiento de demanda de Energía
Fuente: (International Energy Agency, 2013)

De igual forma que el resto del mundo, la estructura de la matriz energética en Latinoamérica ha ido evolucionando: por ejemplo en el año 1985 el 69% se basaba en combustibles fósiles y para 2008 incrementó su dependencia de combustibles fósiles al 75% aproximadamente. (OLADE, Victorio Oxilia Dávalos, 2012). Este aumento es producto del cambio de fuentes de energías tradicionales de biomasa (como leña y carbón) debido a la modernización de los combustibles para cocción, calefacción e iluminación en los países de la región. Esta situación produce un aumento de la demanda y consumo de combustibles fósiles en toda la región, la misma que seguirá en aumento por el incremento poblacional a nivel urbano principalmente. (Castro, Hacia una matriz energética diversificada en el Ecuador, 2011).

A modo de síntesis, podemos afirmar que la situación energética global a futuro mantendrá las siguientes características:

- En los próximos años, la reconfiguración de la oferta y demanda va a modificar el mapa de flujos de suministro de energía
- Los combustibles fósiles continuarán predominando en la matriz energética mundial al menos en la próxima década.
- Los recursos de energía fósil se mantendrán relativamente estables, pero las tecnologías y las modalidades de suministro cambiarán o se optimizarán.
- Aumentará la demanda de gas natural a nivel mundial.
- La demanda de energía aumentará más rápido en los países en desarrollo.
- Los usos en el transporte sobrepasarán a todos los demás sectores.
- El crecimiento de la demanda energética contribuirá al incremento de las emisiones de CO₂.
- Necesidad de incrementar y potenciar al desarrollo de fuentes de energías renovables.
- El suministro de energía en las zonas pobres del mundo se mantendrá como una actividad incompleta.

2.2 ENERGÍA Y POBREZA .

La energía, especialmente en su conversión a electricidad o fuente de calor, es hoy en día fundamental para nuestra vida diaria y para nuestra capacidad de producción y desarrollo. Sin embargo, existe un gran número de personas que están viviendo con un alto déficit o sin acceso a fuentes energía. Por tanto , cualquier forma de energía será extremadamente cara ,afectando la forma de vida de los usuarios y de sus entornos por la búsqueda permanente de energía para sus hogares. (ONUUDI, OMS, PNUMA, 2013).

Cada día es más notorio que el acceso a la energía es un reflejo de la desigualdad mundial en relación con el desarrollo socioeconómico de las regiones. A partir de ello, las Naciones Unidas indican lo siguiente:

“Un habitante de un país desarrollado consume diez veces más energía primaria que uno de un país pobre, asimismo para el caso particular de la electricidad resulta que un habitante de un país desarrollado consume 100 veces más que uno de un país pobre, de hecho los países desarrollados consumen más del 50% de los recursos de la Tierra y generan las dos terceras partes de las emisiones de dióxido de carbono”.

La “pobreza energética” no es otra cosa que la falta de acceso servicios energéticos a precios asequibles, las afrontan millones de personas y tiene consecuencias directas sobre el desarrollo de las regiones, a nivel económico, social y ambiental. Se estima que el empleo de fuentes energéticas poco eficientes como la madera y el carbón provoca más muertes que la malaria y la tuberculosis producto a enfermedades de tipo respiratorio a esto se suma que en la mayoría de regiones las personas pobres destinan hasta el 15% de sus ingresos para acceder a la energía, lo que finalmente resta recursos para cubrir otras necesidades básicas. Por ende la carencia de electricidad y la gran dependencia de la biomasa tradicional terminan siendo un indicador importante de la pobreza en nuestros países. La falta de electricidad contribuye al estancamiento del desarrollo de actividades productivas lo que conlleva a la recesión permanente de nuevos puestos de trabajo. (Rigoberto García Ochoa, 2013).

Es evidente entonces la importancia de la dimensión social que logra la energía y sus diferentes usos en las diferentes regiones del globo, solo basta observar la relación entre Índice de Desarrollo de Energía (en sus siglas en ingles EDI) y el Índice de Desarrollo Humano (en sus siglas en ingles HDI), donde se aprecia claramente que la regiones con países más desarrollados corresponde a los valores más altos del espectro (Figura 2. 5). (Rigoberto García Ochoa, 2013). Queda claro que para superar la pobreza y mejorar los niveles de desarrollo humano será necesario aunar esfuerzos en mejorar y fortalecer la capacidad de servicios de generación y adquisición de energía en los países emergentes o en vías en desarrollo.

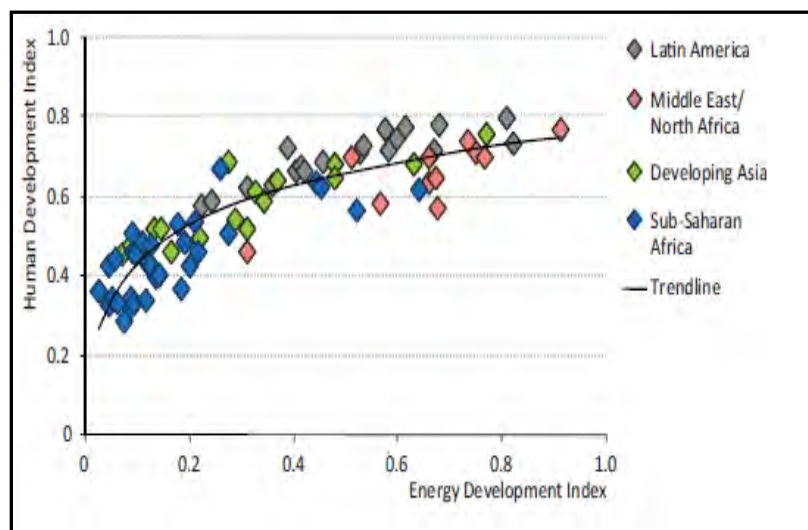


Figura 2. 5 .Relación entre HDI y EDI año 2010.
Fuente: (International Energy Agency, 2010)

Por otra parte se estima que al menos 1500 millones de habitantes del planeta no tienen acceso al servicio básico de la electricidad y además cada cuatro de cada cinco personas sin acceso a electricidad viven en áreas rurales del mundo en desarrollo (International Energy Agency, 2013). De igual manera se calcula que la inversión necesaria para lograr cubrir la demanda de electricidad en los países en desarrollo ascenderá a 2100 billones de dólares para las próximas tres décadas. Aún cuando esta inversión se garantice, la Agencia Internacional de la Energía indica, que si no se logran nuevas políticas eficaces, 1000 millones de personas continuarán sin tener electricidad para 2030.

En el caso de Latinoamérica alrededor de 177 millones de personas viven por debajo de la línea de pobreza, y al menos una tercera parte de la población rural sigue sin acceso a la energía. La mayoría de países han impulsado políticas sociales vinculadas al acceso a fuentes modernas de energía, usando como mecanismo el desarrollo de subsidios a la electricidad y a los combustibles. En la práctica la aplicación de subsidios nacionales en su mayoría carecen de una orientación específica a la población-objetivo y se suma la ausencia de un adecuado monitoreo y seguimiento lo que termina beneficiando principalmente a consumidores que deberían estar excluidos del beneficio del gobierno. (Manlio F. Coviello, Unidad Energía y Recursos Naturales CEPAL, Naciones Unidas, 2013).

2.3 EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

Como se ha citado previamente, las energías renovables son un elemento fundamental para conseguir una transformación energética que permitan obtener un modelo de desarrollo sostenible. Hoy en día es necesario encontrar o lograr soluciones socialmente aceptables y económicamente viables que permitan disminuir la “pobreza energética”, amigables con el medio ambiente y limpias de forma que se reduzca sensiblemente la emisión de gases de efecto invernadero y, las energías renovables son un candidato ideal para lograr este cambio de paradigmas.

Además, en años recientes, el aumento de las diferencias del precio de la energía entre los diferentes países dentro del mercado de la oferta y demanda de energética, han suscitado

el debate internacional sobre el papel que tiene la energía en el crecimiento económico de las naciones. Esta tendencia obligará a los países a plantear sistemas de energización más eficientes y competitivos. Como resultado de este cambio de políticas energéticas las fuentes de energía renovable puede ser gran interés por presentar una distribución geográfica muy uniforme en comparación de las fuentes tradicionales (International Energy Agency, 2013)

De hecho, los últimos 25 años de inversión en fuentes de energía renovable han permitido reducciones de costos en valores del 40% en tecnologías relacionadas con biomasa, del 70% en geotermia y del 90% en energías eólica, solar fotovoltaica y solar térmica; lo que ha permitido tener, a las fuentes de energía renovable, un incremento moderado en su capacidad de generación de energía y en su participación en la matriz energética mundial. En la Tabla 2. 1, se observa los valores de capacidad instalada a nivel mundial para diferentes años. En el año 2013 llegó a 1560 GW lo que representa un aumento aproximado del 8% en comparación al año 2012. Se destaca sobre todo la tecnología eólica y la solar fotovoltaica que han logrado mantener un rápido de crecimiento en comparación a las otras tecnologías renovables desde el año 2004 (REN21, 2014).

Tabla 2. 1. Indicadores de la Energía Renovable.

Tecnología	Unidades	2004	2012	2013
ENERGIA				
Capacidad Instalada Renovable (sin considerar hídrica)	GW	85	480	560
Capacidad Instalada Renovable (incluyendo hídrica)	GW	800	1,440	1,560
Capacidad Instalada Hídrica	GW	715	960	1,000
Capacidad Instalada de Bioenergía	GW	<36	83	88
Capacidad Instalada geotérmica	GW	8.9	11.5	12
Capacidad Instalada de Energía Solar Fotovoltaica	GW	2.6	100	139
Capacidad Instalada Energía Solar Térmica y Concentración	GW	0.4	2.5	3.4
Capacidad Instalada Energía Eólica	GW	48	283	318
CALOR				
Capacidad Instalada Energía Solar (Agua Caliente)	GW	98	282	326
TRANSPORTE				
Producción Anual de Etanol	billones de litros	28.5	82.6	87.2
Producción Anual de Biodiesel	billones de litros	2.4	23.6	26.3

Fuente: (REN21, 2014)

Cabe recalcar que el aumento de la capacidad global de generación de energías renovables alcanzo nuevos niveles récord, principalmente por el apoyo de las políticas de promoción de países en desarrollo. En el 2013, dicho aumento represento el 56% de la adición neta a la capacidad eléctrica global. Adicionalmente se estima que hasta el año 2035, representen casi la mitad del incremento de la generación eléctrica mundial, principalmente por el empleo las tecnologías eólica y solar fotovoltaica que constituirán hasta el 45% de la expansión en renovables para esa fecha. (REN21, 2014).

2.4 ATLAS DE RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES.

Las energías renovables presentan un menor impacto en el medio ambiente a largo plazo en comparación con las fuentes de energía convencionales. Su rendimiento de producción está ligado directamente a condiciones geográficas y climáticas locales. Su explotación eficiente obliga a disponer de “atlas de recurso” que nos permitan abordar el problema de la intermitencia de los recursos energéticos de origen renovable y su nivel de aprovechamiento, mediante el estudio de su potencial y su complementariedad espacio-temporal. Otro aspecto importante del empleo de las energías renovables es la capacidad de adaptación y/o combinación en diversos sistemas de generación (mixing energético).

En la actualidad es posible encontrar una serie de herramientas, datos, de atlas o mapas elaborado por entidades públicas o privadas que permiten estimar el potencial de recurso energético a nivel local, regional, continental y mundial; los mismos están basados principalmente en información histórica local o satelital y ordenados en un Sistema de información geográfica (GIS). Un punto en discusión permanente de dicha información es su grado de confiabilidad al momento de estimar cuantitativamente el potencial de recurso, principalmente por la resolución espacial o temporal de los datos empleados en las estimaciones presentadas.

Entre las principales fuentes de información de acceso libre tenemos:

- Surface meteorology and Solar Energy, creado por La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio del gobierno de Estados Unidos de Norteamérica
- National Renewable Energy Laboratory, perteneciente al gobierno de Estados Unidos de Norteamérica .
- Solar and Wind Energy Resource Assessment, fundada por las Naciones Unidas
- Global Atlas for Renewable Energy, creada por la Agencia Internacional de las Energía Renovable.

2.5 LA SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ECUADOR

La República del Ecuador se encuentra localizada en la región intertropical (zona Tórrida) en el noroeste de Sudamérica entre los meridianos 75°11'E y 81°02'E y entre los paralelos 1°21' N y 5°S. Limita al norte con Colombia, al este y sur con Perú y al oeste con el océano Pacífico, con una superficie total de 257.217 kilómetros cuadrados y una población de 15 millones de habitantes. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2013)

El Ecuador es un estado que se gobierna de manera descentralizada, donde los diferentes niveles de gobiernos locales gozan de plena autonomía política, administrativa y financiera. La división político administrativa se organiza territorialmente en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales. Actualmente el país se divide en 4 regiones y 24 provincias (Figura 2. 6).



Figura 2. 6. División Política del Ecuador
Fuente: (INEC, 2013)

2.5.1 Contexto Energético Ecuatoriano.

El desarrollando y auge económico del Ecuador ha ido de la mano del desarrollo energético nacional, un punto de inflexión importante se generó en la década del 70 cuando comenzó la explotación petrolera en el oriente. A partir de esta fecha se puede observar como nuestro modelo económico pasa del agroexportador al extractivista, donde el petróleo es la principal fuente de ingresos. Este comportamiento continúa hasta finales del 2005, donde aparece otro punto de inflexión importante el inicio de la declinación en la producción petrolera nacional. Al momento se ha logrado extender nuestro horizonte petrolero a corto plazo por medio de la explotación de las reservas y repotenciamientos de los campos existentes. Esta situación obliga al país a mediano plazo a plantear una nueva estructura económica en base a una matriz productiva consistente con la visión de desarrollo sustentable e inclusión social.

2.5.1.1 Marco Institucional, Legal y Político.

A principios de la década del 60 se crea la primera Institución Estatal relacionada al contexto energético nacional, el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), quien por más de 30 años ejerció el control, planificación, regulación, formulación, desarrollo y operación de proyectos de todo el sector eléctrico. En el año de 1999 se decide su cierre y disolución aplicando la *Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE)*, que fue expedida el 10 de octubre de 1996. A lo largo de su vida el ahora extinto INECEL logra impulsar y desarrollar gran parte del sector eléctrico, permitiendo así su fortalecimiento y transformación a un modelo más eficiente de gestión energética. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2014) (Coello G. Javier, Morales T. Vanessa, 2010) Finalmente el INECEL fue dividido en varias empresas de generación y distribución, y una de transmisión. (IDAE, 2005).

La ley del Régimen Sector Eléctrico permitió la reestructuración y la participación del sector privado en la prestación de servicios de electricidad. El estado mantiene la rectoría y participación mayoritaria en el sector Eléctrico. En el contexto de esta Ley, se crea: el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cual se encarga de la regulación, control y fiscalización del sector eléctrico, además de garantizar el cumplimiento de las disposiciones

legales, reglamentarias y demás normas técnicas de electrificación del país de acuerdo con la política energética nacional, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), entidad responsable del manejo técnico y económico y de garantizar la operación del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y la administración de las transacciones técnicas y financieras del Mercado Eléctrico Mayorista. El CENACE agrupa a las empresas de generación, transmisión, distribución y los grandes consumidores. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2014) (Coello G. Javier, Morales T. Vanessa, 2010).

A finales de la década del 90 el Estado ecuatoriano empieza a implementar una serie de leyes, políticas, reglamentos y normas que tienen como objetivo el desarrollo sustentable a mediano y largo plazo del país, por medio de la creación de entidades como:

Ministerio del Ambiente (MAE): Fue creado el 4 de octubre de 1996 mediante Decreto Ejecutivo No. 195. Es la máxima autoridad ambiental del Ecuador y la encarga de la definición normas sobre calidad ambiental. Dentro de sus actividades tenemos el diseño de las políticas ambientales; coordinación de las estrategias y acciones sobre manejo de ecosistemas y recursos naturales. Entre sus principales objetivos esta la conservación de la biodiversidad; prevención de la contaminación; manejo las cuencas hidrográficas; y reducción el riesgo ambiental y la vulnerabilidad de los ecosistemas (Coello G. Javier, Morales T. Vanessa, 2010). Su estructura organizacional se compone de las siguientes subsecretarías:

1. Subsecretaría de Patrimonio Cultural
2. Subsecretaría de Calidad Ambiental
3. Subsecretaría de Cambio Climático
4. Subsecretaría de Gestión Marina y Costera

Asimismo preside la Corporación para la Promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CORDELIM).

En el año 1997 se firmo del protocolo de Kioto, lo que origino la creación Comité Nacional del Clima (CNC), mediante el Decreto Ejecutivo 1101 de 1999, el cual, definía y el establecía las políticas y estrategias para la ejecución del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, bajo la dirección del Ministerio del Ambiente. El Ecuador es uno de los países que ha ratificó el Protocolo de Kioto en el año 2000, confirmando así el compromiso que mantiene el Estado a nivel nacional e internacional para mitigar las afectaciones producto al cambio climático. (Castro, Hacia una matriz energética diversificada en el Ecuador, 2011).

Desde esta fecha el Estado ha dado pasos importantes en el fortalecimiento e institucionalización de sus políticas energéticas y Medio Ambiental. En el año 2007 mediante decreto Ejecutivo número 475 se escindió el Ministerio de Energía y Minas en el Ministerio de Minas y Petróleo y el Ministerio de Electricidad y Energía Renovables. En el año 2009 mediante decreto oficial 46 se reemplaza el nombre de Ministerio de Minas y Petróleo a Ministerio de Recursos Naturales No Renovables. (MRNNR, 2011).

Ministerio de Recursos Naturales No Renovables (MRNNR): Tiene como principal función coordinar, monitorear y garantizar la explotación sustentable de los recursos

naturales, formulando y controlando la aplicación de políticas, investigación y desarrollo de los sectores, hidrocarburíferos y minero. Su estructura organizacional se compone de las siguientes subsecretarías (MRNNR, 2014):

1. Subsecretaría Nacional del Desarrollo del Petróleo
2. Subsecretaría Nacional de Desarrollo de Gas Natural y Combustibles Derivados de Hidrocarburos.
3. Subsecretaría Nacional del Desarrollo Minero
4. Subsecretaría Nacional de Contratación Minera.

Adicionalmente coordina actividades de exploración, explotación, refinamiento y comercialización del crudo de petróleo con la Empresa Estatal Petróleos del Ecuador.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovables (MEER): Tiene como función principal la rectoría de la política del sector eléctrico, además de planifica la matriz energética y el incremento de la cobertura eléctrica, promoción del uso eficiente y racional de la energía buscando integración energética regional. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2014) (Coello G. Javier, Morales T. Vanessa, 2010). Para cumplir con este propósito el MEER cuenta con las siguientes Subsecretarías:

1. Subsecretaría de Política y Planificación
2. Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética:
3. Subsecretaría de Control, Investigación y Aplicaciones Nucleares.

Ministerio de Coordinación de los Sectores Estratégicos (MICSE): Creado por medio del decreto ejecutivo número 251 en enero del 2008, tiene a su cargo la coordinación y articulación de las políticas y acciones que de las instituciones que integran los sectores estratégicos definidos por el estado; proponiendo, coordinando y aplicando las políticas intersectoriales, con el fin de desarrollar vínculos entre las necesidades ministeriales y las decisiones presidenciales, además de ejecutar las tareas de gestión asignados por el Ejecutivo.

Adicionalmente el MICSE es responsable de la coordinación, supervisión y seguimiento de los recursos trascendentales como el petróleo, las minas, el agua, la energía, las comunicaciones y el transporte multimodal; y de proyectos estratégicos específicos en cuanto a su desarrollo e implementación. Teniendo como meta el lograr un Ecuador Productivo, Soberano e Inclusivo en el manejo de los recursos, con base en el desarrollo sostenible y las directrices del “Plan del Buen Vivir”.

En lo referente a leyes y reglamentos expedidos en los últimos 15 años para la promoción y desarrollo de las energías renovables en el Ecuador, se tienen las siguientes disposiciones legales:

En el año 2008 se publicó en el Registro Oficial No. 393 los nuevos lineamientos para el sector eléctrico ecuatoriano, donde se establece:

- a) Tarifa única a aplicarse al usuario final, por parte de las empresas eléctricas de distribución.
- b) Eliminación del concepto de costos marginales para la determinación del costo del segmento de generación.

- c) Financiamiento de los planes de inversión en generación, transmisión y distribución, a través del Presupuesto General del Estado.
- d) Reconocimiento mensual, por parte del Estado, de las diferencias entre los costos de generación, transmisión y distribución y la tarifa única para el consumidor final.
- e) Financiamiento del Programa de energización rural y electrificación urbana marginal - FERUM, a través del Presupuesto General del Estado.

En el año 2009 por medio del Decreto Ejecutivo 1815, se declara como política de Estado la adaptación y mitigación del cambio climático y ha dispuesto que las funciones inicialmente atribuidas al Comité Nacional del Clima sean asumidas por la Dirección de Cambio Climático, Producción y Consumo Sustentable del Ministerio del Ambiente. Existe una “Guía Ecuatoriana para la Formulación de Proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio” donde hay un alto interés en proyectos de Energía Renovable (Chiliquinga Byron, Rosero Eduardo, 2011).

En este mismo año se elabora el Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno Nacional, denominado: “Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013”, establece algunos objetivos y políticas sobre el desarrollo de las energías renovables (SENPLADES, 2009), como:

Objetivo 4: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable”.

Política 4.3: “Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles”

Como resultado de las políticas de cambio de la matriz energética nacional, se estableció la necesidad de evolucionar a un sistema de mayor eficiencia y equilibrio del suministro de energía, que permita la seguridad nacional y la conservación del medio ambiente. Con el fin de lograr esta meta se expidió en el 2011 a Regulación No. CONELEC - 003/11 sobre “Determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios preferenciales de los proyectos de generación y autogeneración”, adicionalmente la Regulación No. CONELEC 004/11, basada en el artículo 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, que establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas. Además fija los precios para generación eléctrica con tecnologías basadas en recursos energéticos renovables no convencionales: eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada (Tabla 2. 2). La misma fue reformada mediante las Resoluciones: No. 017/12 del 12 de enero de 2012; No. 023/12 de 15 de marzo de 2012; No. 093/12 de 01 de noviembre de 2012 y No. 102/12 de 01 de noviembre de 2012.

Tabla 2. 2. Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh).

CENTRALES	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	9.13	10.04
FOTOVOLTAICAS	40.03	44.03
SOLAR TERMOELÉCTRICA	31.02	34.12
CORRIENTES MARINAS	44.77	49.25
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56
GEOTÉRMICAS	13.21	14.53

Fuente: (REGULACIÓN No. CONELEC - 004/11, 2011)

Entre las medidas emprendidas está el fomento e impulso a las fuentes de energía renovables; dentro de los mecanismos se encuentran los privilegios de instalación de sistemas por medio bajo el control del Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) y la compra de la generación eléctrica (solares, eólicos, biomasa o cogeneración). Además de programas de inversión relacionados con la Reducción de Pérdidas de Energía, mejora de la calidad de servicio, Plan de Mejoramiento de la Distribución y aumento de cobertura, Programa de Energización Rural y Electrificación Urbano-Marginal, los cuales son actualmente planificados y financiados desde el Presupuesto General del Estado y administrados por el MEER.

A nivel internacional el Ecuador desde el 2010 forma parte de Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA en sus siglas en inglés), que tiene como fin la promoción, implementación y apoyo al uso sostenible de todas las formas de energía renovable, considerando las prioridades nacionales e internas y los beneficios derivados de un planteamiento combinado de energía renovable y medidas de eficiencia energética, basados en la conservación del medio Ambiente, crecimiento económico y la cohesión social, acceso igualitario al abastecimiento de energía y seguridad energética.

Como último mediante el Decreto Ejecutivo N0. 1048, publicado en el Registro Oficial el 28 de febrero de 2012, creó el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables – INER, como un Instituto Público de Investigación adscrito al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER.

Finalmente, hoy en día la participación de las energías renovables en la matriz energética del Ecuador se basa en el desarrollo de programas y reglamentos pilotos que considera los siguientes aspectos:

- a) Generación de electricidad, a través del aprovechamiento de recursos naturales en proyectos hidroeléctricos, eólicos, biomasa (co-generación) y solares (fotovoltaicos).
- b) Obtención de gas combustible (biogás), utilizando residuos orgánicos producidos por la agroindustria.

- c) Uso de biocombustibles para el transporte, a través de la sustitución parcial del consumo de la gasolina extra con etanol (proyecto piloto en la ciudad de Guayaquil).
- d) Calentamiento de agua con energía solar, para reemplazar el uso de electricidad o de gas licuado de petróleo.

2.5.1.2 Información Energética General del Estado ecuatoriano.

El comportamiento de la situación energética y sus diferentes afectaciones al entorno local es evaluada o monitoreada por parte del gobierno a través del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, quienes se encargaran de la elaboración del Balance Energético Nacional, la misma que se emplea como una herramienta que facilita la planificación energética integra en conjunto con otros elementos del sistema económico. (Chiliquinga Byron, Rosero Eduardo, 2011).

Los elementos que conforman el modelo integrado energético se muestra en la Figura 2. 7. A partir del modelo económico se estiman las variables que determinan o influyen en el comportamiento de cada sector, como es la oferta en electricidad, refinación, petróleo, entre otros insumos, y a la par su grado de demanda en el transporte, industria, vivienda, entre otros.

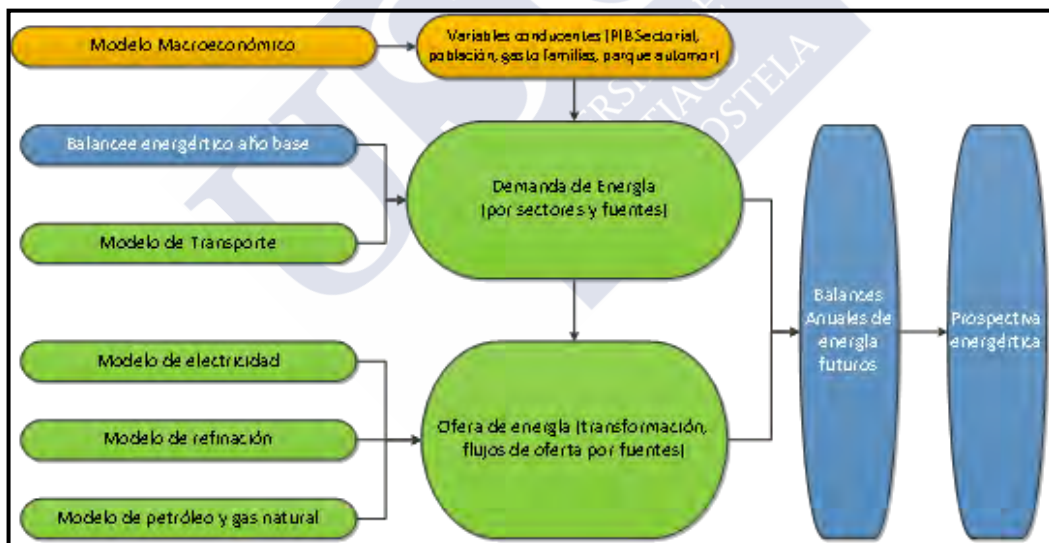


Figura 2. 7 . Modelo Energético Integrado.
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2014)

Este balance anual permite cuantificar las fuentes de energía con las que cuenta el país, las mismas que se dividen en primarias (petróleo, leña, gas natural, hidroenergía, entre otras) y secundarias (electricidad, gasolinas, diesel, gas licuado de petróleo, entre otros), así como las actividades de transformación en centros como refinerías, centros de gas y centrales hidroeléctricas o termoeléctricas.

Los resultados del último balance energético determinaron que el Ecuador tiene una capacidad instalada de alrededor de 5525 MW, proveniente de proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos en un porcentaje mayor al 90%. (Ministerio Coordinador de Sectores

Estratégicos, 2013). Desde el año 2007 hasta la fecha se ha incrementado 1000 MW aproximadamente. Finalmente se espera logran un aumento de superior de 2500 MW con la puesta en operación de los proyectos denominados emblemáticos a nivel de generación hidroeléctrica (Economía, 2013).

2.5.1.3 Formas y Fuentes de Energía.

Energía primaria: Son las fuentes de energía que se extraen de forma directa, como en el caso de las energías hidráulica, geotérmica, eólica, solar, o mediante un proceso de prospección, exploración y explotación, como es el caso del petróleo y el gas natural, o mediante recolección, como en el caso de la leña.

Energía secundaria: Es la energía que procede de los procesos de transformación de la energía primaria. Las formas de energía secundaria pueden resumirse en electricidad (producida de fuentes primarias o secundarias), gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), gasolinas, diesel y productos no energéticos (asfaltos, lubricantes entre otros derivados de hidrocarburos).

La principal fuente energética primaria que se procesa en los centros de transformación en el Ecuador es el petróleo con un 71 % (sin considerar las importaciones de derivados), el segundo lugar lo ocupa la hidroenergía con un 9%. En cuanto a la producción de energía secundaria el fuel oil ocupa el primer lugar con un 28%, seguido de la electricidad con un 19%. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

Fuentes Convencionales de Energía.

El Ecuador se ha caracterizado por suplir su demanda de energía por medio de fuentes tradicionales como lo son el petróleo y sus derivados en aplicaciones directas como el transporte, generación de calor o electricidad por medio del empleo calderos industriales, motores de combustión interna, motores diesel de alta velocidad. Turbinas de gas, turbinas de vapor y ciclo combinados de Calor. Caso aparte representan los grandes proyectos hidroeléctricos (mayores a 10 MW) que se consideran con fuente renovable convencional y a la fecha representan el 12 % del potencial hidroeléctrico del país, en los últimos años se aprecia un predominio de los mismos con una capacidad instalada mayor a 2800 MW lo cual representa más del 50% de la capacidad total del país. (MRNNR, 2014).

Fuentes No Convencionales de Energía.

Básicamente se centra en la participación de las energías renovables en la campo de la generación eléctrica inicialmente en el sector rural o aislados con sistemas fotovoltaicos y micro hídrica. La necesidad de diversificación en las fuentes de energía a nivel nacional ha permitido en años recientes la puesta en operación de proyectos de generación con fuentes renovables a gran escala, en lo que se relaciona a la energía eólica el proyecto Villonaco en la provincia de Loja con una capacidad de generación de 16 MW, También se debe resaltar el aporte de la biomasa para la generación de electricidad (94.5 MW) a través del proceso de cogeneración para cubrir la necesidad de energía de los ingenios azucareros principalmente. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2014). En el anexo 1 se puede observar el mapa de las centrales de generación No Convencionales existente en el territorio Nacional, elaborado por el CONELEC en el año 2012.

2.5.1.4 Evolución de la Oferta y Demanda.

En la práctica el Ecuador desde la explotación petrolera ha sido considerado como un neto exportador de energía primaria, esta realidad ha afectado considerablemente no solo a la matriz energética sino a toda la economía nacional, producto del alto grado de dependencia de las importaciones de energía secundaria. Cabe recalcar que el Ecuador es un país deficitario en procesamiento de derivados de petróleo (fuel-oil, diesel, GLP, entre otros), por lo cual no se puede cubrir la demanda interna y es imprescindible la importación de grandes cantidades de derivados para abastecer la demanda local.

La Figura 2. 8, muestra la producción de energía por fuentes primarias durante los últimos 40 años, donde se puede observar el papel importante del petróleo a nivel energético local, no solo para abastecer la demanda interna (carga a refinerías y generación eléctrica), sino también por la renta derivada de las exportaciones.

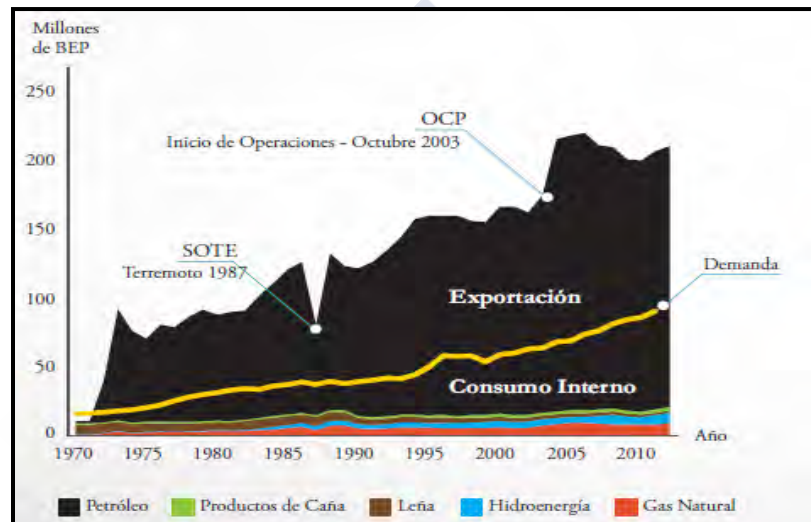


Figura 2. 8. Evolución de la Oferta de Energía en el Ecuador.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador, 2013)

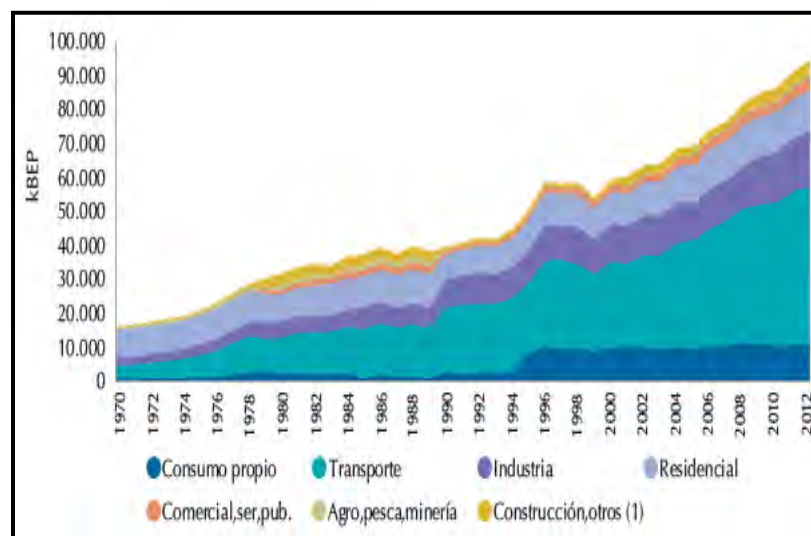


Figura 2. 9. Evolución de la Demanda Energética en el Ecuador.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

En la Figura 2. 9 se puede apreciar la curva histórica de evolución de la demanda de energía, donde se observa claramente que el sector transporte mantiene un crecimiento en su necesidad de energía, pasando de un 33% en el año 1980 a un 49% en el año 2012. Mientras el sector industrial y residencial presenta un crecimiento mucho menor en comparación al transporte a lo largo del tiempo. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013). Es evidente entonces, que la matriz energética ecuatoriana ha ido cambiando en los últimos 40 años en función de la producción de recursos primarios y servicios, en donde el petróleo predomina en la oferta de energía y el sector del transporte representa al mayor consumidor de energía debido al crecimiento constante del parque automotor.

2.5.1.5 Matriz Energética Ecuatoriana.

La cuantificación de la oferta, demanda y transformación de cada una de las fuentes energéticas existentes en el Ecuador, el inventario de recursos energéticos disponibles y la interpretación de su evolución histórica y proyección a futuro es lo que se conoce como “Matriz Energética Nacional” y se estructura como muestra la Figura 2. 10.

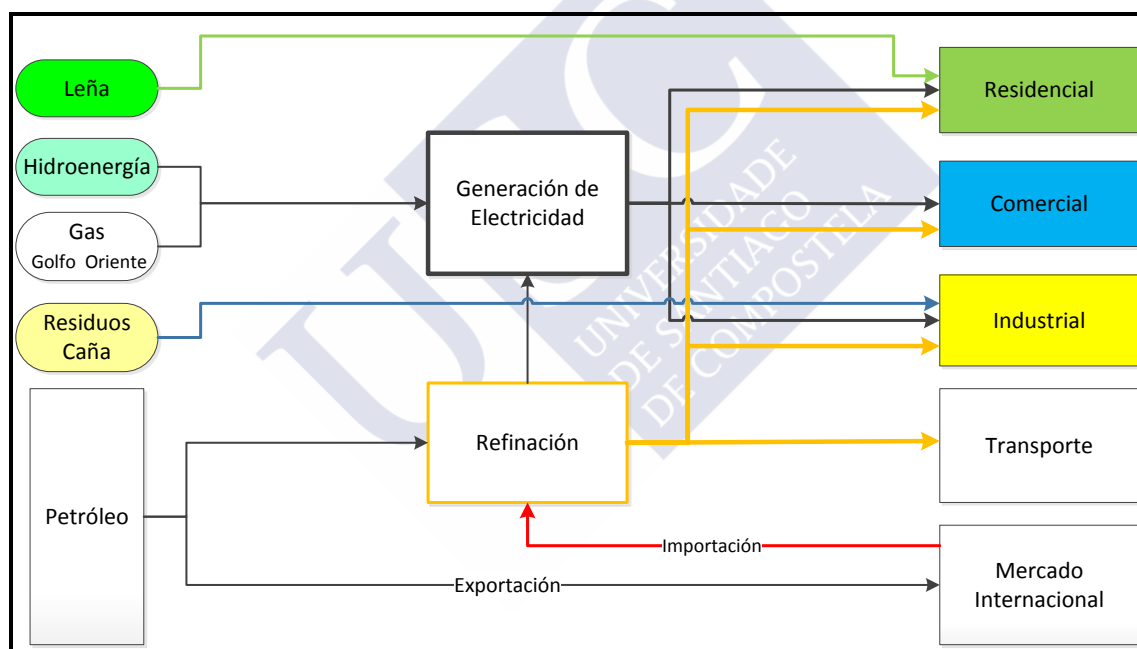


Figura 2. 10. Elementos de la Matriz Energética del Ecuador.
Fuente Adaptación (Glass, 2013)

Hoy en día, todavía la matriz energética ecuatoriana se caracteriza por su alta dependencia del petróleo y sus derivados, que representaron el 57% de las exportaciones entre el 2004 y 2010 y aportaron con el 26% de los ingresos fiscales entre el 2000 y 2010. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

2.5.2 Situación Actual de la matriz Energética Nacional.

A continuación se presenta un resumen del comportamiento de la oferta y demanda de energía nacional establecido por medio del Balance Energético Nacional al 2012 realizado por el Ministerio de Coordinación de Sectores Estratégicos.

2.5.2.1 Oferta Energética.

En el 2012 la oferta de energía primaria en el Ecuador proveniente de diferentes fuentes alcanzó el valor de 211 millones de barriles equivalentes de petróleo (MBEP), de lo cual el petróleo tiene la mayor participación con el 63%; seguido de los derivados del petróleo, en su mayoría importados, con el 17,9%; generación hidroeléctrica con el 4%; gas natural 4%; y, otros con el 3%. Finalmente la energía proveniente del petróleo o sus derivados equivale al 94% de la oferta existente. (Figura 2. 11).

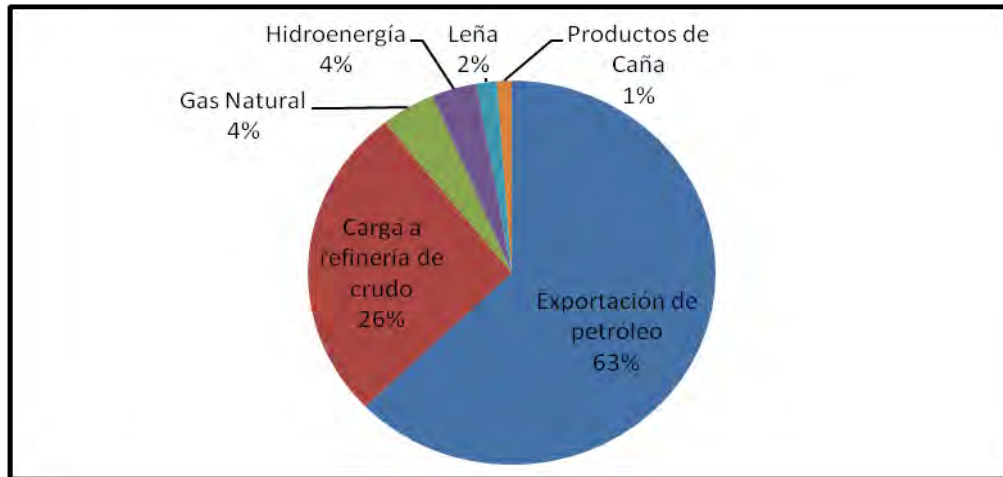


Figura 2. 11. Oferta de Energía Primaria.
Fuente (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

En lo referente a la generación de energía eléctrica, para el año 2012 la hidroenergía represento 53%, las fuentes térmicas 45%, las fuentes renovables de energía interconexión entre Perú y Colombia representaron en conjunto apenas el 2% (Figura 2.12). En el año 2012 la generación total de energía eléctrica fue 23.086 GWh/año, lo que represento un aumento del 110% en comparación al año 2000. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

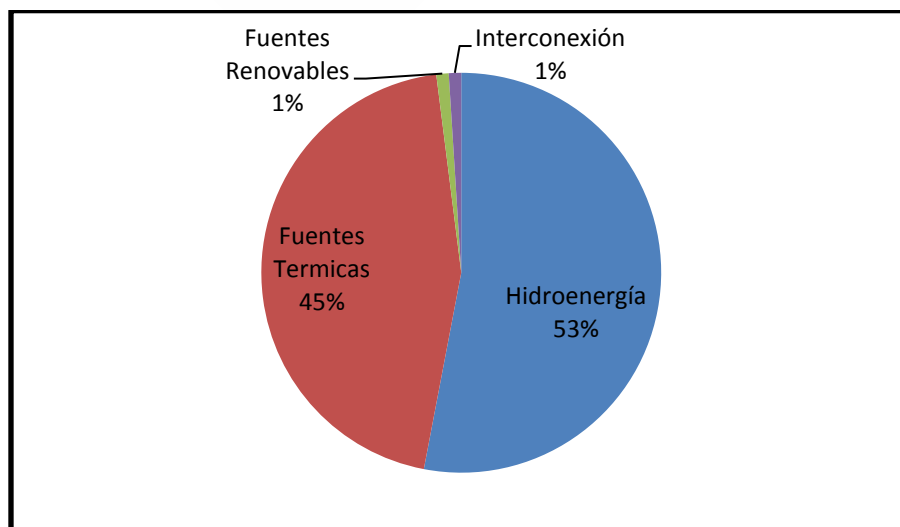


Figura 2. 12. Oferta de Electricidad.
Fuente (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

2.5.2.2 Demanda Energética.

La demanda energética local está directamente influenciada por el comportamiento económico del país, que se mide a través de la tasa de variación del PIB. Por ejemplo durante el período comprendido entre 2001 y 2012, el PIB creció un promedio anual de 4,4%, mientras que el consumo de energía creció un promedio anual de 4,7%. A partir de los estudios históricos realizados por parte del Ministerio de Sectores Estratégicos en el 2013 se estima que el Ecuador en el 2012 consumió un equivalente 84 MBEP en energía (Figura 2. 13), siendo el sector transporte como el mayor consumidor de energía con un aumento mayor al 15% en los últimos 30 años. El segundo sector de mayor consumo es el sector industrial (18%) y en tercer término el residencial (13%).

En lo referente a la electricidad para el año 2012 se consumió un aproximado 12.000 kBEP (19.377 GWh aproximadamente) repartidos en los sectores: residencial, industrial y comercial (Figura 2. 14.).

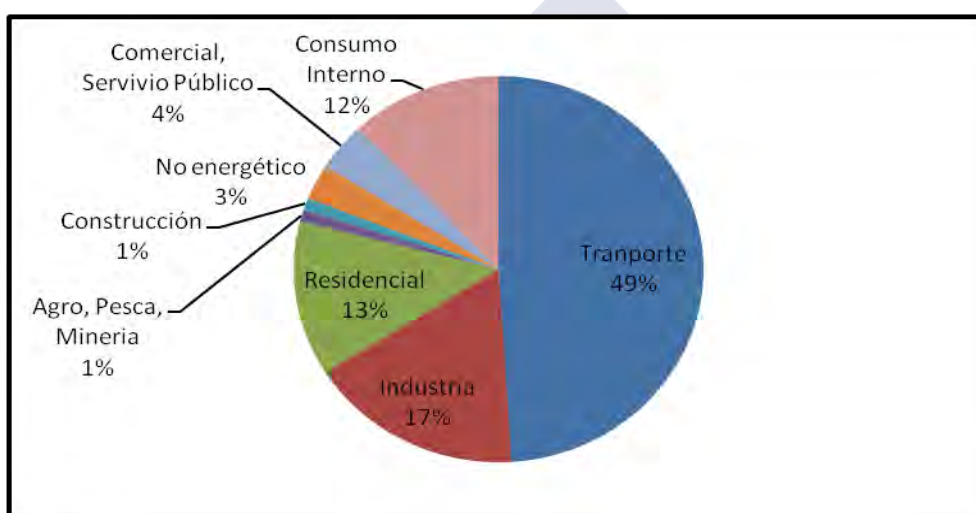


Figura 2. 13. Demanda Energética del Ecuador.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

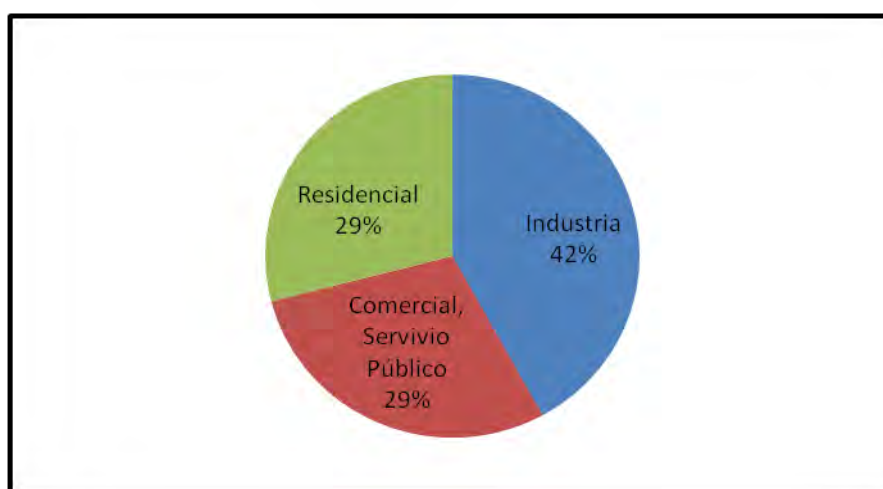


Figura 2. 14. Consumo de Electricidad por Sector.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

Es evidente la necesidad de cambio y transformación de la matriz productiva y la importancia que tiene la evolución de la matriz energética en este contexto. La misma que deberá ser sustentable mediante la diversificación de sus fuentes, tanto en generación con energía renovable, como en los usos eficientes finales de la energía. Como se describe en los apartados anteriores el Ecuador, ha emprendido una serie de políticas programas y proyectos en función del *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*, derivados en la necesidad de lograr la diversificación de la matriz energética nacional, que en la actualidad basan la producción de energía en generación hidráulica a gran escala y fuentes convencionales que operan principalmente con fuel-oil 6, denominado bunker por una que pueda sustentarse por medio de recursos renovables autóctonos (hídrica, solar, eólica biomasa y geotermia).

2.5.3 Electrificación en el Ecuador.

Como se ha descrito anteriormente, el sistema energético ecuatoriano es un sistema basado en fuentes de energía convencionales básicamente, siendo el petróleo y la hidroenergía a gran escala las principales fuentes con una participación mayor al 90% en el modelo energético. En los últimos años se ha producido un importante crecimiento del parque termoeléctrico en el país, adicionalmente el abastecimiento de energía del sector eléctrico ecuatoriano tiene una alta dependencia del comportamiento hidrológico de las cuencas de las centrales hidroeléctricas.

Nuestro análisis se centra generación de energía eléctrica, para el año 2012, el Sistema Nacional Interconectado reporto que la potencia efectiva instalada a nivel nacional comprendía a las fuentes termoeléctricas con un 55%, en segundo lugar de origen hidráulico a gran escala fue alrededor 45% y finalmente los proyectos de energía solar eólica y biomasa con menos del 1%. En ese mismo año la oferta de electricidad (Figura 2. 15) presento un predominio de las fuentes hidroeléctricas con 53% de generación. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

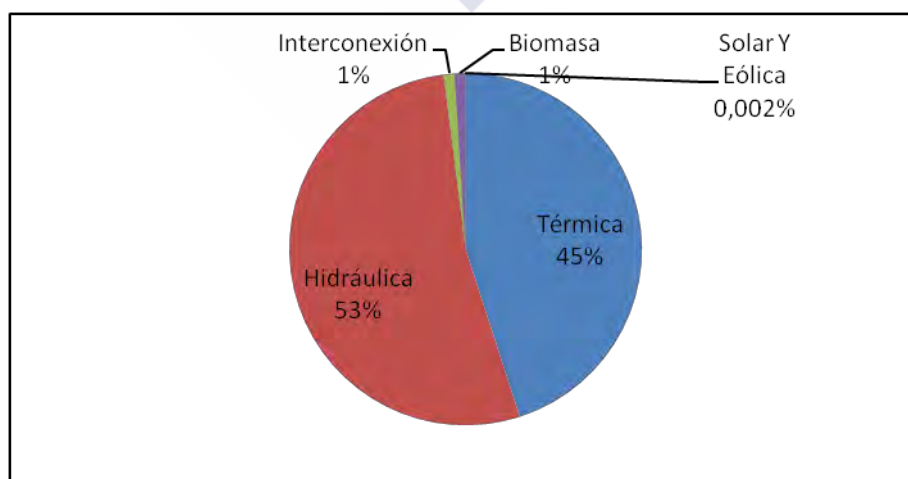


Figura 2. 15. Oferta de Electricidad año 2012.

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

En los últimos años se realizado considerables esfuerzos a fin de lograr un aumento habitantes con acceso a la energía eléctrica. Producto ha esto el Ecuador se encuentra entre los países de América Latina y el Caribe que tienen mayores niveles coberturas de

electrificación Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INEC) en el último censo realizado en el año 2010 se estima que el porcentaje total de viviendas con energía eléctrica alcanzó el 94,77%, en el área Urbana, mientras que en el área Rural se ubicó en el 89,03%. (MEER, CONELEC, CENACE, CELEC, 2013).

El Estado ecuatoriano es el encargado del desarrollo de los proyectos de electrificación rural y urbano-marginal, en las poblaciones aisladas, en la Amazonía y Galápagos. La gestión de los programas de electrificación rural está a cargo del Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal, FERUM. El financiamiento de sus actividades se deriva por 10% adicional sobre el valor facturado a los consumidores de categoría comercial e industrial.

Como se puede observar en el Anexo 2 (Mapa de Cobertura de Suministro Eléctrico a nivel Provincial) y en el Anexo 3 (Mapa de Sistemas Aislados) elaborado por el CONELEC en el año 2012, existen todavía un amplio margen de poblaciones o comunidades que no cuentan con este servicio básico para su desarrollo principalmente en zonas muy alejadas, donde el costo de redes de distribución es demasiado elevado. Esta problemática ocurre principalmente en Provincias de Orellana, Pastaza, Napo, Sucumbíos, Morona Santiago, Zamora Chinchipe que forman la Región Amazónica del Ecuador. En sus zonas rurales se estima que un 50% todavía no tiene acceso hoy a la energía eléctrica.

2.5.3.1 Proyección en la Demanda de Energía Eléctrica.

Según el informe del Plan Nacional de Electrificación 2009 -2020, existen tres posibles escenarios de proyección (Tabla 2. 3), basados en el crecimiento tendencial de la población y el consumo de electricidad, además de la incorporación de las denominadas grandes *cargas al sistema* en los próximos años producto al cambio de la matriz productiva nacional.

Entre las principales cargas proyectadas dentro del Plan de Electrificación tenemos:

- Cambio Masivo a Cocinas de Inducción
- Proyectos mineros, Industria del acero y cemento,
- Transporte eléctrico masivo (Metro de Quito, Tranvía de Cuenca),
- Interconexión y abastecimiento al sistema eléctrico petrolero ecuatoriano a través del Proyecto OGE (Optimización de Generación Eléctrica),
- Proyectos de eficiencia energética,
- Ciudad del Conocimiento (Yachay),
- La Refinería del Pacífico.

Tabla 2. 3. Proyección de la Demanda Anual de Energía Eléctrica.

Año	Demanda de Energía GWh			Tasa de Crecimiento (%)		
	Menor	Medio	Mayor	Menor	Medio	Mayor
2013	20.056	20.634	20.867	2,6	5,6	6,8
2014	20.829	21.639	22.106	3,9	4,9	5,9
2015	23.553	24.574	25.339	13,1	13,6	14,6
2016	28.088	29.313	30.436	19,3	19,3	20,1

2017	34.137	35.571	37.106	21,5	21,3	21,9
2018	35.328	36.982	38.967	3,5	4,0	5,0
2019	36.645	38.534	41.016	3,7	4,2	5,3
2020	37.866	40.009	43.035	3,3	3,8	4,9
2021	38.927	41.339	44.963	2,8	3,3	4,5
2022	39.935	42.701	46.913	2,6	3,3	4,3

Fuente: (CONELEC, 2013)

Cualquiera de los escenarios planteado involucra un aumento en la demanda de energía eléctrica, lo que implica a corto y mediano plazo la puesta en operación de nuevas centrales de generación, a todo se suma la necesidad de mejorar, fortalecer y ampliar el sistema interconectado Nacional, que se encuentra cerca de su límite de capacidad de distribución y con alto grado de pérdidas de energía, atendiendo a esta necesidad se están ha propuesto un Plan de Expansión de Transmisión, que busca solucionar los problemas operativos existentes hoy en día. (CONELEC, 2013). Tal como se ha visto es necesario evolucionar a modelos de generación de electricidad en forma descentralizada, que se encuentre relativamente cerca de zonas de consumo, logrando así reducir las pérdidas energéticas por transmisión.

El Estado ecuatoriano en función de estos escenarios y enmarcado en el Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022, plantea como estrategia el desarrollo de una herramienta integral e intersectorial, que entre su principales puntos esta el fomento del uso de recursos energéticos renovables y lograr la soberanía energética, permita garantizar el abastecimiento de energía eléctrica a la demanda nacional, en el corto, mediano y largo plazos.

2.5.4 Barreras Existentes para las Fuentes Renovables.

El Ecuador dentro de sus políticas de cambio de la matriz energética nacional, impone la necesidad de evolucionar a un sistema de mayor eficiencia y equilibrio del suministro de energía, que permita la seguridad nacional y la conservación del medio ambiente. Sin embargo, todavía existen una serie de barreras que impiden la promoción y desarrollo de las fuentes de Energía Renovables en el Ecuador, entre las cuales tenemos:

- Falta de conocimiento entre los usuarios sobre las limitaciones de las tecnologías de energía renovable.
- No existen Planes de Capacitación para los usuarios finales en el caso de sistemas aislados y rurales.
- Alta inversión inicial para la instalación de los sistemas renovables, falta de incentivos o subvenciones gubernamentales.
- Inexistencia de mercados bien establecidos debido a la falta de gestión de actividades de divulgación y promoción.
- Falta de Reglamentos o Regulaciones en el campo tecnológico.
- Ausencia o mínimo grado de información sistematizada sobre el potencial de los recursos renovables y su localización.

Adicionalmente es conocido que el Ecuador es uno de los pocos países de Latinoamérica que no cuenta con una red de estaciones meteorológicas lo suficientemente

densa y equipada que permita la evaluación exhaustiva de los recursos solar y eólico, la mayoría de las estaciones no trabajan en forma continua, ni monitorean los parámetros necesarios desde el punto de vista energético, siendo necesario su actualización en forma inmediata con equipos de primer nivel, más aún considerando la complejidad topográfica y la diversidad de condiciones climáticas que presenta nuestro territorio dificulta la instalación masiva de las misma.

Toda esta problemática repercute directamente en el empleo de fuentes renovables de energía principales tecnologías como la solar y eólica, que en la mayoría de casos las instalaciones realizadas presentan errores de dimensionamientos derivados de una incorrecta estimación del recurso. Tal es el efecto contraproducente que actualmente varios sistemas están funcionando en forma defectuosa, hasta el punto de estar totalmente anulada su productividad y funcionamiento. Contribuyendo, en alto grado, a la generación de rechazo y falta de confianza por parte de la población a la inserción de estos sistemas.



CAPITULO 3

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

3.1 INTRODUCCIÓN

Previo a la realización de cualquier modelo computacional para estimación de recursos es importante conocer primero las características geográficas y climáticas de la región de estudio, puesto que su interacción va determinar en gran parte el comportamiento del régimen de vientos y la radiación solar.

En este capítulo además de describir las características principales del Clima en el Ecuador y las variables climáticas que interactúan en nuestra región. Se ha procedió a

realizar el inventario de estaciones meteorológicas en el territorio nacional, seguido del levantamiento, procesamiento y evaluación de la información local disponible en lo relacionado a series de temporales de datos tanto de la velocidad y dirección del viento, como la radiación solar por medio de la heliofania. Dicha información corresponde a los registros históricos pertenecientes a las estaciones meteorológicas administradas tanto por Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), principalmente.

Es importante recalcar que la mayoría de trabajos revisados y de los cuales se hace referencia en este capítulo son de la década de 80 y 90, pues al momento no existen publicaciones más actuales que presenten la temática tratada en profundidad.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Previo al análisis o interpretación de las características morfológicas o climáticas del Ecuador será necesario repasar algunos conceptos básicos de interés:

3.2.1 Coordenadas geográficas

Indica la posición o la localización geográfica de un punto en el globo terráqueo. Se pueden definir por medio de los siguientes ángulos:

Latitud: Se mide en grados, minutos y segundos entre un punto de la superficie terrestre y el ecuador. Se mide desde el ecuador hasta el polo sur de 0° a 90°S (-90°), y hasta el polo norte de 0° a 90°N ($+90^\circ$). Las líneas de latitud se denominan paralelos

Longitud: Se mide en ángulo en grados, minutos y segundos entre un punto de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich en Londres, se le asigna el valor 0° . La longitud se mide desde meridiano de Greenwich de 0° a 180° este ($+180$) y de 0° a 180° oeste (-180). Las líneas de longitud son circunferencias cuyo diámetro es el eje terrestre y que concurren en los polos, que se llaman meridianos.

3.2.2 Radiación Solar

La radiación solar es la energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas, siendo la fuente fundamental de energía de nuestro planeta. La misma determina los procesos químicos y dinámicos que ocurren en la atmósfera extraterrestre.

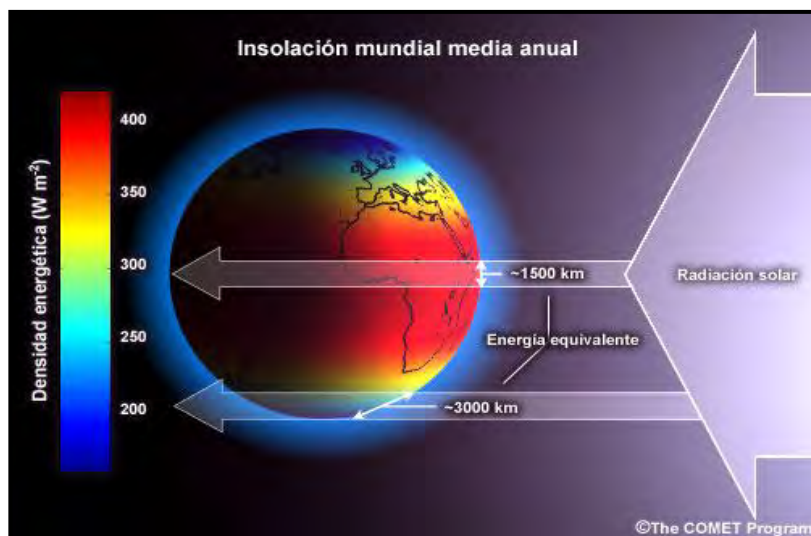


Figura 3. 1. Variaciones latitudinales en la radiación solar entrante anual (insulación), la densidad de energía y la distancia a la superficie
Fuente: (University Corporation for Atmospheric Research, 2011).

A continuación, describe los componentes de la radiación solar que inciden sobre la superficie de la tierra, además de otros parámetros de interés en campo de desarrollo de la presente tesis.(Duffie & Beckman)

Radiación solar Directa (G_b): Es la radiación que proviene del sol a través del camino óptico, es decir, es la radiación recibida por el sol sin que se desviara en su paso por la atmosfera.

Radiación solar Difusa (G_d): Es la radiación proviene de sol después de haber sido dispersada por la atmosfera sin ser direccional , es decir, sufre cambios en su dirección principalmente debido a la reflexión y difusión en la atmosfera.

Radiación solar total o global (G_T): Es la suma de la radiación directa y difusa, que se mide sobre una superficie horizontal. Típicamente se mide por medio de un piranometro.

Albedo (ρ_g) o radiación reflejada: Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas. Depende de la altura zenital (inclinación del sol), rugosidad y tipo de superficie. Se puede medir instalando un piranometro frente la superficie del suelo

Irradiancia: Considerada como una densidad de potencia que incide en una superficie, es decir, es un valor instantáneo para una superficie de un m^2 , se mide en W/m^2 .

Irradiación (I): Es una densidad de energía que se obtiene a través de la integración de la irradiancia sobre un periodo de tiempo específico, típicamente una hora o un día. Es decir, es el valor durante un tiempo de radiación para una superficie de m^2 , mide en J/m^2 o Wh/m^2 .

Heliofania: Según la Organización Mundial de Meteorología (WMO, en sus siglas en ingles), se define como el tiempo de brillo solar y representa la suma de periodos para los

cuales la radiación solar directa supera el umbral de 120 W/m^2 , Se mide en horas y minutos de brillo solar. La heliofania está relacionada no solo con la irradiación global, sino además, con otras magnitudes como la irradiancia directa entre otras. Se mide por medio de los heliografos o heliofanografos.

Es conveniente notar que la cantidad real de radiación solar recibida en el borde exterior de la atmósfera varía ligeramente en función del comportamiento del sol, pero en valor promedio se tiene llegando al límite superior de la atmósfera terrestre alrededor de $1,3 \text{ kW/m}^2$; este valor es conocido como la *constante solar*. Ahora bien, un gran porcentaje de esta radiación logra atravesar la atmosfera, producto que la atmósfera es casi totalmente transparente a la radiación visible y a la infrarroja solar (onda corta) y apenas un 20 % de la radiación que recorre la atmosfera es atenuada, mientras la superficie terrestre absorbe la mayor parte de la radiación solar incidente. Se estima que entre la atmósfera y la superficie terrestre, se absorbe el 70 % de la radiación solar que penetra el límite superior. De ahí que la superficie terrestre calienta la atmósfera desde abajo a través de emisiones de radiación de onda larga y de calor, y la liberación de calor latente en los procesos de evaporación y convección. (Figura 3. 2) En la práctica, la radiación solar lograr alcanzar la superficie de la Tierra con valores máximos que raramente superan 1.2 kW/m^2 en días despejados. (University Corporation for Atmospheric Research, 2011)(Gallegos Grossi, 2005) (Ahrens, 2012)

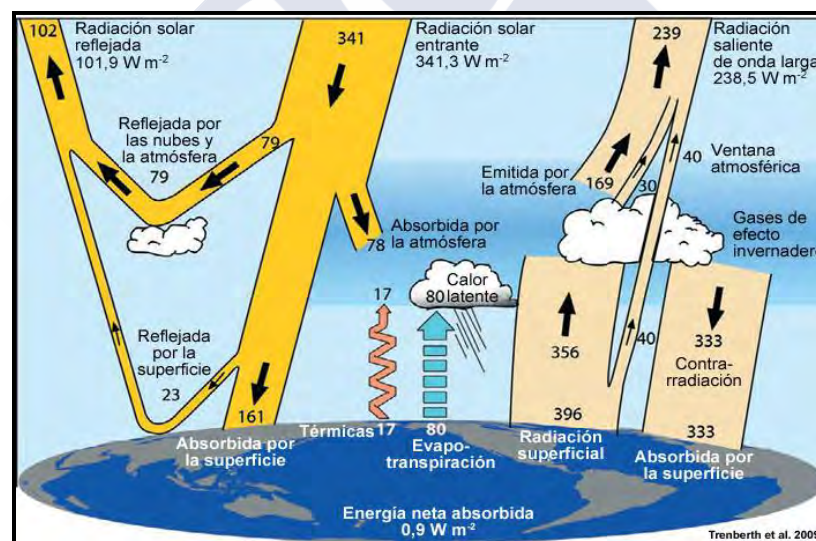


Figura 3. 2. Balance de Energía

Fuente: (University Corporation for Atmospheric Research, 2011)

La Figura 3. 1 muestra la distribución latitudinal de la radiación solar entrante y su efecto en la densidad de la energía recibida en la superficie. El máximo valor se produce en ecuador y el mínimo en los polos. Esta diferencia en la intensidad de radiación captada por la Tierra se deriva en que en las latitudes más altas abarca un área mayor de incidencia Cabe agregar, que la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra es atenuada por diversos procesos que se producen a lo largo de su recorrido a través de la atmósfera. En la practica la radiación solar alcanza la superficie de la Tierra con valores máximos que raramente superan 1.2 kW/m^2 en días despejados. (Gallegos Grossi, 2005; University Corporation for Atmospheric Research, 2011)

Sin embargo, nuestro clima no es determinado por la energía solar entrante (insolación), sino por la radiación neta, es decir, el equilibrio entre la radiación entrante y saliente del sistema Tierra-atmósfera.

3.2.3 Atmósfera

Se define como una mezcla de gases que rodean o cubren a la Tierra. La atmósfera terrestre es una delgada envoltura gaseosa, constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón, dióxido de Carbono, vapor de agua, trazas de Oxígeno.

3.2.3.1 Descripción de la atmosfera

La concentración de los gases que componen la atmósfera varían con la altura. Esto significa que los gases se hacen menos densos con la altura. (Rosa María Rodríguez Jiménez, 2004).

La presencia de O_2 y el CO_2 en la atmósfera permiten la presencia de seres vivos. La presencia del vapor de agua y el CO_2 , que actúan como regulador de la temperatura en la Tierra. El vapor de agua y el CO_2 , junto con otros gases menos abundantes como el metano o el ozono, son los llamados gases de efecto invernadero. La radiación solar puede cruzar la capa atmosférica sin problemas, pero la radiación emitida por la Tierra, es absorbida por gran parte de la atmósfera. (Ahrens, 2012)

Además de la densidad y la composición del aire, la temperatura de la atmósfera varía con la altura. A partir de esta variación térmica la atmósfera puede dividirse en las siguientes capas (Figura 3.3)

Troposfera: Se extiende desde la superficie hasta una altura aproximada de 10 km en los polos y 18 km en el ecuador. En esta capa, que concentra un 80% de toda la masa de la atmósfera, ocurren los fenómenos meteorológicos más relevantes. La temperatura disminuye paulatinamente con la altura hasta alcanzar los $-70^\circ C$.

Estratosfera: En esta capa de la atmósfera, la temperatura se incrementa hasta alcanzar aproximadamente los $-10^\circ C$ a unos 50 km de altitud. Es en esta capa donde se localiza la máxima concentración de ozono, “capa de ozono”, gas que al absorber parte de la radiación ultravioleta e infrarroja del Sol.

Mesosfera: En esta capa, la temperatura vuelve a disminuir con la altura hasta los $-140^\circ C$. Llega a una altitud media de 80 km.

Termosfera: Es la última capa, que se extiende hasta varios cientos de kilómetros de altitud, presentando temperaturas crecientes hasta los $1000^\circ C$. Los gases que se encuentran en esta capa presentan una densidad muy baja y se encuentran ionizados.

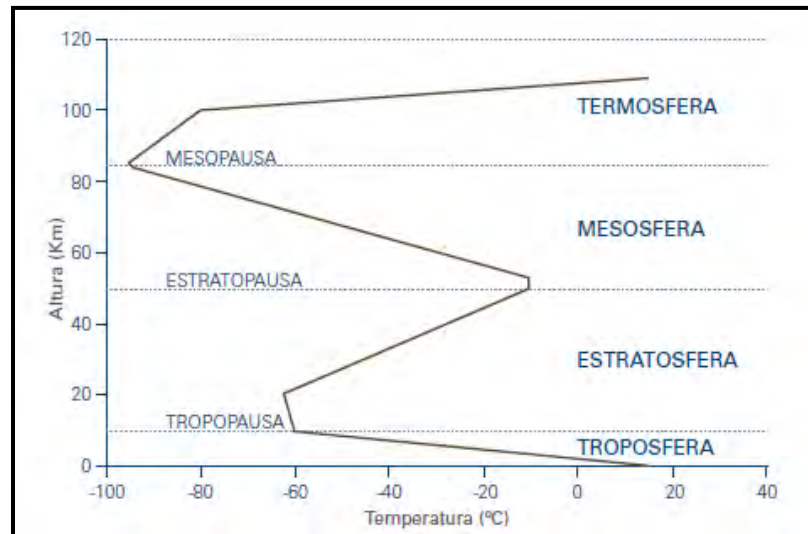


Figura 3.3. Perfil Térmico de Atmósfera

3.2.4 Clima y Tiempo Atmosférico.

El clima es la descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y de la fluctuación de las variables meteorológicas de interés durante periodos de interés (normalmente, tres decenios, según la normal climatológica definida por la Organización Meteorológica Mundial). Se entiende entonces como clima al estado de la atmósfera en períodos largos y representativos de tiempo. Para establecer las características o patrones representativos del clima para una región se requiere disponer de datos de las variables en diferentes escalas temporales previamente definidas, que se registran por medio de sistemas de observación meteorológicas.

Además de la radiación solar comentada en el apartado 3.2.2 existen otras variables meteorológicas cuyo comportamiento e interacción contribuyen a la caracterización del clima local o regional. Entre las principales variables ambientales tenemos la temperatura, la presión, el viento, la humedad entre otras. El clima de una región está influenciado por: localización geográfica, orografía, altitud, corrientes marinas, cuerpos de agua entre otros.

En la práctica, el clima de una región se puede clasificar según los valores promedios de diferentes variables, generalmente precipitación y temperatura

En cambio, el tiempo Atmosférico representa el estado de la atmósfera dentro de la troposfera en un momento dado sobre una región específica (horas-días-meses), el cual, es producto a una compleja combinación de movimientos horizontales y verticales de las masas atmosféricas.

3.2.4.1 Variables que caracterizan el clima.

Temperatura: Es uno de los factores ambientales más importantes y con un amplio registro histórico de datos a nivel mundial tanto en valores promedio como en sus oscilaciones a diferentes escalas temporales. La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo resultante de calor entre dos cuerpos, el cuerpo que en total libera calor al otro se dice que está a una temperatura más elevada. El instrumento de medición se

denominada termómetro y empleada las escalas de grados Celsius (°C) y Fahrenheit (°F) habitualmente. (OMM, Compendio de apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico, 1990). El comportamiento de la temperatura ambiental contribuye en sobre manera a la presencia de un determinado tipo de clima en una región de interés. (OMM, Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, 1996)

Precipitación: Se denomina precipitación al agua de la atmosfera que cae en forma líquida (lluvia, llovizna, niebla y rocío) o sólida (nieve, escarcha y granizo). La precipitación generalmente se mide mediante la captación de agua en un determinado tipo de recipiente (denominado pluviómetro), convirtiéndose después esta cantidad en otra equivalente. En los registros meteorológicos se empleada como unidad los milímetros (mm). (OMM, Compendio de apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico, 1990).

Humedad: Se define como la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. La misma depende de la evaporación que a su vez es función de la temperatura y del nivel de precipitaciones de una región. Así, mismo se define como La Humedad Relativa a la relación entre la masa de vapor de agua contenido en la unidad de volumen del aire y la de vapor de agua, que sería necesario para saturar este volumen a la misma temperatura. Normalmente se expresa en tanto por ciento. Los instrumentos para medir la humedad o el contenido de vapor de agua en la atmósfera se llaman Los instrumentos para medir la humedad o el contenido de vapor de agua en la atmósfera se denominan Higrómetros (OMM, Compendio de apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico, 1990).

Presión atmosférica: La atmosfera no presenta una composición homogénea en lo que respecta a masa de aire que interactúa con los demás factores que influyen en el clima. Dependiendo de la densidad de esas masas, ejercerán una presión distinta sobre la atmósfera que las rodea, generando las diferencias de presión. La presión atmosférica depende directamente de la altitud, a mayor altitud menor presión. Típicamente se utiliza un instrumento denominado barómetro, el cual, registra la presión atmosférica en hectopascuales (hPa). (OMM, Compendio de apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico, 1990).

Viento: Se define viento como el desplazamiento movimiento del aire producido por las variaciones de presión en la atmosfera. Es otra variable climática de interés de registro tanto en dirección como magnitud a diferentes escalas temporales. La intensidad del viento es considerada en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellas en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y la tercera perpendicular a ese plano. Para la mayoría de los propósitos meteorológicos operativos, la componente vertical es despreciada, considerándose por lo tanto el viento de superficie como una cantidad vectorial de dos dimensiones. (OMM, Compendio de apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico, 1990). Las unidades empleadas en los registros tanto en las observaciones de superficie como en altitud, para la magnitud es en metros por segundo (m/s) o en nudos (kt). La dirección del viento se registran en grados dextrósum (en el sentido de las agujas del reloj) normalmente en una escala 0–360 grados, donde 0 o 360 equivale al norte. La localización normal de los instrumentos de medida del viento tanto anemómetro como veleta

es a diez metros por encima de dicho terreno. (OMM, Compendio de apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico, 1990).

3.2.4.2 Factores que inciden el clima.

Latitud: Las franjas climáticas en la Tierra se distribuyen en base a la latitud, el comportamiento de cada franja dependerá de la distancia que se encuentre al paralelo cero. Esta dependencia tiene relación con la inclinación de los rayos solares y número de horas de radiación solar que recibe una región en función a la inclinación del eje y el movimiento de traslación de la Tierra.

Altitud: Es la altura o distancia que se encuentra un punto geográfico con respecto al nivel del mar. Este factor influye en el calentamiento de las masas de aire. La temperatura es inversamente proporcional a la altitud. Se conoce como gradiente térmico atmosférico a la relación entre la Temperatura de la atmósfera y la altura, la cual varía normalmente entre 5 y 8°C/km. Su valor juega un rol fundamental en determinar la estabilidad o inestabilidad de las masas de aire.

Localización Geográfica: La ubicación continental de una región y/o la presencia de océanos son factores importantes en el clima de una localidad. Los cuerpos de agua actúan como un regulador térmico producto a la diferencia en la velocidad de calentamiento de la tierra y la superficie del mar. El viento sopla hacia tierra durante el día, siendo el sentido contrario durante la noche.

Orografía: Las formaciones orográficas actúan como una barrera o paso natural a las masas de aire, obligando al aire ascender y enfriarse. Por ejemplo, las montañas pueden generar nubosidad de carácter orográfico al forzar ascensos en las masas de aire incidentes.

Corrientes Marinas: Las corrientes oceánicas son desplazamientos de masas de agua frías o calientes, debido a la acción del viento y las diferencias de temperatura y salinidad, finalmente la fuerza de Coriolis influyen en la dirección del flujo de las corrientes. Hay dos tipos de corrientes en el océano. Las corrientes superficiales, que constituyen el 10% del agua del océano y se encuentran desde los 400 m hacia arriba. Las corrientes de agua profunda o la circulación termohalina que afectan el otro 90% del océano.

3.2.4.3 Sistemas de observación meteorológica

Los sistemas de observación meteorológica se conforman tanto de observaciones in-situ como por empleo de sensores. Existen varios sistemas de observación, donde se destacan las mediciones en superficie, de altura, marina y satelitales.

Medidas en superficie: Esta compuesta por alrededor 4000 estaciones de superficie que representan la base de redes de estaciones sinópticas a nivel del globo (WMO, 2014). Las observaciones se realizan en lugares establecidos, donde es necesario contar con datos meteorológicos para una o varias finalidades, ya sea en tiempo real, en tiempo diferidos o ambos. Estos lugares deben reunir determinadas condiciones técnicas normalizadas y se los denomina "estaciones meteorológicas".

Medidas de altura: Se realizan por medio de estaciones de radiosondeo o globosonda distribuidas en todo el globo. Realizan mediciones de presión, temperatura, viento y humedad desde superficie hasta aproximadamente 30 km de altura.

Observaciones Marinas: Se realizan con el fin obtener variables sobre el comportamiento marino. Los registros provienen de barcos, boyas fijas y boyas a la deriva. Además de las variables que se reportan en las estaciones de superficie a nivel costero, registran la temperatura de agua de mar, altura y período de las olas

Observaciones Satelitales: Son los registros proporcionados por la red de observación satelital incluye los satélites de órbita polar y geoestacionarios.

3.2.5 Movimientos atmosféricos.

Tal como se ha visto, el viento es una masa de aire en movimiento producto a la existencia de un gradiente de presión en la atmosfera originado por las diferencias en la irradiación solar que recibe la Tierra a lo largo de sus diferentes latitudes. Este movimiento permite el intercambio de energía en la atmosfera lo que influyen en el clima a nivel regional y local

El viento surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre y la atmosfera, en donde las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y con menor densidad.

Es importante destacar que la variación de la presión con la altura no da lugar a movimientos verticales de aire considerables, pues cualquier variación de presión será compensada por la acción de la fuerza de la gravedad dirigida hacia abajo. (Equilibrio hidrostático). Por lo tanto se conoce como "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal y puede ser caracterizado por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la magnitud de la velocidad.

3.2.5.1 Circulación del Aire en la Atmosfera

La Tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en la energía cinética del viento a escala global en donde Los trópicos y las latitudes más bajas de la tierra son las regiones que reciben mayor energía solar, mientras que las latitudes más altas y los polos son las regiones con un balance energético negativo, es decir, aquí la Tierra pierde energía a través de la radiación térmica. Adicionalmente las corrientes oceánicas y la conducción del calor atmosférico no son suficientes para compensar esta diferencia de calentamiento del globo por lo que se producen intercambios térmicos entre las zonas más calientes y las más frías. Para restablecer el equilibrio: el aire caliente se desplaza hacia los polos y el aire frío hacia el ecuador. (Ahrens, 2012)

Esta interacción puede generar dos tipos de sistemas (Cazorla, 2014):

Sistema de Baja Presión (Depresión): Se caracteriza por un alto grado de inestabilidad atmosférica, mucha nubosidad y precipitaciones moderadas a fuertes.

Sistemas de Alta Presión (Anticiclón): Se caracteriza por un alto grado estabilidad atmosférica, poca nubosidad y precipitaciones nulas o escasas.

En resumidas cuentas, cerca del Ecuador, la baja atmósfera se calienta y se eleva, creando una baja presión que succiona viento de ambos hemisferios (Zona de Convergencia Intertropical). Esta zona de baja presión esta ligeramente desplazada hacia el hemisferio Norte; en ella los vientos son ligeros del este o del oeste. A ambos lados de esta zona de bajas presiones soplan los vientos alisios. Se trata de vientos muy constantes que convergen hacia el Ecuador, en una región limitada aproximadamente entre los 30 ° de latitud norte y sur.

Es necesario acotar, que el aire en movimiento se ve afectado por la fuerza de rozamiento, por la aceleración centrípeta y la fuerza de coriolis que aparece como consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra, provocando desviaciones en el sentido del viento hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur respectivamente. (Figura 3. 4) (Si la Tierra no girara la celdas de Hadley irían del Ecuador a cada polo respectivamente)

Finalmente el efecto de Coriolis divide el flujo directo de aire entre el ecuador y los polos en tres regiones o celdas de circulación en cada hemisferio:

- La celda ecuatorial o de Hadley, en esta región se forma los denominados vientos alisios
- La celda de latitudes medias o de Ferrel
- La celda del frente Polar

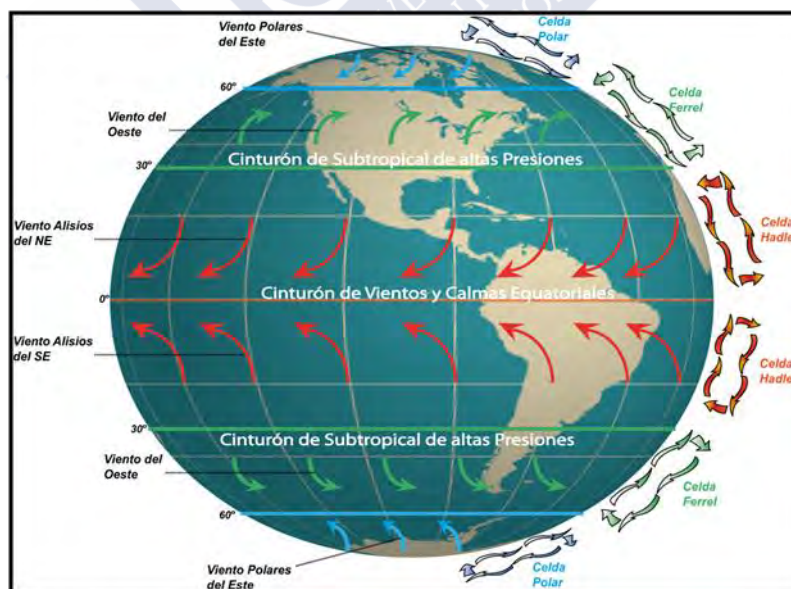


Figura 3. 4. Circulación General del Aire en la Atmósfera

3.2.6 Escalas Meteorológicas.

En este orden de ideas, resulta necesario describir las diferentes escalas meteorológicas existentes, y sobre todo aquellos términos que se utilizaran en los siguientes apartados de la tesis.

Las escalas meteorológicas se pueden dividir o distinguen a partir de los fenómenos que estudian, en función de la extensión espacial y temporal de los mismos. Cabe recalcar, que existe entre ellas una importante interacción que hace que los fenómenos que se generen o existan en una escala puedan influir o estar influidos significativamente en otra

En 1975, Orlanski propuso una clasificación de escalas meteorológicas considerando las características espaciales o dimensionamiento horizontal de los sistemas meteorológicos y su duración temporal en la Tierra. Siendo ampliamente aceptada hoy en día por la Organización Meteorológica Mundial. En la Tabla 3. 1, se puede leer dicha clasificación en donde se distinguen básicamente tres escalas: la sinóptica o macroescala, la mesoescala y la microescala.

Tabla 3. 1. Escalas Meteorológicas

Escala	Dimensión (Km)	Duración	Fenómenos Atmosféricos
Macroescala	15000	1 mes	Circulación en General
	5000	1 semana	Depresiones y anticiclones
	500	2 días	Huracanes y Frentes
Mesoescala	100	6 horas	Brisas, Complejos convectivos, Isla Térmica
	5	1 hora	Tornados
	500	30 min	Cúmulos, Tornados, Vientos catabaticos
Microescala	50	5 min	Penachos, Estelas
	2	1 s	Ondas Sonoras, Turbulencia

Fuente: Adpatado (Orlanski, 1975).

Las escalas más comunes en el estudio de la meteorología, que han sido resumidas en la Tabla 3. 1, son:

Macroescala: También conocida como escala sinóptica, en la misma se describen los fenómenos definidos por un rango espacial de cientos a miles de kilómetros y cuyos procesos tienen una duración de días.

Mesoescala: También llamada escala regional. En esta escala se describen fenómenos meteorológicos definidos desde pocos a centenares de kilómetros y temporalmente desde minutos hasta horas de duración. Los fenómenos dentro de esta escala es tan muy influenciadas por la orografía. Además, pueden presenta un ciclo diario muy marcado, pudiéndose distinguir en esta escala comportamientos muy diferentes durante la noche y el día.

Microescala: Esta escala describe fenómenos meteorológicos definidos por un rango espacial del orden de metros o incluso inferior y temporalmente del orden de segundos

Es importante señalar que la permanencia de un fenómeno meteorológico en la atmósfera depende de su escala espacial. Cuanto más grande es su escala espacial, más es su influencia en el tiempo.

3.3 DIVISIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA DEL ECUADOR.

Ecuador se localiza al noroeste de Sudamérica y sus costas están bañadas por el océano Pacífico. La línea equinoccial o ecuatorial cruza el país, y por ende se sitúa geográficamente en la zona intertropical, entre los meridianos 75° 11' y 81° 01' de longitud este, y entre los paralelos 10° 21' de latitud norte y 5° de latitud sur. Cabe mencionar, que el presente trabajo solo corresponde a la parte continental del territorio, por ende no se incluye el archipiélago de Galápagos en el mismo.

En primer lugar, es evidente que la topografía desempeña un papel de importante en la distribución de los climas de una región, por lo cual es necesario realizar una breve descripción del relieve continental del Ecuador.

La Cordillera de los Andes que conforma la cadena montañosa principal de América del Sur, atraviesa nuestro territorio continental de Norte a Sur como se observa en la Figura 3. 5, dividiendo a su paso al Ecuador en tres regiones naturales con características climatológicas muy diferentes. Estas regiones son denominadas como: Costa, Sierra y Oriente.(Quevedo, 2000; Gérard Rodriguez, Nelson Defines, 1996)

La **Costa** es denominada Región Litoral y corresponde al 25% del territorio, es una zona con elevaciones inferiores a los 500 metros (por lo cual se lo puede considerar plana). Limita con el Océano Pacífico al Oeste y con la cordillera Occidental al Este. La faja de la región litoral abarca aproximadamente 100 Km. de ancho, con valores extremos de 180 Km. en la latitud de Guayaquil y 40 Km. en la parte Sur. En la parte Norte y Occidental se extiende la cordillera costanera con una altura máxima de 800 metros. Cerca de Puerto López cambia su dirección al Este para desaparecer en Guayaquil. Al Sur, la provincia de Santa Elena y la isla Puna se caracterizan por zonas elevaciones entre 100 y 200 metros y planicies bajas cerca al mar. Colindante a la cordillera de los Andes, existe la Llanura del río Guayas de aproximadamente 80 Km de ancho.(Pourrut, Los Climas del Ecuador . Fundamentos Explicativos, 1983).

El clima de la zona depende del comportamiento del océano (corrientes del Niño y Humboldt) en la práctica la región es de clima tropical húmedo y pequeñas zonas bosque tropical seco al sur. (Quevedo, 2000; Gérard Rodriguez, Nelson Defines, 1996)

La **Sierra** es llamada Región Interandina se encuentra entre las cordilleras Occidental y Central. Corresponde al 27% del territorio con altitudes medias entre 4000 metros cuyo ancho oscila entre 100 y 140 Km. Desde la frontera Norte hasta 2° 30' S existen dos cordilleras muy individualizadas (cordillera Occidental y cordillera Real), ambas presentan formaciones volcánicas con alturas entre 4300 y 6300 metros. El callejón interandino, limitado por estas cordilleras, tiene un ancho inferior a 40 Km. Entre las latitudes 2° 30' S Y 3° 40' S, las alturas disminuyen y se observan extensos relieves tabulares y ondulaciones entre 3000 y 4700 metros. Finalmente al Sur de la latitud 3° 40' S, las dos cordilleras pierden su individualidad, alcanzando alturas entre 2000 a 3500 m, se observan la presencia de dos valles transversales: Catamayo y Puyango.(Pourrut, Los Climas del Ecuador . Fundamentos Explicativos, 1983).

Esta región se caracteriza por tener un clima de paramo con temperatura que puede llegar a ser menores de 10 °C, de carácter húmedo y seco en su mayoría. (Quevedo, 2000; Gérard Rodriguez, Nelson Defines, 1996)

El **Oriente** se denomina Región Amazónica y empieza en los límites de la Cordillera Central aproximadamente a 1000 metros de nivel del mar hasta limitar con el Perú y corresponde al 45% del territorio nacional. Se divide en dos zonas, la primera la zona Subandina es paralela a la cordillera de los Andes con un ancho aproximado de 50 Km. Presenta formaciones por encima de los 500 metros sobre el nivel del mar, las más representativas son al Norte el volcán Sumaco con 3200 metros y al Sur las cordilleras de Cutúcu y el Cóndor con 2500 metros. Hacia el Este, se encuentra la zona denominada “Llanura amazónica” con una altura menor a los 300 metros, formado por una amplio número de colinas bajas, con llanuras anchas y grandes valles.(Pourrut, Los Climas del Ecuador . Fundamentos Explicativos, 1983).

Esta región por lo general presenta un clima tropical húmedo amazónico con un régimen de precipitación considerable a lo largo de todo el año. (Quevedo, 2000; Gérard Rodriguez, Nelson Defines, 1996)

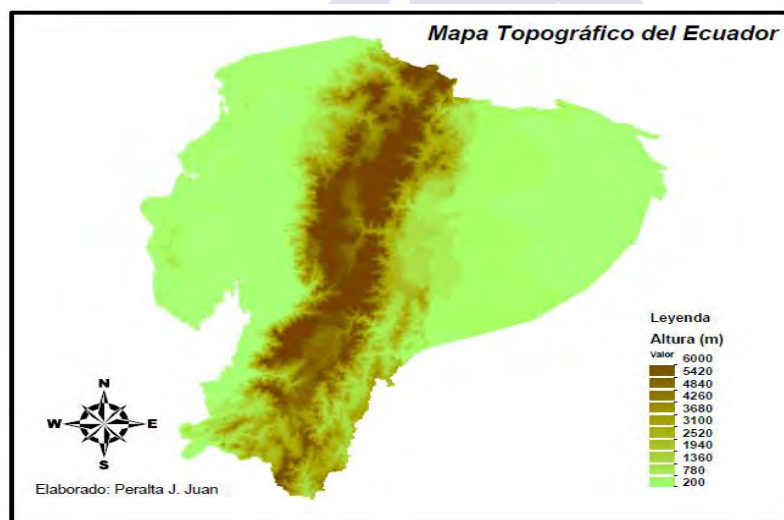


Figura 3. 5. Relieve del Ecuador
Fuente: www.cipat.espol.edu.ec (Adaptado)

Se observa claramente, que el relieve continental (Figura 3. 5) producto al paso de la Cordillera de los Andes y la gran altitud que posee, afecta directamente a la formación, desplazamiento y el aislamiento de las masas de aire. En efecto, contribuye a la formación de masas de aire frío que modifican el régimen de precipitaciones y además actúa como un muro que no permite el intercambio de las masas de aire provenientes del océano Pacífico y la Amazonía afectando al comportamiento de las variables meteorológicas locales y regionales, contribuyendo así a la presencia de áreas con microclimas muy particulares a lo largo del territorio continental. (Pourrut, Los Climas del Ecuador . Fundamentos Explicativos, 1983)(Pourrut, Rdvere, Romo, & Villacrés, 1995)

Por otra parte, el Ecuador por su particular ubicación geográfica limítrofe entre ambos hemisferios está influenciado por la interacción entre la circulación atmosférica y oceánica proveniente del Pacífico Norte como el Sur. Con respecto a la atmósfera nos encontramos

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en función de la diferencia de presión producida por el Centro de Alta del Pacífico Norte cercano al Continente, el Centro de Alta del Pacífico Sur y Centro de Alta de las Azores (H.R. Moreano, 1983), que corresponde a una zona o cinturón de bajas presiones ubicada alrededor de los paralelos 35°N y 149°W. Esta franja se desplaza periódicamente entre el hemisferio Norte y Sur, movilizand o masas de aire frío o caliente y humedad en la región, lo que ocasiona la presencia de dos estaciones climáticas claramente marcadas; la estación lluviosa que aparece diciembre a abril con temperaturas elevadas y precipitaciones abundantes y la estación seca que va de mayo a octubre con temperaturas bajas y poca precipitación. (Pourrut, Los Climas del Ecuador. Fundamentos Explicativos, 1983; Pourrut, Rdvere, Romo, & Villacrés, 1995)

También podemos apreciar la interacción del Sistema Relativo de Alta Presión del Caribe (Dorsal Del Caribe) y la Vaguada del Perú (zona de alta presión), las cuales condicionan el clima en la regiones tropicales, el Sistema de Alta Presión del Pacífico Sur (Anticiclón) y las perturbaciones de la Amazonia (Figura 3. 6). (Espinoza, 1996) (Homero Jácome, INAMHI, 2013). Como resultado de la interacción de estos sistemas meteorológicos regionales, el Ecuador está influenciado por una masa de aire húmedo y caliente con diferentes condiciones de presión, temperatura y humedad que conllevan la gran variabilidad de climas existentes en el país.

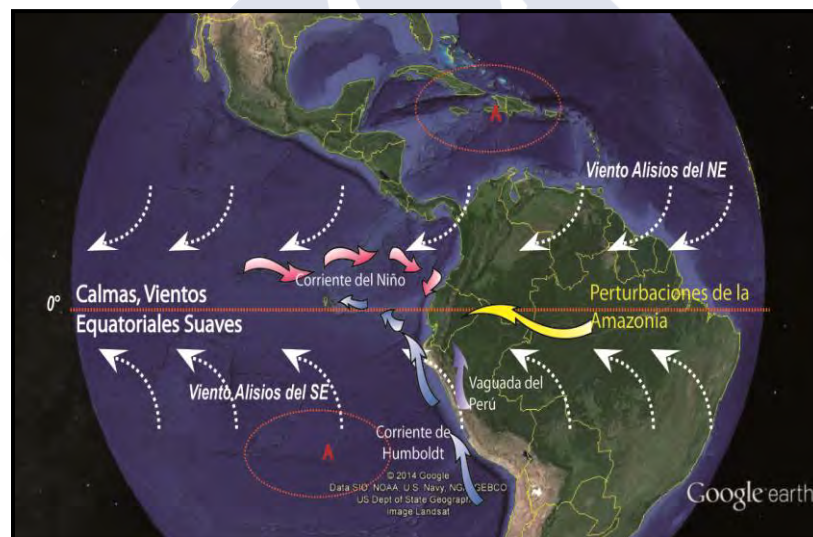


Figura 3. 6. Principales Sistemas Meteorológicos.

El aporte oceánico al desarrollo del clima depende en primer lugar de la "Corriente de El Niño" (Figura 3. 6). que se puede definir como una corriente de aguas superficiales cálidas provenientes del norte (cuenca de Panamá) y que bañan, aproximadamente en cada mes de diciembre hasta abril, las costas del Ecuador hasta el norte de Perú. En cambio, se llama "El Niño o fenómeno El Niño", a una alteración a gran escala del equilibrio natural de la interacción existente entre el océano y la atmósfera, generando la presencia de aguas anormalmente cálidas (más de 0.5°C por encima de lo normal) en la costa occidental de Suramérica por un período mayor a tres meses consecutivos. Este hecho, ocasiona alteraciones al clima regional, lo que repercute directamente en las actividades económicas y humanas de varias regiones del mundo. En el Ecuador, el fenómeno del Niño está asociado a la presencia cada cierto tiempo y en los primeros meses del año, de aguas superficiales más cálidas y menos salinas en lo normal desde el lado occidental del Océano

Pacífico hacia el lado oriental permaneciendo estas aguas unos pocos meses a lo largo de las costas de Ecuador, Perú y norte de Chile.

Como último, nuestro clima también se ve afectado por la presencia de la corriente Humboldt de influencia regional, que bordea Sudamérica de Sur a Norte desde Chile hacia Ecuador. Esta corriente se caracteriza por su baja temperatura y su movimiento cíclico anual en concordancia a los vientos alisios. (Espinoza, 1996)(Moreano, 1983)

En resumen, los principales factores que condicionan el comportamiento y caracterización de las masas de aire que circulan en el Ecuador continental y por ende las condiciones climáticas son:

- Relieve y Altitud producto de la cordillera de los Andes.
- La ubicación Geográfica (Latitud) en referencia al sistema de circulación de la atmosfera
- Presencia e interacción de las corrientes marinas del Océano Pacífico

3.3.1 Tipos de Climas Existentes en el Ecuador

A principios de la década del 80 el Investigador Pierre Pourrut realiza la clasificación climática del Ecuador (incluida la región insular), a partir de los registros y series temporales de precipitaciones y temperatura entre el periodo de 1964 a 1978.(Pourrut, Rdvere, Romo, & Villacrés, 1995). Su clasificación se basa en los criterios mostrados en la Tabla 3. 2.

Tabla 3. 2. Criterios utilizados por Pourrut

Variable	Tipo de Clima	Características
Regímenes de Lluvia	Ecuatorial	Dos Estaciones lluviosas y una seca
	Tropical	Una Estación lluviosa y una seca muy marcada
	Uniforme	Lluvias todo el año
Precipitaciones	Árido a Semiárido	< 500 mm
	Seco a Semihumedo	500 - 1000 mm
	Húmedo	1000 - 2000 mm
	Muy Húmedo	> 2000 mm
Temperatura	Megatérmico	> 22 °C
	Megatérmico	12 - 22 °C
	Frio	<12 °C

Fuente: (Pourrut, Rdvere, Romo, & Villacrés, 1995).

Finalmente, Pourrut propuso nueve clases o tipos de clima para el Ecuador, los cuales se nombran a continuación:

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

- Tropical Megatérmico Árido a Semiárido
- Tropical Megatérmico Seco a Húmedo
- Tropical Megatérmico Húmedo
- Tropical Megatérmico Muy Húmedo
- Clima Megatérmico muy húmedo (Lluvioso)
- Clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo a Húmedo
- Clima Ecuatorial Mesotérmico Seco
- Clima Ecuatorial frío de Alta Montana
- Clima Ecuatorial Insular

Como se ha descrito en los párrafos anteriores, aunque Pourrut solo considera las series históricas de registros variables climáticas como precipitación y la temperatura, la identificación de climas en el Ecuador es bastante complicada por la variedad de relieve y lo deficiente de la información meteorológica local. No obstante la clasificación lograda es bastante detallada e incorpora la influencia general del relieve de manera implícita, se ha realizado una recopilación de diferentes autores sobre la información climática con el fin de mejorar el estudio Pourrut. En la Tabla 3. 3 se describen brevemente las principales características generales de los climas del Ecuador.

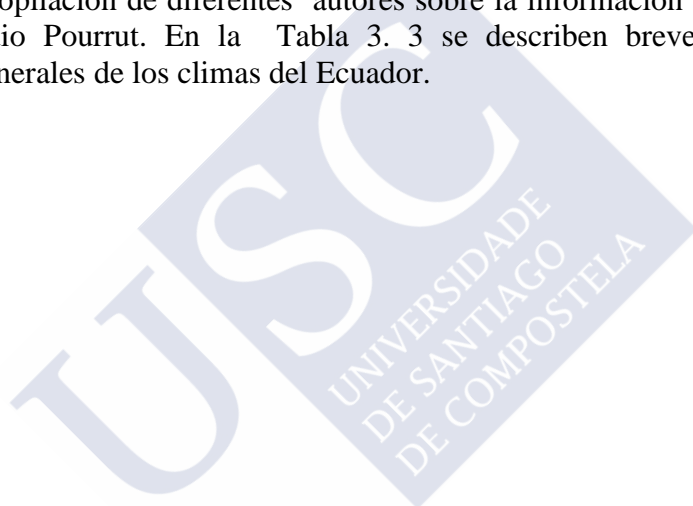
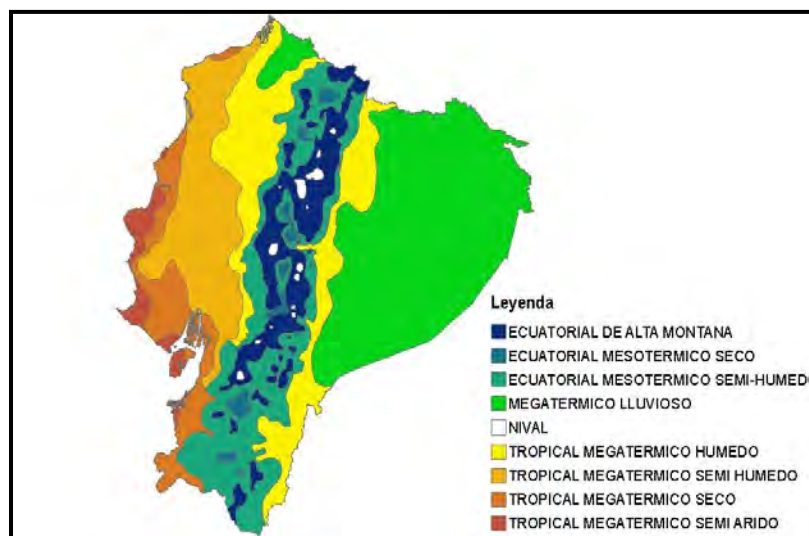


Tabla 3. 3. Principales Características de los Climas de Ecuador

Variables	Tropical Megatérmico Árido a Semiárido	Tropical Megatérmico Seco a Húmedo	Tropical Megatérmico Húmedo	Tropical Megatérmico Muy Húmedo	Megatérmico muy húmedo (Lluvioso)	Ecuatorial Mesotérmico SemiHúmedo a Húmedo	Ecuatorial Mesotérmico Seco	Ecuatorial frío de Alta Montana (PF)	Ecuatorial Insular
Región Natural	Litoral	Litoral	Litoral/ Interandina	Interandina	Amazónica	Interandina	Interandina	Interandina	Insular
Altitud (m)	0 - 500	0 -1000	0 -1000	500 - 1500	1000 - 0	1500 -3000	1500 -3000	>3000	---
Régimen o Estaciones de Lluvia	1 húmeda 1 seca	1 húmeda 1 seca	1 húmeda 1 seca	1 húmeda 1 seca	1 húmeda	2 húmeda 2 seca	2 húmeda 2 seca	2 húmeda 2 seca	2 húmeda 2 seca
Precipitación (mm)	<500	500 - 1000	1000 - 2000	<2000	>3000	600 - 2000	<600	800 - 2000	200 - 2000
Temperatura Media (°C)	T ≈24	T > 24	T ≈ 24	T ≤22	T ≈ 25	12 --20	12 --20	4 - 8	T ≈ 23
Humedad Relativa (%)	50 - 70	60 - 85	70 -90	90	>90	65 -85	50 - 80	>80	50 - 80
Duración de la Insolación	1000 - 1500	800 - 1300	600 - 1000	400 - 800	800 - 1500	1000 - 2000	1800 - 2500	1000 - 2200	1800

Fuente: Adaptación Propia (Pourrut, Rdvere, Romo, & Villacrés, 1995)



NIVAL: Nivel no clasificado

Figura 3. 7. Tipos de Climas en el Ecuador

Fuente: Adaptación Propia (Pourrut, Rdvere, Romo, & Villacrés, 1995)

Para facilitar la lectura, en la Tabla 3. 4, se pueden leer las abreviaturas que se emplearan en la tesis en relación a los tipos de clima existentes en el Ecuador

Tabla 3. 4. Abreviaturas empleadas para los tipos de Clima del Ecuador

Clima	Abreviatura
Ecuatorial de Alta Montana	Pf
Ecuatorial Mesotérmico Seco	Cb
Ecuatorial Mesotérmico Semi-Humedo	Ch
Megatérmico Lluvioso	Af
Nival (No Clasificado)	N
Tropical Megatérmico Húmedo	Aw
Tropical Megatérmico Seco	Ab
Tropical Megatérmico Semiárido	Ar
Tropical Megatérmico Semi-Humedo	Ah

Cabe agregar, que existen otros tipos de clasificaciones climáticas para el Ecuador basadas en los criterios de Miller o Kooper (Barros López, 2010), aplicables a amplias zonas del planeta. En estas, el clima ecuatoriano corresponde al tórrido o tropical con variaciones pluviométricas. Esta clasificación es insuficiente a la hora de caracterizar los diferentes tipos de climas locales y regionales existentes en el país.

3.4 INVENTARIO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL ECUADOR.

La existencia de datos meteorológicos confiables es crucial para lograr validación fiable de cualquier modelo meteorológico de predicción numérica. El primer paso dentro de la evaluación de recursos es el conocimiento de la información meteorológica disponible a nivel local.

Con el fin de elaborar el inventario de estaciones es fundamental identificar el tipo de estación dentro de la red monitoreo y la entidad encargada de su manejo. Esta información

permitirá desarrollar una base de datos preliminar con información histórica relevante para la evaluación del recurso renovable.

Como parte de nuestro trabajo se realizó un levantamiento e inventario de las estaciones meteorológicas y las respectivas entidades a su cargo.

3.4.1 Tipos de estaciones meteorológicas en el Ecuador

La red meteorológica del Ecuador cuenta con algunos tipos de estaciones, que responden a las normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, en sus siglas en inglés) y parámetros locales generados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El tipo de estaciones que existen en el Ecuador son:

- Estaciones Aeronáuticas;
- Estaciones Agrometeorológicas;
- Estaciones Climáticas Ordinarias;
- Estaciones Climáticas Principales;
- Estaciones Climáticas Especiales;
- Estaciones Pluviográficas;
- Estaciones Pluviométricas;
- Estaciones Anemográficas.

Estaciones Aeronáuticas (AR): Son administradas por entidades de gobierno o civiles que tienen a su cargo las actividades que se realizan en los aeropuertos del país. Su instalación y operación se basa en criterios de WMO y de normativas aeronáuticas internacionales. Las variables meteorológicas que registran este tipo de estaciones son la nubosidad, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura, visibilidad, humedad, precipitación, entre otras.

Estaciones Agrometeorológicas (AP): Se consideran estaciones de primer orden donde se realizan observaciones meteorológicas y biológicas, permitiendo determinar las relaciones entre el tiempo y el clima, con la vida de plantas y animales. (IDEAM, 2005). Las variables meteorológicas que puede ser registradas en estas estaciones típicamente son: visibilidad, nubosidad, humedad y temperatura del suelo, precipitación, temperaturas, humedad, viento, radiación solar, brillo solar, evaporación y temperatura a distintas profundidades del suelo.

Estaciones Climáticas Ordinarias (CO): Son estaciones meteorológicas que por norma de la WMO deben tener instalado un pluviómetro, pluviógrafo y psicrómetro, Para medir lluvias y temperaturas extremas en forma instantánea. (IDEAM, 2005)

Estaciones Climáticas Principales (CP): Se consideran estaciones meteorológicas de segundo orden, donde se hacen observaciones de visibilidad, tiempo atmosférico presente, cantidad, tipo y altura de las nubes, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, brillo solar, evaporación y fenómenos especiales. (IDEAM, 2005)

Estaciones Climáticas Especiales (CE): Son estaciones meteorológicas de mediciones o registro particular o especial, en función del interés de las entidades cargo. Típicamente se consideran como estaciones referenciales. (IDEAM, 2005)

Estaciones Pluviográficas (PG): Este tipo de estaciones meteorológicas permiten conocer la distribución temporal de lluvia. Además de proporcionar el registro continuo, permite calcular la intensidad de la misma por medio del registro en forma mecánica y continúa la precipitación. (IDEAM, 2005)

Estaciones Pluviométricas (PV): Es una estación meteorológica que tiene instalado un pluviómetro que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas en decimas de mm usualmente. (IDEAM, 2005)

Estaciones Anemográficas (AN): Son las estaciones meteorológicas que registran la dirección y velocidad de los vientos.

Cabe agregar, que las estaciones meteorológicas también pueden ser clasificadas en función del periodo o forma de registro de datos, pudiendo ser:

Estaciones Sinópticas: En este tipo de estaciones meteorológicas se efectúan observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. (IDEAM, 2005) La toma o registro de datos se realiza usualmente por medio de un observador. Por ejemplo (INAMHI, 1995)

En las estaciones agrometeorológicas o de referencia, se realizan observaciones horarias entre las 07 y 19 horas. En las climatológicas principales, las observaciones son bihorarias y, en las ordinarias se registran tres observaciones diarias (07, 13 y 19 horas).

En las estaciones pluviométricas pueden realizarse tres tipos de registros: tres observaciones diarias (07, 13 y 19 horas), dos observaciones (07 y 19 horas) o una observación (07 horas).

Estaciones Continuas: Son estaciones meteorológicas que permiten el registro continuo de datos ya sea en forma mecánica como las pluviográficas o por medio de la automatización de la misma.

El ultimo inventario nacional detallado realizado por el INAMHI en el año 2001, reporto la existencia de más 1500 estaciones meteorológicas, tal como se observa en la Figura 3. 8 . Más del 50 % de las mismas son del tipo pluviométricas.

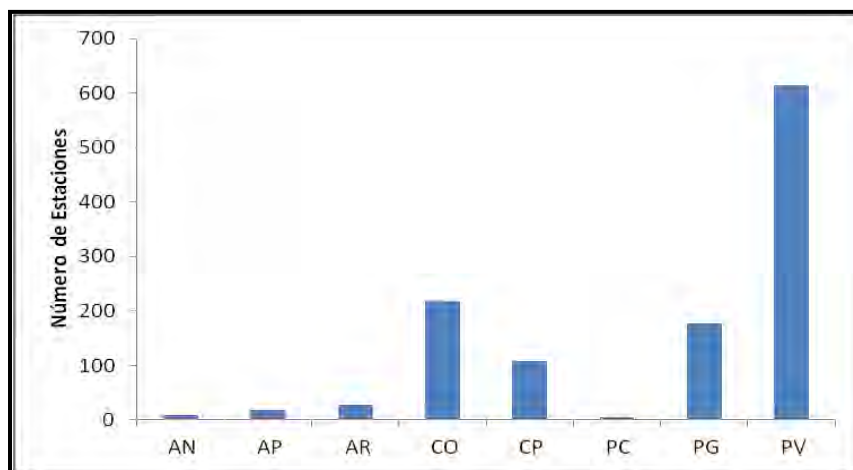


Figura 3. 8. Tipos de Estaciones en el Ecuador
Fuente: (INAMHI, ANUARIO METEREOLÓGICO, 2001)

3.4.1.1 Entidades locales .

En Ecuador las estaciones meteorológicas en su mayoría pertenecieron al ahora desaparecido Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) en la década del 90, siendo repartidas entre las diferentes entidades del estado de la época, lamentablemente la información obtenida a lo largo del tiempo no fue almacenada ni procesada, inclusive en algunos casos no se conoce las coordenadas de ubicación de varias estaciones. Según los anuarios meteorológicos de la década del 2000 en el Ecuador están registradas las siguientes instituciones:

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)
- Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR)
- Dirección General de Aviación Civil (DGAC)
- Fuerza Aérea Ecuatoriano (FAE)
- Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI)
- Programa Regional para el Desarrollo del Sur (PREDESUR)
- Comisión de estudios de Desarrollo de la Cuenca baja del Río Guayas (CEDEGE).

Adicionalmente, existen otras estaciones repartidas entre universidades, Politécnicas y centros de investigación de carácter privado principalmente.

Es necesario recalcar que a mediados de los años ochenta, el país contaba con alrededor de 1500 estaciones meteorológicas bajo la responsabilidad de las instituciones referidas anteriormente. En la actualidad existe quizás un tercio de ese número por diversas razones que no son motivo de análisis en el presente trabajo

3.4.1.2 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) fue fundado 1961. La función básica de INAMHI es recolectar, registrar y mantener las bases de información de hidrológico y meteorológico. Actualmente, el INAMHI cuenta con una Red de 370 Estaciones Meteorológicas aproximadamente repartidas por todo el territorio continental e Insular. Las principales variables que se miden en las diferentes estaciones son:

- a) Humedad (%)
- b) Precipitación Atmosférica (mm)
- c) Heliofania (horas y decimos)
- d) Evaporación
- e) Viento (direcciones N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, tenemos: Velocidad (m/s))
- f) Nubosidad (octas en cielo cubierto)

En la Figura 3. 9, los puntos en amarillo representan la distribución espacial de las estaciones meteorológicas. La mayor densidad de estaciones se encuentra en la región Sierra con un 55% de las mismas, siendo la región del Oriente la que presenta menor densidad de mediciones. En la Tabla 3. 5¹, se presenta el número de estaciones existen por región y tipo. Un mayor detalle se puede encontrar en el Anexo 4.

Tabla 3. 5. Estaciones del INAMHI por región y tipo

Tipo	Costa	Insular	Oriente	Sierra	Total
AG	-	-	-	1	1
AU	1	-	10	14	25
AU, AG	4	-	2	2	8
AU, CO	8	-	2	5	15
AU, PV	2	-	8	4	14
AU,CP	5	-	2	6	13
CO	26	1	4	37	68
CP	12	1	1	21	35
PG	-	-	1	4	5
PV	71	1	6	114	192
RS		1	-	1	2
Total	129	4	36	209	378

Fuente: (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014)

¹ AU: Estación Automática
RS: Radio Sondeo

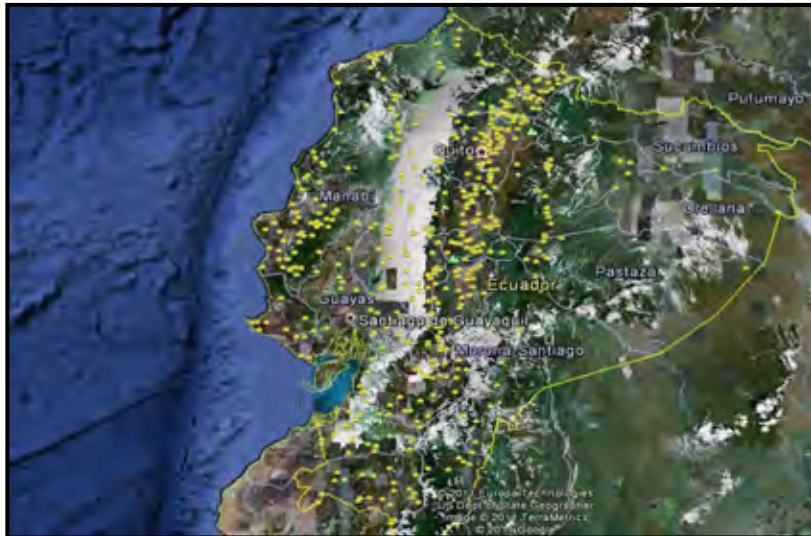


Figura 3. 9. Estaciones del INAMHI en el Ecuador
 Fuente: (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014).

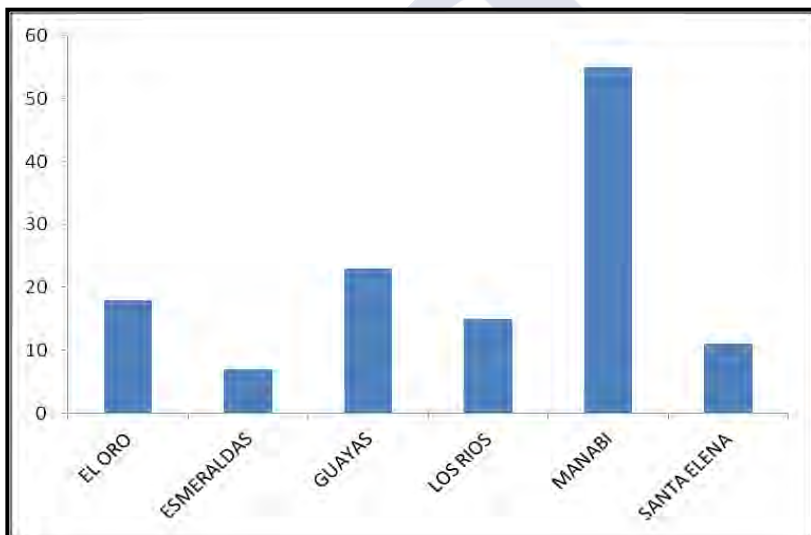


Figura 3. 10. Estaciones por Provincia en la región Costa

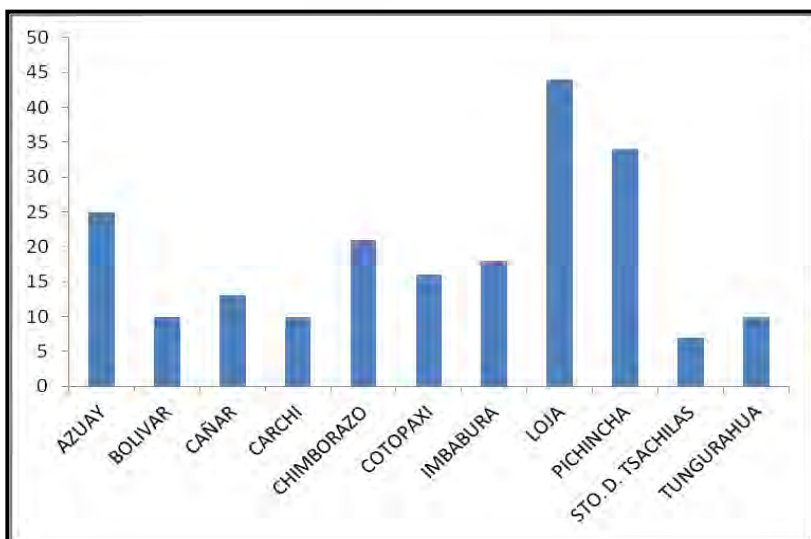


Figura 3. 11. Estaciones por Provincia en la región Sierra.

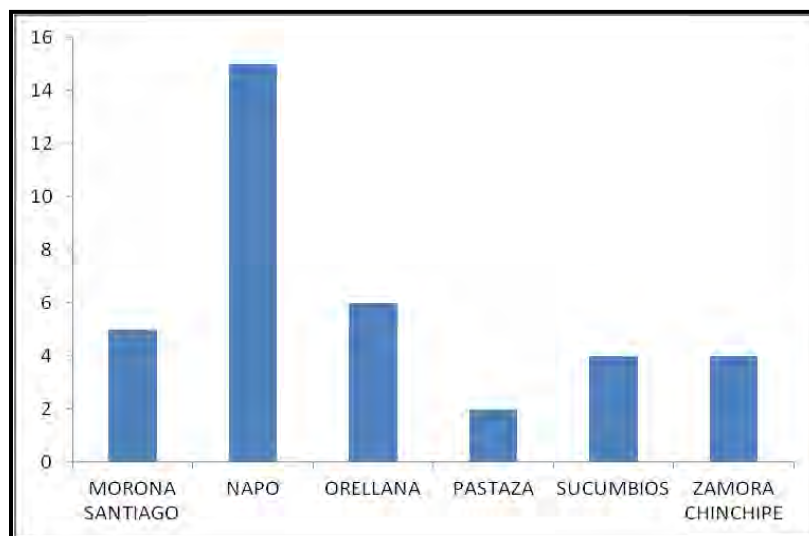


Figura 3. 12. Estaciones por Provincia en la región Oriente

Tal como lo ilustran las Figura 3. 10,

Figura 3. 11 y Figura 3. 12 la provincia de Manabí presenta el mayor número de estaciones meteorológicas de operativas a la fecha con un total de 55, seguidas de Loja y Pichincha con 44 y 34 respectivamente. Debe señalarse que un amplio número de dichas estaciones son del tipo pluviométricas, lo cual quiere decir que típicamente no registran medidas de radiación solar.

3.4.1.3 Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR).

El INOCAR fue creado en el año 1932 inicialmente como servicio Hidrográfico, en el año 1972 es elevada a la calidad de Instituto y desde entonces se encarga de monitorear y evaluar los fenómenos relacionados con los factores océano-atmosféricos que marcan el clima del país y el espacio marítimo, estos factores se relacionan con la circulación atmosférica general, factores oceanográficos y corrientes marinas. (INE, 1982; INOCAR, 2011). El área de monitoreo corresponde a la franja costera ecuatoriana. Como se puede observar en la Figura 3. 13, el INOCAR mantiene su red de Estaciones Costeras en: Guayaquil, Puna, La Libertad, Manta, Puerto Bolívar, Esmeraldas y San Lorenzo. (Tabla 3. 6)

Tabla 3. 6. Estaciones Principales INOCAR

Código	Estación	Altura (m)	Provincia
M269	Esmeraldas (Las Palmas)	6	Esmeraldas
M075	Guayaquil	4	Guayas
MA50	La libertad	5	Santa Elena
M047	Manta	3	Manabí
M228	Puna	45	Guayas
M224	San Lorenzo	5	Esmeraldas
M195	Puerto Bolívar	4	El Oro

Las estaciones operan en forma sinóptica (medición manual a las 7:00, 13:00 y 19:00, respectivamente). Las variables principales meteorológicas que monitorea son: temperatura, presión, heliofanía, velocidad y dirección del viento.



Figura 3. 13. Localización de la Estaciones INOCAR en el perfil costero
Fuente: (INOCAR, 2011).

3.4.1.4 Dirección de General de Aviación Civil.

La dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DGAC), es la entidad encargada del manejo de las estaciones aeronáuticas en los aeropuertos del Ecuador. Siendo los principales los ubicados en la ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca. (Tabla 3. 7, Figura 3. 14).

Tabla 3. 7. Estaciones Principales DGAC

Estación	Altura (m)	Provincia
Bahía de Caraquez	3	Manabí
Cuenca	2516	Azuay
El Coca	298	Orellana
Esmeraldas-Tachina	7	Esmeraldas
Guayaquil	5	Guayas
Lago Agrio	297	Sucumbíos
Quito	2794	Pichincha
Santo Domingo	554	Santo Domingo
Latacunga	2785	Cotopaxi
Portoviejo	44	Manabí
Machala	4	El Oro
Manta	12	Manabí
Catamayo	1230	Loja
Ambato	2515	Tungurahua
Macas	995	Morona Santiago
Pastaza	1038	Pastaza
Tulcán	2934	Carchi
Riobamba	2760	Chimborazo
Ibarra	2214	Imbabura



Figura 3. 14. Localización de la Estaciones de la DGAC
Fuente: (INAMHI, ANUARIO METEREOLÓGICO, 2001)

3.4.1.5 Otras Instituciones

En la actualidad han ido desapareciendo algunas instituciones (como por ejemplo la Comisión de estudios de Desarrollo de la Cuenca baja del Río Guayas) o han sido absorbidas por gobiernos autónomos locales como es el caso de Programa Regional para el Desarrollo del Sur. Inclusive, en algunos casos la ubicación de esas antiguas estaciones meteorológicas aún tomando datos, se desconoce. Esto ha provocado pérdida de información que sería relevante para este estudio.

3.5 INFORMACIÓN HISTÓRICA Y BASES DE DATOS.

Como se indico en los párrafos anteriores el Ecuador, de la cantidad total de estaciones inventariadas en este trabajo se puede estimar que al menos 200 estaciones se encuentran al momento en funcionamiento.

Un problema a mayores se deriva de la poca coordinación o estandarización apropiada de las variables registradas en las estaciones meteorológicas a cargo de las diferentes entidades gubernamentales o privadas, por lo cual será necesario establecer una metodología apropiada que incorpore esta particular dentro de sus análisis. Como ejemplo de falta de coordinación, la poca simetría geográfica de la red de estaciones.

La metodología empleada busca identificar las estaciones meteorológicas en el Ecuador que puedan ser utilizadas con fines de predicción de recursos energéticos y su posterior inventario detallado. Previamente se han identificado las entidades que cuentan con redes de monitoreo, que permitan desarrollar una base de datos con información histórica relevante para la evaluación del recurso solar y eólico.

3.5.1 Bases de Datos

Las bases de datos representan uno de los problemas más importantes en la evaluación del potencial de recursos de energía renovable (solar y eólica) dentro de una región y, en concreto, en el análisis de equilibrio espacio-temporal de los recursos existentes. Sin embargo, en la mayoría de casos las redes de meteorológicas locales contienen en sus registros datos meteorológicos (radiación solar, velocidad y dirección del viento) para la evaluación de recurso.

En nuestro caso, se ha conformado una base de datos a partir de la información solicitada y proporcionada por el INAMHI y el INOCAR. La información proporcionada son las series de tiempo de los registros de las estaciones meteorológicas para diferentes periodos históricos, tal como se observan en las Tabla 3. 8 y Tabla 3. 9 . Solo se logró recopilar información del promedio mensual de viento en las estaciones Aeronáuticas bajo jurisdicción para el periodo comprendido de 1994 a 2004.

Dada la heterogeneidad de los datos proporcionados, otra muestra de descoordinación entre entidades, se tuvo que proceder a una conversión de UTM a latitud/longitud, para estandarizar los datos y generar bases de datos donde se recogiese la ubicación exacta de cada una de las estaciones en función de la variable seleccionada.

Tabla 3. 8. Series de tiempo facilitadas por el INAMHI

Variable	Número de Estaciones	Registro	Periodo de Series*
Heliofanía (horas y décimos)	128	Diaria	1970 a 2011
Nubosidad (octas en cielo cubierto)	314	Diaria	1946 a 2012
Temperatura ambiental	314	Diaria	1946 a 2012
Velocidad del viento, media diaria (m/s)	271	Diaria	1982 a 2012
Direcciones del viento (direcciones N. NE, E, SE, S, SW, W y NW)	306	Mensual	1963 a 2010
*Valor mínimo y máximo, varía según la estación			

Tabla 3. 9. Series de tiempo facilitadas por el INOCAR

Variable	Número de Estaciones	Registro	Periodo de Series*
Heliofanía (horas y decimos)	7	Sinóptico	1975 a 2011
Nubosidad (octas en cielo cubierto)	7	Sinóptico	1975 a 2011
Temperatura Ambiental	7	Sinóptico	1975 a 2011
Velocidad del Viento, (m/s)	7	Sinóptico	1975 a 2011
Direcciones del Viento (direcciones N. NE, E, SE, S, SW, W y NW)	7	Sinóptico	1975 a 2011
*Valor mínimo y máximo, varía según la estación			

Es importante recalcar que dependiendo del tipo de estación, las variables que se registran varían. Por lo tanto, existen registros diferentes para la heliofanía, temperaturas medias y absolutas, humedad relativa, punto de rocío, precipitación, evaporación, nubosidad diaria, distancia recorrida por el viento, velocidad de viento y dirección, entre otras

Una revisión preliminar o pre-procesamiento de los archivos proporcionados por el INAMHI, permitió identificar la presencia de vacíos o inconsistencias en las series de tiempo. Con referencia a lo anterior la conformación de una base de datos de registros meteorológicos

para su utilización requiere el relleno de los datos y la homogeneización² de las series antes de su utilización. Los datos procesados serán empleados únicamente para validación de los resultados de las simulaciones por tanto no se realizará ningún método estadístico de correlación y regresión entre las series de tiempo que involucren la generación de datos para rellenar las series dado que cualquier técnica de homogeneización puede afectar los resultados finales del trabajo. Por lo tanto, la evaluación y análisis posterior se centra en identificar las series de tiempo que presenten datos lo suficientemente consolidados y confiables para emplearse en los procesos de validación de los mapas de recurso. Nuestra selección tenderá a ser estricta en cuanto a la calidad de la muestra final con el fin de asegurar una buena fiabilidad en el proceso de validación.

Por último es conveniente notar, que el INAMHI ha actuado en los últimos años como la entidad de acopio de los registros meteorológicos del país, por lo tanto los archivos proporcionados pueden presentar estaciones pertenecientes a otras entidades. Lamentablemente, la identificación de las mismas se hace casi imposible ya que en muchos casos solo se tiene el nombre y tipo de estación en los registros y no se indica a que entidad pertenece.

3.5.2 Metodología de Evaluación y Filtrado de las Series de Tiempo.

En la práctica, es difícil evaluar cuán largas deben ser las series de tiempo de datos, debido a que el número de años necesarios para captar las características de variabilidad y cambio pueden variar según la variable climática. En general, la WMO recomienda considerar que se necesitan por lo menos 10 años de observaciones diarias para elaborar los parámetros estadísticos de referencia pertinentes para la mayoría estas variables, incluidas la radiación solar y el viento.

Las series de tiempo previo a cualquier tratamiento estadístico deberán cumplir las siguientes condiciones recomendadas en la Guía de prácticas climatológicas de la WMO:

Registro de datos de al menos 10 años

Presentar valores validos en sus registros en al menos un 80% de los datos

En la serie temporal no falten los valores de más de tres años consecutivos

En los datos mensuales de la serie no podrán faltar más de 10 valores diarios o 5 o más valores diarios consecutivos

Se consideran los valores de cero como vacío en la serie de tiempo, a excepción en dirección del viento.

Hechas las consideraciones anteriores, se define como estaciones representativas, ha aquellas estaciones que contengan series de tiempo de datos que cumpla con todos las condiciones antes descriptas.

² (WMO O. M., 2007) y (WMO O. M., Guía de prácticas climatológicas, 2011)

3.5.2.1 Series De Tiempo de Distancia Recorrida del Viento (INAMHI)

Las series de tiempo facilitadas corresponden a la información de la distancia recorrida por el viento (DRV). El instrumento empleado es el anemómetro de cazoletas o molinete instalado a 10 metros de altura, donde la rotación se transmite a un contador mecánico indicando directamente el movimiento del aire que pasa por el anemómetro, o sea mide el recorrido del aire del cual se calcula la velocidad media del aire en Km/hora.(INAMHI, ANUARIO METEREOLÓGICO, 2001). El registro de esta variable se realiza en forma diaria. (Anexo 5)

Como primer paso se procedió a determinar el porcentaje de datos validos existente en series de tiempo pertenecientes a las estaciones meteorológicas. De este análisis se han excluidos aquellas series con datos diarios menores a un año, las cuales corresponde a un total de 76 estaciones. Tal como se observa en la Tabla 3. 10 este primer filtro nos deja con 72 estaciones que cumplen con el 80% de datos validos.

Tabla 3. 10. Porcentaje de Datos Validos en la Series De tiempo de Estaciones del Inamhi

Porcentaje	Número de Estaciones
0-20	66
20-40	13
40-60	17
60-80	27
80-100	72
Total	195

El siguiente paso fue identificar de las 72 series de tiempo de datos seleccionadas inicialmente que periodo o rango de registros anuales presentan. En la Tabla 3. 11 se puede observar que 36 estaciones meteorológicas presentan series de tiempo con registros realizados en un intervalo de tiempo menor de 10 años. Por ende, estas estaciones también son descartadas.

Tabla 3. 11. Número de Estaciones por rango de años

Rango de Años	Número de Estaciones
1-5	26
5-10	10
10-15	13
15-20	7
20-25	3
25-30	13

Finalmente, se procede realizar el último filtro relacionado a la calidad de datos por meses en la serie temporal. Este procedimiento nos permite obtener un total de 36 series de tiempo de datos. En la Tabla 3. 12 se detallan los números de registros validos de las series de tiempo seleccionadas, además del nombre de la estación meteorológica representativa a que pertenecen los datos.

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

Tabla 3. 12. Estaciones Representativas Seleccionadas DRV

Estaciones	Porcentaje de Datos Validos	Número de Datos Validos	Año inicial	Año Final
ALLURIQUIN INECEL	86.18	3286	1982	1993
ARENILLAS	83.83	4470	1982	1996
BANNOS	88.67	7469	1982	2007
BUCAY	81.07	4624	1982	1997
CANNAR	83.68	8664	1982	2010
CAHUASQUI FAO	92.30	5179	1982	1998
CHACRAS	93.95	4689	1984	1998
EL CHACO INECEL	87.80	3375	1982	1993
GONZANAMA	85.56	4960	1982	1998
GRANJA STAINES UTM	90.47	4235	1985	1998
GUALAQUIZA INAMHI	88.57	5519	1982	1998
INGENIO AZTRA LA TRONCAL	89.82	6905	1989	2010
INIAP SUPLEMENTARIA PORCINOS	85.83	4683	1982	1998
IZOBAMBA	92.22	9892	1982	2010
JACARIN SOLANO	92.74	3680	1982	1993
LA ARGELIA LOJA	85.21	8743	1982	2009
LA CONCORDIA	95.60	10017	1982	2010
LA TOLA	90.18	9337	1982	2009
MACHALA UTM PAGUA	83.11	6699	1982	2008
MILAGRO INGENIO VALDEZ	96.26	9937	1982	2009
NUEVO ROCAFUERTE	92.53	9753	1982	2010
OTAVALO	95.71	9821	1982	2009
PAGUA	96.28	5790	1982	1998
PALMORIENTE HUASHITO PALMAR DEL RIO	82.80	4954	1985	2008
PALO QUEMADO	95.94	3896	1982	1993
PENNAS COLORADAS	85.74	3349	1982	1994
PICHILINGUE	96.79	10382	1982	2010
PORTOVIEJO UTM	92.70	9684	1982	2010
PUEBLO VIEJO	93.47	4723	1984	1998
PUYO	89.89	9307	1982	2009
QUININDE CONVMADRES LAURITAS	90.12	4414	1982	2009
QUITO INAMHI INNAQUITO	93.03	9517	1982	2010
RUMIPAMBA SALCEDO	84.66	9081	1982	2010
SANGAY PSANTA ANA	90.47	5497	1982	1998
VINDOBONA	93.98	3962	1982	1993
YANZATZA	86.15	4006	1982	1998

La Figura 3. 15, muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas representativas, basado en la división política territorial. Como puede observarse la región Interandina o Sierra presenta el mayor de estaciones representativas con un total de 19, le sigue la región Costa con 10 estaciones y por último el oriente con 7 estaciones. Otro aspecto

que podemos notar es que la mayor densidad espacial de las estaciones se agrupa en tres provincias como los son: Pichincha, El Oro y Cotopaxi con 5, 4 y 4 estaciones respectivamente; esto representanta el 36% del conjunto de estaciones representativas.

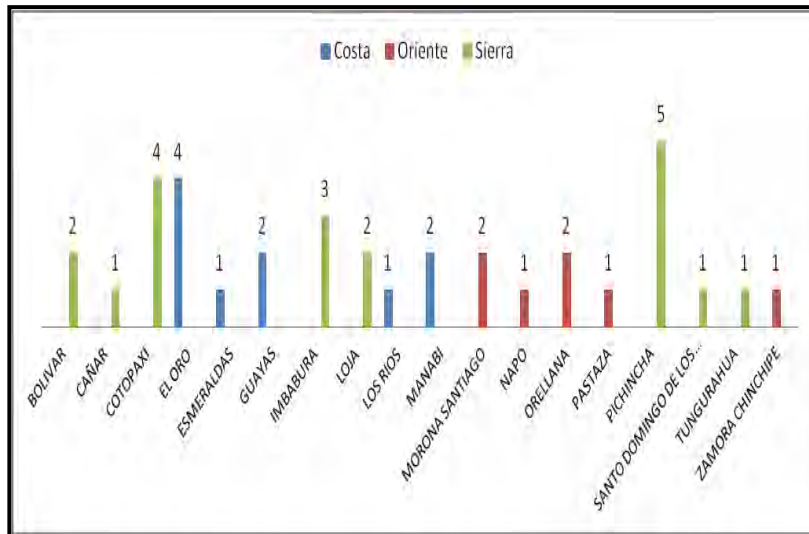


Figura 3. 15. Distribución de las Estaciones Representativas DRV por provincias

Por otro lado, la Figura 3. 16, nos muestra las estaciones representativas ordenadas en función de tipo de estación climática. Vemos entonces que las estaciones Climáticas Principales y Ordinarias corresponde a un 69% del conjunto de estaciones representativas.

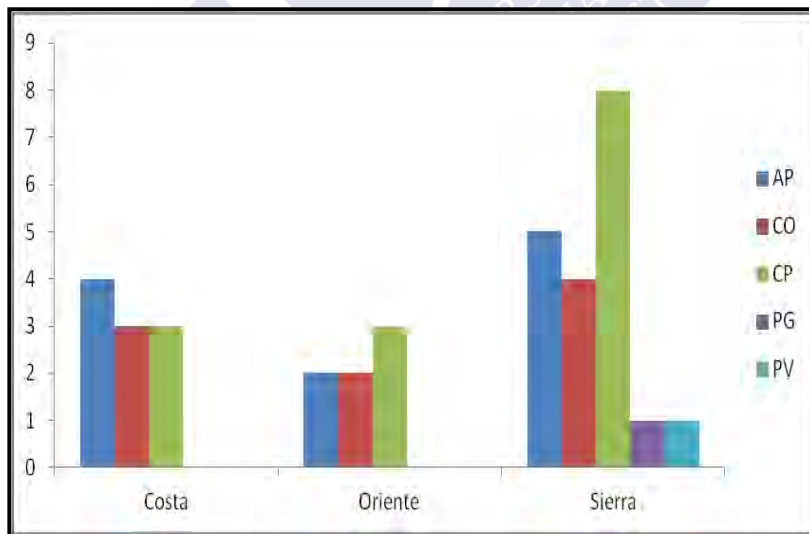


Figura 3. 16. Distribución de las Estaciones Representativas DRV por Tipo

3.5.2.2 Series De Tiempo de Dirección Predominante del Viento (INAMHI)

Las series de tiempo facilitadas corresponden a la información de la dirección del viento para cada una de las ocho direcciones (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW), además de los valores medios mensuales de la velocidad en metros/segundo. Estas series se basan en los registros medios diarios calculados con tres observaciones diarias. (INAMHI, ANUARIO METEREOLÓGICO, 2001). (Anexo 6).

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

Se procedió a determinar el porcentaje de datos validos existente en series de tiempo pertenecientes a las estaciones meteorológicas. De este análisis se han excluidos aquellas series con datos diarios menores a un año, las cuales corresponde a un total de 63 estaciones. Tal como se observa en la Tabla 3. 10 este primer filtro nos deja con 101 estaciones con registros validos en al menos un 80% de los datos de su serie temporal.

Tabla 3. 13. Porcentaje de Datos Validos en la Series De tiempo de Dirección Predominante.

Porcentaje	Número de Estaciones
0-20	40
20-40	11
40-60	33
60-80	58
80-100	101
Total	266

Seguidamente se procedió a evaluar el rango o periodo de registro que presentan las 101 estaciones previamente filtradas. En la Tabla 3. 14, se puede observar que 28 estaciones meteorológicas presentan series de tiempo con registros menores de 10 años. Estas estaciones también son descartadas

Tabla 3. 14. Número de Estaciones por rango de años.

Rango de Año	Número de Estaciones
1-5	23
6-10	15
11-15	15
16-20	9
21-25	5
>25	34

Después de las consideraciones anteriores, se procedió a identificar la ubicación geográfica de las 73 estaciones en los anuarios del INAMHI. Como resultado de esta búsqueda se logro georeferenciar 62 estaciones solamente. Esto significa que existen 11 estaciones en las bases de datos del INAMHI que no se conoce su ubicación exacta hoy en día y por tanto también serán descartadas. Las estaciones representativas seleccionadas se observan en la Tabla 3. 15. Cabe agregar que se han eliminado 1 estación perteneciente a la región Insular y 3 estaciones pertenecientes al INOCAR, las mismas serán analizadas en detalle en la siguiente sección de este capítulo.

Tabla 3. 15. Estaciones Representativas Seleccionadas Dirección predominante

Estación	Porcentaje de Datos Validos	Número de Datos Validos	Año Inicial	Año Final
BABAHOYO-UTB	99.07	324	1982	2009
BANNOS	89.51	324	1982	2009
CALUMA	82.14	252	1982	2009
CAMPOSANO#2	81.17	324	1982	2009

CARIAMANGA	80.86	324	1982	2009
CELICA	83.33	312	1982	2009
CHILLANES	95.68	324	1982	2009
CHUNCHI	83.33	312	1982	2009
ELANGEL	93.21	324	1982	2009
ELCARMELO	89.88	168	1982	1995
ELCORAZON	86.73	324	1982	2009
EL LABRADO	93.91	312	1982	2008
GONZANAMA	80.70	228	1982	2001
GUALACEO	80.13	312	1982	2009
GUALAQUIZAINAMHI	95.37	324	1982	2009
GUAYAQUIL-RADIOSONDA	90.20	204	1992	2009
INGUINCHO	97.53	324	1982	2008
IZOBAMBA	94.44	324	1982	2009
JACARIN	90.91	132	1982	1992
JULCUY	95.06	324	1982	2009
LACONCORDIA	96.91	324	1982	2009
LA VICTORIA INERHI	94.44	144	1984	2009
MILAGRO(INGENIOVALDEZ)	95.37	324	1982	2009
NARANJAL	90.12	324	1982	2009
NUEVO ROCAFUERTE	84.57	324	1982	2009
OLMEDO-MANABI	88.27	324	1982	2009
OTAVALO	88.13	396	1974	2009
PACHAMAMA-TIXAN	82.81	192	1982	1998
PAGUA	90.63	192	1982	1997
PAUTE	94.87	312	1982	2009
PENNAS COLORADAS	86.11	144	1982	1993
PERUCHO INECEL	93.94	132	1982	1992
PICHILINGUE	98.77	324	1982	2009
PUEBLO VIEJO	84.33	300	1984	2009
PUERTO BOLIVAR	93.06	144	1982	1997
PUERTO ILA	97.53	324	1982	2009
PUYO	97.22	324	1982	2009
QUEROCHACA (UTA)	95.49	288	1985	2009
QUININDE(CONV.MADRESLAURITAS)	83.89	180	1982	2009
QUITOINAMHI-INNAQUITO	87.65	324	1982	2009
ROCAFUERTE	92.90	324	1982	2009
RUMIPAMBA-SALCEDO	99.69	324	1982	2009
SALINAS-IMBABURAINERHI	84.44	180	1971	1998
SAN ANTONIO DE PICHINCHA	97.22	180	1982	1996
SAN GABRIEL	99.04	312	1982	2008
SANGAY (P.SANTAANA)	80.25	324	1982	2009
SAN JUAN LA MANA	83.65	312	1982	2009

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

SAN LORENZO	100.00	144	1986	1997
SARAGURO	91.67	324	1982	2009
TOMALON-TABACUNDO	95.18	228	1990	2009
TULCAN AEROPUERTO	89.81	216	1964	1985
TUMBACO	87.50	240	1982	2002
VILCABAMBA	88.73	204	1982	1998
VINCESINAMHI	80.21	192	1993	2009
YANGANA	86.42	324	1982	2009
ZAMORA	96.97	132	1982	1992
ZARUMA	89.51	324	1982	2009

La Figura 3. 17, muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas representativas, basado en la división política territorial. Como puede observarse la región Interandina o Sierra presenta el mayor número de estaciones representativas con un total de 36 estaciones, le sigue la región Costa con 17 estaciones y por último el oriente con 5 estaciones. Otro aspecto que podemos notar, es que la mayor densidad espacial de las estaciones se agrupa en dos provincias, Pichincha y Loja, con 7 y 6 estaciones respectivamente; esto representa el 22% del conjunto de estaciones representativas seleccionadas.

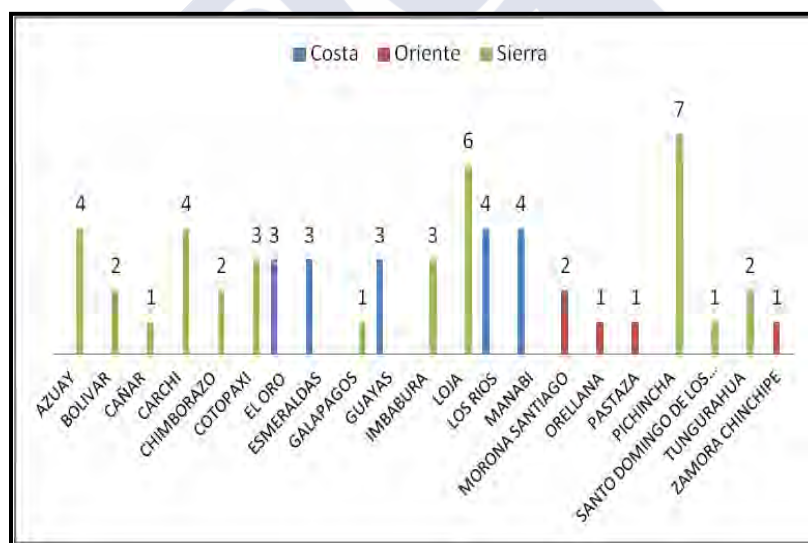


Figura 3. 17. Distribución Provincial de las Estaciones Representativas, Dirección predominante

Por otro lado, la Figura 3. 18 nos muestra las estaciones representativas ordenadas en función de tipo de estación climática. Vemos entonces que las estaciones Climáticas Ordinarias son las que están en mayor número con un 58% del conjunto de estaciones representativas.

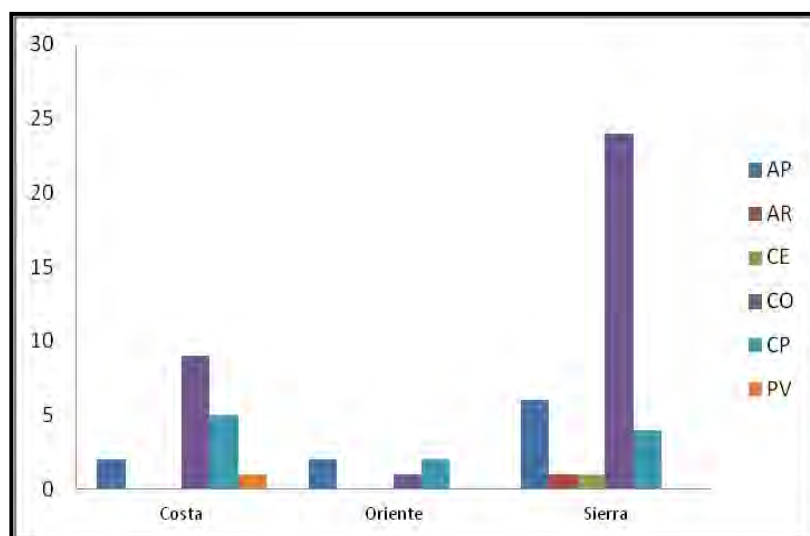


Figura 3. 18. Distribución de las Estaciones Representativas, Dirección predominante por Tipo.

3.5.2.3 Series De tiempo de Magnitud y Dirección del Viento (INOCAR)

Las series de tiempo facilitadas corresponden a la información de la magnitud y dirección del viento, en registros de tipo sinópticos (registro manual a 7, 13 y 19 horas) realizados por el INOCAR en las estaciones que corresponde al perfil costero. Cabe destacar que las series de tiempo de datos se encontraban básicamente completas con al menos un 80% de datos validos en los periodos de registro (Tabla 3. 16), por lo cual no hubo necesidad de descartar ninguna estación.

Tabla 3. 16. Estaciones Representativas del INOCAR

Estación	Porcentaje de Datos Validos	Número de Datos Validos	Año inicial	Año Final
Esmeraldas	94.20	39835	1975	2011
Guayaquil	80.57	40360	1975	2011
Libertad	95.11	25671	1988	2011
Manta	91.24	40255	1975	2011
Puna	95.84	38090	1977	2011
San Lorenzo	80.18	40679	1975	2011
Puerto Bolívar	80.23	40223	1975	2011

3.5.2.4 Series de Tiempo de Heliofanía (INAMHI).

La medición de la radiación solar en Ecuador no se realiza en valores o parámetros en el sistema internacional de medida (W/m^2 o W/m^2d), sino que se utiliza el criterio de brillo solar, o heliofanía. La conversión de la heliofanía a valores de radiación convencionales se realiza a partir de modelos empíricos o teóricos que incorporan dentro de sus coeficientes los registros nubosidad, temperatura, ubicación geográfica, entre otras variables (Moradi, 2008). Las series de tiempo fueron facilitadas por el INAMHI y presentan un registro de datos en forma diaria para todas las series. (Anexo 7).

CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

Se procedió a determinar el porcentaje de datos validos existente en series de tiempo pertenecientes a las estaciones meteorológicas. De este análisis se han excluidos aquellas series con datos diarios menores a un año, las cuales corresponde a un total de 28 estaciones. Tal como se observa en la Tabla 3. 17, la evaluación de series nos permite identificar 60 estaciones con registros validos en al menos un 80% de los datos de su serie temporal.

Tabla 3. 17. Porcentaje de Datos Validos en la Series De tiempo de Heliofania

Porcentaje	Número de Estaciones
0-20	2
40-60	5
60-80	33
80-100	60
Total	100

Seguidamente se procedió a evaluar el rango o periodo de registro que presentan las 60 estaciones previamente filtradas. En la Tabla 3. 18, se puede observar que 32 estaciones meteorológicas presentan series de tiempo con registros menores de 10 años. Por ende, estas estaciones también son descartadas.

Tabla 3. 18. Número de Estaciones por rango de años

Rango de Años	Número de Estaciones
0-10	32
10-20	9
20-30	6
30-40	13
Total	60

De las 28 estaciones resultantes, tres no cumplen con los requisitos establecidos en la sección 3.5.2 respecto a las técnicas de filtrado por lo que también son descartadas. En la Tabla 3. 19, se detallan los números de registros validos de las series de tiempo seleccionadas, además del nombre de la estación meteorológica representativa a que pertenecen los datos. Cabe agregar que se han eliminado dos estaciones que cumplen con los requisitos, sin embargo pertenecen a la región Insular.

Tabla 3. 19. Estaciones Representativas Seleccionadas, Heliofania

Estación	Porcentaje de Datos Validos	Número de Datos Validos	Año inicial	Año Final
BABAHYOY UTB	81.99	11253	1980	2010
BANNOS	86.61	6417	1984	2011
COTOPAXI CLIRSEN	83.05	5859	1971	2011
GUAYAQUIL U ESTATAL RADIO SONDA	89.50	4123	1992	2011
INGUINCHO	91.67	8618	1980	2010
INIAP SUPLEMENTARIA PORCINOS	94.13	4309	1986	2001
IZOBAMBA	96.12	14012	1970	2011
JULCUY	87.15	7223	1985	2011
LA ARGELIA LOJA	91.38	13299	1971	2011

LA CONCORDIA	81.69	14508	1971	2010
LA TOLA	96.89	10974	1980	2011
MILAGRO INGENIO VALDEZ	82.90	13330	1971	2011
NUEVO ROCAFUERTE	89.48	12028	1976	2010
OTAVALO	95.68	7378	1987	2011
PALMORIENTE HUASHITO PALMAR DEL RIO	87.61	5487	1985	2010
PORTOVIEJO UTM	88.15	13733	1971	2011
PUYO	84.98	13702	1972	2011
QUEROCHACA UTA	91.27	11718	1977	2010
QUITO INAMHI INNAQUITO	93.71	11470	1979	2010
RUMIPAMBA SALCEDO	95.25	11780	1976	2010
SAN GABRIEL	83.09	9703	1971	2010
SANGAY P SANTA ANA	81.56	7440	1984	2011
TOMALON TABACUNDO	97.05	4991	1990	2010

La Figura 3. 19, muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas representativas, basado en la división política territorial. Como puede observarse la región Interandina o Sierra presenta el mayor número de estaciones representativas con un total de 13 estaciones, le sigue con un menor numero la región Costa con 6 estaciones y por último el oriente con 4 estaciones. Otro aspecto que podemos notar, es que la mayor densidad espacial de las estaciones se agrupa en la provincia de Pichincha con 6 estaciones, lo que representa el 26% del conjunto de estaciones representativas seleccionadas.

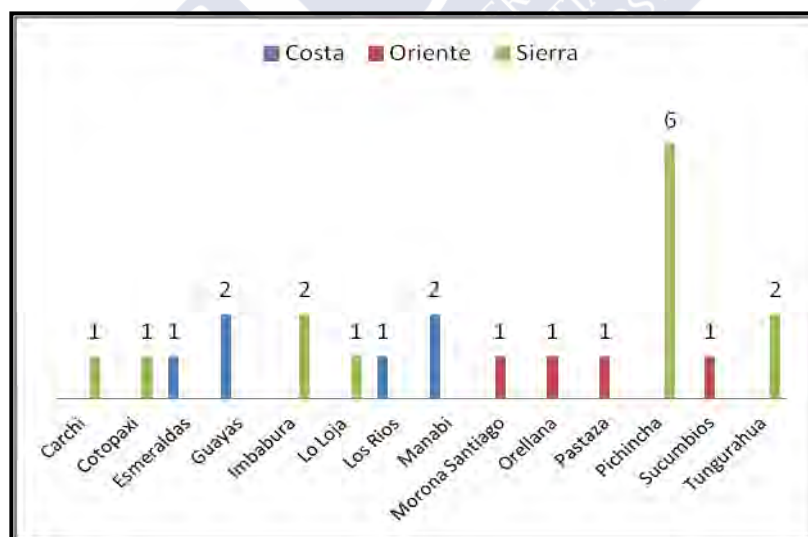


Figura 3. 19. Distribución de las Estaciones Representativas, Heliofania por provincias.

Por otro lado, la Figura 3. 20 nos muestra las estaciones representativas ordenadas en función de tipo de estación climática. Vemos entonces que las estaciones Principales y Agrometeorológicas son las que están en mayor número con un 83% del conjunto de estaciones representativas.

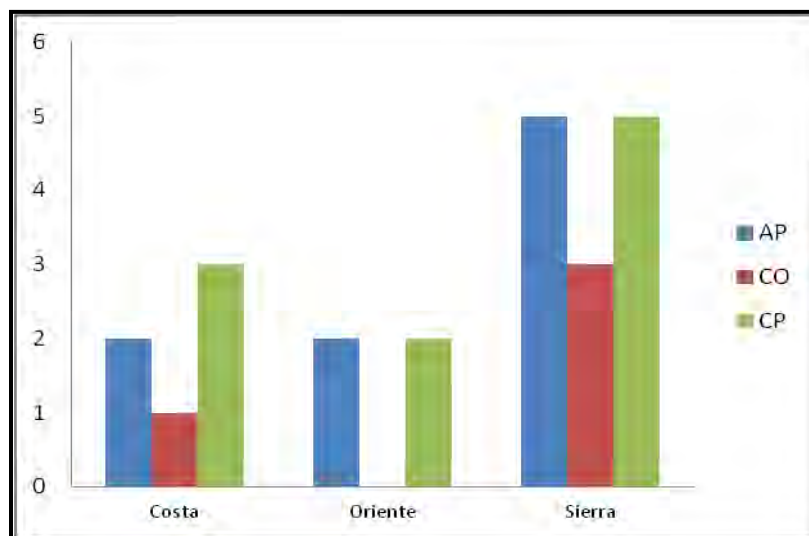


Figura 3. 20. Distribución de las Estaciones Representativas, Heliofania por Tipo.

3.6 ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES REPRESENTATIVAS

Una vez realizado el filtrado de las estaciones se procede a la evaluación estadística de las series de tiempo de las estaciones representativas seleccionadas, tiene como fin validar los resultados que se obtengan del modelo numérico empleado para la generación de mapas de recursos.

El cálculo y análisis de los datos procedentes de las estaciones meteorológicas representativas se realiza con el software de Matlab versión 7. Se ha creado una serie de scripts que tiene como objetivo realizar el cálculo de los principales estimadores estadísticos como lo son la media, desviación estándar, moda, entre otros.

Adicionalmente, para determinar posibles valores atípicos en las series de tiempo. Se decidió eliminar aquellos datos alejados más de 3 desviaciones estándar del valor medio (Peterson T.C., 1998)

3.6.1 Análisis de la Series de tiempo de Distancia Recorrida del Viento

Los resultados obtenidos de análisis estadístico de las series temporales de distancia recorrida del viento, no presenta una utilidad real al momento validar las simulaciones. No obstante brinda información importante sobre el comportamiento cualitativo del viento en el país. En la Figura 3. 21, se puede observar como que la región costa y el Oriente principalmente presentan un comportamiento más estable en el flujo de viento. La región Sierra muestra una gamma de valores de flujo de viento en sus diferentes ubicaciones. Las estaciones de mayor interés son: Cañar, Izobamba, Rumipampa perteneciente a las provincias Cañar, Pichincha y Cotopaxi. En el anexo 8 se presenta el detalle los valores medios por estación.

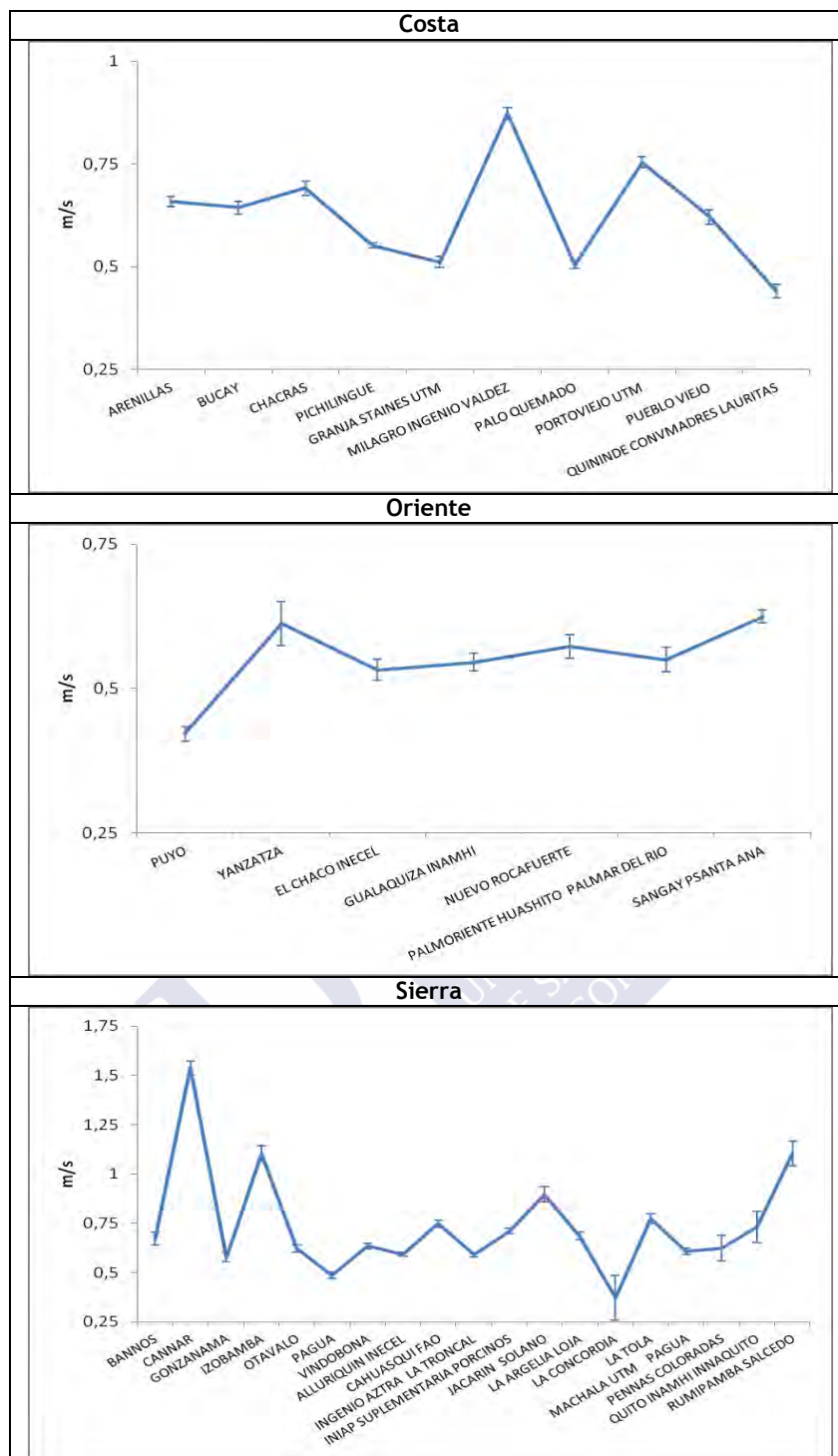


Figura 3. 21. Distancia Recorrida del Viento por región (m/s)

Por otro lado, la presencia de mayor flujo de viento se observa en las zonas donde el tipo de clima corresponde al Ecuatorial de Alta Montaña, Ecuatorial Mesotérmico Seco y Semi - Húmedo, todos a una altitud mayor de 1500 metros sobre el nivel del mar.

3.6.2 Análisis de la Series de tiempo de Dirección Predominante del Viento

En este apartado se ha procedido a evaluar las direcciones predominantes de las estaciones representativas (Figura 3. 22). Resulta clara, la fuerte influencia que tiene los vientos alisios en la dirección de viento local en la región costera. Las direcciones predominantes se encuentran en los cuadrantes Sur-Oeste y Norte-Este. En la región oriental las perturbaciones de la amazonia q se origina hacia el este del país, genera direcciones predominantes se encuentran en los cuadrantes Sur-Este y Norte-Este. Finalmente la región Sierra no presente ningún cuadrante predominante en lo relacionado a la dirección de viento, esto es producto a la gran gamma de microclima y condiciones geográficas existentes en toda la región. El análisis de frecuencia de la dirección de viento se presenta en detalle en el Anexo 9.

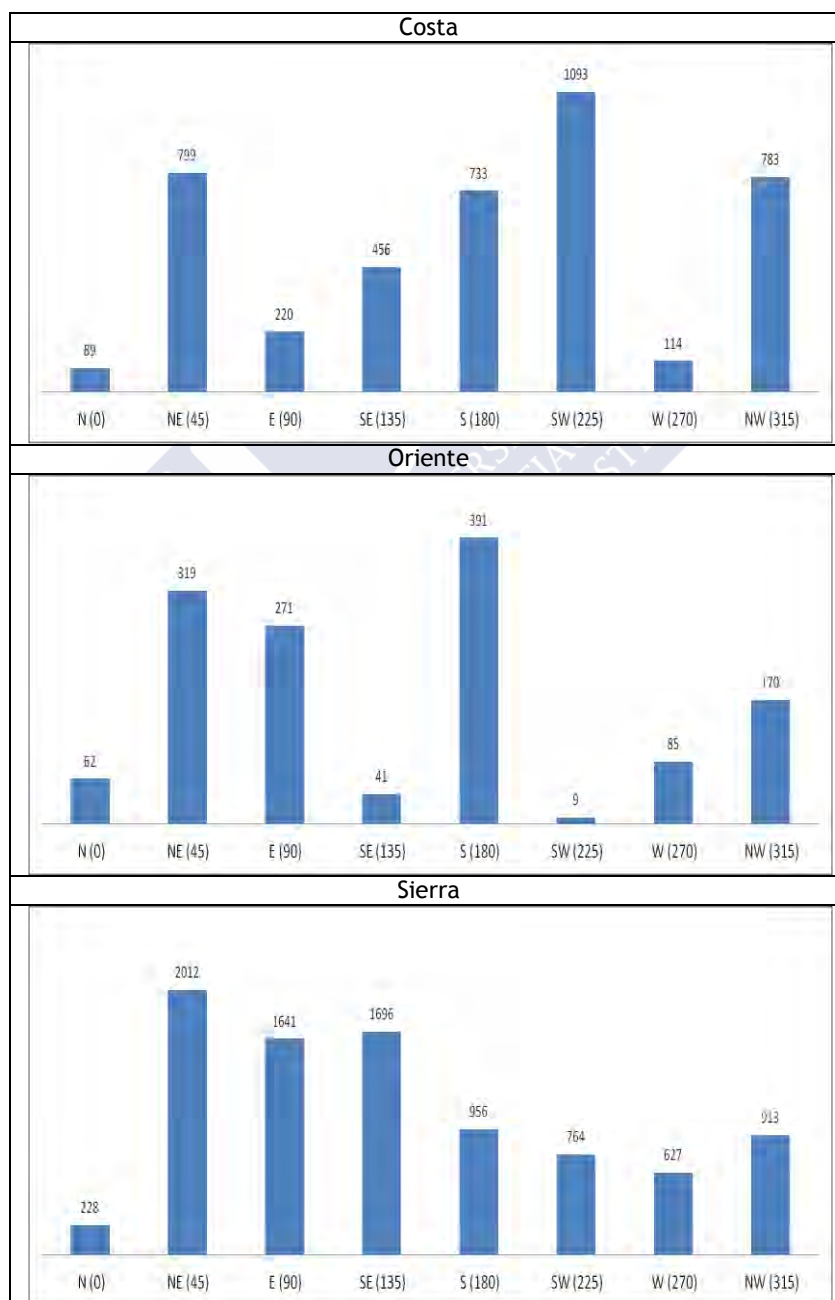
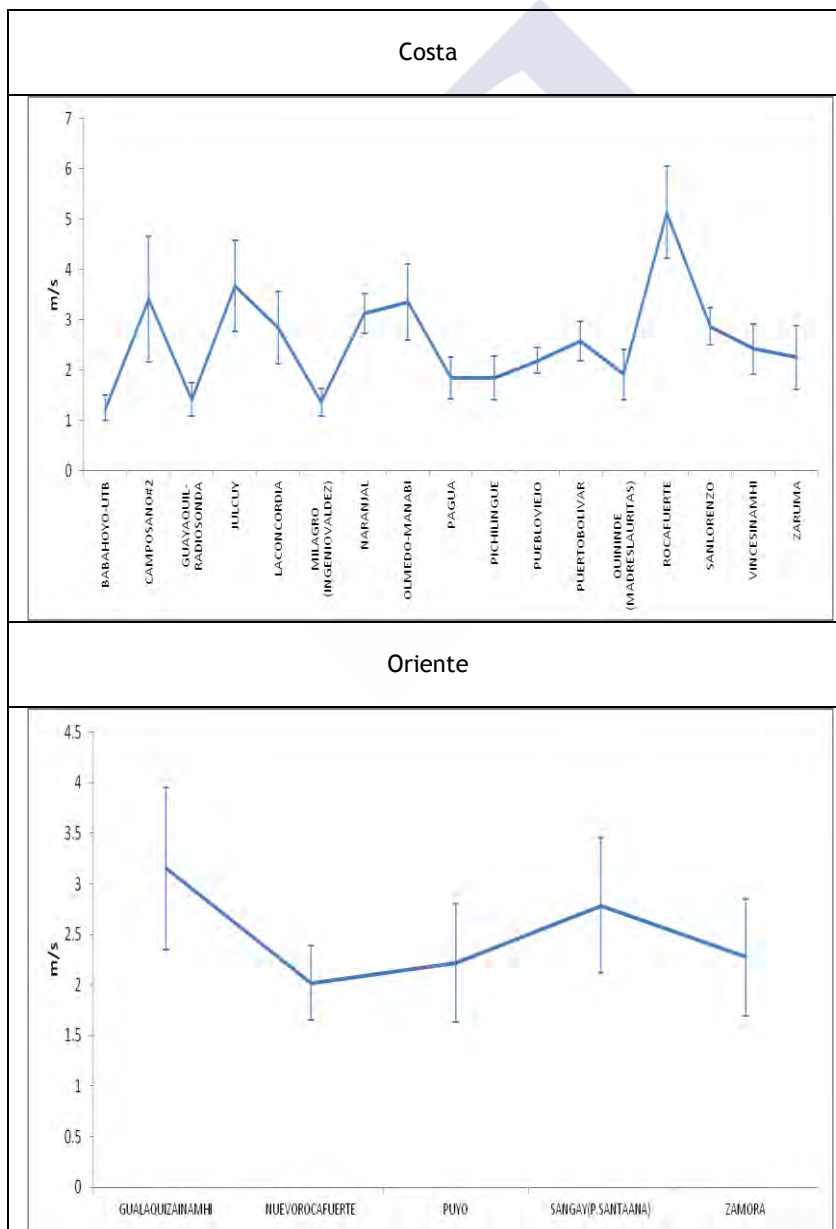


Figura 3. 22. Dirección Predominante de Viento por Regiones

La Figura 3. 23, ilustra la velocidad media anual de las estaciones por regiones. En la región costa se puede apreciar que la velocidad del viento oscila en un valor medio de 3 m/s a excepción de ciertos lugares que por sus condiciones de microclima o ubicación puede presentar valores más altos. La región oriental presenta un valor medio de velocidad de 2.5 m/s relativamente estable a lo largo de su llanura. Sin embargo, la región Interandina o Sierra presenta diferentes valores de velocidad producto a la geografía de la región. Es importante destacar que existen zonas con una media anual mayor de 7 m/s, como es el caso de las provincias de Loja, Cañar y Tungurahua. Las zonas correspondientes a los climas Ecuatorial de Alta Montaña, Ecuatorial Mesotérmico Seco y Semi-Humedo presentan los valores más altos de velocidad de viento. Los valores mensuales de velocidad se presentan en el Anexo 10.



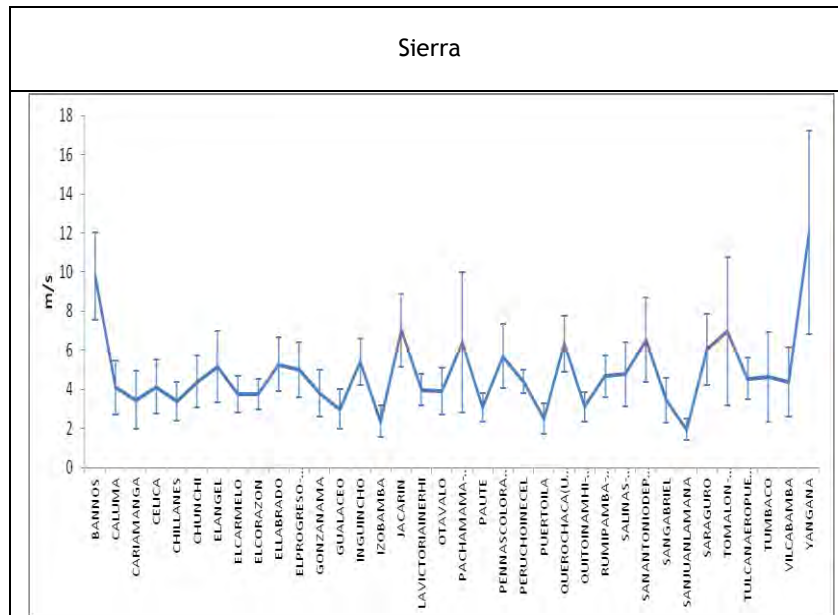


Figura 3. 23. Media Anual de Velocidad (m/s) de las Estaciones por región

3.6.2.1 Análisis de la Series De tiempo perteneciente al INOCAR.

En lo que respecta a la velocidad media, la mayoría de las estaciones pertenecientes al INOCAR, se presenta un valor promedio por debajo de los 2 m/s a excepción de Manta y Esmeraldas que tienen un valor superior a 2 m/s. (Figura 3. 24).

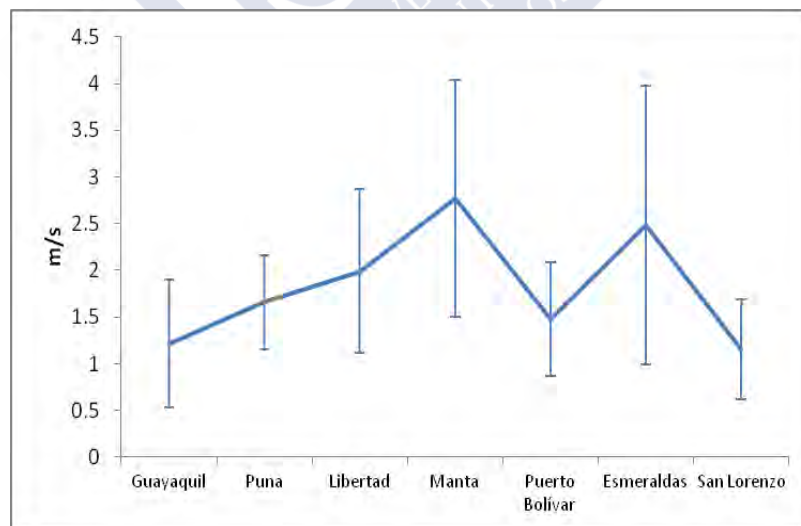
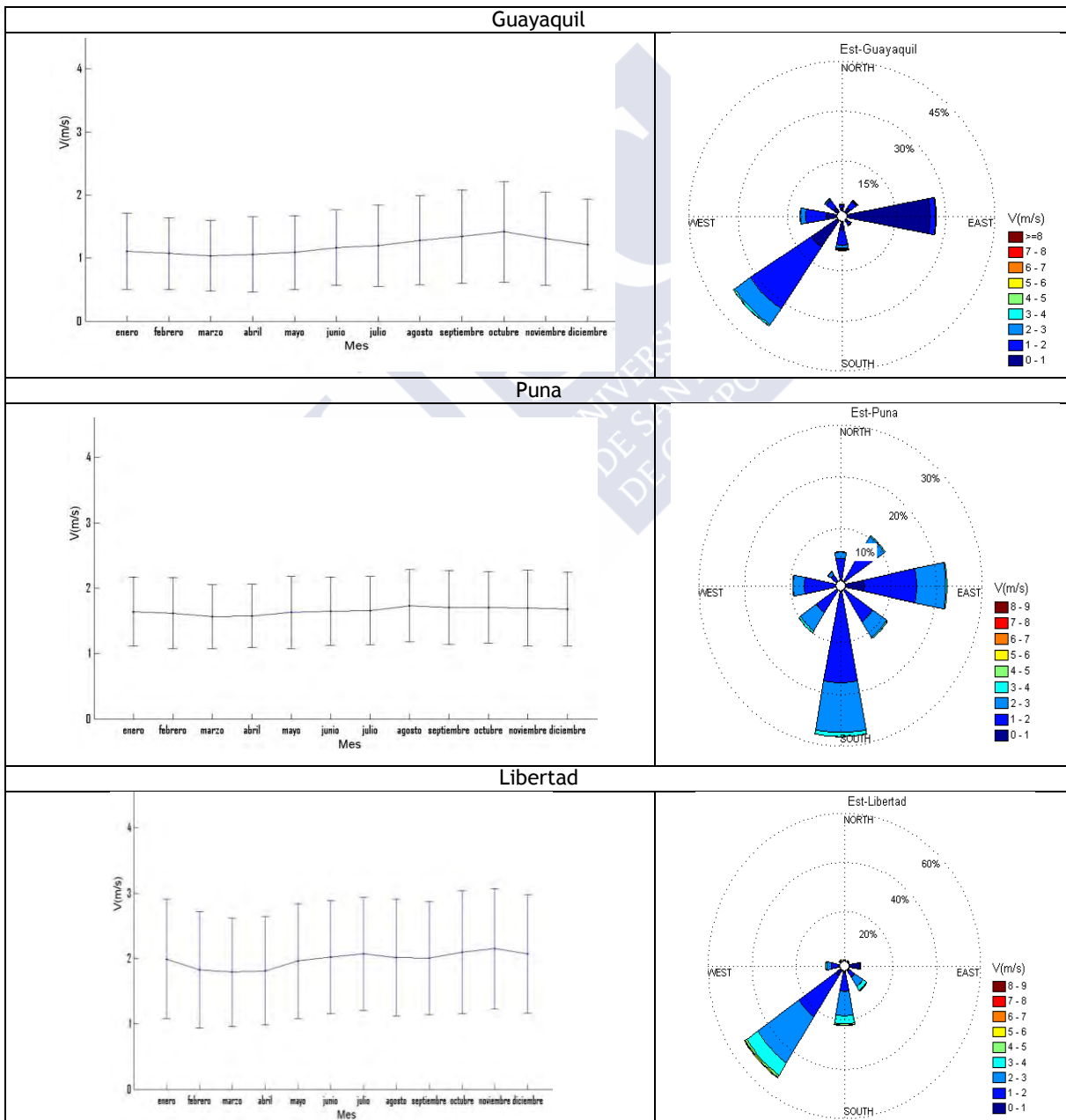


Figura 3. 24. Velocidad Promedio, Estaciones del INOCAR

La dirección predominante del régimen desde donde viene viento en la mayoría de las estaciones se encuentran en el cuadrante Sur-Oeste, observándose un influencia considerable de los vientos provenientes del mar (en nuestro caso particular derivado de los vientos alisios del sur), a excepción de las estaciones de San Lorenzo y Puerto Bolívar que presenta una dirección predominantes en el cuadrante Oeste-Norte debido a su ubicación geográfica y climatológica local (Tabla 3. 20).

Tabla 3. 20. Direcciones Predominantes de Viento, Estaciones del INOCAR

Estación	1° Dirección		2° Dirección	
	San Lorenzo	315	ONO	270
Esmeraldas	270	OSO	180	SSE
Manta	225	SSO	270	OSO
Libertad	225	SSO	270	OSO
Guayaquil	225	SSO	270	OSO
Puna	270	OSO	180	SSE
P. Bolívar	315	ONO	225	SSO



CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

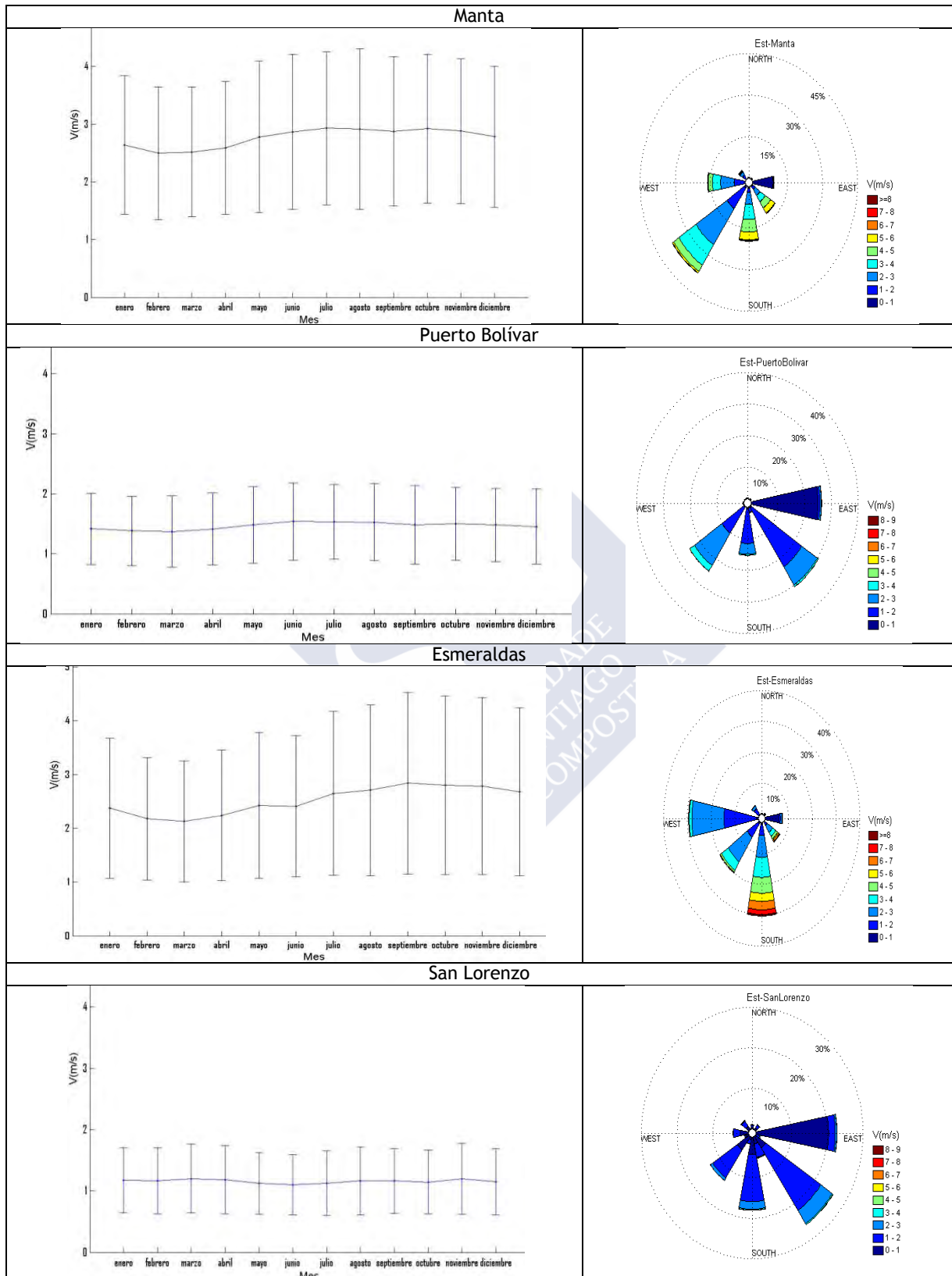
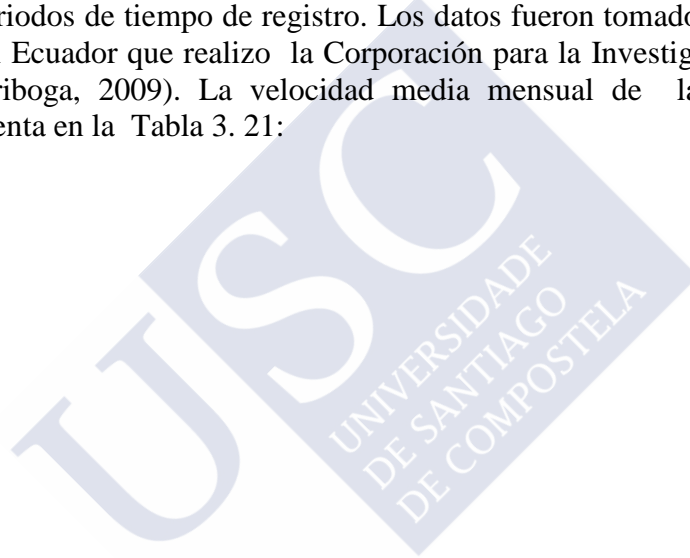


Figura 3. 25. Velocidad Mensual y Rosas de Vientos Estaciones Inocar

Como se puede apreciar en la Figura 3. 25, la velocidad promedio mensual y dirección del viento, presentan oscilaciones derivadas de las ubicaciones geográficas o climáticas de las estaciones. Guayaquil, Puna y Puerto Bolívar, ubicados en el área de influencia del Golfo de Guayaquil, presentan mayores oscilaciones por la interacción del viento marino y terrestre (dos componentes principales en la rosa), además de efectos locales. En cambio, Manta y Libertad al estar ubicadas en la costa central, presentan una influencia marcada de los vientos provenientes del mar (alisios). Finalmente Esmeraldas presenta una mayor influencia del viento marino (dirección sur) y San Lorenzo, por ubicarse cercano a un estuario, se encuentra protegido de las influencias marinas siendo exclusivamente influenciado por las características orográficas locales.

3.6.2.2 Análisis de la Series De tiempo perteneciente al DGAC

La información mostrada corresponde a las medias mensuales de velocidad del viento en diferentes periodos de tiempo de registro. Los datos fueron tomados del estudio del campo de vientos en el Ecuador que realizó la Corporación para la Investigación Energética en el año 2006 (Chiriboga, 2009). La velocidad media mensual de las 18 estaciones meteorológicas se presenta en la Tabla 3. 21:



CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL ECUADOR

Tabla 3. 21. Velocidad Media (m/s), Estaciones de la DGAC

Estación Aeropuerto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Registro
Bahía de Caraquez	4.20	3.90	3.90	4.00	4.00	4.10	4.20	4.30	4.30	4.30	4.40	4.30	1978-2004
Cuenca	2.60	2.40	2.40	1.90	2.00	2.40	2.50	2.70	2.40	2.30	2.60	2.70	1977-2004
El Coca	2.10	2.10	2.10	1.80	1.80	1.90	1.90	1.90	1.80	1.90	1.90	1.90	1982-2004
Esmeraldas-Tachina	3.10	2.50	2.70	2.80	2.90	2.70	2.90	3.10	3.30	3.20	3.30	3.10	1980-2004
Guayaquil	2.80	2.30	2.60	2.70	3.20	3.60	3.90	4.10	4.10	4.10	3.90	3.60	1977-2004
Lago Agrio	1.80	1.80	1.90	1.70	1.70	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.90	1.80	1981-2004
Quito Dac	3.00	3.10	2.80	1.60	2.70	2.90	3.20	3.60	3.20	2.90	2.90	3.20	1981-2004
Santo Domingo	2.30	2.30	2.20	2.30	2.20	2.20	2.10	2.10	1.90	2.00	1.90	2.30	1981-2004
Latacunga	4.80	4.80	4.80	4.70	5.20	5.50	5.60	5.80	5.30	4.90	4.70	4.60	1973-2004
Portoviejo	3.00	2.80	3.10	2.90	2.80	2.50	2.50	2.90	3.10	2.90	2.90	3.00	1981-2004
Machala	2.90	2.90	3.00	2.80	2.90	2.70	2.80	2.80	2.60	2.80	2.80	2.90	1985-2004
Manta	3.80	3.50	3.40	3.70	3.70	3.50	3.70	3.80	4.00	3.90	3.80	4.10	1978-2004
Catamayo	4.20	3.90	3.70	4.20	4.60	4.80	5.30	5.30	5.40	5.00	4.70	4.20	1984-2004
Ambato	3.30	3.20	3.30	3.20	3.20	3.30	3.60	3.80	3.70	3.50	3.30	3.20	1987-2004
Macas	3.20	3.00	3.10	2.80	2.50	2.50	2.40	2.40	2.60	3.00	3.10	3.20	1985-2004
Pastaza	2.90	2.80	2.90	2.70	2.60	2.60	2.60	3.10	3.00	3.00	2.90	2.90	1981-2004
Tulcán	3.80	4.10	3.70	4.00	4.20	4.20	4.60	4.60	4.50	4.10	3.90	3.90	1972-2004
Ibarra	4.10	4.30	3.90	3.70	3.50	3.60	4.10	4.30	4.20	4.10	4.00	4.10	1987-2004

3.6.2.3 Análisis de la Series de tiempo de Heliofanía, INAMHI

En este apartado se presenta los resultados del análisis estadístico de series de tiempo de la heliofanía efectiva (horas de brillo solar con irradiación mayor de 120 W/m²) registrados de forma diaria en las estaciones meteorológicas representativas.

Los promedios mensuales de la heliofanía han sido calculados agregando una condición adicional basada en la estimación de la heliofanía relativa.

El valor de heliofanía relativa (*Hr*) se calcula dividiendo la duración del brillo solar (horas de sol) por la cantidad de horas de sol posibles para la localidad o ubicación específica de cada estación representativa (Al-Mostaf, Maghrabi, & Al-Shehri, 2014)(Almorox & Hontoria, 2004). La ecuación de la heliofanía relativa es:

$$Hr = \frac{n}{N} \quad (3.1)$$

Con:

n: Registro de Heliofanía diaria

N: Horas de Sol Teóricas diarias

La estimación de este parámetro permitiría mediante una prueba lógica descartar un dato puntual dentro de la serie de tiempo, ya que los valores de la heliofanía relativa son siempre positivos y tienen valores entre 0 y 1. Los valores que son mayores que uno son imposibilidades físicas puesto que implicaría valores mayores que la constante solar, mientras que los negativos, implican errores de medición (Duffie & Beckman). Por lo tanto:

$$0 < \text{heliofanía relativa} < 1$$

En el anexo 11, se detallan las formulas y el procedimiento empleado para la estimación de la heliofanía relativa a lo largo de toda la series de tiempo representativas.

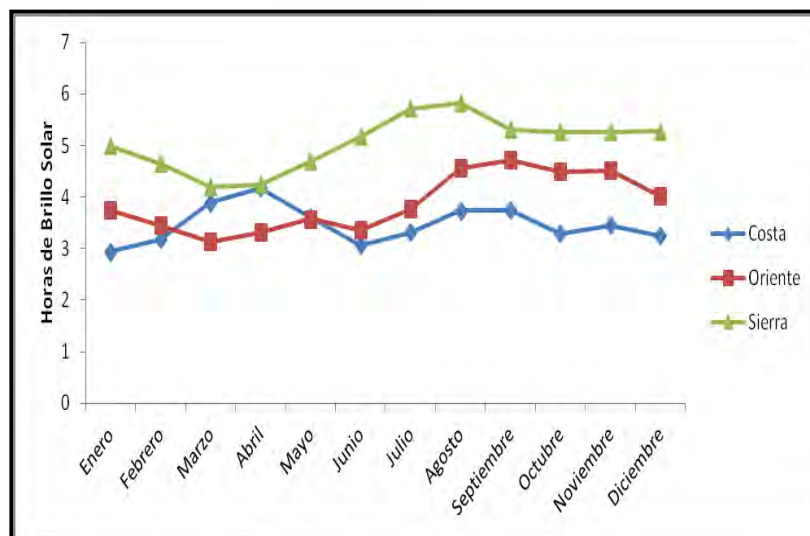


Figura 3. 26. Valores Mensuales de Heliofanía por región

El Ecuador, al estar ubicado sobre la línea equinoccial, presenta poca variación en la posición del sol y de horas de brillo solar durante el año. Sin embargo, producto de sus condiciones particulares de clima y geografía, las diferentes regiones del país presentan pequeñas oscilaciones en los registros heliofanía (Figura 3. 26). Así, la región de la Costa y el Oriente presentan unos valores medios anuales de 3.5 horas de luz solar, mientras que la región de la Sierra presenta una media de 5 horas de la misma variable. Como ejemplo, los climas Ecuatorial Mesotérmico Seco y Semi-Húmedo, en la zona de Sierra, que se encuentran sobre una altitud superior a los 1500 metros sobre el nivel del mar, presentan un número de horas de sol en media anual con valores entre 4,8 y 5.2 respectivamente.

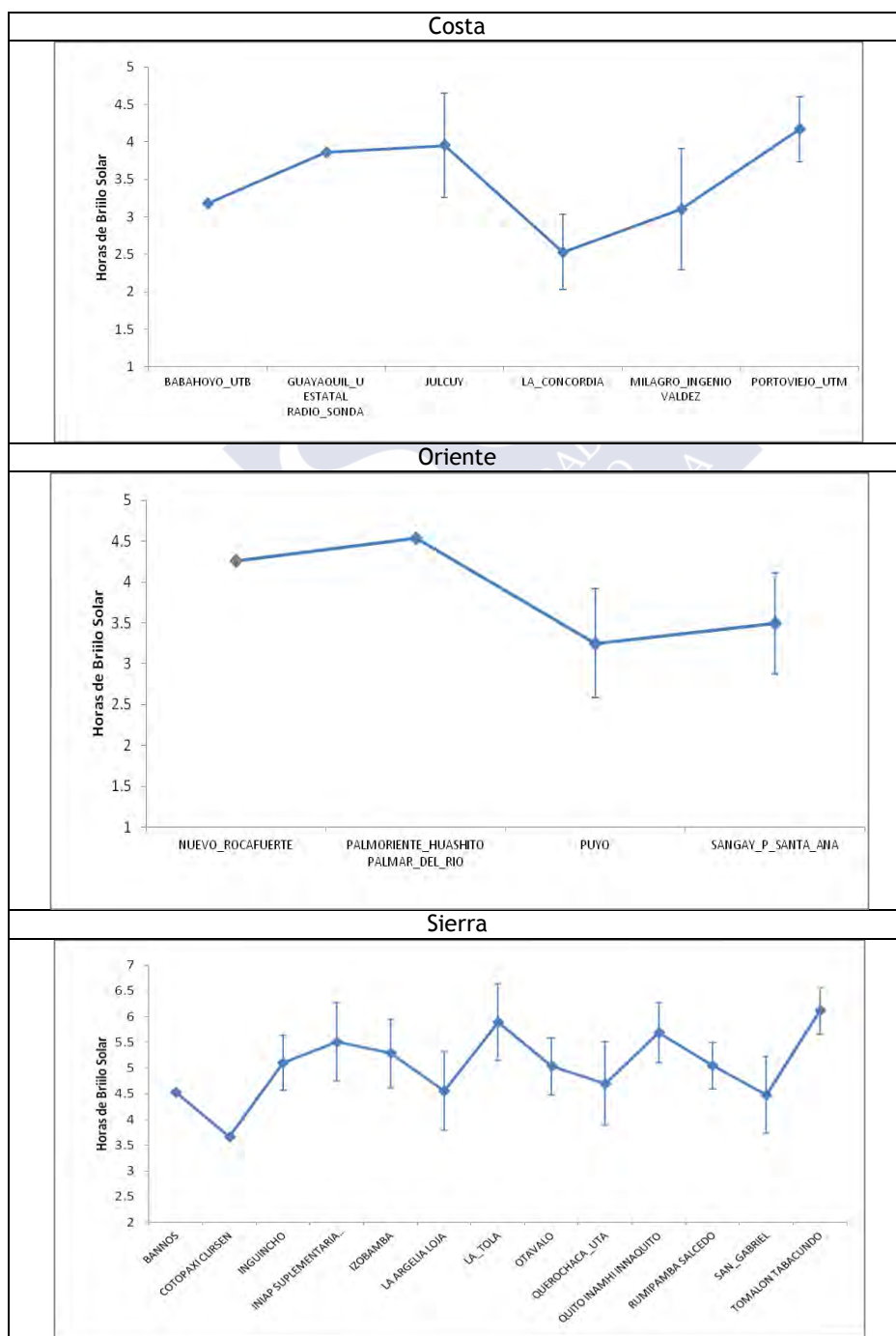


Figura 3. 27. Promedio Anual de heliofanía por Estación.

Los resultados se muestran en la Figura 3. 27. Algunas excepciones, como por ejemplo la estación de Cotopaxi Clirsen que aún estando localizada en la región sierra presenta valores anómalamente pequeños en los niveles de horas de sol, pueden explicarse por microclimas locales particulares. En este caso por localizarse en una zona sujeta a frecuentes bancos de niebla.

Ahora bien, como información adicional es interesante describir el comportamiento de la nubosidad en las regiones del Ecuador. En la Figura 3. 28, se muestran los valores mensuales de Nubosidad medidos en “Octas” para las estaciones representativas de heliofanía. Como se puede observar el comportamiento de la nubosidad regional concuerda con el aumento o disminución del brillo solar a lo largo del año en cada región.

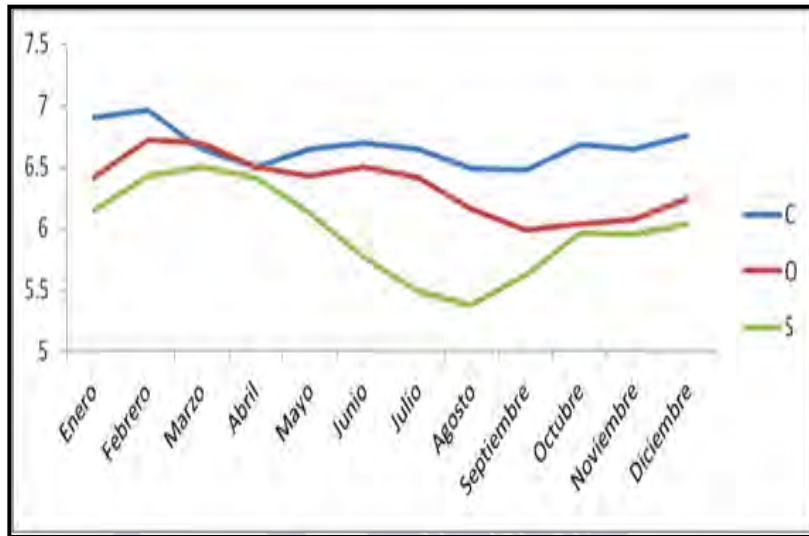


Figura 3. 28. Nubosidad Mensual por Región
Siendo; C: Costa , O : oriente ,S : sierra

3.7 DISTRIBUCIÓN FINAL DE LA ESTACIONES REPRESENTATIVAS APTAS PARA VALIDACIÓN.

Finalmente, los resultados de la selección de las estaciones representativas nos dan un total de 87 estaciones con series de tiempo que se pueden emplear en la validación de los resultados del modelo numérico de predicción (no se consideran las estaciones pertenecientes a la DGAC). En la región Sierra se ubican 46 estaciones, lo que representa un 53% del conjunto seleccionado. Le sigue la región Costa con 24 estaciones y por último la región del Oriente con 10 estaciones.

Por otra parte, solo existen 9 estaciones donde se registran la heliofanía, la distancia recorrida del viento, la magnitud y la dirección predominante del viento en forma simultánea. Siendo la provincia de Pichincha la que presentan un mayor número con 3 estaciones. (Tabla 3. 22).

Tabla 3. 22. Estaciones Representativas con registro completo de variables

Estaciones	Provincia
BAÑOS	Tungurahua
IZOBAMBA	Pichincha
LA_CONCORDIA	Esmeraldas
MILAGRO_INGENIO_VALDEZ	Guayas
OTAVALO	Imbabura
PUYO	Pastaza
QUITO_INAMHI_INNAQUITO	Pichincha
RUMIPAMBA_SALCEDO	Pichincha
SANGAY_P_SANTA_ANA	Morona Santiago

En la Figura 3. 29, se muestra la asimetría espacial en la distribución por provincia del conjunto de estaciones representativas. Así, las provincias con mayor número de estaciones son Pichincha, El Oro, Loja y Manabí con 10, 7, 7 y 6 estaciones respectivamente, mientras que provincias como Santa Helena o Sucumbíos presentan apenas una estación.

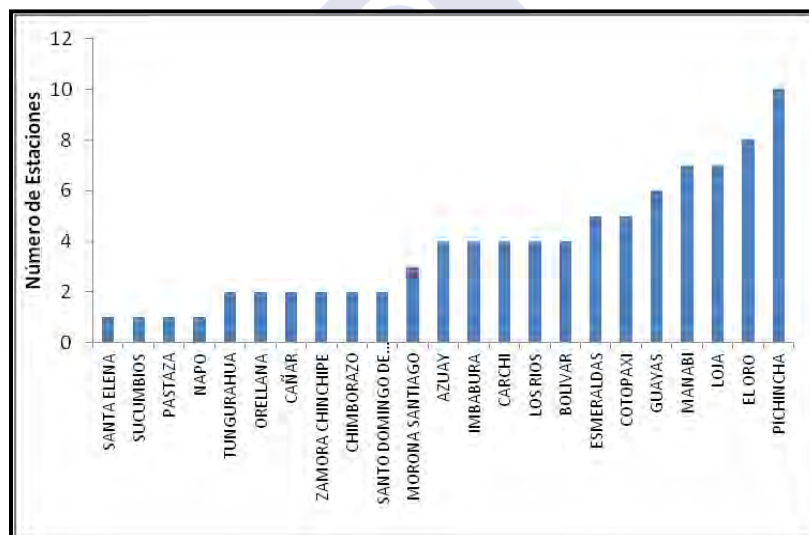


Figura 3. 29. Número de Estaciones Representativas por Provincias.

3.8 CONCLUSIONES.

En este capítulo se ha realizado una descripción exhaustiva de las características climáticas del Ecuador así como de las variables de interés siendo las situaciones meteorológicas o atmosféricas que influyen sobre las condiciones climatológicas:

- El Anticiclón del Pacífico Sur y el dorsal Alta del Caribe (Sistemas de Alta Presión)
- La Zona de Convergencia Intertropical, Perturbaciones amazónicas., Vaguada del Sur. y el Fenómeno El Niño (Sistemas de Baja Presión)

Los principales factores que condicionan el comportamiento y caracterización de las masas de aire que circulan en el territorio continental del Ecuador, son:

- Relieve y Altitud producto de la cordillera de los Andes.
- La ubicación Geográfica (Latitud) en referencia al sistema de circulación de la atmosfera.
- Presencia e interacción de las corrientes marinas del Océano Pacifico.

Se ha realizado el inventario, levantamiento, procesamiento y evaluación de la información disponible de registros tanto de la velocidad y dirección del viento como de la radiación solar del conjunto de estaciones meteorológicas en el territorio nacional. A partir del análisis de las series de tiempo pertenecientes a las estaciones representativas seleccionadas se puede concluir:

- La distribución espacial de los registros relacionados a la distancia recorrida y la velocidad media del viento, indican de manera preliminar que las zonas pertenecientes a la región de la Sierra presenta los valores más altos en magnitud de viento especialmente entre los meses de junio a septiembre, sobre todo en las provincias de Cañar, Chimborazo, Loja y Tungurahua.
- La dirección del viento en la región de la Costa dependerá del Anticiclón del Pacifico y la interacción ocasional de la Vaguada del Sur, ya que ambas generan un flujo de viento predominante proveniente del sur con una componente oeste. Sin embargo en la parte Norte de la región costera este patrón de viento puede ser alterado por las perturbaciones de la Amazonía y el Caribe que hacen que la dirección del viento presente otras componentes provenientes del Norte y del Este.
- En la región del Oriente, la influencia de las perturbaciones de la Amazonía y el Caribe son más significativas y por lo tanto contribuyen al aumento de la frecuencia de la dirección viento proveniente del Norte y del Este.
- La región de la Sierra debido a la interacción de la cordillera de los Andes no presenta ninguna dirección de viento predominante. En esta región la dirección del viento dependerá principalmente de los efectos derivados de la presencia de variaciones geográficas o microclimas locales.
- En la región de la Sierra durante los meses de junio a noviembre se registran los promedios más altos en relación al número de horas de luz solar, particularmente en la provincias de Pichincha e Imbabura.
- En la región Costa los máximos promedios de número de horas de luz solar se registran a lo largo de los meses de marzo a mayo a excepción de la provincia de Manabí donde ocurren entre los meses de junio a noviembre.
- En la región del Oriente los máximos promedios de número de horas luz solar ocurren entre los meses de junio a noviembre. Siendo la provincia de Sucumbíos la que presenta mayores valores en los registros

- Las ubicaciones que presentan los registros más elevados de horas de luz solar corresponden a los climas de Alta Montaña, Mesotérmico Seco y Semi-Húmedo en la región de la Sierra

Durante el proceso de selección, solo aproximadamente un 30% del total de estaciones meteorológicas pueden ser consideradas útiles para el proceso de validación. Si bien este porcentaje de datos fiables es pequeño, la mayor parte de los defectos detectados serían fácilmente subsanables con un seguimiento sistemático de los registros. Las principales causas de exclusión de estaciones detectadas están asociadas a:

- Falta de información relacionada con la presencia de errores propios del sistema de medición en las estaciones.
- Dependencia de registro en forma manual y posibilidad de errores sistemáticos.
- Presencia de vacíos e inconsistencia en las series de tiempo.
- Información estadística incompleta en los anuarios meteorológicos.
- Errores de conversión entre los registros propios de las estaciones y la publicada por medio de los anuarios meteorológicos

Por último, los resultados del inventario identifican zonas con escasa o nula cobertura de registro de datos siendo recomendable la redistribución espacial de las estaciones existentes. Además, el análisis de las series tiempo de las estaciones meteorológicas revela la necesidad de actualizar el sistema gestión y registro de datos meteorológicos a nivel nacional con el fin de proporcionar información lo suficientemente confiable y detallada al usuario final.



CAPITULO 4

APLICACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

En este capítulo realizaremos una revisión bibliográfica de la aplicación de los Modelos de Predicción Numérica. En particular, en los tres primeros apartados se presenta un resumen de los modelos más empleados y de sus características más representativas. En el cuarto apartado se expone una revisión más detallada del modelo de regional a utilizar en este trabajo, a la vez que se detalla la estructura, configuración y parametrizaciones necesarias para su ejecución. Finalmente, en el quinto apartado se establecen los dominios, parametrizaciones y variables de simulación en función de la variabilidad espacio-temporal y de las condiciones climatológicas de la zona de estudio.

4.1 MODELOS DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA

Como se explicó en el capítulo 3, la atmosfera se considera como un fluido en movimiento sometido a procesos de intercambio de energía. Para describir su comportamiento e interacciones tanto en el medio atmosférico como entre la atmosfera y la superficie terrestre se utilizan ecuaciones de mecánica de fluidos y de termodinámica. (Guerrero-Higueras, 2012).

En cuanto a la predicción meteorológica consiste en la descripción cualitativa o cuantitativa anticipada de los valores de las variables meteorológicas de una región determinada. Estas variables pueden ser la temperatura, velocidad y dirección del viento y radiación solar entre otras.

Hoy en día la predicción o simulación de algún evento meteorológico se realiza utilizando modelos de predicción numérica. Los modelos de predicción emplean métodos numéricos para resolver mediante aproximaciones las ecuaciones diferenciales relacionadas a la conservación de la masa, de la energía y el momento lineal en la atmosfera.

El comportamiento e interacción de los fenómenos físicos que ocurren en la atmosfera, se pueden simular por medio de modelos numéricos de pronóstico meteorológico (Numerical Weather Prediction, NWP) (Stull, 2000), los cuales, logran una descripción cuantitativa de los procesos físicos y dinámicos que se desarrollan en la atmosfera y la superficie terrestre. Básicamente estos modelos permiten estimar las diferentes interacciones existente en los distintos procesos atmosféricos tomando en cuenta la evolución de la atmosfera a partir de condiciones iniciales (Seaman, 2000) .Su ejecución se realiza por medio del empleo de sistemas computacionales

Los modelos NWP se basan en las ecuaciones que describen el comportamiento de los flujos atmosféricos con respecto a un sistema de coordenadas. Estas ecuaciones son la de continuidad, cantidad de movimiento, conservación de la energía y humedad, y se las conoce como ecuaciones primitivas y se basan en los principios de conservación de masa, de momento y de energía. (Coiffier, 2011)

Las leyes que describen los procesos físicos y dinámicos de la atmósfera se caracterizan por su naturaleza no lineal, por lo tanto los modelos NWP presentan un alto grado de desarrollo matemático que conlleva al desarrollo de algoritmos de carácter iterativo con un grado de complejidad considerable y con tiempos de cálculo relativamente elevados en función a la escala espacial y temporal a estudiarse.

Algunos modelos NWP para simplificar su formulación y el tiempo de cálculo asumen la hipótesis hidrostática, pues consideran despreciables los movimientos en la escala vertical frente a los movimientos en la horizontal, lo cual se puede aplicar a simulaciones de eventos a escala sinóptica como vaguadas, dorsales, anticiclones, depresiones, frente polares y algunos fenómenos meso-escalares. Por el contrario, aquellos modelos que permiten una resolución espacial elevada y que consideran todas las componentes del viento en su resolución, se conoce como modelos no-hidrostáticos. (Rodríguez, 2013)

Las principales diferencias entre un modelo hidrostático y uno no hidrostático están recogidas en (University Corporation for Atmospheric Research, 2014), si bien pueden resumirse en:

- En los no modelos hidrostáticos se consideran las aceleraciones y los movimientos verticales directamente en la resolución de las ecuaciones incluyendo cambios de flotabilidad. (Empuje hidrostático), en cambio los modelos hidrostáticos solamente se estiman los fenómenos meteorológicos resultantes del movimiento vertical.
- El modelo no hidrostático considera el efecto de la perturbación de la presión sobre el empuje hidrostático, ya que es importante para regular la velocidad de las corrientes ascendentes y la estructura de la nube convectiva, en cambio el modelo hidrostático no lo considera.
- En el modelo no hidrostático se considera la propagación del movimiento vertical, en el hidrostático los movimientos verticales se ajustan instantáneamente. Además permite la acumulación de agua.

En todos los casos, el dominio de trabajo se construye empleando una discretización numérica que se define por una malla o estructura tridimensional que engloba la superficie topográfica y la capa atmosférica. En algunos modelos se emplea las coordenadas cartesianas (x , y , z), teniendo que recortar el límite inferior en función de la topografía. En otros la estructura vertical se describe mediante coordenadas sigma (σ) como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que se pueden definir como un tipo de coordenadas que siguen el terreno en función de la orografía del área de estudio. Ahora bien, la estructura horizontal se define por las variables escalares en el centro de la celda (presión, temperatura, entre otras) y las variables vectoriales en las caras laterales de la celda. Por ejemplo, componentes de la velocidad (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). (Rodríguez, 2013) (Stull, 2000)

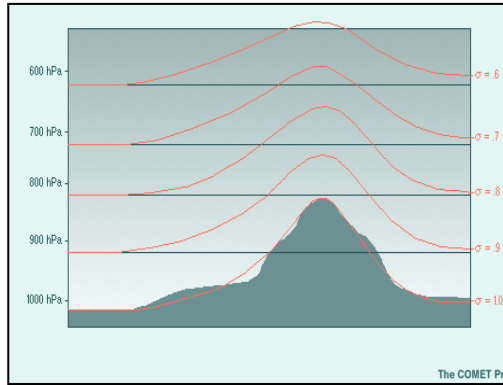


Figura 4. 1. Coordenadas Verticales Sigma

Fuente: (University Corporation for Atmospheric Research, 2014)

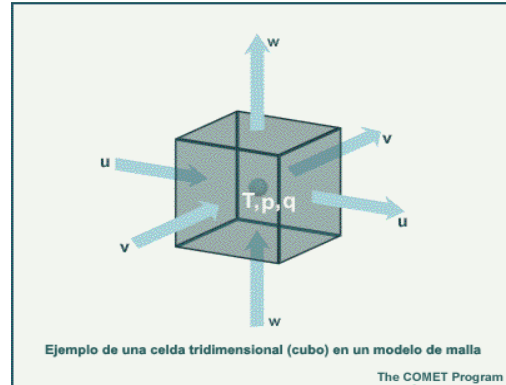


Figura 4. 2 Ejemplo de Celda de un NWP

Otro punto importante en los modelos NWP, es el empleo de parametrizaciones que sirven para representar los efectos generales de los procesos físicos e interacciones que son demasiados complejos o bien difíciles de representarlos en forma explícita en una escala reducida. (Tom Warner, 2011). Los procesos físicos que se suelen parametrizar son: (University Corporation for Atmospheric Research, 2014)

- La Radiación de onda corta (solar) y de onda larga (terrestre) en la atmósfera, incluyendo los efectos de las nubes, el vapor de agua, trazas de gases remanentes y los aerosoles.
- Las características y comportamiento de las superficies marinas y terrestres. Además del grado de afectación de los balances del agua y la energía en la superficie producto a la radiación ; incluyendo efectos producidos por el tipo de vegetación, el tipo de suelo, la cantidad de humedad presente en el suelo, la nieve, los cuerpos de agua y el hielo marino y terrestre.
- La transferencia mecánica de calor, humedad y momento entre el suelo y la capa límite planetaria (CLP) y entre la CLP y la atmósfera libre, por fenómeno de turbulencia.

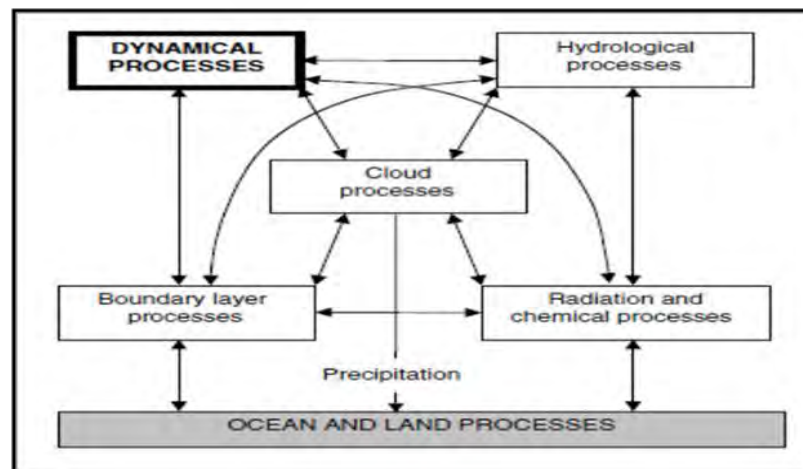


Figura 4. 3. Procesos físicos en la atmósfera y sus interacciones

Fuente: (Kalnay, 2003)

Los modelos NWP generalmente operan en tres etapas de ejecución:

- Primero, un pre-procesado de la información inicial como: condiciones iniciales, características de la malla, selección de parametrizaciones, entre otras.
- Segundo, Un procesado de la información lo que corresponde a la ejecución del modelo propiamente. Básicamente resuelve las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de la atmósfera para cada celda de la malla en forma iterativa en función del paso de tiempo establecido.
- Tercero, Un post-procesado de los resultados obtenidos, ya sea en forma analítica o gráfica de variables determinadas.

Finalmente, los modelos NWP son capaces de realizar interacciones entre sus dominios. Las técnicas de anidamiento se basan en definir dominios de menor de mayor resolución dentro de dominios padre. Esto significa que un primer dominio puede resolver la física de atmósfera de una región con una resolución baja, lo cual permite describir los fenómenos o eventos que se suceden en una escala sinóptica, a continuación en un dominio interior de menor dimensión pero con elevada resolución y se puedan resolver fenómenos de menor escala. En estos momentos existen dos técnicas desarrolladas en este campo: interacción de una dirección (one way nesting) y interacción de dos direcciones (two way nesting).

4.2 MODELOS GLOBALES

Estos modelos trabajan en bajas resoluciones espaciales (superiores a 1° o 110 km aproximadamente) debido a que presentan un dominio horizontal global, que incluye todo el planeta. Estudian principalmente los flujos de circulación global atmosférica para periodos anuales en mediano o largo plazo. Ejemplos de estos modelos son:

Global Forecast System (GFS): El Global Forecast System desarrollado por National Centers for Environmental Prediction (NCEP) USA, es un sistema global de predicción numérica del tiempo que corre cuatro veces al día y produce pronósticos de hasta 16 días. (Lighezzolo, 2014)

Integrated Forecast System (IFS): El IFS fue desarrollado por Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (European Center for Medium-Range Weather Forecasting – ECMWF) La resolución horizontal es de 25 km con 91 niveles verticales y genera pronósticos de hasta 240 horas (10 días) dos veces al día. (Lighezzolo, 2014)

The Global Environmental Multiscale Model (GEM): Fue desarrollado por Recherche en Prévision Numérique (RPN), Meteorological Research Branch (MRB) y el Canadian Meteorological Centre (CMC). Permite generar pronósticos hasta 10 días con resolución variable. (Lighezzolo, 2014)

4.3 MODELO REGIONALES

Los modelos regionales son de área limitada de análisis (LAM's) enfocarse en dominios de trabajo específicos con límites definidos. La resolución espacial a la que pueden llegar permite resolver procesos comprendidos entre la macro (50-150 km) y la micro-escala (inferior a 50 km). Presentan la ventaja de ser más precisos en la reproducción de fenómenos a pequeña escala resolver topografías complejas, un buen acoplamiento entre tierra y océanos, entre otras. Además, éstos pueden lograr información más coherente del clima regional a partir de los de circulación a gran escala proveniente de los modelos globales.

Los primeros modelos regionales eran de tipo hidrostáticos. Sin embargo, cuando la escala de la rejilla del modelo se reduce, la resolución espacial aumenta y es posible incorporar movimientos en la vertical como los producidos por el empuje hidrostático y los efectos topográficos que pueden igualar y hasta superar las velocidades horizontales en distancias cortas. (University Corporation for Atmospheric Research, 2014). Ejemplos de estos modelos son:

Mesoscale Atmospheric Simulation System (MASS): Desarrollado en los últimos 20 años por Meso Inc. El MASS simula los fenómenos físicos fundamentales que gobiernan la atmósfera, incluyendo la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía (los principios básicos de la dinámica y termodinámica clásicas). También dispone de un módulo de energía cinética turbulenta que tiene en consideración la viscosidad y la estabilidad térmica de la cortadura del viento.

Regional Atmospheric Modeling System model (RAMS): Desarrollado en la Colorado State University. Permite trabajar el rango meso- α , meso- β , meso- γ . Resuelve las ecuaciones básicas que rigen el comportamiento de la atmósfera con diferencias finitas. Se puede emplear como modelo hidrostático o no-hidrostático.

Weather Research Forecasting Model (WRF): Desarrollado por un consorcio formado por agencias nacionales del gobierno de los EE.UU. como National Center of Atmospheric Research (NCAR) y el National Centers for Environmental Prediction (NCEP) y universidades en los Estados Unidos y representa la nueva generación en modelos de pronóstico del tiempo, incorporando en forma continua los últimos avances relacionados a la modelización mesoescalar, además de integrar elementos de modelos previos como MM5 y NCEP. El WRF es actualmente el modelo más utilizado en el mundo en el campo de predicción meteorológica. Además ofrece al usuario acceso al código y la posibilidad de hacer sus propias ejecuciones. <http://www.wrf-model.org>

5th generation Mesoscale Model (MM5): Siendo considerado predecesor del WRF, corresponde a la quinta generación del modelo desarrollado en la década de los 70 por la Pennsylvania State University. Tiene la capacidad de resolver las ecuaciones del comportamiento de la atmósfera empleando coordenadas sigmas ya sea como modelo hidrostático o no.

4.1.1. Condiciones Iniciales y de contorno en los Modelos de Mesoescala

Para la ejecución de un modelo de mesoescala es necesario definir las condiciones iniciales y las condiciones de contorno. Las mismas son generadas a partir modelos globales o regionales de resolución relativamente baja y sus datos pueden ser descargados desde centros de meteorología a nivel internacional. En general son de formato binario GRIB y contiene información de variables a nivel de superficie como en diferentes niveles de presión.

En un modelo de mesoescala, los datos obtenidos por medio de modelo de baja resolución son interpolados a la malla de mesoescala de mejor resolución. En algunos casos, las observaciones podrían combinarse o asimilarse con el modelo a gran escala y la previsión anterior (asimilación de datos). Inicialmente, el modelo de mesoescala contiene sólo las escalas o datos que heredó del modelo a baja resolución.

Las condiciones de contorno, son importantes en el momento de determinar la capacidad del modelo de predecir las características meteorológicas de mesoescala en la región de estudio. Estas condiciones corresponden a las condiciones meteorológicas, representadas en forma matemática, de los confines del área de estudio (también llamados límites o fronteras). Los valores estimados por el modelo deben ser coherentes con estas condiciones de borde. Por otro lado, los modelos también pueden presentar problemas de arranque inicial (inicialización), esto puede ocurrir si los datos de condiciones de borde no presenta una dinámica apropiada entre sus variables, lo que conlleva el empleo de más tiempo por parte del modelo para alcanzar su equilibrio dinámico y evitar valores erráticos.

4.4 MODELO MESOSCALAR UTILIZADO: WEATHER RESEARCH FORECASTING

El modelo meteorológico de Investigación y Pronóstico del tiempo WRF (Weather Research and Forecasting), es un modelo de predicción numérica de mesoescala de nueva generación, diseñado inicialmente para ser empleado en previsiones operacionales y necesidades de estudio de la atmósfera.

El modelo WRF puede emplearse a nivel de investigación en diferentes campos como: atmosférico, pronóstico meteorológico, cambio climático y energético entre otros. Además las últimas actualizaciones presenta mejoras notables en lo relacionado con parametrizaciones físicas como: la parte microfísica, la parametrización de cúmulos, la capa límite atmosférico, la capa superficial, el modelo de suelo y la radiación.

4.4.1. Funcionamiento del WRF

El modelo WRF consta de tres módulos principales que son:

- WPS (WRF Preprocessor System),
- ARW (Advanced Research WRF)
- ARWpost (Advanced Research WRF post-processing)

El preprocesador (WPS) se encarga de la preparación de los datos necesarios para la ejecución del procesador WRF. Este componente posee varios subprogramas (geogrid,

ungrib, metgrid) los cuales se encargan de la extraer y dar formato a los datos. El WPS utiliza un archivo de configuración denominado namelist.wps.

El archivo namelist.wps posee información sobre parámetros necesarios para el trabajo de los módulos. Esta información está dividida en varios registros: un registro compartido y registros separados para cada uno de los módulos (ver Anexo 12)

EL ARW (Advanced Research WRF): Es el modulo principal donde se encuentra la física del modelo. Este se compone tiene varios subprogramas (ideal.exe, real.exe y wrf.exe) para la inicialización y posterior simulación de los datos mediante la integración numérica de las ecuaciones

WRF utiliza un archivo de configuración llamado namelist.input. Cada uno de los módulos del WRF lee información del archivo namelist.input en forma independiente. La información de la configuración se divide en cuatro registros. El primer registro de tiempo y control especifica las fechas de inicio y finalización de la simulación. El segundo brinda información sobre latitud, longitud y número de dominios de simulación a emplear. El tercer y cuarto sirve para definir opciones físicas y dinámicas que se aplicaran en la simulación. (ver Anexo 13)

El módulo ARWpost permite convertir las salidas del modelo del formato NetCDF a formato compatible con programas de graficación como GrADS. Además existe, el WRF-Var que es un modulo opcional que permite ingresar observaciones específicas dentro de los archivos generados por el WPS

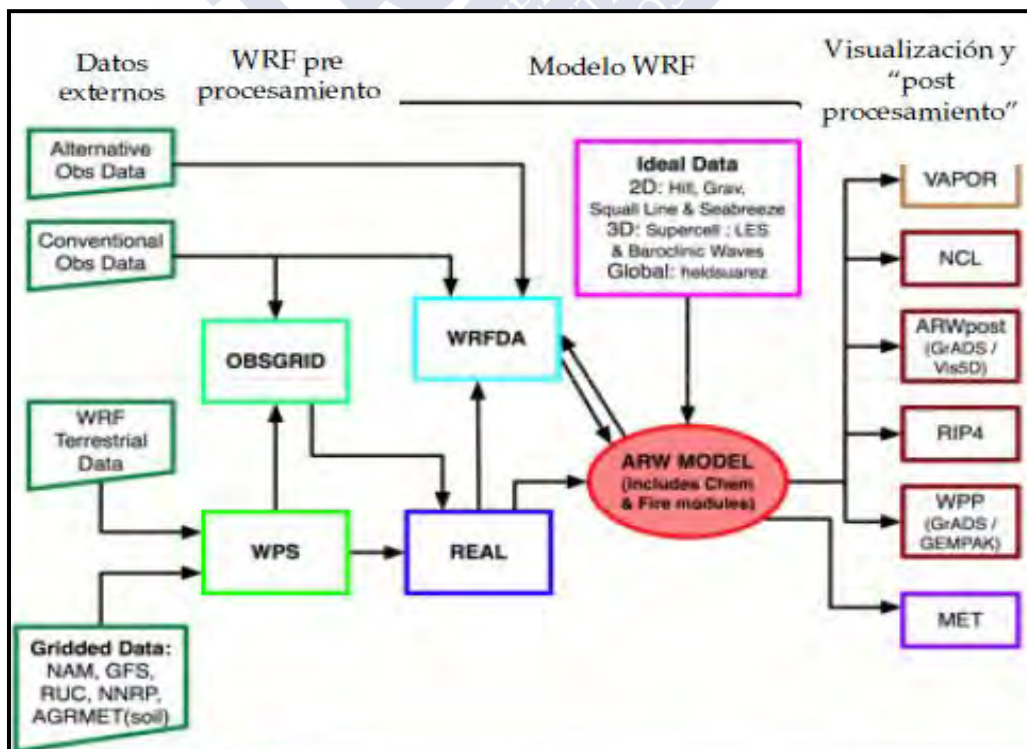


Figura 4. 4. Diagrama de los componentes del modelo WRF
Fuente: (Wei Wang, et.al 2012)

4.4.1.1. WRF Preprocessing System (WPS)

EL WPS consta a su vez de tres programas ejecutables que son:

Geogrid: Este primer módulo es el encargado de definir los dominios del modelo, para lo cual, calcula la posición de los puntos de malla de acuerdo a las especificaciones de resolución, número de puntos, posición del centro entre variables establecidas por el Usuario e interpola a los puntos de la malla los datos terrestres estáticos (datos de topografía, uso de suelo, tipo de suelo, albedo, cobertura vegetal, máscara tierra-agua), los cuales no varían a lo largo del tiempo a partir de datos de baja resolución a escala planetaria incluidos en el software. (Wei Wang, et.al 2012)

Ungrib: Este módulo es el encargado de extraer los datos meteorológicos de archivos tipo GRIB que contienen las variables meteorológicas de un modelo global a nivel planetario (GRIdded Binary es un formato de compresión típico para archivos meteorológicos), para posteriormente escribirlos en un formato legible para que el WRF los pueda interpretar. (Wei Wang, et.al 2012)

Metgrid: Este módulo se encarga de interpolar horizontalmente los datos que vienen de ungrid a los puntos de la malla que se quiere utilizar en el dominio definido por geogrid. (Wei Wang, et.al 2012)

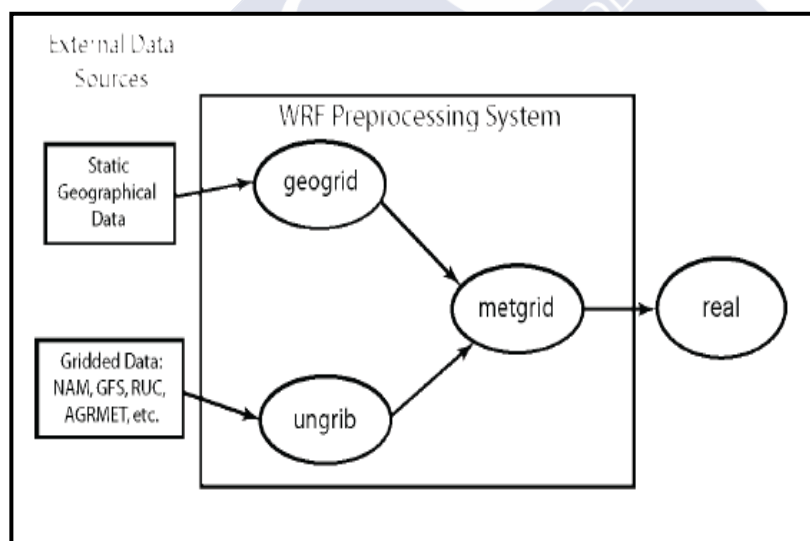


Figura 4. 5. Estructura de trabajo del WPS
Fuente: (Duda, 2008)

En resumen, la ejecución del WPS se basa en tres pasos:

- Definir los dominios del modelo con geogrid.
- Extraer los datos meteorológicos de los archivos GRIB para el período de simulación con ungrid.
- Intepolar horizontalmente los datos meteorológicos a los dominios de modelo con metgrid.

4.4.1.2. Procesamiento WRF (REAL WRF)

El procesamiento de la información, en esta etapa se realiza por medio del programa Real.exe, que es el encargado de interpolar los archivos generados por Metgrid verticalmente, creando los archivos de las condiciones iniciales y de frontera que deberán emplearse en el programa WRF. Además realiza una verificación de consistencia de los datos obtenidos.

De igual manera, algunas características importantes a considerar del programa son: (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012):

- Es un modelo desarrollado bajo el criterio no-hidrostático, pero permite seleccionar la opción hidrostática, ya que posee dos núcleos dinámicos. En este trabajo se utiliza la opción no-hidrostático.
- Trabaja en Coordenadas Tipo Sigma
- Trabaja con malla escalonada del tipo Arakawa “A” y “C”, en donde se puede apreciar la ubicación espacial de las variables. (En la malla tipo “A” los valores de las variables van en el centro de la celda y en el tipo “C”, los valores variables van en las caras).
- El método numérico de integración utilizado se basa en el Tipo de integración de 2do y 3er orden de método de RungeKuta.
- Presenta discretización espacial con opciones advectivas en la horizontal y la vertical.
- Utiliza condiciones iniciales de tres dimensiones para datos reales, y de una, dos y tres dimensiones para datos idealizados.
- Las condiciones de contorno laterales son periódicas, abiertas y simétricas.
- Incluye todos los términos asociados a efectos de coriolis y de curvatura.
- Como proyecciones estereográficas dispone de las opciones polar, de Lambert y de Mercator.
- Permite anidamientos en un sentido (oneway), o en dos sentidos (twoway).
- Permite altas resoluciones temporales y escalas espaciales en un amplio rango de trabajo.

4.4.2. Parametrizaciones existentes WRF

El WRF incluye parametrizaciones avanzadas de la física del comportamiento de la atmósfera como: microfísica, cúmulos, capa límite atmosférica, capa superficial y modelo superficial del terreno. Además el modelo incluye diversos esquemas de transferencia radiativa que simulan el calentamiento atmosférico debido a los flujos radiativos de onda larga y onda corta (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Principales esquemas de parametrizaciones disponibles en WRF, versión 3.4

Microfísica	Convección de Cúmulos	Capa superficial	Superficie	Capa límite planetaria	Radiación de onda corta	Radiación de onda larga
Kessler	Kain-Fritsch	Similarity theory (MM5)	5-layer thermal diffusion	Medium Range Forecast Model (MRF) PBL	MM5 (Dudhia) Shortwave	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) Onda Larga
WSM3 WSM5 WSM6	Betts-Miller-Janjic	Similarity theory (Eta)	Noah LSM	Yonsei University (YSU) PBL	Goddard Shortwave Eta Geophysical Fluid	Dynamics Laboratory (GFDL) Shortwave
Thompson	Grell-Devenyi		Rapid Update Cycle (RUC)	Model LSM Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) PBL	CAM Shortwave	

Fuente: (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

4.4.2.1. Parametrizaciones de microfísica

Este tipo de parametrizaciones permiten resolver los procesos donde se presentan cambios de la fase del agua. En los eventos relacionados a sistemas de mesoescala, se presentan cambios de fase del agua cuando el flujo atmosférico eleva el aire por encima de su punto o nivel de condensación, en la precipitación o por evaporación del agua de las nubes.

El WRF utiliza una representación parametrizada donde, el agua líquida y el hielo se pueden clasificar en cuatro categorías: Agua de nube, hielo de nube, lluvia y nieve. La razón de esta forma particular es que la lluvia y la nieve se supone que tienen un tamaño tal, que su velocidad de caída es significativa, mientras que el agua de nube líquida y el hielo de nube no la tienen.

El WRF utiliza las parametrizaciones física más comunes de la microfísica como (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012):

Kessler scheme: Esquema de lluvia cálida (es decir, sin hielo). Se emplea típicamente en estudio de modelización de nubes bajo un criterio ideal.

Lin et al. Scheme: Incorpora una serie de esquemas relacionados con procesos con hielo, nieve y granizo, emplea en modelización con alta resoluciones que involucren datos reales.

WRF Single-Moment 3-class scheme (WSM3): Este esquema involucra procesos relacionados con hielo y nieve.

WRF Single-Moment 5-class scheme(WSM5): Este esquema presenta una actualización del WSM3 permite incorporar procesos de fase-mixta y agua sobreenfriada.

Eta microphysics: Este esquema de microfísica operacional se emplea en los modelos de NCEP, permitiendo realizar un diagnóstico de los procesos de fase-mixta. (Se recomienda a resoluciones menores de 5 Km)

WRF Single-Moment 6-class scheme (WSM6): Este esquema permite incorporar los procesos del hielo, de la nieve y del granizo apropiado para las simulaciones de alta resolución.

Goddard microphysics scheme: Esquema para los procesos de hielo, nieve y granizo, incorporado desde la versión 3.0

New Thompson et al. Scheme: Otro esquema para los procesos de hielo, de nieve y granizo, se recomienda para las simulaciones de alta resolución, actualizado en la versión 3.0

4.4.2.2. Parametrizaciones de Convección de Cúmulos

La convección no produce únicamente precipitaciones, sino que también transporta calor hacia las partes altas de la atmósfera, redistribuye la humedad y por lo tanto contribuye a la estabilidad atmosférica. Las parametrizaciones de Convección de Cúmulos (PC) permiten tener en cuenta los efectos convectivos que no están explícitos en las ecuaciones de los modelos numéricos, redistribuyendo la temperatura y la humedad en el área de estudio (University Corporation for Atmospheric Research, 2014). Todos los esquemas PC consideran a la activación, la intensidad y la distribución vertical de la convección como elementos fundamentales para describir los efectos de las nubes convectivas y el comportamiento de los flujos verticales generados por las corrientes ascendentes y descendentes en la atmósfera. Es por esto que todos los esquemas evalúan la cantidad de energía disponible para la convección (CAPE en su siglas en inglés) representa la cantidad de energía de flotabilidad disponible para una parcela de aire pueda ascender libremente. Es una medida de la inestabilidad atmosférica, en modo que a mayor CAPE mayor inestabilidad y por lo tanto mayor probabilidad de tormentas.

Otro aspecto, es la estimación del contenido de agua o hielo de las nubes con base en la humedad relativa y después inferir la precipitación a partir de la cantidad de agua o hielo que hay en esas nubes. A nivel superficial, los esquemas calculan las velocidades de fricción y los coeficientes de intercambio que permiten el cálculo de la energía en la superficie terrestre, los flujos de humedad y la tensión superficial en la capa límite planetaria. (William C. Skamarock, 2008)

Existen dos esquemas base dentro de los PC: De una parte los esquemas con nubes simples, que estiman la precipitación a partir del agua (o hielo) solamente en la nube. Por otra parte, está el esquema de nubes complejas, que estima la precipitación simulando los procesos internos de las nubes, incluyendo la existencia de múltiples tipos de hidrometeoros³ en las nubes y la precipitación. En ambos casos, típicamente se emplean en malla relativamente gruesas (escala > 5 Km).

Las principales PC que existen en el WRF son las siguientes:

³ Fenómeno que tiene lugar en la atmósfera y que consiste en una suspensión, precipitación o deposición de partículas.

Kain-Fritsch: La nueva versión de este esquema se realizó en el año 2004. De igual manera que el esquema original, se emplea un esquema de nubes simples, donde se incluyen los efectos de arrastre (aire ambiental que ingresa en la nube y del aire nublado que sale de la nube al medio ambiente) y de la microfísica relativamente simple. Este esquema redistribuye la masa de aire en una columna atmosférica con el fin de disipar la energía potencial disponible. Permitiendo identificar que capas tienen mayor probabilidad de producir nubes convectivas por medio de un proceso de eliminación basado en la intensidad de los movimientos verticales. Asimismo, se incluye un valor de arrastre mínimo para subsanar los problemas con la precipitación de nubes bajas en entornos ligeramente inestables o ambientes secos. La inclusión de las corrientes descendentes dentro del esquema de convección es importante, ya que compensan el flujo de masa de la corriente ascendente en la troposfera inferior y ayudan a que las tendencias de calentamiento por convección y secado en esta porción inferior de la capa de nubes sean más realistas. (Wim C. de Rooy, 2011) (STENSRUD, 2009)

Este esquema constituye un acople adecuado de la microfísica que usan nubes en modelos de mesoescala, permitiendo una evaluación del consumo de la energía potencial convectiva en escalas temporales y espaciales pequeñas más realista y considera los procesos microfísicos en la convección.

Entre sus principales limitaciones tenemos:

- Requiere un mayor tiempo de ejecución y evolución que los esquemas más simples.
- Tiende a dejar una capa saturada excesivamente profunda, lo que ocasiona que la microfísica simule precipitaciones excesivas.
- En ocasiones puede activar la convección en celdas dispersas a lo largo de la malla.

Betts-Miller-Janjic: Fue desarrollado en 2004 y se basa del esquema de ajuste de convección la Betts-Miller de 1984. Ajusta el sondeo atmosférico a un perfil vertical de temperatura y viento referencial, predeterminado y post-convectivo. En lo que respecta a la convección, esta se genera si existe la disponibilidad de energía potencial convectiva (CAPE, por sus siglas en inglés) y el espesor de la nubes convectivas supera un determinado umbral climatológico de referencia. Los perfiles de convección profunda y el tiempo de relajación son variables y dependen de la variación de la entropía, la precipitación y la temperatura media de la nube, además del régimen de convección. Este esquema funciona bien en ambientes húmedos con capas de inversión poco intensas. Además evita la creación de convección adicional derivada de la microfísica del modelo. (STENSRUD, 2009)

Entre sus principales limitaciones podemos citar:

- Los perfiles de referencia se basan en observaciones climatológicas y son fijos, de modo que no permiten flexibilidad para cada situación de pronóstico, pudiendo no considerar situaciones o eventos verticales de interés.
- Con frecuencia el esquema produce un exceso de lluvia.
- No considera la intensidad de una capa estable que inhiba el desarrollo convectivo.
- No considera ningún cambio que se produzca debajo de la base de la nube.

- Afecta las condiciones de superficie solo de forma indirecta (evaporación o radiación a nivel del suelo)

Grell-Devenyi: Este esquema fue propuesto en el 2004 y utiliza la información de radiosondeos como condiciones iniciales. Para los cálculos de la capa límite utiliza el CAPE y finalmente utiliza flujos de masa ascendentes y descendentes basados en el esquema de Grell. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

Grell-3: Estos esquemas pronostican las nubes y la precipitación con base en la humedad relativa (HR) realizando una predicción directa de los hidrometeoros que precipitan en conjunto con los procesos internos que ocurren en las nubes. Dichos esquemas se usan sólo en modelos de alta resolución, porque requieren un grado de resolución suficiente para resolver las estructuras de pequeña escala que afectan los procesos microfísicos. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

4.4.2.3. Parametrizaciones de la Capa de Superficial

Las parametrizaciones de la capa superficial describen los procesos superficiales y la capa límite. Estos esquemas permiten estimar la velocidad de fricción y los coeficientes de intercambio que empleados en el cálculo de los flujos de calor y humedad en los modelos de cubierta superficial y en el esquema de la capa límite. Entre los principales podemos citar:

Similarity theory (MM5): Se basa en el esquema de Monin-Obukhov (Teoría de Similaridad) de 1954 (A. Portela, 1991). La descripción de los flujos verticales turbulentos cercanos a la superficie terrestre se realiza considerando cuatro parámetros: la velocidad de fricción, la escala Monin-Obuckov, la temperatura potencial y el flujo de calor, considerando la transferencia de turbulencia en una atmósfera neutral, estable o inestable. Emplea funciones de estabilidad para calcular los coeficientes de intercambio de superficie de calor, la humedad y el momento. Este esquema funciona en conjunto con el esquema YSU.

Similarity theory (Eta): EL esquema de Monin-Obukhov-Janjic también se basa en la teoría de similaridad. Incluye parametrizaciones para una subcapa viscosa sobre el agua como cobre el suelo. Para el caso del suelo considera la altura de rugosidad variable para la temperatura y la humedad. Emplea un método iterativo de cálculo para los flujos de superficie en la capa. Este esquema de capa superficial incorpora correcciones para evitar las singularidades en caso de una capa superficial inestable y una velocidad de viento decreciente. Además debe usarse junto al esquema Eta de la capa límite (Mellor- Yamada-Janjic)

4.4.2.4. Parametrizaciones de Modelos de Superficie

Los procesos atmosféricos que ocurren tanto en la capa límite como en la capa superficial, son directamente influenciados por las características del terreno. Para determinar el grado de interacción aire-suelo, se emplean los modelos de la superficie terrestre LSMs (land-surface models) que utilizan la información atmosférica, el forzamiento radiactivo y la precipitación generada por medio de los diferentes esquemas o parametrizaciones con las que cuenta el modelo además de la información interna sobre las variables de estado de la tierra y

propiedades del terreno que permiten estimar los flujos de calor y humedad en los puntos sobre la tierra y el mar-hielo. Estos flujos son considerados como la condición de frontera inferior para el transporte vertical del aire.

Los esquemas de superficie multicapa van desde un simple modelo termal a un completo modelo de vegetación y humedad del suelo, que incluye la cobertura de nieve y hielo marino.

Entre los principales modelos de suelo existentes en el WRF, podemos citar:

Modelo de difusión térmica de 5 capas: Esquema original del MM5, permite describir los procesos entorno al tipo de suelo. Considera un uso de suelo constante que depende de la estación y no incluye explícitamente los efectos de la vegetación. (William C. Skamarock, 2008)

Modelo de la superficie terrestre de la Noah -LSM: Basado en el esquema OSU (Oregon State University) y desarrollado conjuntamente con el NCAR y el NCEP. Es un modelo de difusión térmica y humedad de cuatro capas que permite describir los procesos que ocurren en los diferentes tipos del suelo en función de las características del terreno proporcionados por los datos de análisis, incluye la cubierta de nieve fraccionaria y la física del suelo congelado. Asimismo incorpora dentro su esquema la evapotranspiración, la zona de las raíces, el drenaje de suelo y las escorrentías, teniendo en cuenta las categorías de vegetación, la fracción de vegetación y textura del suelo, entre otras características. Además, considera las propiedades de la emisividad de la superficie. (William C. Skamarock, 2008). Adicionalmente se puede seleccionar la opción Urban Canopy Model, que permite representar los efectos de mesoescala en zonas urbanas.

Modelo de la superficie de la tierra (RUC⁴ - LSM): Es un modelo térmico y de humedad del suelo de al menos seis capas que considera los cambios de fase del agua en el suelo y los efectos del techo arbóreo. Permite el cálculo de la temperatura del suelo, contenido de humedad del suelo congelado, superficie y escurrimiento, la humedad del dosel arbóreo, la evapotranspiración, los flujos de calor sensible y latente del suelo y la temperatura de la superficie entre otras variables. Además, permite la descripción de nieve en múltiples capas y la física de suelo congelado. (William C. Skamarock, 2008)

4.4.2.5. Parametrizaciones de la Capa Límite Planetaria

La Capa Limite Planetaria (CLP) es la región de la atmósfera próxima a la superficie en la cual los transportes turbulentos verticales de cantidad de movimiento, calor y humedad son considerables. La altura de la CLP varía considerablemente a lo largo del día y responde al efecto radiativo con la característica añadida de que los procesos que ocurren en la capa son relativamente rápidos. Estos esquemas, en general, describen los perfiles de flujo dentro de la capa límite mezclada y de la capa estable, estimando la temperatura y humedad (incluyendo nubes) en toda la columna atmosférica. En lo que sigue se describen los más comunes:

⁴ Rapid Update Cycle (RUC)

Medium Range Forecast Model (MRF) PBL: Empleado por la NCEP en su modelo Global Forecast System (GFS). Se trata de un esquema de difusión que utiliza coeficientes de difusividad no locales para calcular los diferentes flujos. Emplea un contra-flujo de gradiente para estimar el calor y la humedad en condiciones inestables. Se lo considera como la versión anterior del YSU. (William C. Skamarock, 2008)

Yonsei University (YSU) PBL: El esquema de capa límite de la Universidad de Yonsei (YSU) que describe el proceso de mezcla vertical entre el aire superior al tope de la PBL y el aire perteneciente a esta. En este esquema la mezcla de aire se extiende también por encima de la capa de la superficie de la CLP. La capa límite alcanza mayor altura y la humedad se transporta hacia arriba a través de la capa. El movimiento de masa y momento en la capa límite atmosférica, principalmente se realiza por flujos turbulentos de gran tamaño. (University Corporation for Atmospheric Research, 2014)

Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) PBL: Este esquema corresponde a una aplicación del modelo de la turbulencia de Mellor y Yamada (1982) a través de toda la gama de regímenes atmosféricos turbulentos en la capa límite planetaria y la atmósfera libre empleando una escala de longitud de mezcla a partir de la energía cinética turbulenta, la flotabilidad y del flujo conducido de cizalla. (William C. Skamarock, 2008). Asimismo, supone que existe una mezcla de aire importante en las capas situadas en las inmediaciones o proximidades de la CPL, pero no se produce mezcla con el aire arriba de la CLP. Puede generar una humedad excesiva en niveles bajos cuando se agrega humedad desde los niveles altos. Adicionalmente en algunas ocasiones puede desarrollar o disminuir la cubierta de nube, lo cual mantiene aún más bajas las temperaturas y la altura de la CLP durante el día. (University Corporation for Atmospheric Research, 2014)

Asymmetrical Convective Model version 2 (ACM2) PBL: Desarrollado por Pleim en el 2007, se trata de un esquema derivado del ACM original y el modelo convectivo de BLackadar⁵ (1979). Simula la difusión turbulenta vertical en condiciones estables a una combinación de transporte local y no local en condiciones inestables empleando un modelo de suelo propio (LSM). (Pleim, 2007) (William C. Skamarock, 2008).

4.4.2.6. Parametrizaciones de Radiación

La radiación solar tiene un papel importante en el comportamiento de la atmósfera producto a los flujos de calor, humedad y presencia de nubes. Las parametrizaciones dividen la atmósfera en capas verticales en donde se estiman o predefinen las concentraciones de nubes, trazas de gases y/o aerosoles por capa. Asimismo el cálculo del efecto de los agentes atenuadores se realiza en cada capa, permitiendo estimar la cantidad de radiación entrante absorbida por cada capa y la cantidad total de radiación de onda corta que llega a la superficie. El modelo WRF implementa los siguientes esquemas radiativos:

Modelo Rápido de Transferencia Radiativa (RRTM): Este esquema que se basa en el existente en el MM5, calcula los flujos y tasas de enfriamiento en la región espectral de onda

⁵ Modelo unidimensional de capa límite donde el flujo de calor se realiza entre la superficie y cada nivel de la capa de mezclado

larga con una distribución correlacionada en 16 bandas espectrales, incluyendo la radiación infrarroja o térmica absorbida y emitida por los gases y la superficie. Para sus cálculos emplea la emisividad de la superficie que depende del uso de la tierra y de la temperatura del suelo (Mlawer, 1997) (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012).

Radiación de Onda Larga (CAM-LW): Se trata de un esquema espectral de banda utilizado en el modelo NCAR Community Atmosphere Model (CAM 3.0) para simulaciones climáticas. Permite manejar varias trazas de gases. Interactúa con nubes o fracciones nubes. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

Eta Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-LW): Es un esquema dinámico basado en el método intercambio simplificado de Schwarzkopf y Fels (FELS, 1991) y permite el cálculo de bandas espectrales para el dióxido de carbono, vapor de agua y el ozono. Además incluye los efectos de la interacción de vapor de agua y dióxido de carbono. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

MM5 (Dudhia): Este esquema de radiación de onda corta se basa en el modelo de Dudhia (Dudhia, 1989). Realiza una integración sencilla del flujo solar descendente en donde, las características de dispersión, reflexión y absorción para una atmósfera libre de nubes está totalmente determinada por los flujos descendentes. La radiación reflejada hacia arriba es completamente ignorada. Esta parametrización permite que la radiación solar varíe con la cantidad de nubes y composición, la humedad y el ángulo cenital del sol. La nubosidad y la precipitación se tratan a partir de nubes estratificadas. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

Esquema de Radiación de Onda Corta de Goddard (SW): Este esquema desarrollado en 1994 modela la radiación solar entre la región ultravioleta y visible empleando 11 bandas espectrales, considerando la absorción y dispersión debido al ozono; vapor de agua; oxígeno; nubes y aerosoles. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

Radiación de Onda Corta, (CAM-SW): Se trata de un esquema espectral de banda utilizado en el modelo NCAR (CAM 3.0). Emplea las propiedades ópticas de varios tipos de aerosoles y trazas de gases. El esquema de radiación CAM es especialmente adecuado para las simulaciones climáticas regionales por tener una distribución de ozono que varía durante la simulación. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012)

Eta Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-SW): Este esquema de radiación de onda corta es una versión de la parametrización de Lacis y Hansen. La atenuación atmosférica de la radiación solar se calcula a partir de la concentración del vapor de agua, ozono y dióxido de Carbono. Las nubes se superponen en forma aleatoria. El albedo y la profundidad óptica son parametrizadas en función de la relación entre la mezcla de agua (líquida y hielo), la temperatura y la presión. Por otro lado, en las estimaciones de radiación se emplean una media diaria del coseno del ángulo cenital solar durante el intervalo de tiempo. (Wang, Bruyère, Duda, Dudhia, Gill, & Kavulich, 2012).

4.5 CONFIGURACIÓN DEL MODELO

Una vez caracterizados los modelos más característicos, se puede decir que el WRF es un software de predicción numérica del clima que puede ser empleado en varios trabajos o líneas de investigación, entre ellos el campo energético, en el que se enmarca el presente trabajo. Por lo tanto la configuración de las simulaciones meteorológicas del modelo con las parametrizaciones, la definición de los dominios de trabajo y las resoluciones espaciales y temporales, se realizaron a acorde a esta premisa.

Cada simulación fue generada gracias a la infraestructura computacional del Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA). Los detalles del soporte computacional serán descritos más adelante en la sección 44.4.4

4.4.1. Dominio y Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la parte continental del Ecuador ubicada entre los paralelos $01^{\circ}30'$ N y $03^{\circ}23.5'$ S y los meridianos $75^{\circ}12'$ W y $81^{\circ}00'$ W en la zona occidental de Sudamérica, limitado por el Océano Pacífico, entre Colombia y Perú. Los detalles geográficos y climatológicos fueron descritos en el capítulo 3.

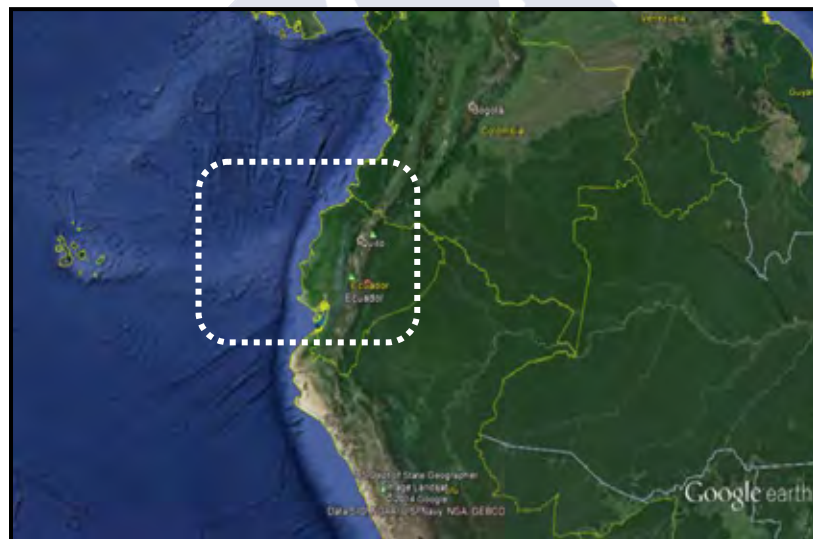


Figura 4. 6. Área de Estudio

Es importante recordar, que los resultados obtenidos de las simulaciones del WRF tienen un fin energético y no climatológico, por lo cual la selección de las resoluciones de trabajo deberá ser coherentes con las empleadas en los diferentes atlas energéticos tanto de recurso eólico como solar. Para ejemplificar tal consideración en las Tabla 4.2 y Tabla 4.3 se presenta a modo de resumen bibliográfico las resoluciones de trabajo que se usan comúnmente para elaborar atlas energéticos a partir de NWP y otras técnicas.

Tabla 4.2. Resumen de la revisión bibliográfica relacionada a Atlas de Recurso Solar

País o zona geográfica	Resolución (Km)	Técnica	Inicialización/frontera/ Fuente de Datos
Bolivia	~	SIG e imágenes satelitales	Satélite, Observaciones Meteorológicas/Solarimétricas
Brasil	10	modelo de transferencia radiativa	Satélite, Observaciones Meteorológicas/Solarimétricas
Chile	~	modelo de transferencia radiativa	NCEP/NCAR Reanalysis/Observaciones
Colombia	~	GIS	Observaciones
España	3	MAGICSOL	CM-SAF - Red Radiométrica Nacional
EE.UU	10	CRS	NCEP/NCAR Reanalysis NREL
México	~	Interpolación SIG	Observaciones Meteorológicas/Solarimétricas
Perú	5	SIG	Observaciones Agroclimáticas
Uruguay	10	modelo de transferencia radiativa (r.sun)	SSE/NASA
Sudamérica Centroamérica	40	CRS	NCEP/NCAR Reanalysis NREL
Global	5	NWP-Observaciones	3tier-NCEP/ADP

Fuente: (Global Atlas for renewable energy, 2014) (IDEAM, UPME, 2006)(G. Abal, 2010)(Gastón M, 2008)(Enio Bueno Pereira, 2006)

Tabla 4.3. Resumen de la revisión bibliográfica relacionada a Atlas de Recurso Eólico

País o zona geográfica	Resolución (Km)	Técnica	Inicialización/frontera/ Fuente de Datos
Bolivia	2	NWP(WRF)	NCEP/NCAR Reanalysis
Brasil	10	NWP(MASS)	NCEP/NCAR Reanalysis/Observaciones
Chile	1	NWP(WRF)	NCEP/NCAR Reanalysis
Colombia	10	NWP(MASS)	NCEP/NCAR Reanalysis
España	2.5	NWP(MASS)	ERAINTERIM -Meteosim Truewind
EE.UU	2	NWP(MASS)	NCEP/NCAR Reanalysis NREL -Truepower
México	9	NWP(MM5)	NCEP/NCAR Reanalysis
Perú	5	NWP(MASS)	NCEP/NCAR Reanalysis Meteosim Truewind
East África	9	NWP(WRF)	NCEP/NCAR Reanalysis
África, Europa, Latinoamérica	10	NWP(Skiron)	NCEP/NCAR Reanalysis
Global	3	GIS-Satélite	3tier-GOES/Meteosat

Fuente: (Global Atlas for renewable energy, 2014) (IDEAM, UPME, 2006)(G. Abal, 2010)(Gastón M, 2008)(Enio Bueno Pereira, 2006)

Como se puede observar en la Tabla 4.2, las resoluciones empleadas en las simulaciones de los NWP en la evaluación del recurso solar están en un rango de 3 a 40 Km. No obstante los atlas desarrollados por técnicas interpolación o el modelo de transferencia radiativa por medio de GIS no presentan una resolución definida, la cual dependerá de la distribución espacial de las observaciones, resoluciones de las entradas del modelo y además de las necesidades del usuario. Mientras tanto, los atlas de recurso eólico desarrollados a partir de NWP presentan resoluciones de celdas más finas, con valores que se encuentran desde 2km a 10 Km de resolución, con el fin de lograr representar de mejor forma la interacción con el relieve. Resulta oportuno indicar que es posible una mayor precisión si se ejecuta un modelo de micro escala o uno que permita una mayor resolución dentro de cada punto de la malla, por ejemplo el WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) o WindMAP.

Como ya se comentó el capítulo 3, Ecuador presenta un relieve topográfico bastante irregular debido a la cordillera de los Andes, como consecuencia de lo cual en algunas ocasiones el WRF puede tender a divergir por la existencia de cambios bruscos de altitud que se registran. Estas irregularidades pueden inducir fallos en la simulación, razón por lo cual se hace necesaria una revisión bibliográfica con el fin de definir adecuadamente el número de dominios y las resoluciones utilizadas en los trabajos realizados con el WRF para el país.

La Tabla 4.4 presenta un resumen de la revisión bibliográfica realizada. Se detallan los datos de iniciación, la resolución de los dominios de trabajo, su utilización y zona de aplicación.

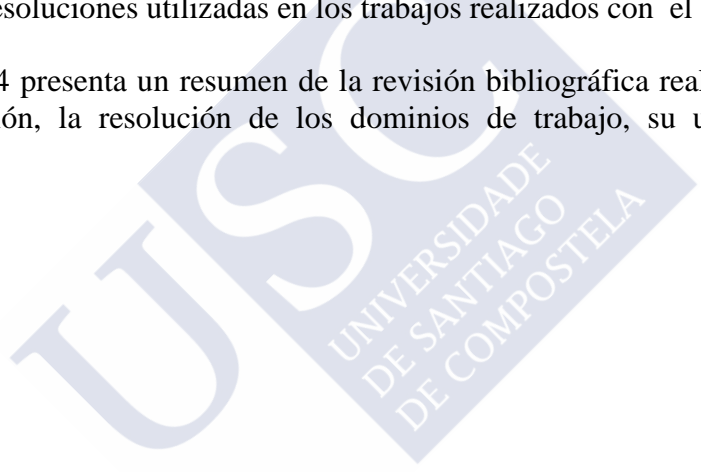


Tabla 4.4. Resumen de la revisión bibliográfica de los principales trabajos realizados en Ecuador con WRF

Institución/Autor	Inicialización o frontera	Resolución de Malla de trabajo	Área o Región	Proyecto o Tema	Fuente
Corporación para el aire de Quito	NCEP/NCAR	d01. 27 km d02. 9 km d03. 3 km	Local	Preliminary comparison of ozone concentrations provided by the emission inventory/WRF-Chem model and the air quality monitoring network from the Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador)	(R. Parra, 2007)
Distrito Metropolitano de Quito	NCEP/NCAR	1 Km	Local	PLAN DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA Temporada Lluviosa 2011 - 2012	(DMQ, 2011)
Inamhi	NCEP/NCAR	6 Km (Provincial)	Provincial	Vigilancia y Modelación climática para predictibilidad del dengue en centros Urbanos de Guayaquil y El Oro	(INAMHI, Publicación Conmemorativa, 2013)
Inamhi	NCEP/NCAR	Precipitación 4 Km	Provincial	Salidas según el modelo WRF para la “Cuenca del Paute”	(INAMHI G. d., 2014)
Inamhi	NCEP/NCAR	Humedad a 12 Km Precipitación a 30 Km	Nacional	Condiciones Meteorológicas (Humedad Relativa- Precipitación)	(INAMHI, INOCAR, 2013)
Inamhi	NCEP/NCAR	12 Km	Nacional	Salidas de Temperatura según el modelo WRF para el Territorio Ecuatoriano	(Inamhi, 2014)
KU Leuven, Universidad Particular Loja	NCEP/NCAR	30 km	Nacional	Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Perú	(A. Ochoa, 2014)
Universidad San Francisco de Quito	NCEP/NCAR	4 Km (Costa, Oriente) 12 Km (Sierra)	Regional	Evaluación preliminar de la temperatura media en superficie del Ecuador para el año 2010, obtenida mediante el modelo Weather Research Forecasting (WRF)	(Parra, 2012)
Jörg Bendix, Katja Trachte, Enrique Palacios, Rütger Rollenbeck,	NCEP/NCAR	d01. 36 Km d02. 12 Km	Nacional	El Niño Meets La Niña – Anomalous Rainfall Patterns In The “Traditional” El Niño Region Of Southern Ecuador	(Jörg Bendix, 2011)

Cabe agregar, que los modelos en operación en el INAMHI son el MM5 y WRF v3.2, los dos modelos trabajan con tres dominios, el primer dominio madre de 36 km, abarca el Ecuador continental y marítimo, incluyendo las Islas Galápagos, un segundo dominio de 12 Km. de resolución abarca única-mente el Ecuador continental y, dos dominios de 4 Km. para zonas de especial interés como la Cuenca del Río Paute, principal zona hidroeléctrica del país, y las Islas Galápagos.

Como puede observarse en la Tabla 4.4, en el caso particular de Ecuador se ha empleado normalmente un dominio de trabajo con una resolución fina máxima de 4 Km en la Costa y Oriente. Sin embargo se hace notoria la dificultad de trabajo existente en la Sierra por el aumento de resolución a 12 km.

De los anteriores planteamientos se deduce que las resoluciones de los dominios empelados en los diferentes estudios en relación al Ecuador, se encuentran dentro de los rangos de valores típicos utilizados en la elaboración de atlas energéticos. Por lo anteriormente señalado, se decide utilizar tres dominios de trabajo con las resoluciones que se describen en la Tabla 4.5 y se muestran en la Figura 4. 7.

Tabla 4.5. Configuración de los Dominios del WRF

Dominio	Puntos de Malla	Resolución	Escala Km	Centro latitud	Centro Longitud
D1	107 x 105	10 min	27	-1.724	-79.832
D2	238 x 199	2 min	9	-1.670	-80.209
D3	394 x 303	30 seg	3	-1.635	-79.055

De acuerdo con el objetivo de este estudio el modelo WRF se corrió en modo no-hidroestático, con tres dominios anidados La información topográfica es proveniente del United States Geological Survey (USGS) con una resolución de 2 min (aproximadamente 3 km). Adicionalmente, la malla de trabajo para las simulaciones fue definida sobre la proyección Mercator.

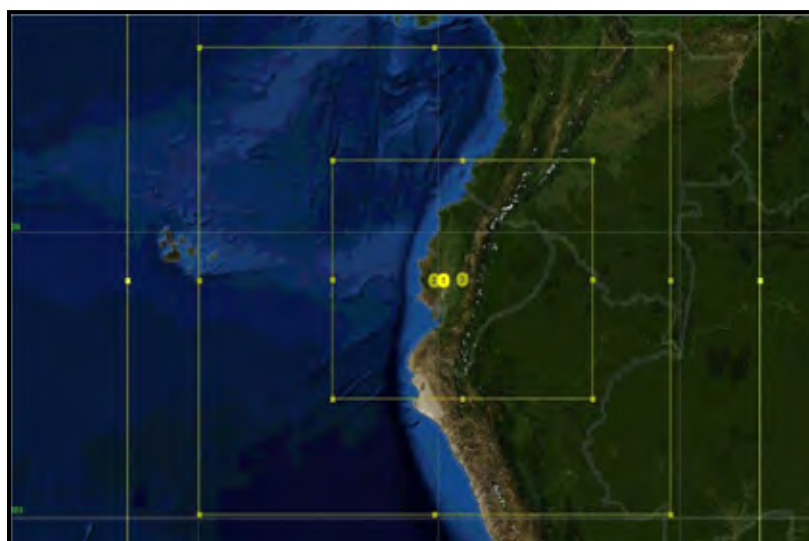


Figura 4. 7. Dominios del Modelo WRF

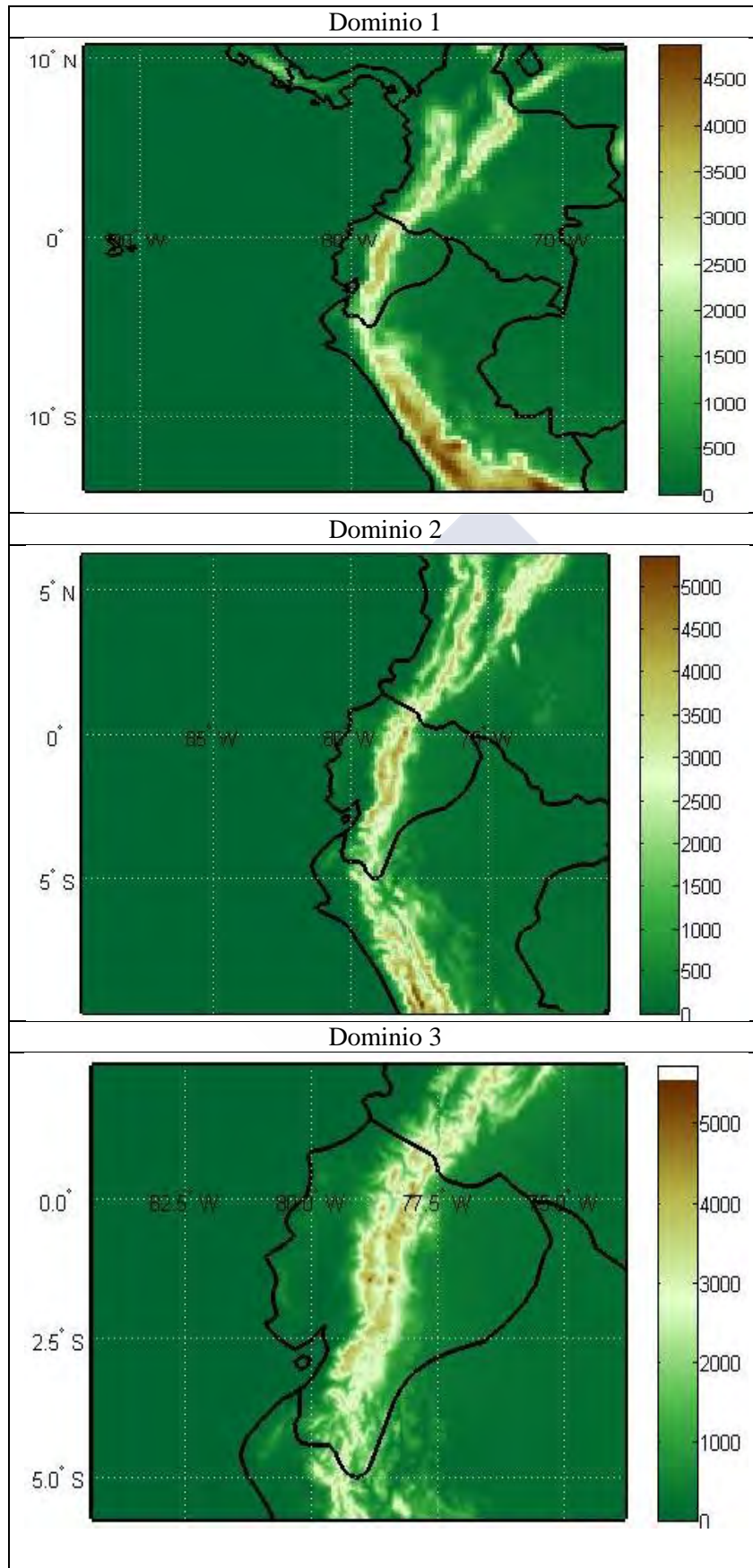


Figura 4. 8. Dominio analizado. Altura del terreno (m).

El alcance de la malla mayor se selecciona con el fin de modelar los eventos sinópticos de tiempo en el recurso eólico dentro del Ecuador (Dominio 1), y también para permitir que el modelo desarrolle circulaciones atmosféricas regionales desde o hacia el mar o la cordillera. Las mallas más finas (dominios 2 y 3) fueron seleccionadas para tratar de simular el efecto de topografía local y circulaciones atmosféricas en la escala local. Por el contrario, como la radiación solar global no depende necesariamente de orografía del terreno se puede trabajar con resoluciones más bajas (Figura 4. 8)

4.4.2. Condiciones Iniciales o Frontera Empleadas

La información de las condiciones Iniciales o de Frontera empleada por el WRF corresponde a los archivos históricos globales del clima (Global Weather Archive en inglés), que son generados y almacenados por centros pronósticos del tiempo en todo el mundo. En nuestro caso hemos empleados los datos pertenecientes al Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF). Estos archivos globales representan el estado completo de la atmósfera en todo el planeta y son resultado de la aplicación de modelos globales. Los archivos pueden ser descargados desde el portal electrónico [ECMWF](#).

Con referencia a lo anterior, las condiciones de contorno iniciales y laterales para el dominio más externo se obtuvieron a partir de los análisis globales cada seis horas suministrados por el Centro Europeo para el Medio Plazo Pronóstico del Tiempo (ECMWF) modelo de predicción numérica. Los archivos descargados corresponde a reanalysis (ERA-Interim, ERA-40) con una resolución espacial de 0.7 x 0.7 (longitud x latitud) y 41 niveles de presión. Los periodos seleccionados para cada simulación del modelo WRF, fueron obtenidos utilizando la metodología descrita en el capítulo 5.

Las simulaciones fueron realizadas con un horizonte de pronóstico de 36 horas, descartando las primeras 12 con el fin de evitar problemas de inicialización.

4.4.3. Selección de Parametrizaciones

Como se indico en el capítulo 3, Ecuador presenta una serie de condiciones climáticas que contribuyen a la presencia de abundantes precipitaciones y por ende alto porcentaje de humedad en el suelo. Hoy en día, se considera que las condiciones de la superficie terrestre, sobre toda la humedad del suelo, juegan un papel importante en la simulación de la circulación atmosférica. (Pablo C. Spennemann, 2010). Basado en esta premisa se escoge el *modelo de superficie terrestre Noah* considerado uno de los mejores esquemas para representar las variables en la interface suelo-atmosfera, además de incorporar la humedad y temperatura en sus cálculos. Adicionalmente, este esquema es uno de los más empleados para estudios de mesoescala y por modelos globales como el GFS. (Juan J. Ruiz & Nogués-Paegle, 2010)

En lo que concierne a la parametrización de la capa límite planetaria (CLP) se ha decidido seleccionar el *esquema de la Universidad de Yonsei (YSU)*, por ser una de las opciones más usadas para parametrizar la CLP. Otro aspecto importante es que permite estimar la humedad y temperatura en el interior de CLP de forma más realista. De igual forma, para los procesos de superficie, cada esquema de parametrización CLP va

relacionado a un esquema en la capa superficial (William C. Skamarock, 2008), este caso al YSU le corresponde la parametrización basada en la teoría de semejanza de Monin-Obukhov y desarrollada inicialmente para el modelo MM5. La microfísica de nubes incluye vapor de agua resuelto explícitamente, nubes y procesos de precipitación. Por consiguiente se decidió usar un esquema complejo de microfísica como lo es *Single-Moment 6-class scheme (WSM6)*. (William C. Skamarock, 2008). Por otra parte se seleccionó el esquema de **New Kain-Fritsch** para la parametrización de convección de cúmulos de los primeros dominios. Este esquema es normalmente empleado por las entidades locales del Ecuador en lo relacionado a estudios meteorológicos. (Garreaud & Fuenzalida, 2007) (Barrett, Garreaud, & Falvey, 2009) (Zhang, Wang, & Hamilton, 2011)

La radiación solar es uno de los principales elementos para la dinámica de la capa límite planetaria y además es una variable de interés en el presente trabajo. Los esquemas de radiación en WRF como se indicó anteriormente, generan un calentamiento atmosférico debido a flujo radiactivo divergente y radiación de onda larga saliente y radiación de onda corta saliente. Los esquemas de radiación que se utilizaron fueron *Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)* para onda larga y *Dudhia* para onda corta. Cabe destacar que estos esquemas son ampliamente utilizados en estudios de energía solar basados en WRF. (V. Lara-Fanego, 2012), (Maimouna Diagne, 2014), (Departamento de Geofísica, 2012)

4.4.4. Soporte computacional

El Grupo de Aplicaciones Energéticas Sostenibles de la Universidad de Santiago de Compostela cuenta con acceso y soporte del Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA), el cual fue constituido en Mayo de 1993 como un centro de cálculo, comunicaciones y servicios avanzados de la Comunidad Científica Gallega, Sistema Académico Universitario y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

El servidor de trabajo en el Cesga es el Finisterrae, un clúster SMP NUMA con 2500 núcleos de procesamiento, de 20 Gbps Infiniband de interconexión, 19.678 GB de memoria y una capacidad de almacenamiento jerárquico de 390 TB en disco y 2.200 TB en cinta. (CESGA, 2014)

La importancia de llevar a cabo el conjunto de simulaciones dentro del entorno del CESGA radica en la existencia de todas las herramientas informáticas adecuadas (compiladores) para la compilación correcta del WRF, gran capacidad de espacio de trabajo existente para la ejecución de las simulaciones en todas sus etapas y como último lograr una reducción del tiempo de cálculo de cada simulación debido al incremento de demanda computacional para el desarrollo de la simulación en grandes extensiones que presenta una complejidad geográfica alta.

4.4.5. Ejecución del modelo

Para la ejecución consecutiva de las diferentes simulaciones del WRF dentro del CESGA, se ha procedido a la programación de scripts en lenguaje Python dedicados a la automatización. Este apartado del trabajo se ha realizado en colaboración y con el apoyo del Grupo de Física NO lineal de la USC.

La automatización se realizará mediante varios scripts para cada etapa de simulación. Las etapas automatizadas pueden ser resumidas en los siguientes ítems:

- Edición de archivos namelist.
- Etapa de pre-procesamiento.
- Etapa de procesamiento.
- Verificación de ejecución correcta

La fase de automatización engloba los siguientes scripts:

- *Script Execute_WPS*: Se encarga de reescribir el namelist.wps y de la ejecución de los módulos ungrid y metgrid para el rango de fechas seleccionadas por medio del sistema de colas del servidor.
- *Script Execute_WRF_real*: Se encarga de reescribir el namelist.input y la ejecución del módulo real para el rango de fechas seleccionadas por medio del sistema de colas del servidor
- *Script Execute_WRF_wrf*: Se encarga de la ejecución del módulo wrf para el rango de fechas seleccionadas por medio del sistema de colas del servidor.

En relación, a la edición de los archivos namelist.wps y namelist.input, la mayoría de los campos especificados o seleccionados se mantiene invariante durante las diferentes simulaciones. La Figura 4. 9 muestra la secuencia de ejecución de los scripts.

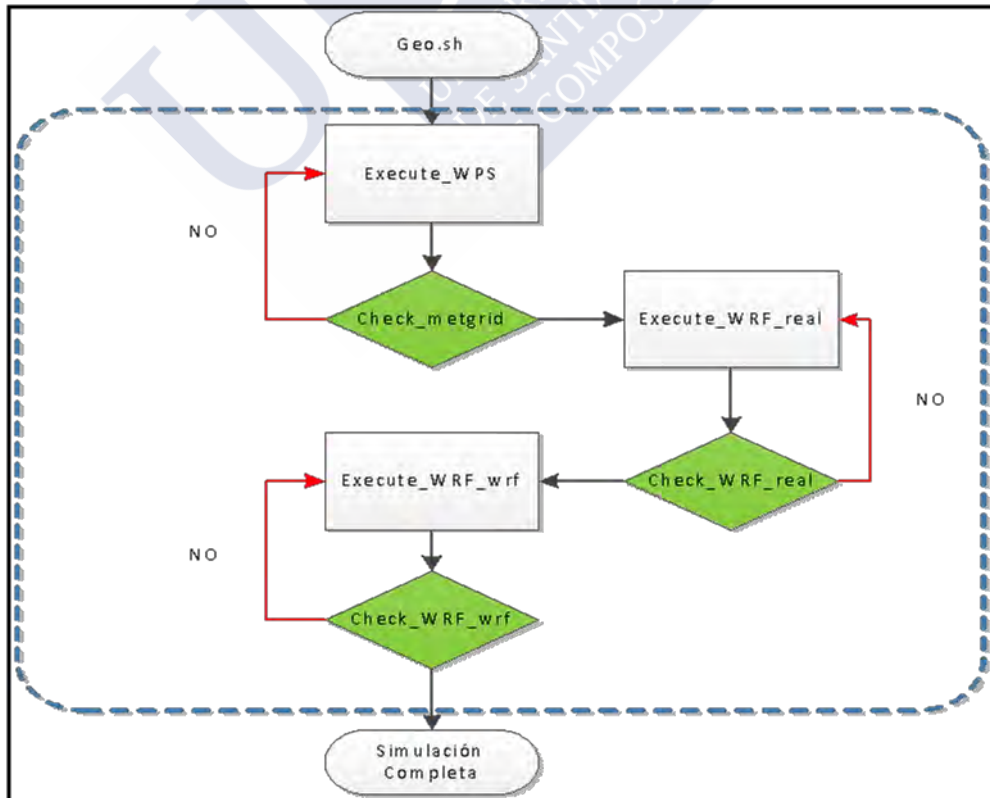


Figura 4. 9. Flujoograma de Ejecución del Modelo.

Entre cada script de ejecución se procede a ejecutar el *Script_Check*, el cual se encarga de verificar si la ejecución ordenada desde los *Script_executes* se han realizado en forma satisfactoria. Para lo cual el script recorre el archivo de información generado por el CESGA al finalizar la ejecución de cada simulación en busca de la frase: **“El exit_status (si es distinto de 0 indica que ha habido un error) ha sido de 0”**. En caso de presentarse un error el script se encarga de ejecutar el *scrip_execute* específico.

Cabe destacar, que la descarga de los datos globales del ERA-40 que se realizará desde los servidores de ECMWF también fue automatizada por medio de scripts que incorporan el código generado desde la opción “view batch request”. Permitiendo acceder a la base de datos tanto para los archivos de *surface* como los archivos *pressure level*.

4.4.6. Tratamiento posterior de la información

Las variables creadas en WRF son matrices N-dimensionales de datos. Una variable tiene un nombre, un tipo de datos, y una forma descrita por su lista de dimensiones especificada cuando se crea la variable. La información de las variables se guarda en archivos de salida en formatos netCDF. Los archivos del tipo netCDF permiten considerar la existencia de varias cantidades físicas localizadas en puntos en una latitud, longitud, nivel vertical y tiempo específico de simulación. La información de los ejes (latitud, longitud, nivel, y tiempo) son almacenadas como dimensiones netCDF. Las cantidades físicas almacenadas como variables dentro del netCDF son por ejemplo:

- La componente horizontal del viento U en la dirección X se almacena en la entrada de la matriz $u(i, j, k)$
- La componente de viento horizontal V en la Y se almacena en la entrada de la matriz $V(i, j, k)$
- La componente vertical del viento W se almacena en la entrada de la matriz $w(i, j, k)$

Para el estudio del campo de vientos fueron seleccionadas las variables $(u10, v10)$ que corresponden a la componentes de la velocidad a 10 metros de altura. Adicionalmente se registraron la variables (u, v) . Todas variables fueron almacenadas con un intervalo de tiempo de cada 10 minutos.

En cambio, para la radiación solar se opto por el registro cada diez minutos de la variable que representa el flujo de radiación solar descendente de onda corta (*SWDOWN*) en unidades de potencia instantánea por unidad de área (W/m^2). (RODRIGUEZ, 2013)

Las salidas de cada simulación del modelo WRF evaluadas en este trabajo, contienen información de cada variable meteorológica previamente establecida y se encuentra distribuida en una malla de puntos que cubren todo el Ecuador continental. Considerando que los puntos de la malla del modelo no coinciden exactamente con el punto de ubicación de las observaciones en la mayoría de casos, los datos de las variables meteorológicas del modelo WRF, serán extraídas empleando el método del punto más cercano, en otras palabras, de todos los puntos existentes en la malla del modelo se considera el punto que se encuentre más cercano al punto de observación por medio de la ubicación geográfica del mismo.

4.4.7. Validación de datos

Para validar los datos obtenidos en las diferentes simulaciones del modelo, estos se comparan con los registros históricos existentes en las estaciones meteorológicas pertenecientes a diferentes entidades públicas del Ecuador, ubicadas dentro del dominio simulado, para lo que se han descargado. Cabe recalcar que algunas estaciones le faltaban mediciones de un porcentaje importante, tal como se detallado en el capítulo 3, por lo que no se ha podido analizar en esos casos todos los resultados obtenidos en las ubicaciones de todas las estaciones reportadas.

Finalmente, se han elaborado varios scripts empleando el software matemático MATLAB para la lectura y conversión de las salidas del modelo y su posterior análisis y comparación con observaciones locales.

En el capítulo 5 se muestran los resultados de validación para las simulaciones relacionadas al recurso solar y eólico para algunas estaciones meteorológicas concretas y resultados aglomerados para el conjunto de las estaciones. En este apartado se empleo el software matemático MATLAB para el post procesado de los datos, tanto en forma gráfica como estadística.

4.6 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

En este capítulo se ha realizado un resumen detallado de los principales conceptos concernientes a los modelos de predicción numérica en especial los relacionados con Weather Research Forecasting model, (*WRF*), dado que son de utilidad para la comprensión de este trabajo.

La precisión de las variables meteorológicas estimadas por los PNW depende, sobre todo, de cómo se consideren tres puntos de interés. En primer lugar, una selección adecuada de la configuración física del modelo, en segundo lugar, una adecuada selección o representación de la topografía, además de una resolución espacial acorde al modelo a emplearse, y en tercer lugar, una representación adecuada de las propiedades del terreno.

La metodología experimental de evaluación de recurso que se ha propuesto se basa en el estudio, ejecución y validación del modelo WRF en lo que respecta a radiación solar como velocidad del viento. Las etapas en las que se divide la metodología experimental de simulación que se va a aplicar son las siguientes:

1. Preprocesado de los datos de entrada.
2. Configuración y ajuste del WRF.
3. Ejecución y PostProcesado de las salidas del modelo

La región de estudio es la zona continental del Ecuador. Esta región se caracteriza por variadas condiciones topográficas, geográficas y climáticas, lo que hizo la evaluación especialmente difícil la selección de parametrizaciones para los dominios de trabajo.

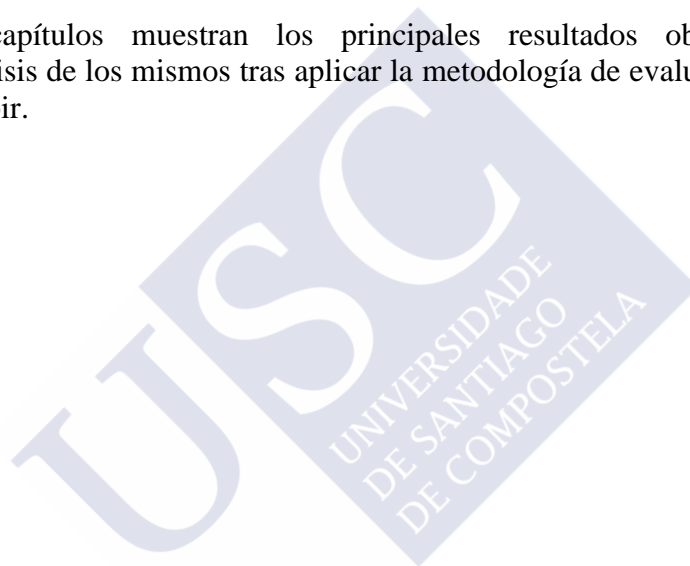
La configuración de los dominios se realizará en forma anidada, para la simulaciones relacionadas al recurso solar se usara dos dominios la resolución del dominio 2 será 9 km. Por otra parte, para las simulaciones relacionadas al recurso eólico se emplearan tres

dominios, siendo el dominio 3 el que presente una mayor resolución de trabajo (3 Km). En ambos casos, los dominios de trabajo de las simulaciones contienen al territorio ecuatoriano,

Finalmente, como resultado de la revisión bibliográfica realizada en este capítulo, y de acuerdo con las condiciones atmosféricas, orográficas y climáticas que rigen la zona el Ecuador se han seleccionado las siguientes parametrizaciones:

- Capa límite planetario: Esquema YSU
- Capa superficial: Esquema Similarity theory (MM5)
- Modelo de suelo: Modelo de la superficie terrestre de la Noah.
- Microfísica: Single-Moment 6-class scheme.
- Radiación de onda larga: Esquema RRTM
- Radiación de onda corta: Esquema de Dudhia.
- Cúmulus: Esquema de New Kain-Fritsch.

Los siguientes capítulos muestran los principales resultados obtenidos de las simulaciones y el análisis de los mismos tras aplicar la metodología de evaluación de recurso que se acaba de describir.



CAPITULO 5

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA RADIACIÓN SOLAR

5.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presenta la evaluación de los datos de radiación solar global simulada por el modelo WRF para el territorio continental del Ecuador. En la primera sección se hace una breve descripción de los principales estudios relacionados a la valoración y prospección del recurso solar en el Ecuador.

A continuación, se procede a detallar la metodología empleada para la selección de los días de simulación partiendo de la información disponible en el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas. Asimismo, se hace una descripción del post-procesamiento de las salidas numéricas del modelo. Sobre la base de los resultados obtenidos se procede a generar los mapas mensuales de radiación solar del Ecuador.

Se incluye una descripción de la correlación empleada para convertir la heliofanía a radiación global en kWh/m² día. Finalmente a partir de los valores de radiación estimados de las observaciones locales se realiza la validación de los resultados del modelo mediante la estimación de los parámetros estadísticos, como BIAS, raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE en sus siglas en ingles), el error medio (MAE en sus siglas en ingles) y el coeficiente de correlación lineal.

5.2 ANTECEDENTES

Todavía en gran parte de Sudamérica el desarrollo de una red o base solarimétrica se encuentra en grado incipiente en comparación a la abundancia de registros históricos de heliofanía. Por este motivo la información existente relaciona al recurso solar se basa en análisis y comparaciones a partir de los registros de heliofanía a resoluciones espaciales relativamente pobres. (Gallegos, Righini, & Raichijk, PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DE AMÉRICA DEL SUR, 2005).

La primera versión de un mapa solar fue presentado dentro del "Estudio del Potencial Solar y Eólico del Ecuador" realizado en 1981 por el INECEL (Instituto Nacional Ecuatoriano de Electrificación) y el INE (Instituto Nacional de Energía), ambos desaparecidos actualmente. Este atlas se basó en los datos históricos de insolación global (Wh/m².día) y heliofanía (h.día) registrados por 8 estaciones meteorológicas del INAMHI en el territorio continental (INECEL, 1981) en el periodo de 1962 hasta 1980. Las estaciones registraron la insolación global a nivel del suelo con instrumentación básica y registro manual de datos en forma dispersa, la duración diaria de insolación directa en las estaciones de primer orden y la insolación directa mensual en estaciones de segundo orden (heliofanía diaria y mensual). Este estudio preliminar no fue concluyente debido a la falta de información temporal en la mayoría de estaciones seleccionadas y planteó la necesidad de tener una red de estaciones solarimétricas en el país INECEL (1981).

Por su parte, el INAMHI, a mediados de la década del 2000 presento un mapa referencial de isoyetas⁶ de radiación solar global elaborado a partir de los registros de datos existentes en los anuarios meteorológicos para la mayoría de estaciones a nivel nacional. (Figura 5. 1).

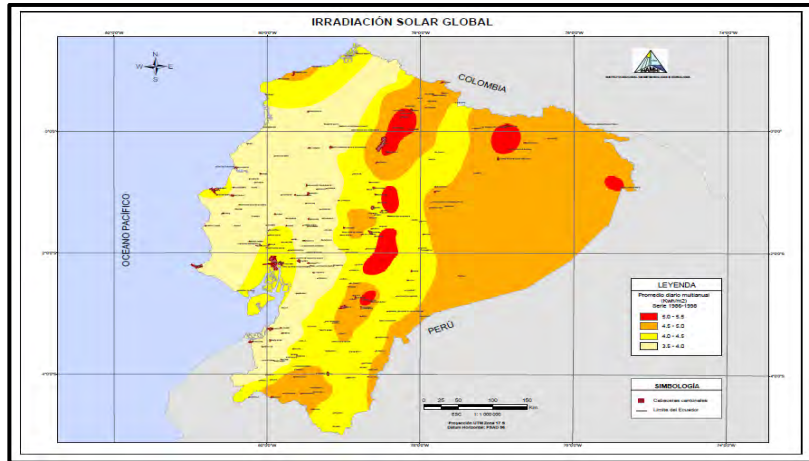


Figura 5. 1. Irradiación Solar Global (kWh/m²)

En el año 2005 dentro del Proyecto OPET América Latina y Caribe, realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), se realizó un levantamiento de la información existente local e internacional, estimando que el Ecuador debido a su situación geográfica, tiene un alto potencial solar. La radiación media es de alrededor de 3-4 kWh/m² día, IDAE (2005).

Posteriormente, en agosto del 2008 el Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC), dio a conocer el primer “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”. (Figura 5. 2).

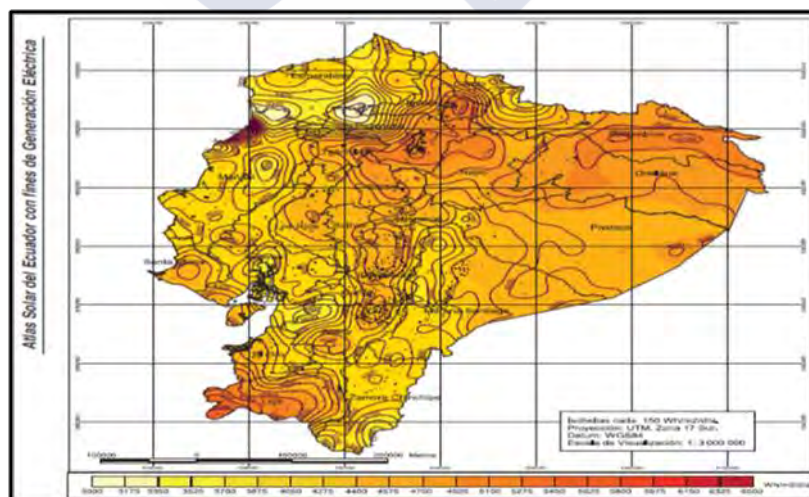


Figura 5. 2. Mapa de Insolación Solar del Ecuador
Fuente: (CIE, Corporación para la Investigación Energética, 2008)

⁶ Isolínea que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma radiación en la unidad de tiempo considerada.

Este atlas que fue elaborado en base a los datos de radiación solar generada por el Centro Nacional Renewable Energy Laboratory – NREL de los Estados Unidos, empleando el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), permite conocer la insolación diaria total sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente 40 km x 40 km. Los mapas obtenidos por este método no han sido validados con observaciones locales.

Una característica intrínseca de la radiación solar es su variabilidad en el espacio y tiempo, y sus dependencia con características climáticas, por esta razón a nivel internacional la evaluación y predicción de la radiación solar se realiza en hoy en día combinando aplicaciones de modelos de predicción numérica, imágenes o fotografías satelitales y observaciones a nivel de superficie. Dentro de este contexto, el WRF al igual que otros modelos de predicción numérica del tiempo, pueden ser empleados como herramienta de evaluación de recurso solar. El WRF, como se explicó en el capítulo 4 tiene una amplia gama de parametrizaciones físicas que proporcionan la posibilidad de lograr una representación apropiada de los procesos que influyen en el flujo de radiación solar, como por ejemplo los procesos de formación de nubes o el albedo terrestre, entre otros. El WRF, hoy en día permite la caracterización o evaluación del potencial de recurso a escalas y resoluciones de interés energético que pueden ser desarrollados en un tiempo corto de simulación y con bajo costo computacional (Lara-Fanego, Ruiz-Arias, Pozo-Vázquez, & Tovar-Pescador, 2012).

El modelo obtiene sus condiciones de contorno a partir de datos históricos globales del clima que son generados por centros operacionales de pronóstico del tiempo. Básicamente, dependiendo de la capacidad computacional a disposición y de la configuración empleada para el desarrollo de las simulaciones, WRF puede ser ejecutado para periodos de días a múltiples años, y con resoluciones de hasta unos cientos de metros. (Lara-Fanego, Ruiz-Arias, Pozo-Vázquez, & Tovar-Pescador, 2012)

En este trabajo, la simulación de la radiación solar global instantánea se realiza en con un registro diezminutal para un intervalo de tiempo de un año. Los días seleccionados en su conjunto deben corresponderse con los días que permitan representar de la mejor manera la variabilidad interanual de la radiación solar de la series de datos históricos evaluados.

5.3 SELECCIÓN DE CONJUNTO DE DATOS DE REFERENCIALES DE SIMULACIÓN

Un año de referencia de datos meteorológicos se define como un conjunto de datos típicos que se utiliza ampliamente en la construcción de simulaciones de energía y análisis de la energía solar de una región específica o seleccionada se puede definir como el conjunto de valores seleccionados de una variable específica a partir de una serie temporal de datos o variables meteorológicas (Anderson, M, & Carson, 2006). La estructura del año típico se puede componer de los días o meses seleccionados a partir del conjunto de datos (de series temporales con registros mayores a 10 años de información) hasta conformar un año completo. La selección se realiza típicamente a partir de criterios o parámetros estadísticos, lo que hace que el año de referencia construido represente las condiciones más comunes o "típicas" que se darán de media en un largo periodo de tiempo, proporcionando un patrón de los datos o variables meteorológicas existentes en la región a lo largo del periodo de estudio seleccionado.

Actualmente para la construcción de un año metrológico o referencial, existen una gama metodologías y técnicas de minería y gestión de datos, entre las que podemos citar, por ejemplo: el método del Año Meteorológico para Cálculos de Energía de la ASHRAE (WYEC en sus siglas en ingles), método del año Meteorológico Típico Tipo 2 (TMY2), Año Meteorológico Canadiense para Cálculos de Energía del Centro Nacional de Investigación del Clima de Canadá (CWEC), entre otros. En la práctica, estas técnicas pueden presentar un grado de complejidad considerable asociado al empleo de otras en variables climatológicas como temperatura, humedad relativa, entre otras. (Crawley, 1998).

Entre todas esas técnicas, la construcción o elaboración del año referencial en este estudio se realiza a partir de datos de radiación solar generados por medio del re-análisis del Centro de Predicción a Corto y Medio Plazo (ECMWF) ERA-Interim. Los datos corresponden a un periodo 30 años de registros (1981- 2011) de la variable Downward Short Wave Flux at Ground Surface (W/m^2) (SSDR) en (W/m^2), la cual registra la irradiación global acumulada a lo largo del día en la región de interés, con una resolución de 0,7 grados cada 6 horas. Los archivos son descargados del portal electrónico del ECMWF en formato GRB.

Como primer punto, se elaboró un script utilizando las librerías NetCDF/GRIB reader que permiten la lectura y extracción de los datos comprimidos en los archivos de extensión GRB por medio del software Matlab R2011b . Finalizado este proceso, se procedió a la construcción de las estructuras matriciales correspondientes a los valores de longitud, latitud y radiación solar para todo el periodo de datos. Asimismo, todo lo relacionado al procesado, análisis y visualización geográfica de los datos se realiza empleando la librería Mapping Toolbox.

Cabe destacar, que la variable SSDR registra la radiación acumulada en dos intervalos de tiempo; por tanto para calcular la radiación solar diaria se emplea la siguiente ecuación:

$$SSDR(d)_{(ij)} = SSDR_{0-12} + SSDR_{12-24}(4.1)$$

En la Figura 5. 3 se muestra los mapas mensuales radiación solar media construidos a partir de los datos descargados del ERA-INTERIM en kWh/m^2 día, para todo el globo.

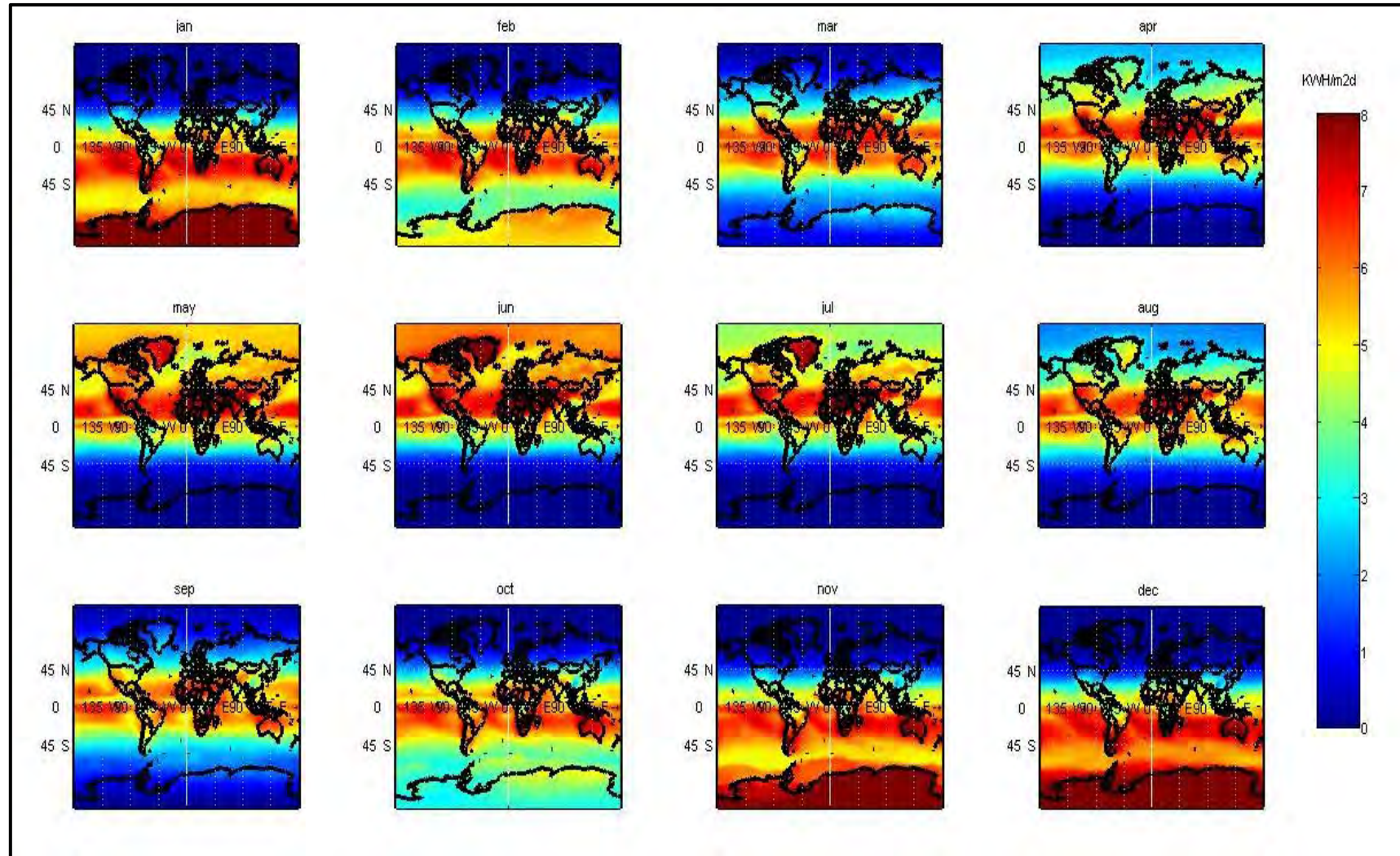


Figura 5. 3. Mapas mensuales de Radiación Solar (ERA-INTERIM)

Sobre la base de las consideraciones anteriores se procede a extraer la información de los valores de radiación correspondiente al dominio de trabajo seleccionado para las simulaciones. En la Figura 5. 4, se ilustran los mapas de radiación solar correspondiente al territorio continental del Ecuador. La escala de colores se encuentra en un rango de 0 a 8 kWh/m² día.

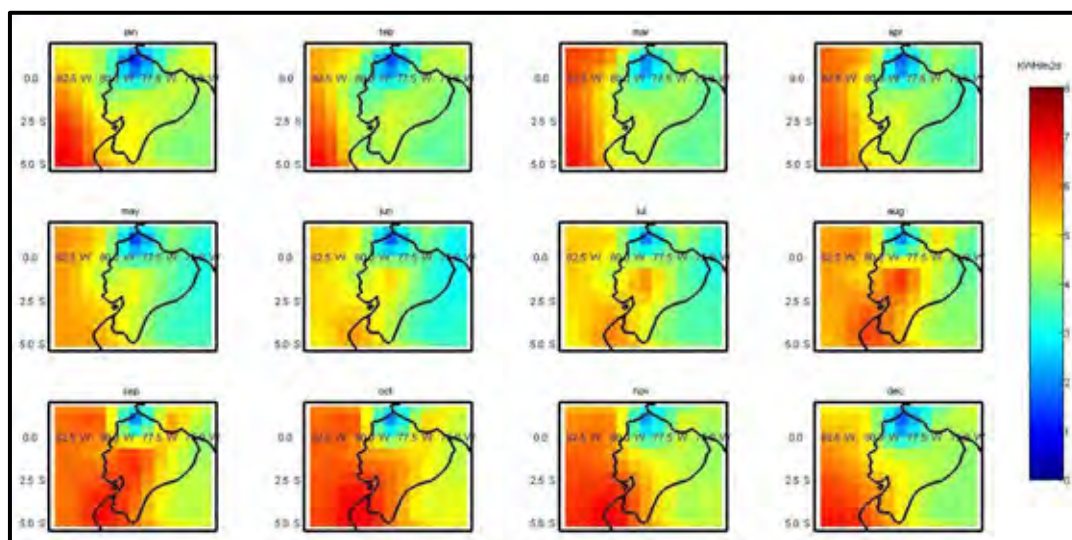


Figura 5. 4. Mapas mensuales de radiación Solar para Ecuador (ERA-INTERIM)

Se puede observar, que los meses de mayor radiación según los datos del ERA-INTERIM ocurren entre los meses de agosto a noviembre en el territorio continental. Esto guarda relación con los registros de radiación solar de la región Sierra y Oriente. Adicionalmente se observa que la radiación solar presenta una incidencia considerable sobre el Océano Pacífico y el perfil costero entre los meses de enero a abril, manteniendo concordancia con los registros de radiación solar de esta región. A partir de estos análisis se puede estimar que el Ecuador recibe un valor medio anual de 4.5 kWh/m² día. Los resultados gráficos obtenidos no permiten una identificación de las zonas climáticas en forma cualitativa para el Ecuador.

5.3.1 Criterio de Selección.

Como criterio de selección del conjunto de días a conformar el año referencial, hemos considerado como hipótesis que las series temporales de radiación solar presentan un comportamiento normal a lo largo de todas las de la resolución espacial.

Para probar la hipótesis de que la radiación solar diaria acumulada puede ser representada por distribuciones normales, se utilizó una prueba Lilliefors⁷, con un nivel de significación del 5%. El resultado de este análisis es 1 si la prueba rechaza la hipótesis nula al nivel de significación del 5%, y 0 de otro modo. En las figuras que se presentan a continuación para facilidad del lector se ha establecido en rojo el valor de 1 y en azul 0.

⁷ La función "lillietest" de Matlab 2011b se utilizó para realizar la prueba Lilliefors.

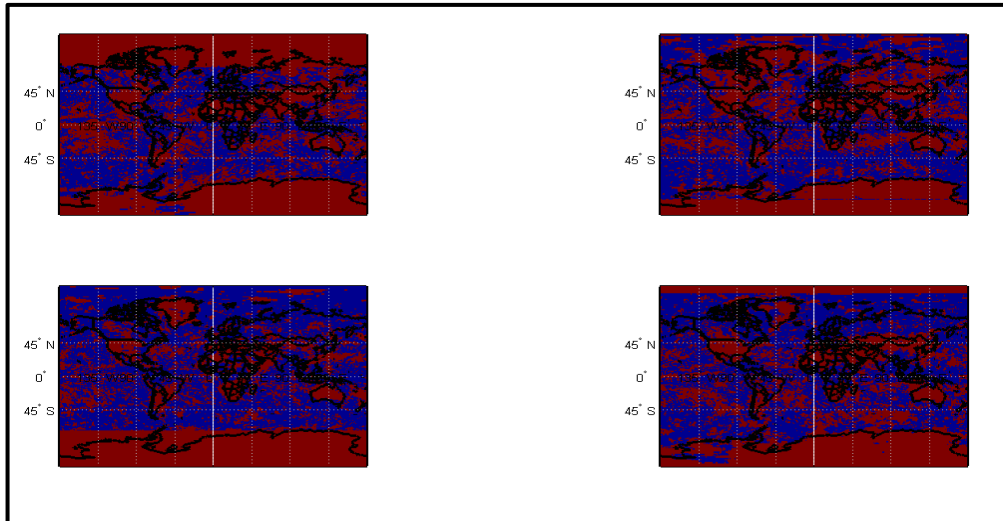


Figura 5. 5. Valores de la pruebas Lilliefors para un día específico de cada estación del año

Para ilustrar el proceso de evaluación empleada para cada serie tiempo a lo largo de todas las celdas de la escala espacial dentro del dominio de trabajo se muestra en la Figura 5. 6, los mapas de índice generados al aplicar la prueba de normalización a todo el conjunto de celdas.

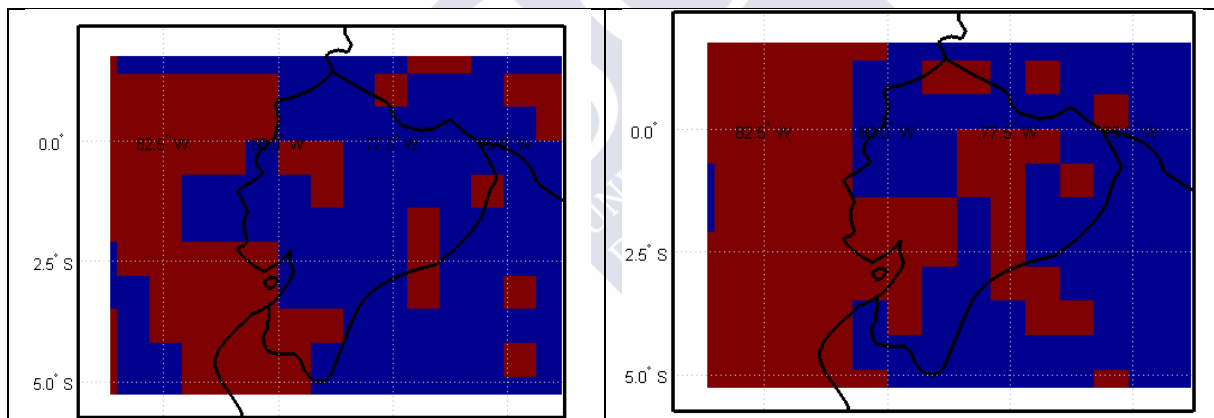


Figura 5. 6. Índices de la Prueba Lilliefors en la región de Ecuador.

Aunque el análisis detallado de los datos para todo globo muestra que la mayoría de los datos diarios para los 31 años no presentan una distribución normal, en el caso particular del Ecuador, posiblemente por ubicarse en la Zona de Convergencia Intertropical, la mayoría de las celdas del área seleccionada presentan datos de radiación que pueden ser representados como distribución normal. En la Figura 5. 7, se muestra el porcentaje de celdas que verifican la hipótesis inicial. Cabe recalcar que el área de estudio lo conforman 240 celdas.

En conclusión, se puede afirmar que el comportamiento de los datos en las series de tiempo de la radiación solar del ERA-INTERIM en la región seleccionada (Ecuador), pueden ser representados por medio de la distribución normal. Esto nos permite usar como criterio estadístico de clasificación o selección la media estadística de los datos.

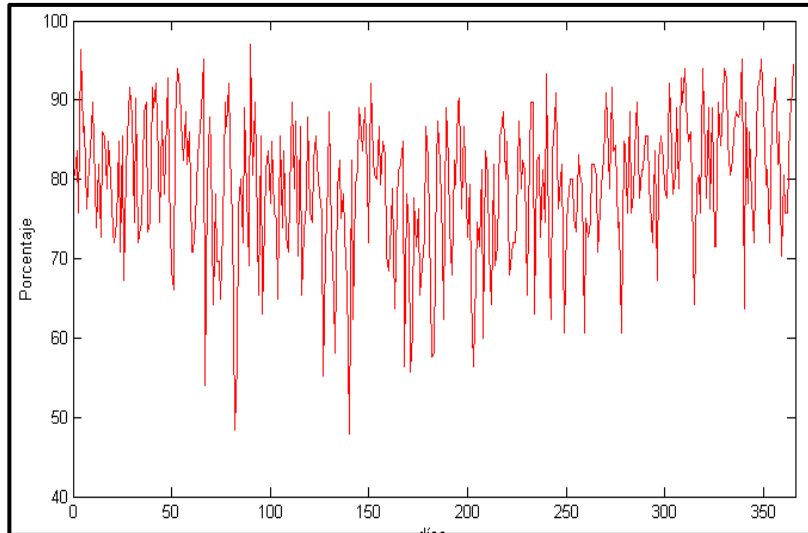


Figura 5. 7. Porcentaje de celdas que pasan la prueba Lilliefors en la región de Ecuador

En lo que sigue, se va a comenzar el proceso de selección de días tipo o característicos. Como primer punto se procedió a determinar la media global de las medias diarias históricas de los mapas ($\mu_{SSDR(d)(ij)}$), que se construye a partir de las series tiempo de datos diarios:

$$\mu_{SSDR(d)(ij)} = \sum_1^N \frac{SSDR(d)(ij)}{N} \quad (4.2)$$

En donde

N: Número de años ,

d: Día del año seleccionado (1,2,...365)

ij: Punto de coordenadas en el mapa

Posteriormente, se procede a calcular la diferencia en valor absoluto entre el $\mu_{SSDR(d)(ij)}$ y cada mapa representativo de cada fecha (año, mes, día) de la serie temporal.

$$\Delta_{SSDR(d)(ij)}^N = \left| \mu_{SSDR(d)(ij)} - SSDR(d)(ij)^N \right| \quad (4.3)$$

$$\Delta_{map}(d)^N = \sum_1^{ixj} \Delta_{SSDR(d)(ij)}^N \quad (4.4)$$

El año referencial, se conforma mediante la selección del día que presente el mapa con el mínimo valor de $\Delta_{map}(d)^N$ para cada uno de los 365 días. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 5. 8 los mapas construidos para las diferencias en todas las celdas de la región para el día 4 del mes de mayo, donde el menor valor de $\Delta_{map}(d)^N$ presenta en el año de 1985. El detalle de los días seleccionados para conformar el año referencial se puede ver en Anexo 14.

Debe señalarse, que el conjunto de días seleccionados para conformar el año de referencia, son los empleados para descargar las condiciones iniciales desde el ECMWF y posteriormente realizar las simulaciones en el WRF a partir de la metodología explicada en el capítulo 4.

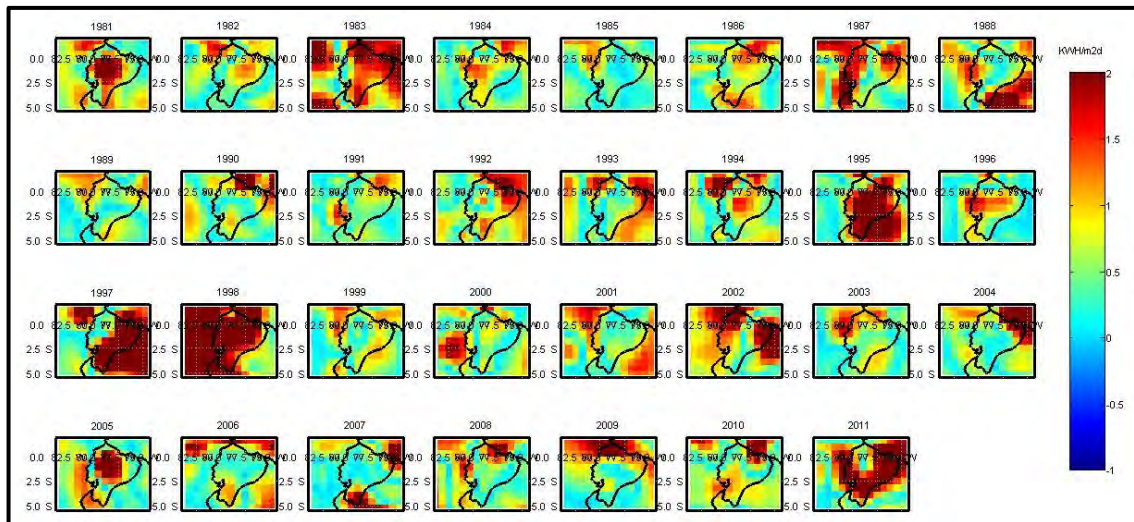


Figura 5. 8. Mapa de Diferencias para el 4 de Mayo.

5.4 SIMULACIONES DEL WRF.

Como se explico en el capítulo 4, el modelo WRF fue configurado con un dominio espacial que comprende todo el territorio continental con una resolución máxima de 9 km. Para la coordenada vertical, se utilizaron 32 niveles sigma. Condiciones iniciales y de contorno para el modelo se tomaron de datos de reanálisis del European Centre for Medium Range Forecasts (ECMWF) ERA-Interim (Dee, y otros, 2011). Los datos descargados correspondientes a los días que conforman el año de referencia con una resolución de 0,7 grados⁸ cada 6 horas.

En el capítulo 4, se explica en detalle la selección de las parametrizaciones a utilizarse en las 365 simulaciones. Cabe recordar que se ha seleccionado la parametrización de Dudhia para la estimación de la radiación solar global. Esta parametrización considera las interacciones de la radiación con el aire (absorción y dispersión), vapor de agua (absorción) y nubes (absorción y reflexión). La resolución espacial empleada para el Ecuador fue de 9 km. El tiempo de calentamiento (definido como el tiempo de evolución de la simulación) empleado fue de 12 horas.

Finalmente, la simulación del flujo de radiación solar con respecto a la zona de estudio comprende la estimación del flujo descendente de onda corta (SWDOWN, Short Wave downward) en unidades de potencia instantánea por unidad de área (W/m^2). Esta simulación se realiza para cada uno de los 365 días seleccionados, con un intervalo de registro diezminutal, obteniéndose un registro de 217 datos por cada simulación.

5.5 POST-PROCESO DE LA SALIDAS DEL MODELO WRF.

En esta sección se explica el post-proceso realizado a las salidas obtenidas de las 365 simulaciones correspondientes al año referencial para la variable SWDOWN. Se han elaborado algunos scripts en Matlab, con los cálculos necesarios para la lectura, extracción, cálculos y obteniendo de los resultados gráficos de las salidas del modelo. En primer lugar, se procedió a la lectura de las variables existente en los archivos de salida de las simulaciones.

⁸ En la bibliografía propia del campo, un grado equivale a 111 Km aproximadamente

La lectura y extracción de las variable de interés se realiza empleando las librería “netcdf”, específicamente el comando *ncread*, para lo cual es necesario indicar el nombre del archivo y el nombre de la variable, obteniendo como resultado una variable de tipo numérica de fácil manejo, la cual denominaremos SWDOWN_DAY. Cabe recordar, que solo se consideran los valores de radiación solar desde el registro 72 de cada archivo (No se considera el tiempo de calentamiento). Asimismo se procede a leer y crear las variables de longitud y latitud en Matlab desde el archivo relacionado al terreno generado al ejecutar el WPS.

Seguidamente se procede a estimar la radiación diaria acumulada, por medio de la sumatoria de los registros almacenados para cada día en la variable SWDOWN_DAY. Para convertir a kWh/m² día se procede a dividir cada sumatoria diaria para 6000. Este proceso se realiza para todas las celdas del dominio de trabajo. Como último, se procede a calcular la media de radiación solar mensual a lo largo del año, y posteriormente se construyen los mapas de radiación solar anual y mensual empleando los comandos de la librería Mapping Toolbox.

En el mapa de la Figura 5. 9 se muestra la radiación media anual. Las zonas de radiación solar superior a 7 kWh/m² día corresponden a la región sierra con climas Ecuatorial Mesotérmico Seco y Frio de Alta montaña. Las zonas de baja radiación solar (ente 4 y 5 kWh/m² día) representan las estribaciones de la cordillera específicamente a climas Ecuatorial Mesotérmico SemiHumedo y Húmedo en un rango de altitud de 1500 a 2000 metros. En la costa se puede observar una región con radiación menor a 6 kWh/m² día correspondiente a clima Tropical Megatérmico Seco y parte del Húmedo. Finalmente la región oriental presenta un comportamiento espacial más estable con una radiación media de 6 kWh/m² día.

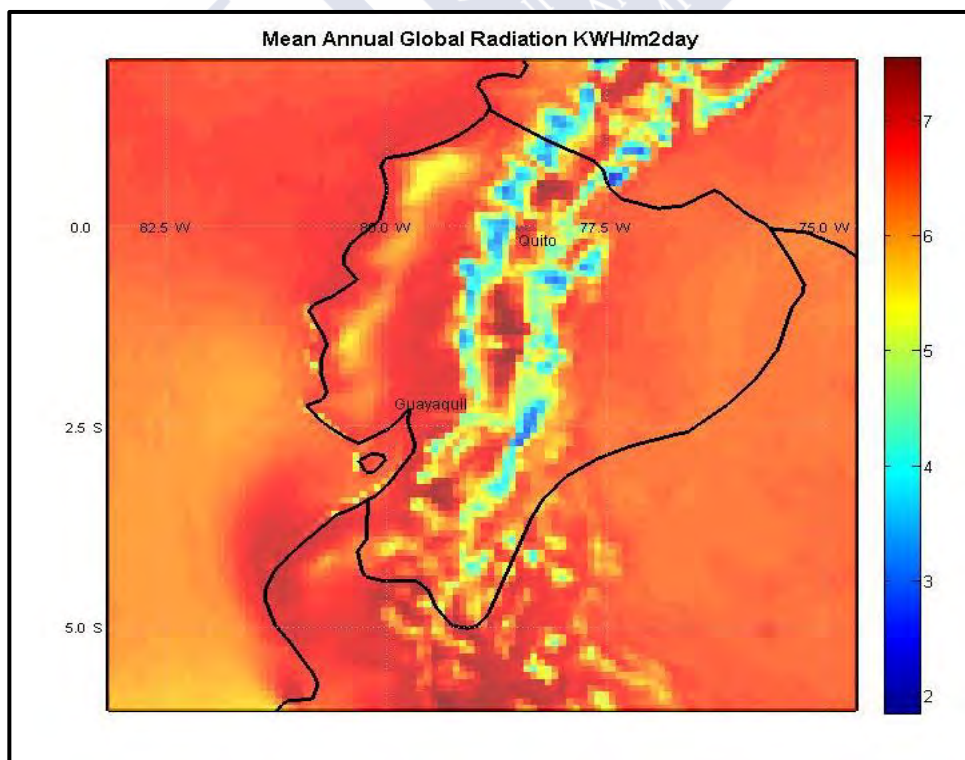


Figura 5. 9. Promedio Anual de Radiación Solar (WRF)

Los mapas existentes en la Figura 5.10. muestran la radiación media mensual para cada uno de los meses. Todos los mapas guardan una estrecha similitud con el mapa anterior en cuanto a la radiación solar por zona climática, aunque se observa una diferencia en el Océano Pacífico y su entorno costero, donde la radiación es mayor en los primeros meses del año en concordancia directa con lo ya comentado para las estaciones de gran parte de la región costa. De igual manera los valores máximos de radiación solar en la región sierra y el oriente ocurren entre los meses de agosto a octubre manteniendo una relación directa con lo registrado por la mayoría de las estaciones locales.



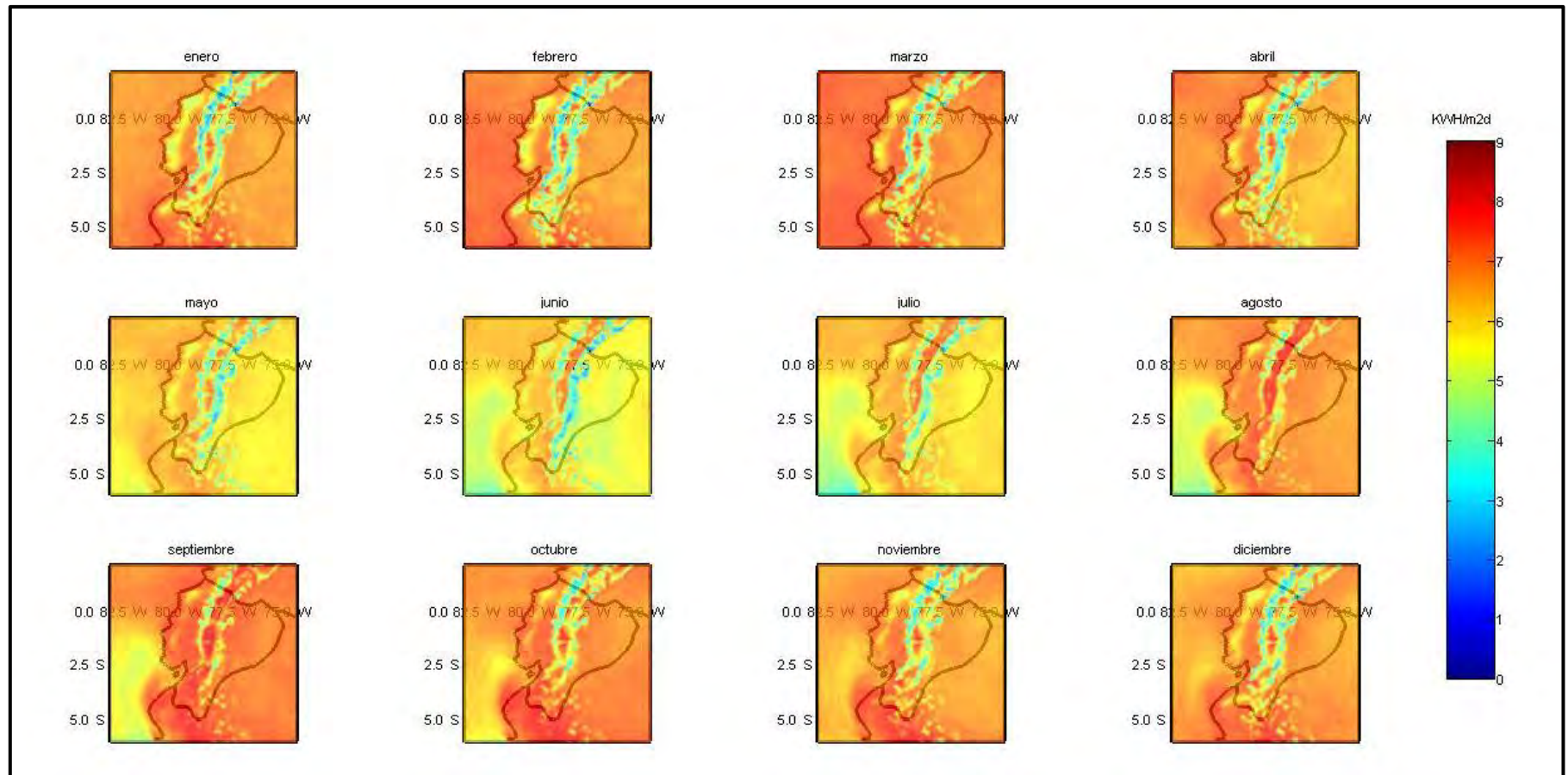


Figura 5. 10. Mapa Mensuales de Radiación Solar (WRF) para Ecuador

5.6 VALIDACIÓN DE LAS SALIDAS DEL MODELO

La evaluación de las salidas de simulación de radiación solar global del modelo WRF, se realiza básicamente a partir de las observaciones de estaciones en la zona geográfica de estudio, ya sean estas agroclimáticas, meteorológicas, o radiométricas.

La validación se realiza en función de los datos o registros históricos de radiación solar, lo cual permitirá establecer tendencias espacio-temporales de los resultados además de identificar los posibles errores sistemáticos de la simulación.

Como se ha indicado en el capítulo 3, el Ecuador no cuenta con registros directos de radiación solar, sino de heliofania (Hora de luz solar), por lo cual será necesario previamente realizar una revisión de las principales correlaciones entre estas variables.

5.6.1 Correlaciones de Heliofania y Radiación Solar.

Correlación de Angström: Fue el primero en plantear una correlación lineal entre el brillo solar y la radiación media diaria mensual. Básicamente, relaciona la radiación media, \bar{H} , en un día claro con la heliofania relativa registrada en una localidad. (Duffie & Beckman; Bakirci, 2009).

$$\frac{\bar{H}}{H_c} = a_1 + b_1 \frac{n}{N} \quad (4.5)$$

La correlación utiliza como variables independientes, el número de horas de sol (N) y la radiación global recibida en un día claro (H_c). La relación $\frac{n}{N}$ es la fracción media mensual de horas de sol posible (esta variable también se conoce como fracción de claridad f_c). Los coeficientes a_1 y b_1 son empíricos, obtenidos a partir de un análisis de regresión, de los valores registrados de H . La suma de estos valores de ambos coeficientes debe ser próxima a 1. Además, la suma de los coeficientes deberá aumentar en función de altitud, debido a que la longitud de recorrido de los rayos solares en la atmósfera es menor, por lo cual, la atenuación atmosférica será menor.

Este modelo presenta algunas dificultades para su aplicación:

- Los coeficientes son dependientes de la zona o localidad climática en estudio.
- La definición no sesgada de Día Claro para el cálculo de H_c .

Correlación de Prescott: Mantiene la correlación lineal pero se basa en la utilización del índice de transparencia atmosférico diario. (Almoroxa, Benitob, & Hontoriaa, 2005)

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (4.6)$$

Donde H_o representa la radiación solar extraterrestre, que se puede determinar a partir de la Constante solar (Duffie & Beckman). Los resultados obtenidos por este método son semejantes a los comentados en la correlación anterior por lo cual no merecen mayor detalle.

Además de las correlaciones de Angström o Prescott, actualmente existen diferentes correlaciones lineales, cuadráticas o cúbicas que relacionan la radiación global y la heliofanía, en donde los coeficientes empleados dependen principalmente de las condiciones geográficas, climáticas y de ubicación de la zona de interés (Bakirci, 2009). Para el caso del Ecuador, la estimación de los coeficientes es extremadamente difícil debido a la diversidad orográfica y climatológicas existentes en el país por lo que se hace necesario el empleo de correlaciones en lo posible independientes, como es el caso del modelo de Suehrcke (Gallegos, Righini, & Raichijk, 2005).

Correlación de Suehrcke's: Considera la relación entre la heliofanía (horas de claridad) y la radiación solar, permitiendo determinar la radiación solar mensual promedio mediante los valores diarios de heliofanía (Suehrcke, 2000) (Driesse & Thevenard, 2002) (Suehrcke, Bowden, & Hollands, Relationship between sunshine duration and solar radiation, 2013) (Gallegos, A Roberti, & Sierra, 2003). La ecuación representativa puede escribirse como:

$$f_c = \left(\frac{H}{H_c}\right)^2 \quad (4.7)$$

donde:

- f_c : Es la fracción de claridad que se calcula a partir de la división del número de horas de brillo de Sol registradas en un heliógrafo de Campbell-Stokes y N la duración teórica del día medida en horas.
- H : Es la media mensual del índice de claridad diario⁹
- H_c : Es la media mensual del índice de claridad para días de cielo despejado. que por lo general es entre 0,65 a 0,75.

Este modelo fue ensayado a escala mundial utilizando un único coeficiente medio de claridad de día para cielo despejado con un valor de 0,70. (ANTON DRIESSE, 2002). Sin embargo varios estudios concluyen que hay una gran dispersión en las predicciones del modelo de Suehrcke de forma que no queda claro estadísticamente que su capacidad predictiva superara a la de los viejos métodos como Angstrom-Prescott para el cálculo de la media mensual de radiación solar global. (Suehrcke, Bowden, & Hollands, Relationship between sunshine duration and solar radiation, 2013)

Es importante acotar, que en algunos trabajos de mapas solares de países vecinos han utilizado el modelo de Angstrom-Prescott y una interpolación lineal para determinar sus coeficientes. Sin embargo, resultados obtenidos en artículos recientes muestran que al emplear el modelo de Suehrcke's se obtiene mejores estimaciones para los mapas sudamericanos anteriormente mencionados. (Abal, D'Angelo, Cataldo, & Gutierrez, 2011) (Righini, Gallegos, & Raichijk, 2005) (Tiba., 2004)

En este trabajo se pretende utilizar los registros de Heliofanía de las estaciones representativas del INAMHI para validar los resultados del modelo de WRF. Finalmente, debe tenerse en cuenta que utilizando un único valor de la índice de claridad a cielo

⁹ Solar Engineering of Thermal Process, Duffie & Beckman

despejado no se abarca la diversidad de condiciones locales que influyen sobre la radiación solar que llega a la superficie, por lo en la practica es necesario lograr identificar un mejor valor de fc en función de la zona de estudio.

Se ha decidido utilizar para la estimación del índice de claridad a cielo despejado, la información existente en el portal Surface meteorology and Solar Energy perteneciente a la NASA, que ofrece una resolución espacial para todo el globo de 110 Km aproximadamente.¹⁰

En la Figura 5. 11, se muestran los mapas mensuales del índice de claridad a cielo despejado para la región del Ecuador obtenidos al procesar los datos de la NASA.

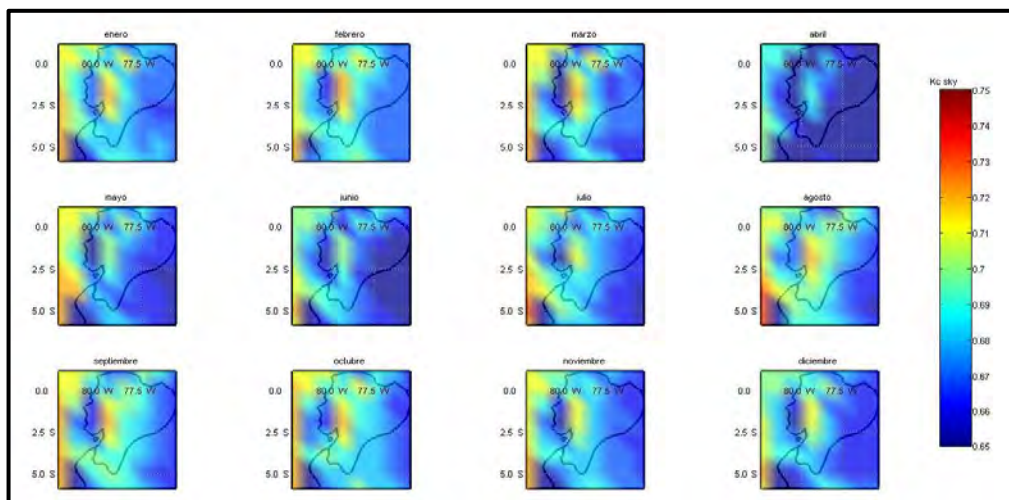


Figura 5. 11. Valores Mensual de la fracción de Claridad a Cielo despejado

Finalmente en la Tabla 5. 1, se muestran los valores medios de radiación solar global estimados a partir del modelo de Suehrcke . En la Figura 5. 12, se muestra las medias mensuales de radiación solar global para las diferentes regiones del Ecuador. La región de la Sierra, presenta la mayor radiación solar estimada con un valor mayor de $4 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$ a lo largo del año.

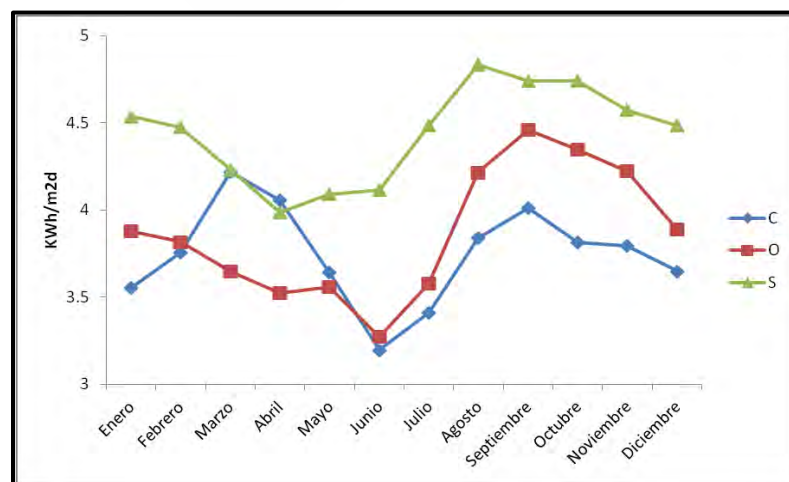


Figura 5. 12. Valores de Medias Mensuales Radiación Solar Global Estimada C:Costa, O:Oriente,S:Sierra.

¹⁰ <https://eosweb.larc.nasa.gov/>

Tabla 5. 1. Radiación Solar (kWh/m² día) estimada para las Estaciones Representativas

Estaciones	Altura (m)	Tipo de Clima	Años de Datos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Babahoyo Utb	7	Ah	17	3.79	4.14	4.60	4.18	3.72	2.97	3.09	3.51	3.57	3.26	3.48	3.53
Bannos	1695	Ch	11	4.00	4.02	4.22	3.69	3.78	3.49	3.67	3.86	4.36	4.57	4.47	4.46
Cotopaxi Clirsen	3510	Pf	10	3.93	3.81	3.84	2.91	3.49	3.34	3.94	4.59	3.92	4.42	4.04	4.02
Guayaquil U Estatal Radio Sonda	6	Ah	12	3.62	3.51	4.21	4.20	3.82	3.55	3.84	4.12	4.42	4.33	4.15	3.92
Inguincho	3140	Pf	22	4.50	4.45	4.17	3.96	4.09	4.26	4.52	5.07	4.80	4.70	4.43	4.32
Iniap Suplementaria Porcinos	2758	Ch	13	4.88	4.92	4.64	4.36	4.34	4.67	5.09	5.31	5.14	5.03	4.79	4.59
Izobamba	3058	Ch	38	4.44	4.34	4.07	3.95	4.12	4.23	4.76	4.94	4.69	4.65	4.49	4.44
Julcuy	263	Ab	13	3.41	3.82	4.11	3.92	3.71	3.47	3.87	4.59	4.85	4.52	4.46	3.73
La Argelia Loja	2160	Ch	30	3.92	3.93	3.98	3.84	3.78	3.56	3.79	4.31	4.50	4.65	4.66	4.29
La Concordia	379	Aw	15	3.17	3.32	3.94	3.76	3.15	2.75	2.86	3.17	3.23	3.16	3.02	3.08
La Tola	2480	Ch	31	4.78	4.66	4.26	3.99	4.17	4.44	4.88	5.18	4.94	4.79	4.60	4.58
Milagro Ingenio Valdez	13	Ah	27	3.47	3.65	3.85	3.79	3.51	2.81	2.95	3.31	3.33	3.12	3.35	3.52
Nuevo Rocafuerte	265	Af	30	4.42	4.19	3.70	3.35	3.35	3.14	3.42	4.13	4.35	4.34	4.26	3.98
Otavallo	2550	Ch	20	4.35	4.41	4.16	4.07	4.08	4.15	4.55	4.83	4.73	4.67	4.56	4.45
Palmoriente Huashito Palmar Del Rio	288	Af	14	4.10	4.12	4.02	4.03	3.87	3.43	3.89	4.50	4.81	4.76	4.58	4.28
Portoviejo Utm	46	Ab	33	3.88	4.09	4.60	4.49	3.95	3.62	3.85	4.34	4.64	4.50	4.31	4.11
Puyo	960	Aw	32	3.55	3.43	3.43	3.32	3.44	3.27	3.52	4.11	4.40	4.32	3.96	3.54
Querochaca Uta	2865	Cb	30	4.61	4.41	4.18	4.10	4.16	3.69	3.97	4.15	4.41	4.61	4.65	4.55
Quito Inamhi Innaquito	2789	Ch	25	5.02	4.94	4.72	4.41	4.40	4.65	5.00	5.49	5.38	5.05	4.80	4.84
Rumipamba Salcedo	2685	Cb	32	4.92	4.82	4.57	4.21	4.17	4.12	4.35	4.62	4.80	4.98	4.95	4.91
San Gabriel	2860	Ch	22	4.31	4.24	3.91	3.91	4.08	3.80	4.16	4.25	4.45	4.46	4.35	4.25
Sangay P Santa Ana	880	Aw	10	3.44	3.53	3.43	3.38	3.56	3.24	3.47	4.12	4.28	3.97	4.07	3.76
Tomalon Tabacundo	2790	Ch	13	4.76	4.77	4.26	4.12	4.20	4.45	4.82	5.25	5.12	4.85	4.55	4.58

5.6.2 Estimadores Estadísticos Empleados.

En esta sección se realizará tanto la comparación como el cálculo de errores entre la radiación solar estimada por medio de las observaciones en las estaciones y los valores simulados por el WRF (Tibaa, Aguiarb, & Fraidenaich, 2005) (Fanego, Arias, Vazquez, & Pescador, 2011) (Willmott & Matsuura, 2005). Los estimadores estadísticos que se emplearan en el proceso de validación son:

- Sesgo (BIAS)
- Mean Bias Error (MAE)
- Mean Root mean square error (RMSE)
- Coeficiente de Correlación Lineal (r)

Sesgo: Indica la tendencia a sobrestimar o subestimar los valores de las variables meteorológicas simuladas por el modelo WRF. Se define como la suma diferencia entre el valor teórico o modelado (V_{mod}) menos el valor experimental o observado (V_{est}). La ecuación es:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} V_{mod} - V_{est}$$

Donde, n corresponde al número total de estaciones representativas

Mean absolute error -: Es una medida que representa el error global o sistemático que puede existir en el modelo en porcentaje Se define por la siguiente ecuación:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \left| \frac{V_{mod} - V_{est}}{V_{est}} \right|$$

Donde, n corresponde al número total de estaciones representativas

Mean Root mean square error: Es una medida de la desviación media. Se calcula por diferencias al cuadrado en promedio entre los valores obtenidos por el modelo y los observados (registrados) por la estación meteorológica es decir, da el error de la simulación de las variables meteorológicas simuladas por el modelo WRF.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{V_{mod} - V_{est}}{V_{est}} \right)^2}$$

Donde, n corresponde al número total de estaciones representativas

Coeficiente de Correlación Lineal (r): Se define como la covarianza de las series de datos dividida por el producto de las desviaciones estándar. Permite cuantificar el grado de

correlación entre los datos observadores (registrados) en las estaciones meteorológicas y los datos simulados. (Rodríguez, 2007). El valor de r se encuentra entre el rango de -1 y 1.

Tratando de profundizar en el tema, es importante tener al menos una idea preliminar de la magnitud de los errores esperados en la estimación de la radiación global, en la Tabla 5. 2 se muestran los diferentes valores de RMSE obtenidos en tres estudios realizados en los Estados Unidos. (Stoffel, 2013). No obstante debe tomarse en cuenta que los estudios son realizados en diferentes zonas, los valores del RMSE no se pueden comparar directamente y debe ser considerados de carácter ilustrativo. Por otra lado, para la obtención de los resultados finales se pueden emplean una variedad de técnicas de postprocesado, y por lo tanto el porcentaje del RMSE no reflejará la realidad o exactitud del la simulación.

Tabla 5. 2. Valores de RSME de Radiación Solar Global obtenidos por varios investigadores

Model	Remund (2008)	Perez, Beauharnois (2011)	Lorenz (2009)
ECMWF	18 - 40	33	20 - 46
GFS	-	-	41 - 45
WRF	18 - 50	45	44 - 55

Definido los parámetros estadísticos a emplear, procedemos a realizar el proceso de validación, es necesario conocer la ubicación de la estaciones representativas para identificar los valores de radiación estimado por el modelo para esa ubicación. En la Figura 5. 13, se muestran la ubicación geográfica del conjunto de estaciones representativas, que serán utilizadas para la validación del modelo

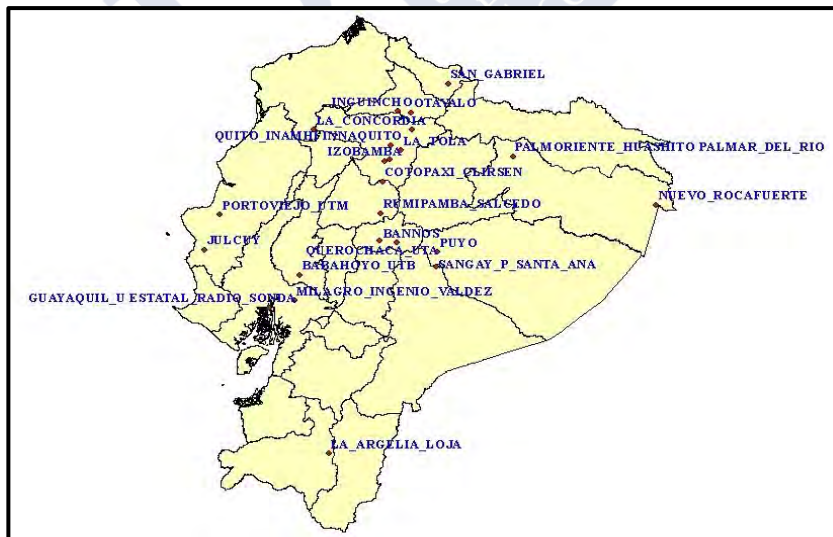


Figura 5. 13. Estaciones utilizadas para la validación

Cabe recordar que la cantidad de energía solar que llega a un punto determinado de la superficie de la Tierra depende principalmente de tres factores, que se describen a continuación:

El primero corresponde a la geometría solar, incluye latitud, ángulo horario solar, y la posición de la Tierra con respecto al Sol, el cual determina la radiación solar entrante en la parte superior de la atmósfera y puede calcularse con precisión. (Liou, 2002; Duffie & Beckman).

El segundo está asociado con la atenuación y dispersión del haz de luz solar por la dispersión y la absorción causada por los gases atmosféricos, aerosoles y partículas de las nubes. (Liou, 2002; Duffie & Beckman).

Por último, están las características propias del terreno, incluyendo la elevación, la pendiente, la orientación y el albedo superficial lo que hace que en cada punto, la radiación solar total se puede dividir en varias componentes de acuerdo al trayecto del haz de luz solar (radiación difusa y reflejada). (Gu, Liou, Lee, & Leung, 2012).

Los dos primeros factores pueden estar asociados directamente con las parametrizaciones seleccionadas en el WRF para simular el comportamiento e interacción de la radiación con la atmósfera. El tercero en parte dependerá de la parametrización de la superficie empleada. Sin embargo, la altura del terreno dependerá directamente del modelo digital del terreno y la configuración empleada para las simulaciones en WRF. Por esta razón se decidió realizar un filtrado preliminar, comparando la altura empleada por el modelo y la registrada por la estación.

En la figura 5.14, se puede observar el histograma de sesgo en altura construido a partir de la diferencia de altura entre los valores del modelo y la estaciones. Se puede apreciar como las fluctuaciones del sesgo en altura puede ser representado por una distribución normal, eliminando el dato atípico que corresponde a la estación de Baños. El valor medio del sesgo se encuentra en 179.56 metros con una desviación estándar de 482.86 metros. Aplicando el criterio de 2σ reducimos el conjunto de estaciones válidas para ser empleadas en la validación a 22.

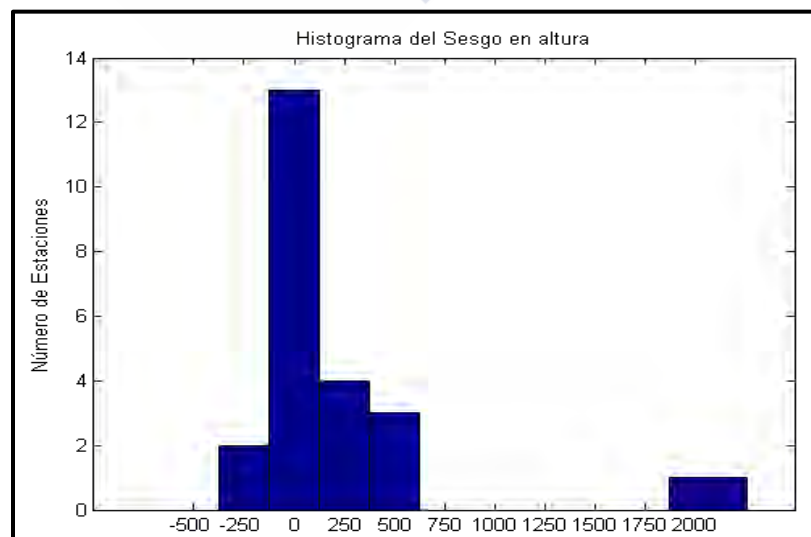


Figura 5. 14. Histograma del Sesgo Altura Modelo vs Estación

Como siguiente paso se procedió a la comparación de los datos del promedio de radiación solar mensual (kWh/m^2 día) estimados a partir de la conversión de los promedios

mensuales de heliofanía para el conjunto de estaciones. De la misma manera, se realizó el cálculo de las medias mensuales a partir de las series de tiempo simuladas por el WRF.

En la siguiente sección se muestran los resultados de la validación obtenidos junto con una explicación del estudio estadístico realizado incluyendo los gráficos que resuman estos resultados para el conjunto de estaciones representativas.

5.6.3 Resultados de la Validación

Si bien, por ausencia de registros de radiación solar de calidad adecuada, no ha sido posible la evaluación de la validez de las simulaciones en todo el dominio de trabajo, se ha realizado un estudio estadístico para obtener resultados numéricos representativos del error cometido en la predicción de la radiación solar por parte del WRF a partir de las estaciones representativas.

Con el fin de observar más en detalle el comportamiento de los resultados del modelo, en la Figura 5. 15, se presenta la correlación entre la radiación solar estimada a partir de las observaciones de cada estación (eje y) frente a la radiación solar estimada por el WRF (eje x). En esta figura se puede apreciar que existe una relación bastante lineal en la Sierra y en menor grado en el Oriente. Sin embargo, en la región costa los datos del modelo y las estaciones no presentan ninguna relación clara.

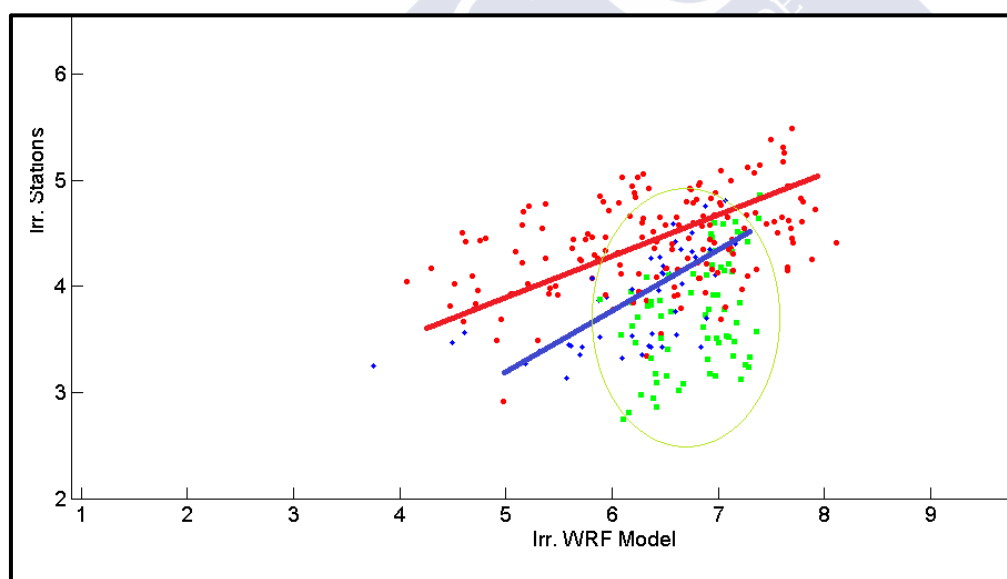


Figura 5. 15. Valores de Radiación WRF vs Estaciones
Costa: Verde, Sierra: Rojo, Oriente: Azul

Con referencia a lo anterior, es claro que existe una tendencia regional en las predicciones o resultados del modelo, por lo que se hace necesario identificar qué factores climáticos o geográficos influyen en el ajuste de los datos, para lo cual se calculado los errores en las tres zonas separadamente.

En la Tabla 5. 3, podemos observar los resultados del cálculo de errores para el promedio anual de radiación solar a partir del total de estaciones. Los valores del BIAS muestran que el modelo tiende sobreestimar sistemáticamente la radiación solar en un valor medio de 2

kWh/m² día. De igual manera los valores MAE y RMSE nos indican que la validez del modelo se encuentra alrededor del 50% aproximadamente. En todos los casos, los mejores resultados se obtienen en la región de la Sierra.

Tabla 5. 3. Estimadores Estadísticos para la media anual de Radiación Solar.

Estimador	Ecuador	Costa	Sierra	Oriente
BIAS	2.27	2.39	2.10	2.30
MAE (%)	55.99	58.26	48.59	56.84
RMSE (%)	59.90	61.82	50.71	59.88

En la Figura 5. 16, se observan los valores del BIAS mensual obtenidos para cada región. En la costa es claramente identificable la presencia de un BIAS casi constante con un valor medio de 3 kWh/m² día. En la Sierra, sin embargo se obtienen valores que oscilan entre 1.5 – 2 kWh/m² día para la misma variable. Los máximos valores de BIAS se presentan en los meses con mayor grado de incidencia y heterogeneidad en la radiación solar. Como último, en el Oriente el BIAS presenta valores entre 1.5 y 3 kWh/m² día. Los máximos también se generan en los meses donde existe una mayor incidencia y heterogeneidad en los valores radiación solar.

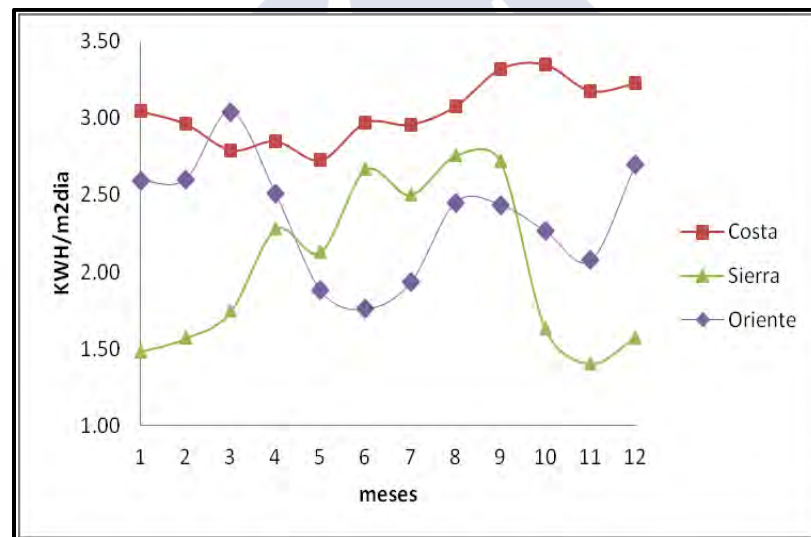


Figura 5. 16. Valores de Bías por región.

En la Figura 5. 17, se presentan los valores obtenidos del MAE para cada región. Como se puede observar el MAE mantiene la misma tendencia descrita anteriormente. Resulta interesante el caso particular de la sierra donde la tendencia permite observar que el valor del MAE aumenta conforme aumenta la radiación (Figura 5. 12).

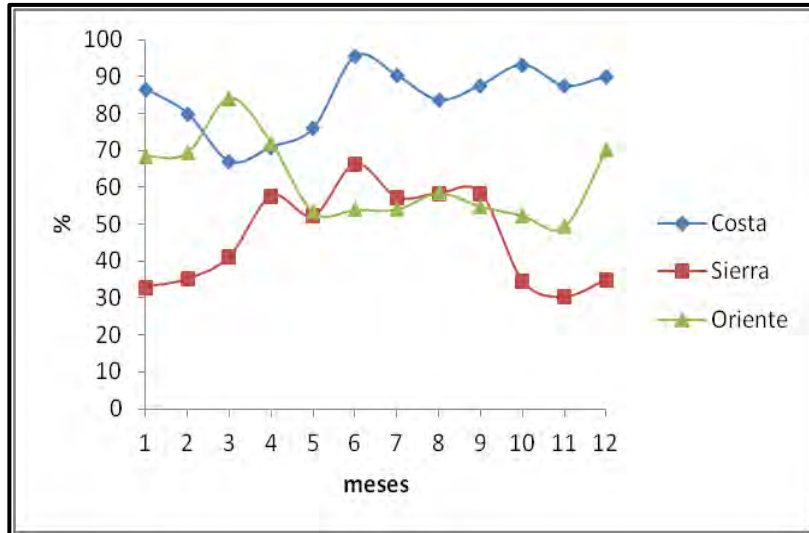


Figura 5. 17. Valores de MAE por región.

Este comportamiento se ve reflejado también en los valores de RMSE. En el caso particular de la costa los máximos valores RMSE se registran en los meses de menor radiación solar estimada. En la región de la Sierra, se puede apreciar que los máximos valores RMSE se generan en los meses de mayor radiación. En el Oriente el valor del RMSE es máximo en los meses de menor incidencia solar, disminuyendo desde el mes de mayo y manteniendo casi constante hasta noviembre. Es oportuno mencionar que el valor medio de RMSE obtenido en las regiones se encuentra dentro del rango de error estimado por otros investigadores como se puede leer en la Tabla 5. 2.

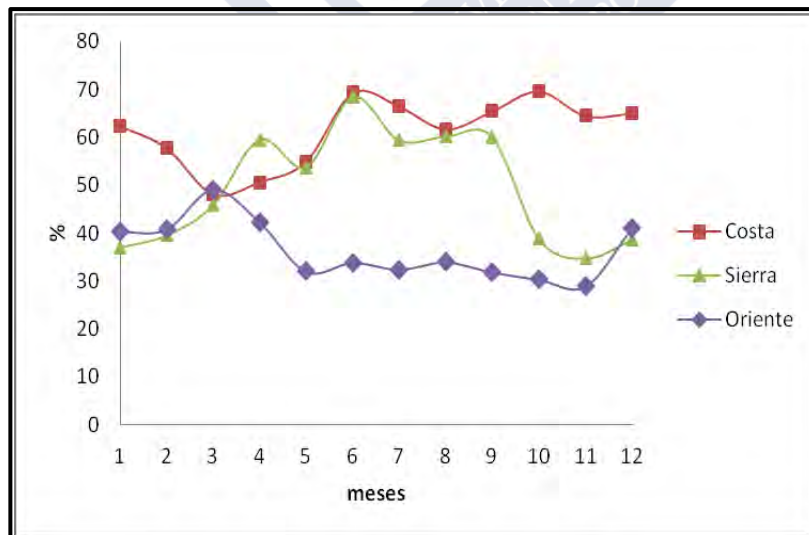


Figura 5. 18. Valores de RMSE por Región.

Resulta claro que el modelo siempre sobreestima la radiación solar, ya que el BIAS es siempre positivo sin importar la región. En otras palabras, se podría afirmar que el modelo subestima los factores que influyen en la atenuación de la radiación solar. En referencia esto, es importante comentar que el comportamiento de las graficas relacionadas al BIAS, MAE y RMSE presenta un similar comportamiento que la nubosidad regional, esto muestra que los errores de estimación en los resultados del modelo, pueden estar influenciados por capacidad que tenga el WRF en reproducir el comportamiento de las nubes.

Es evidente entonces que existe una tendencia en las tres regiones en Ecuador. En las graficas anteriores se observa un comportamiento anual bien diferenciado. Como primera explicación:

- En la región de la costa los resultados del modelo muestran el peor comportamiento a lo largo de todo el año en modo relativamente uniforme e independiente del tiempo.
- En la región de la Sierra, que corresponde a la zona con mayor incidencia de la radiación solar y de mayor altitud, el modelo presenta una mayor sobrestimación en la temporada seca. Por el contrario, en la temporada lluviosa, es donde el modelo muestra sus mejores valores.
- En la región del Oriente en los primeros meses del año el modelo presenta los peores los resultados. A partir del mes de mayo el modelo presenta sus mejores resultados con un comportamiento uniforme.

En atención a la problemática expuesta, se hace necesario identificar que características regionales o climáticas afectan o influyen la capacidad que tiene el modelo a reproducir el comportamiento de la radiación solar, para lo cual se ha procedido a evaluar la exactitud de los resultados del modelo en cada estación por medio del cálculo de estimador de diferencias, el cual se define como la resta de los valores del modelo y las observaciones. (Solman, 2011)

En primer lugar, en la región Costa tal como se observa en la Figura 5. 19 , todas las estaciones presentan tendencia uniforme en el comportamiento de la diferencia. Sin embargo se pueden apreciar pequeñas variaciones en la magnitud del estimador que permiten identificar la zona climática de correspondencia (Tabla 5. 4). El error calculado por el estimador es básicamente independiente del tiempo.

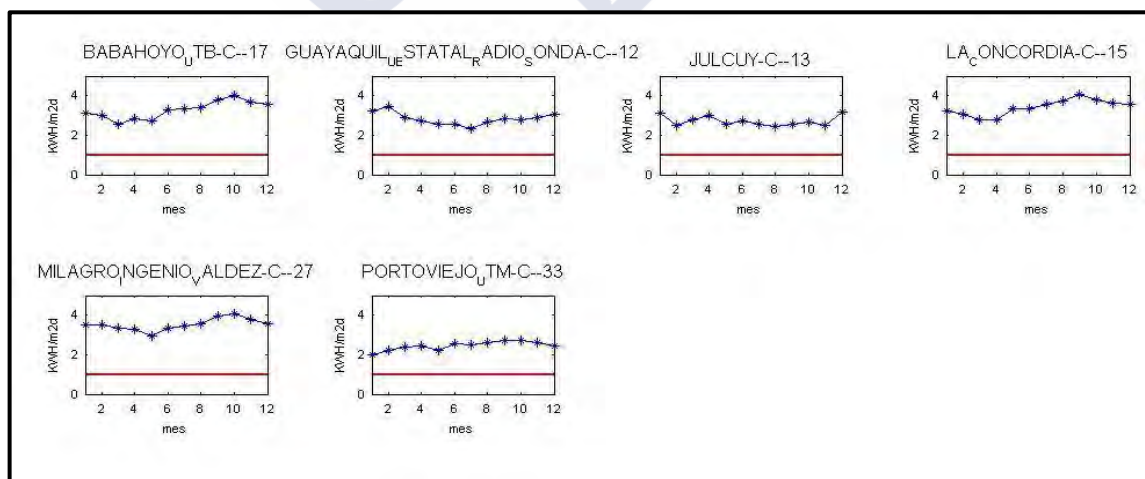


Figura 5. 19. Diferencia entre el Valor del Modelo y el estimado con la Observaciones, Región Costa

Tabla 5. 4. Ubicaciones Provincial y Climática de la estaciones en la región Costa.

Estación	Provincia	Clima	r^2
JULCUY	Manabí	Ab	0.7042
PORTOVIEJO_UTM	Manabí	Ab	0.8258
BABAHYOY_UTB	Los Ríos	Ah	0.2199
GUAYAQUIL_U ESTATAL_RADIO_SONDA	Guayas	Ah	0.3708
MILAGRO_INGENIO_VALDEZ	Guayas	Ah	0.3700
LA_CONCORDIA	Esmeraldas	Aw	0.0747

En región de la Sierra el estimador presenta varios comportamientos, tal como se observa en la Figura 5. 20. Las estaciones que corresponden a ubicaciones en zonas con clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo y Ecuatorial de Alta Montaña, presenta un estimador con similar tendencia, variando en correspondencia con la radiación solar.(Tabla 5. 5). Es interesante mencionar que las estaciones de la Tola y Otavalo muestran tendencias con mayor concordancia a la observada en la estación de Querochaca que se encuentra en los límites de la zona Ecuatorial Mesotérmico Seco y Semi Húmedo, una posibilidad de estas anomalías es la presencia o cambio en los microclimas locales.

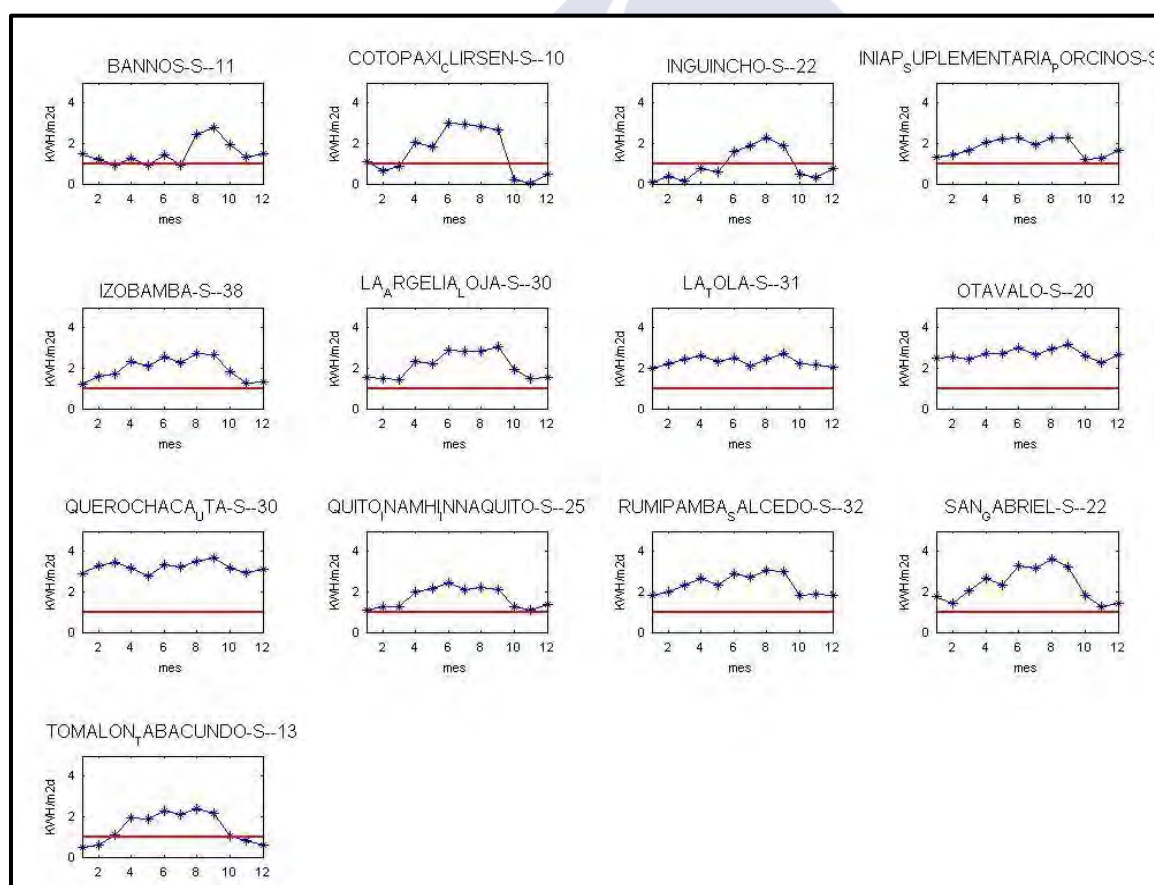


Figura 5. 20. Diferencia entre el Valor del Modelo y el estimado con la Observaciones, Región Sierra.

Tabla 5. 5. Ubicaciones Provincial y Climática de la estaciones en la región Sierra.

Estación	Provincia	Clima	r ²
QUEROCHACA_UTA	Tungurahua	Cb	0.4445
RUMIPAMBA_SALCEDO	Pichincha	Cb	0.0029
INIAP_SUPLEMENTARIA PORCINOS	Pichincha	Ch	0.3094
IZOBAMBA	Pichincha	Ch	0.3553
LA_ARGELIA_LOJA	Lo Loja	Ch	0.1346
LA_TOLA	Pichincha	Ch	0.6369
OTAVALO	Imbabura	Ch	0.6009
QUITO_INAMHI INNAQUITO	Pichincha	Ch	0.2854
SAN_GABRIEL	Carchi	Ch	0.0006
TOMALON_TABACUNDO	Pichincha	Ch	0.2622
COTOPAXI_CLIRSEN	Cotopaxi	Pf	0.0244
INGUINCHO	Imbabura	Pf	0.5493

En la región del Oriente, en la Figura 5. 21 se puede apreciar dos tendencias en el comportamiento de estimador. Las estaciones de Rocafuerte y Palmoriente presentan un clima Megatérmico Lluvioso el estimador es estable a excepción los primeros meses del año. Sin embargo Puyo y Sangay ubicadas en las estribaciones de los andes corresponde a un clima Tropical Megatérmico Húmedo. En este caso el estimador varía en correspondencia al aumento o disminución del promedio mensual de radiación solar.

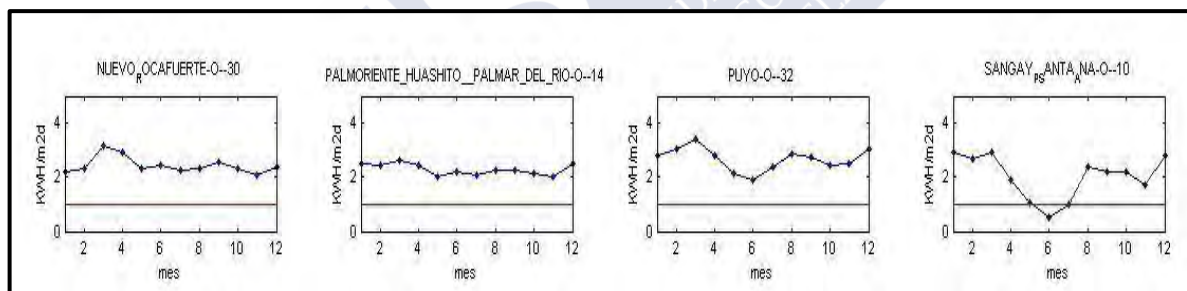


Figura 5. 21. Diferencia entre el Valor del Modelo y el estimado con la Observaciones, Región Oriente.

Tabla 5. 6. Ubicaciones Provincial y Climática de la estaciones en la región Oriente.

Estación	Provincia	Clima	r ²
NUEVO_ROCAFUERTE	Orellana	Af	0.5925
PALMORIENTE_HUASHITO PALMAR_DEL_RIO	Sucumbíos	Af	0.7619
PUYO	Pastaza	Aw	0.4775
SANGAY_P_SANTA_ANA	Morona Santiago	Aw	0.3173

5.6.4 Comparación de Resultados: Modelo WRF y ERA INTERIM

En este apartado se realiza la comparación de los resultados del análisis estadístico (BIAS, MAE, RMSE) para los datos obtenidos del WRF y del ERA-INTERIM. La metodología de validación empleada para las salidas del ERA-INTERIM fue la misma descrita en la sección anterior.

En la Tabla 5. 7, se puede apreciar los valores obtenidos para los estimadores en relación al promedio anual de radiación. Según se ha visto ambos modelos presentan un BIAS similar. Sin embargo el WRF tiende a sobreestimar la radiación mientras que el ERA-INTERIM la subestima. En el anexo 15 se puede ver en detalle los resultados del cálculo de errores.

Tabla 5. 7. Comparación de los Estimadores Estadísticos del WRF y ERA INTERIM.

Estimador Anual	WRF	ERA
BIAS	2.27	-2.32
MAE	55.99	35.51
RMSE	59.90	37.89

En la Tabla 5. 8, se puede apreciar la comparación de los estimadores estadísticos para la tres regiones. Los resultados obtenidos del ERA-INTERIM presentan los errores más bajos en la zona de la Costa y el Oriente, en cambio el WRF presenta el error más bajo en la región de la Sierra.

Tabla 5. 8. Comparación de los Estimadores Estadísticos del WRF y ERA INTERIM, por Región.

Región	Costa		Sierra		Oriente	
	WRF	ERA	WRF	ERA	WRF	ERA
BIAS	2.39	-2.25	2.10	-2.58	2.30	-2.46
MAE (%)	58.26	33.66	48.59	39.34	56.84	36.91
RMSE (%)	61.82	36.22	50.71	41.66	59.88	39.65

Es necesario indicar, que la predicción de la radiación solar por medio del ERA-INTERIM presenta periodos de subestimación y sobrestimación a lo largo del año en las diferentes estaciones. Esta condición dificulta la determinación o identificación de la posible existencia error sistemático en la predicción.

Una posibilidad para la variación de los valores de los estimadores estadísticos aquí presentados serian los efectos locales de cobertura de nubes (a partir de la radiación solar). Mientras el WRF aparentemente tiende a subestimar el cálculo de nubes convectivas. Los datos del re-análisis del ERA-INTERIM indicarían que el modelo empleado por el ECMWF tiende a sobrestimar la capa de nubes en la región de Ecuador.

5.7 CONCLUSIONES.

En este capítulo se ha realizado la evaluación o validación de los resultados obtenidos de las simulaciones de la radiación solar para la región continental del Ecuador.

- A partir de la metodología seleccionada para la elaboración del año característico se ha podido identificar que las series de tiempo de la radiación solar para la región Ecuador pueden ser representadas por medio de distribuciones normales.
- La radiación solar media estimada en la región Sierra es $7 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$, con mayor incidencia al Sur del país. En la costa la media estimada es de $6.5 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$, con mayor incidencia en el perfil costero y en el interior de la región.

Finalmente la región oriental presenta un comportamiento espacial más estable con una radiación media estimada de 6 kWh/m^2 día.

Los resultados del análisis estadístico para las 23 estaciones representativas seleccionadas sugiere que:

- La no dependencia del error con la altitud donde se encuentran las estaciones.
- El modelo sobreestima la radiación global en media anual en un valor casi constante de 2 kWh/m^2 día.
- En la región de la Costa, el modelo tiende a sobreestimar la radiación en 3 kWh/m^2 día. La desviación existente en el BIAS es apenas de 0.2 kWh/m^2 día, por lo tanto se podía afirmar que el valor de sobrestimación es constante para todo el año.
- En la región de la Sierra, el modelo tiende a sobreestimar la radiación todo el año con un valor medio de 2 kWh/m^2 día con una desviación de 0.5 kWh/m^2 día. Durante la temporada seca (mayo a Octubre) el modelo sobrestima con un valor medio de 2.5 kWh/m^2 día. En la temporada lluviosa el modelo sobreestima la radiación con un valor medio de 1.5 kWh/m^2 día.
- En la región del Oriente el modelo el modelo sobreestima la radiación solar en un valor medio de 2.4 kWh/m^2 día con una desviación de 0.35 kWh/m^2 día.
- En términos generales el modelo tiende a sobreestimar la radiación solar en el Ecuador. Sin embargo, para valores de radiaciones bajas el modelo tiende a errores menos significativos en comparación a los obtenidos en radiaciones más altas. Finalmente la diferencia en los valores del MAE se incrementan a medida que aumenta la radiación, lo que permite deducir que el grado sesgo dependerá directamente de la radiación.
- La predicción de recurso puede considerarse cualitativa, especialmente en los periodos de alta radiación solar.

Con referencia a la clasificación regional y climática de las estaciones, se puede concluir que:

- Los resultados del modelo muestran una clara tendencia anual dependiendo de la ubicación climática regional.
- La validación de predicción de modelo a partir de los datos observados de una estación permite identificar zonas climáticas en particular.
- La desviación de los resultados del modelo con respecto a los datos observados en una estación meteorológica representativa, puede ser considerada como un estimador de predicción de variaciones asociadas al cambio climático.

- El modelo tiende a reproducir de mejor forma el comportamiento de la radiación solar en las zonas de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo y Ecuatorial de Alta Montana.

Adicionalmente, debido a la presencia de una tendencia sistemática dentro de cada región o zona climática, los resultados de modelo WRF pueden ser parametrizados, con mejores expectativas que los obtenidos por medio de los datos del ERA-INTERIM.

Finalmente, las variaciones de los errores respecto a los valores obtenidos al comparar las estimaciones de la radiación global del modelo WRF, presentan una fuerte correlación con los valores de nubosidad local, por lo que es necesario evaluar en futuros trabajos la capacidad que tienen las parametrizaciones de Convección de Cúmulos en reproducir el comportamiento de las nubes dentro modelo WRF.



CAPITULO 6

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL VIENTO

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la evaluación de los datos de la velocidad y dirección del viento simulado por el modelo WRF para el territorio continental del Ecuador. En la primera sección se hace una breve descripción de los principales estudios relacionados a la valoración y prospección del viento en el Ecuador.

A continuación, se procede a detallar la metodología empleada para la selección de los días de simulación partiendo de la información disponible en el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas. Asimismo, se hace una descripción del post-procesamiento de las salidas numéricas del modelo. Sobre la base de los resultados obtenidos se procede a generar los mapas mensuales de magnitud velocidad, dirección y potencial eólico disponible para el Ecuador.

Finalmente, a partir de los valores de magnitud y dirección de la velocidad de las series de tiempo o registros de las observaciones locales se realiza la validación de los resultados del modelo mediante la estimación de los parámetros estadísticos, como BIAS, raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE en sus siglas en ingles), el error medio (MAE en sus siglas en ingles) y el coeficiente de correlación lineal.

6.2 ANTECEDENTES

El primer estudio realizado para valorar el potencial energético del Ecuador fue el presentado por el Instituto Nacional de Energía INE en el año de 1982 donde se presentaban información muy básica de mapas de isohelias¹¹ de magnitud del viento a partir de observaciones locales de la década del 70 y principios del 80. Este estudio estableció preliminarmente que las provincias de Carchi, Imbabura, Chimborazo, Cañar, Loja, y las costas de Esmeraldas, Pedernales y Salinas, serían zonas con un potencial eólico de interés.(INE, 1982)

Posteriormente, el Instituto de Diversificación y Ahorro Energético dentro del Informe Sintético WP4-Ecuador, determinó que en el territorio continental ecuatoriano no existen zonas con vientos permanentes de alta velocidad. Sin embargo, identificó lugares específicos dentro de microclimas de la región Sierra y partes del perfil costero con una magnitud de viento considerable.

¹¹ isolínea que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma velocidad en la unidad de tiempo considerada

En la Tabla 6. 1, se muestran algunas zonas identificadas por parte del IDAE con velocidades medias superiores a 5 m/s estimadas a partir de los registros de datos meteorológicos y la información recopilada por INE durante la década del 80.,(IDAE, 2005). Cabe recalcar que la información presentada por IDEA fue de tipo divulgativa y no cuenta con ningún proceso de control en la calidad de los datos.

Tabla 6. 1. Velocidad de Viento en el Ecuador

ZONA	PROVINCIA	POBLACIÓN	Velocidad media (m/s)
Sierra Norte	CARCHI IMBABURA	El Ángel	6.6
		Salinas	7.0
Sierra Central	PICHINCHA	Tabacundo	5.0
		Machachi	7.1
	COTOPAXI	Malchinguí	6.6
		Olmedo	5.3
	AZUAY	Páramo del Cotopaxi	5.9
		Huascashaca	7.9
Sierra Sur	LOJA	Saraguro	5.2
		Yangana	5.5
		Lucardi	5.6
COSTA	MANABÍ	Boyacá	5.6

Finalmente, en el año 2013 el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador presentó el Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica (Figura 6. 1), desarrollado por la empresa AWS TruePower empleando el sistema MesoMap en conjunto a la simulación de física de la atmósfera y bases de datos internacionales. Esto representó un gran avance en el desarrollo de recursos renovables. Los resultados obtenidos del atlas son referenciales ya que no se encuentran validados o contrastados con información local a la fecha.

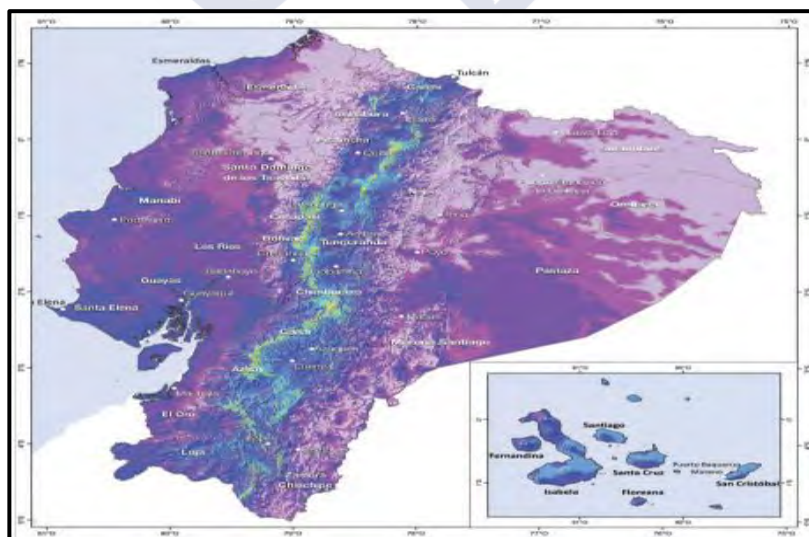


Figura 6. 1. Mapa velocidad de viento a 30m-AWS

El empleo de modelos de predicción numérica para la evaluación del recurso eólico por medio de la simulación de los campos de viento hoy en día se considera como una de las técnicas más avanzadas en la prospección de recurso. Esto se debe sobre todo a la alta

capacidad de los modelos de mesoescala como el WRF, para reproducir los patrones de viento en diferentes escalas espaciales y temporales. A esto hay que añadir la reducción de los costos y el tiempo necesarios para identificar y evaluar regiones potencialmente prometedoras para la implantación de proyectos eólicos que presentan estos modelos.

En este trabajo, se ha trabajado con el modelo WRF y simulaciones del campo de viento a una altura de 10 metros con frecuencia diezminutal. El número de simulaciones será definido en cada caso en función de los días tipos seleccionados, los cuales en su conjunto deben corresponderse con los días que permitan representar de la mejor manera la variabilidad de la velocidad de viento en las series de datos históricos evaluados, al mismo modo que se hizo en el tema de predicción solar.

6.3 SELECCIÓN DE CONJUNTO DE DATOS DE REFERENCIALES DE SIMULACIÓN

Tal como se comentó en el capítulo 5, la generación o construcción de un año de referencia de datos meteorológicos se realiza con el fin de lograr un conjunto de datos que permitan reproducir el comportamiento o condiciones más comunes de la zona estudio a lo largo del tiempo.

En esta sección, se hace una descripción del algebra matricial y criterios matemáticos utilizados para el proceso de construcción del año referencial.

En lo que sigue, se explica el proceso de construcción del año referencial a emplearse en las simulaciones de viento del WRF a partir de los datos de velocidad de viento (componentes u y v) generados por medio del reanálisis del Centro de Predicción a Corto y Medio Plazo (ECMWF) ERA-Interim¹². Los datos corresponden a un periodo 30 años de registros (1981- 2011) de las variables “10 metre U wind component” (u_{10}) “10 metre V wind component” (v_{10}), en m/s, con una resolución espacial de 0,7 grados¹³ y datos almacenados cada 6 horas (6, 12, 18, 24h respectivamente). Los archivos son descargados del portal electrónico del ECMWF en formato GRB.

Con referencia a lo anterior, se procedió a la lectura y extracción de los datos comprimidos en los archivos de extensión GRB por medio de un script desarrollo en el software Matlab R2011b. Finalizado este proceso, se procedió a la construcción de las estructuras matriciales correspondientes a los valores de longitud, latitud y velocidad del viento (u_{10} y v_{10}) para todo el periodo de datos.

Por otra parte, como se ha comentado para el caso particular de los datos del ERA-INTERIM, los valores de velocidad de viento se encuentran diferenciados por componentes (u_{10} y v_{10}), siendo necesario en primer lugar calcular la magnitud de la velocidad del viento a partir de la siguiente ecuación:

$$V_h = \sqrt{(u_{10})^2 + (v_{10})^2} \quad (6.1)$$

¹² http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/

¹³ En la bibliografía propia del campo, un grado equivale a 111 Km aproximadamente

Donde V_h es la magnitud del viento resultante en cada hora de registro a 10 m de altura en m/s. La media diaria de velocidad V_d se estimada a partir de la ecuación:

$$V_d = \frac{V_6 + V_{12} + V_{18} + V_{24}}{4} \quad (6.2)$$

Asimismo, se procedió a calcular la dirección del viento resultante en grados a partir de la siguiente ecuación:

$$\theta_h = \frac{180}{\pi} \left(\text{atan2} \left(\frac{v_{10}}{v_{10}} \right) \right) \quad (6.2)$$

En Matlab la función `atan2` permite calcular el ángulo entre dos vectores en el rango de $[-\pi \pi]$ (UCAR, 2014).

Una vez calculadas la magnitud y la dirección del viento, se procede a la selección de días tipos. Es importante recordar que el proceso de selección pretende reducir al mínimo el número de días que permitan describir el comportamiento típico mensual de la velocidad de viento lo cual permite disminuir el número de simulaciones a realizar y por ende optimizar el tiempo de cómputo empleado.

Para ello, en primer lugar se procede al cálculo de la media estadística mensual a partir de todo el conjunto de datos para la región del Ecuador continental, por medio de la ecuación:

$$V_{M(ij)} = \frac{1}{A} \sum_{a=1}^{a=A} \sum_{n=1}^{n=N} \frac{V^{(d)}(ij)}{N} \quad (6.3)$$

Donde: V_M y n corresponden respectivamente a la velocidad media y el número de días del mes de interés; a en cambio representa el número de años existentes en los registros del ERA-INTERIM. Finalmente i y j corresponde a la ubicación espacial en el dominio de trabajo.

Resulta oportuno comentar que en lo relacionado a la construcción de un año característico meteorológico con fines de evaluación de recursos eólico existen una serie de trabajos y publicaciones que realizan la selección de días característicos por medio técnicas como análisis de las componentes principales, algoritmo de K-medias y redes neurales SOM entre otras (Alvarez, 2003)(Gutiérrez, Cano, Cofiño, & Sordo, 2004) mientras que otros autores consideran que la selección aleatoria como técnica de construcción de un año característico, está en capacidad de reproducir la mayoría de los comportamientos climáticos en las series de tiempo con datos de al menos diez años. (Nunalee & Basu, 2013).(Castillo, López, Arriaga, & Reyes, 2013). En esta línea existen una serie trabajos a nivel científico y comercial que basan sus estudios de evaluación de recursos en esquemas aleatorios estratificados para la selección de días tipos. Como ejemplo del empleo de esta metodología en América del Sur encontramos los atlas de recurso eólico en Perú, Chile y Bolivia. (CNE, 2009)(Ministerio de energía y Minas del Peru, 2008)(ViceMinisterio de Electricidad y Energías Alternativas, 2008)

En este trabajo, la técnica diseñada se basa en un algoritmo de Monte Carlo modificado, en donde la selección de los índices correspondientes a los días de la serie temporal de datos se realiza de manera aleatoria por medio de la función randi¹⁴. Para la construcción del vector de índices de días se ha incorporado una restricción relacionada al número de días del conjunto aleatorio generado. En nuestro caso se ha decidido crear grupos aleatorios cada uno con 10000 combinaciones en un rango de 5, 8, 10, 12, 15, 18, 20 días respectivamente.

Posteriormente se ha procedido a construir el mapa de velocidad media aleatorio (V_{MA}) a partir de combinaciones de días aleatorios, a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{MA} = \sum_{i=1}^{i=A} \frac{V_{Malt(ij)}}{alt} \quad (6.4)$$

Donde:

alt: Número de selecciones aleatorias.

V_{Ma} : Corresponde al número de mapa índice relacionado a la fecha del día aleatorio seleccionado.

V_{MA} : Mapa de Velocidad Media de la combinación aleatoria.

Finalmente por medio de un script de selección que trabaja de forma iterativa se buscan las 500 mejores combinaciones de días aleatorios que represente los errores más bajos de comparación. La estimación del error de comparación se realiza por medio de la diferencia en valor absoluto del mapa de velocidad media mensual (V_M) con el construido a partir de combinación de días aleatorios mensuales (V_{MA}) para el rango previamente seleccionado según la ecuación 6.5

$$E_{dif} = \sum_{i=1}^{i=i} \sum_{j=1}^{j=j} |V_{M(ij)} - V_{MA(ij)}| \quad (6.5)$$

Identificadas las mejores 500 combinaciones se procede a construir distribución de frecuencia de dirección de viento a partir de los datos conjunto aleatorio. Esta distribución es comparada con la construida para toda la serie temporal de datos. (La rosa de vientos se construye con el criterio de 16 direcciones de interés). La selección se basa en la combinación que presente el menor valor en la sumatoria la diferencia de distribución de frecuencia en valor absoluto para todo el conjunto de punto del dominio de trabajo a partir de la ecuación 6.7

$$Ind = \sum_{i=1}^{i=i} \sum_{j=1}^{j=j} \sum |F_{Gw} - F_{Aw}| \quad (6.6)$$

En donde:

Ind: Índice de Selección de combinaciones

w: representa los 16 sectores de la rosa de viento

¹⁴ <http://es.mathworks.com/help/matlab/ref/randi.html>

F_G : Distribución de frecuencia de toda la serie de datos

F_A : Distribución de frecuencia de la serie aleatoria de datos

En resumen, los pasos para la selección de días tipos o característicos se puede enumerar de la siguiente manera:

- 1) Selección de índice de días en formas aleatoria
- 2) Calculo de la velocidad media a partir de los días seleccionados
- 3) Calculo del error entre la media de velocidad mensual y la estimada a partir de los días aleatorios seleccionados
- 4) Selección de las 500 combinaciones de días aleatorios con menor error.
- 5) Obtención de la combinación con menor error de comparación en la frecuencia de dirección de viento de toda la serie de tiempo mensual.
- 6) Este proceso se repetirá para cada rango establecido.

Un importante parámetro a fijar es el tamaño del elemento de red en el dominio de trabajo que para el Ecuador continental fue definido en 132 celdas (ver figura 6.2).

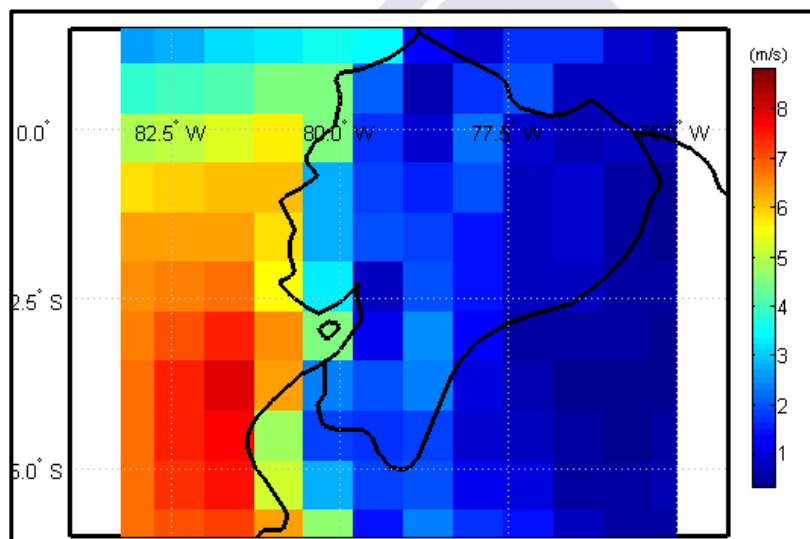


Figura 6. 2. Dominio de selección de días tipos

En la Tabla 6. 2, se muestra el resumen de resultados del proceso de selección aleatoria. A modo de ejemplo para el mes de febrero el menor error se logra con una combinación de 5 días, los cuales forman parte del conjunto de días tipos a utilizar.

Tabla 6. 2. Índice de error de la Selección de Días Aleatorios

Ecuador	5	8	10	12	15	18	20
Enero	0.1351	0.1326	0.1202	0.1162	0.1102	0.1226	0.1155
Febrero	0.2859	0.3686	0.3027	0.4033	0.4400	0.4285	0.4448
Marzo	0.3262	0.3555	0.4424	0.4442	0.4752	0.5195	0.5241
Abril	0.1681	0.1364	0.1557	0.1699	0.1386	0.1568	0.1938
Mayo	0.1380	0.1217	0.1114	0.1037	0.0983	0.0896	0.0807
Junio	0.1333	0.1490	0.1248	0.1120	0.1319	0.1212	0.1276
Julio	0.1439	0.1698	0.1625	0.1636	0.1402	0.2054	0.1403

Agosto	0.1660	0.1558	0.1374	0.1357	0.1707	0.1735	0.1736
Septiembre	0.1369	0.1225	0.1282	0.1288	0.1369	0.1184	0.1489
Octubre	0.1397	0.1206	0.1311	0.1206	0.1057	0.1280	0.1088
Noviembre	0.1377	0.1230	0.1134	0.0982	0.1278	0.1218	0.1203
Diciembre	0.1414	0.1292	0.1070	0.1040	0.1118	0.0805	0.0974

Finalmente, por medio de la selección aleatoria se escogió un total de 155 días, como se muestra en la Tabla 6. 3. Para mayores detalles de los días tipos revisar el anexo 16.

Tabla 6. 3. Días Tipos Seleccionados

Mes	Día
Enero	15
Febrero	5
Marzo	5
Abril	8
Mayo	20
Junio	12
Julio	15
Agosto	12
Septiembre	18
Octubre	15
Noviembre	12
Diciembre	18

6.4 SIMULACIONES DEL WRF: VELOCIDAD DE VIENTO

Como se explicó en el capítulo 4, el modelo WRF fue configurado con un dominio espacial que comprende todo el territorio continental con una resolución máxima de 3 km (dominio 03). Para la coordenada vertical, se utilizaron 32 niveles sigma¹⁵. Como condiciones iniciales y de contorno se utilizaron los datos globales de reanálisis del European Centre for Medium Range Forecasts (ECMWF) ERA-Interim (Dee, y otros, 2011). Los datos descargados correspondientes a los días que conforman el año de referencia con una resolución de 0,7 grados¹⁶.

Se han realizado 155 simulaciones a partir de los días tipos que representarían el comportamiento del campo de Viento a lo largo del año en el territorio Continental del Ecuador. Cabe recordar que esta región resulta interesante por la importante repercusión que tiene la interacción atmósfera-océano en la zona costera y la gran variabilidad geográfica producto a la cordillera de los Andes.

El modelo produce como salida o resultado un archivo NetCDF de 1 Gb para cada intervalo de 6 horas de registros. Entre las variables almacenadas se encuentra el vector de componentes U10 y V10, cuyo módulo representa la intensidad del viento. Además de las variables U, V, W que corresponde a los diferentes niveles de presión.

¹⁵ http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/

¹⁶ En la bibliografía propia del campo, un grado equivale a 111 Km aproximadamente

6.5 POST-PROCESO DE LA SALIDAS DEL MODELO WRF

En esta sección se explica el post-proceso realizado a las salidas obtenidas de las 155 simulaciones correspondientes a los días tipo seleccionadas. Se han elaborado algunos scripts en Matlab, con los cálculos necesarios para la lectura, extracción, cálculos y obteniendo de los resultados gráficos de las salidas del modelo

En primer lugar, la información correspondiente a los archivos de salida de las simulaciones son procesados por medio de las librerías “netcdf”. Esto se realiza con el fin de extraer el campo de vientos (U_{10} , V_{10}). La resolución espacial de este campo es de 3 km y el intervalo temporal siempre diezminutal. Específicamente, se emplea el comando ncread, para lo cual es necesario indicar el nombre del archivo y el nombre de la variable, obteniendo como resultado una variable de tipo numérica de fácil manejo, la cual denominaremos U_{10m} y V_{10m} . De manera simultánea se realiza el cálculo de la magnitud y dirección de la velocidad, valores que también son registrados.

Posteriormente, se procede a concatenar la información de las variables de cada día a partir del mes del año que le corresponda. Como resultado de esta concatenación se obtienen 12 archivos matriciales cada uno de los cuales corresponde al conjunto de datos para cada mes. Este proceso se realiza para todas las celdas del dominio de trabajo. Por último se procede a calcular la media de velocidad mensual a lo largo del año, y posteriormente se construyen los mapas de velocidad media anual y mensual empleando los comandos de la librería Mapping Toolbox.

6.5.1 Resultados Gráficos del Post-Procesamiento.

Los resultados que se muestran a continuación corresponden al análisis y procesamiento de las series de tiempo generadas por el WRF para el campo de viento a una altura de 10 metros sobre la superficie.

En el mapa de la Figura 6.3 se muestra la velocidad media anual Ecuador continental. Las zonas con velocidad de viento mayor de 7 m/s corresponden a la región sierra con climas Ecuatorial Mesotérmico Seco y Frio de Alta montaña, aunque se aprecian zonas con velocidad cercanas en ciertos puntos asociados a cuencas o valles especialmente en la zona norte y sur del país. Las zonas de velocidad media entre 3 y 4 m/s corresponden a las estribaciones de la cordillera y específicamente a climas Ecuatorial Mesotérmico SemiHúmedo y Húmedo en un rango de altitud de 1500 a 2000 metros. En la costa se puede observar que velocidad media está por debajo 3 m/s correspondiente a clima Tropical Megatérmico Seco y parte del Húmedo a excepción de zonas centro y norte del perfil costero continental con vientos entre 3 y 4 m/s. Finalmente la región oriental presenta un comportamiento espacial muy estable con una velocidad media por debajo de los 2 m/s a excepción de los macizos cercanos al ramal oriental de la cordillera.

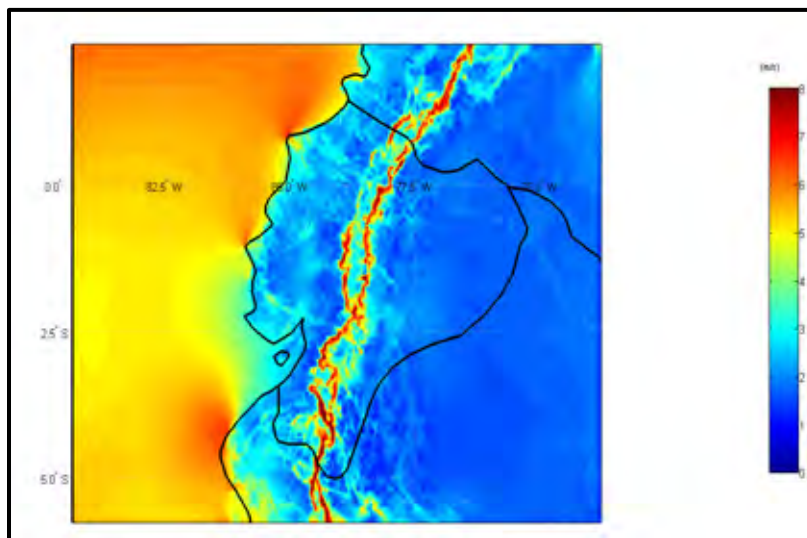


Figura 6. 3. Mapa de Media Anual de Velocidad (WRF)

En la Figura 6. 4, puede observar la variación de la velocidad media mensual estimada para todo el territorio continental de Ecuador. El aumento de la velocidad concuerda con el desplazamiento ZCIT¹⁷ al hemisferio Norte a partir del mes de Junio.

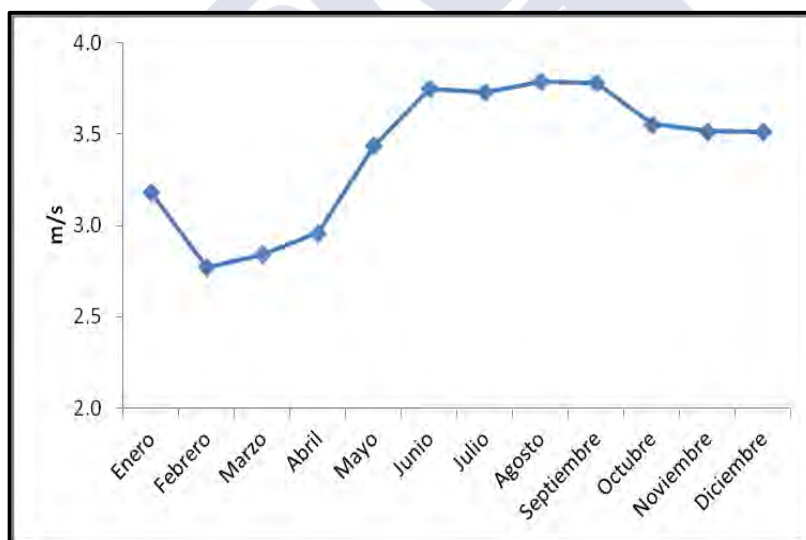


Figura 6. 4. Velocidad Media Mensual (WRF) Ecuador

Para mayor detalle en los mapas de la Figura 6. 5, se muestra la velocidad media para cada uno de los meses. No se observan tendencias discrepantes con el mapa anual en cuanto al comportamiento del campo de vientos por zona climática. De hecho, solo se observa una diferencia en el Océano Pacífico y su entorno costero, donde la velocidad es menor a 3 m/s en los meses de enero a abril (temporada lluviosa) en concordancia directa con lo ya comentado para las estaciones de gran parte de la región costa. De igual manera los valores máximos de velocidad de viento en la región sierra y el oriente ocurren entre los meses de agosto y septiembre (temporada seca) manteniendo una relación directa con lo registrado por la mayoría de las estaciones locales (ver capítulo 4).

¹⁷ Zona de convergencia intertropical

En la Figura 6. 6, se muestra la dirección predominante del viento para cada mes del año estimada por el modelo. Se observa claramente la presencia de una componente de viento desde el cuadrante Sur-Oeste excepción de la zona Norte donde presenta una frecuencia mayor desde el Norte. En la Sierra, no se puede identificar un patrón direccional es complicado producto a su relieve y microclimas. Como ultimo la región del Oriente presenta vientos desde los cuadrantes Noreste y Sureste.

En resumen, el campo de vientos superficial simulado responde, en promedio, a una situación típica de los vientos Alisios en la región Costa. En la región Sierra la presencia de la cordillera Andes minimiza el efecto de los Alisios predominando los efectos orográficos, finalmente el oriente presenta un comportamiento uniforme del campos de viento con una dependencia direccional en el movimiento de la ZCIT.



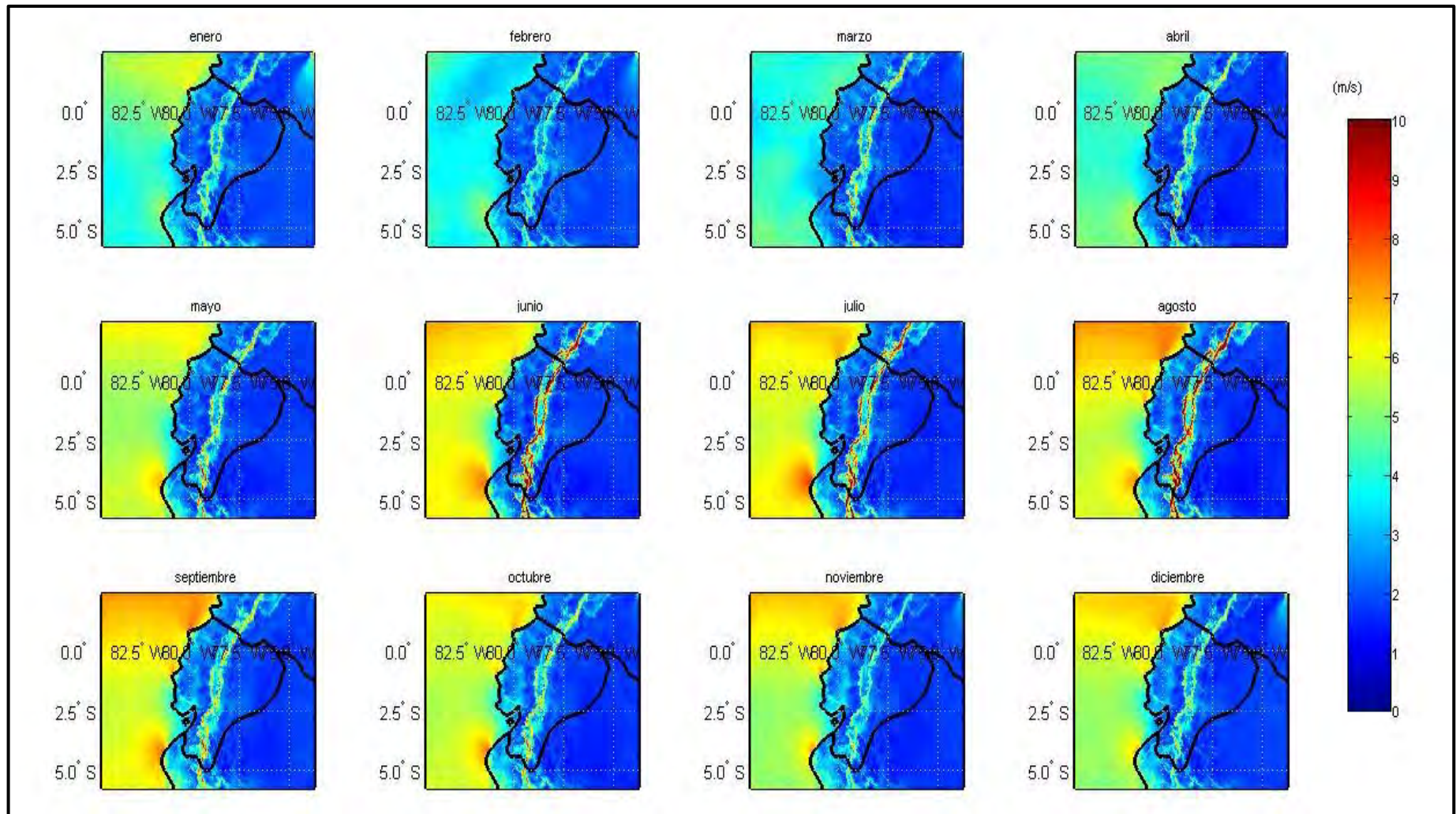


Figura 6. 5. Mapa Mensuales de Velocidad del Viento (WRF) para Ecuador

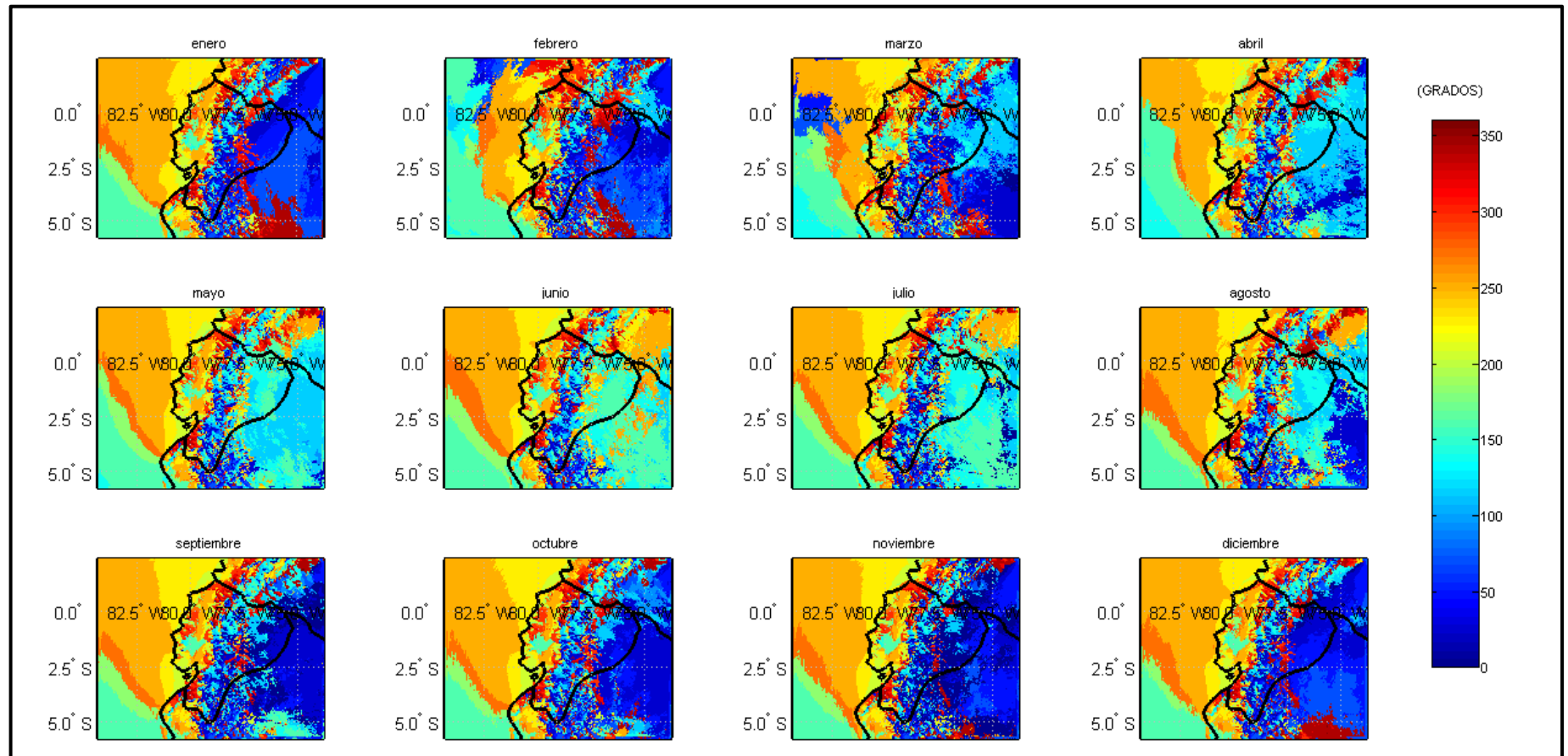


Figura 6. 6. Dirección Predominante del Viento Mensual

6.5.2 Evaluación del Potencial de Energía Eólica

Como ya comentado, los datos de la velocidad de viento se comportan como una variable aleatoria que puede por tanto describirse, para su mejor análisis e interpretación, por medio de una distribución de probabilidades del viento. En la Figura 6. 7 se muestra el histograma de frecuencia de velocidad para una estación meteorológica. Como se puede observar, aunque el comportamiento de los datos, pueden ser ajustado a diferentes tipos de curvas, la expresión analítica más usada en estudios de energía eólica para representar la probabilidad de distribuciones de viento, $P(v)$, es la distribución Weibull. (Celik, 2003)(Bonfils Safari, 2010) (Saleh, Aly, & Abdel-Hady, 2012)

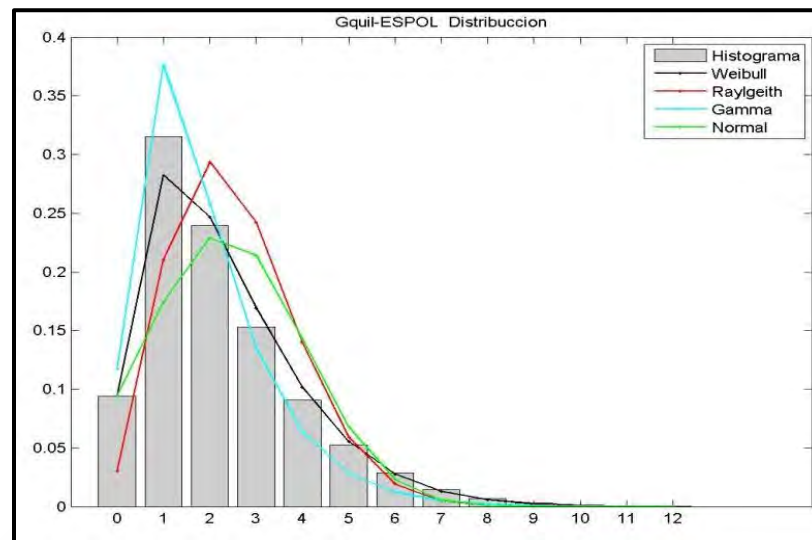


Figura 6. 7 Histograma de frecuencia de velocidades

La distribución de Weibull, es una distribución continua caracterizada por dos parámetros; uno de escala y otro de forma, el primero define cuán dispersa se encuentra la distribución mientras que el segundo define la forma de la distribución (Serrano Rico, 2013)(Cellura M., Cirrincione G., et al, 2008). La expresión matemática de la distribución de Weibull es:

$$P(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (6.7)$$

En donde:

$P(v)$: Representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad de viento.

C : es el denominado factor de escala, cuyo valor es cercano a la velocidad media.

k : es el denominado factor de forma.

Dentro de las propiedades de la distribución de Weibull, hay que considerar que:

- La distribución exponencial es un caso particular de Weibull (con $K=1$).
- La distribución de Rayleigh, también es un caso particular (con $K=2$).

La ventaja de transformar o convertir la serie de tiempo a una distribución con dos coeficientes dos valores característicos, denominados C y k , es lograr tener caracterizada la distribución temporal del viento en una ubicación de forma bastante simplificada, en comparación a la gran cantidad de datos, observaciones o registros a procesar de la serie temporal lo conllevaría un gasto de tiempo y recursos al momento de evaluar recurso. Por otro lado, la desventaja asociada al uso este tipo de distribución, radica en la posibilidad de pérdida de precisión por ejemplo en caso donde el viento presente comportamiento bimodal.

En relación con esto último, se han estimado los parámetros de la distribución Weibull usando el programa Matlab por medio de la función `wblfit`¹⁸ (Rodriguez, 2007). En la Figura 6. 8, se puede observar que gran parte del Ecuador continental presenta un coeficiente de forma en un valor medio de 2 a excepción de varias zonas de la sierra que presentaría valores mayores a 4. Esto significaría que las series temporales de datos de vientos en las zonas de Costa y Oriente quedarían más fielmente representadas o reconstruidas por medio de la distribución Rayleigh.

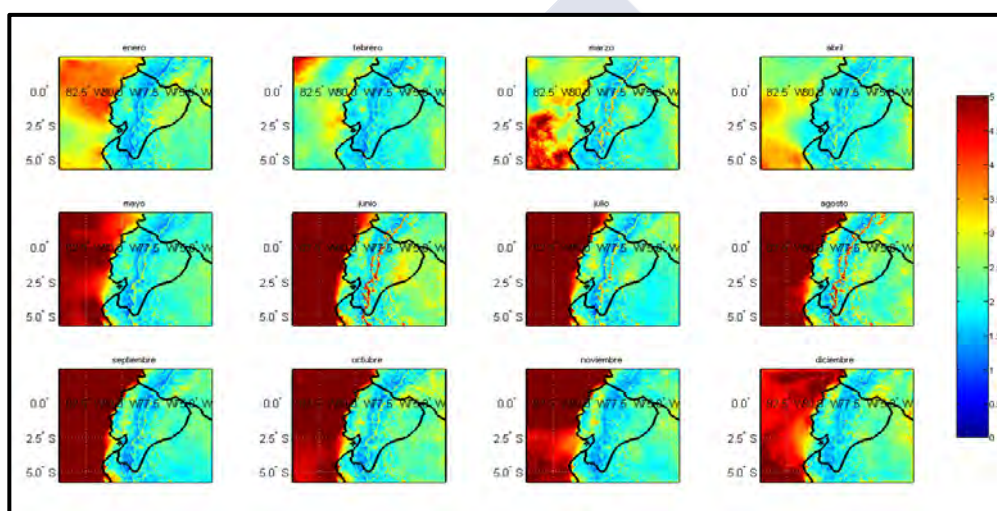


Figura 6. 8. Coeficiente K Mensual, distribución de Weibull

Básicamente, el coeficiente C de la distribución Weibull indica la velocidad media del conjunto de observaciones.(Weisser, 2003) En la Figura 6. 9, se muestra los valores del coeficiente C para todo el Ecuador Continental, se puede observar que el valor de estimado C guarda relación con lo representado en los mapas de la Figura 6. 5.

¹⁸ <http://es.mathworks.com/help/stats/wblfit.html>

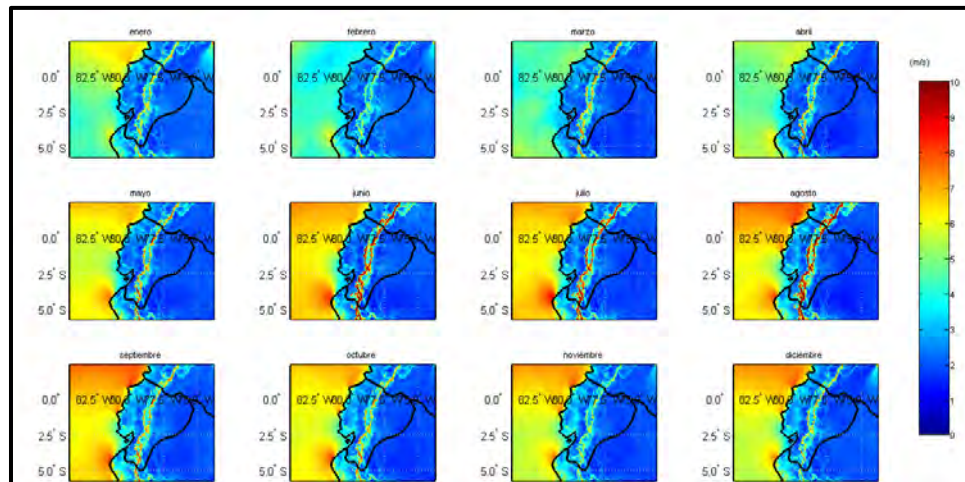


Figura 6. 9. Coeficiente C Mensual, distribución de Weibull

En la práctica, la mayoría de países sudamericanos estiman el potencial eólico disponible de su región por medio de los coeficientes de la distribución de Weibull. (Burton, Jenkins, Sharpe, & Bossanyi, 2011) (AL-Yahyai, Charabi, Gastli, & Al-Alawi, 2010) (Akdag & Dinler, 2009) (Peralta & Angeles, 2013). El cálculo de potencia media eólica por unidad de superficie, se realiza por medio de la ecuación:

$$D_p = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \quad (6.8)$$

Donde:

D_p : Potencial eólico disponible en W/m^2

Γ : Función de Gamma.

ρ : Densidad del aire en Kg/m^3 .

En la Figura 6. 10, se muestra la estimación de potencial eólico disponible a una altura de 10m para todo el Ecuador Continental. Observamos que, la región de la Sierra sería la zona con mayor potencial con un valor medio mayor a $70 W/m^2$. Es más, existen zonas puntuales en la región de la costa sobre todo en la parte norte con una perspectiva de potencial eólico interesante.

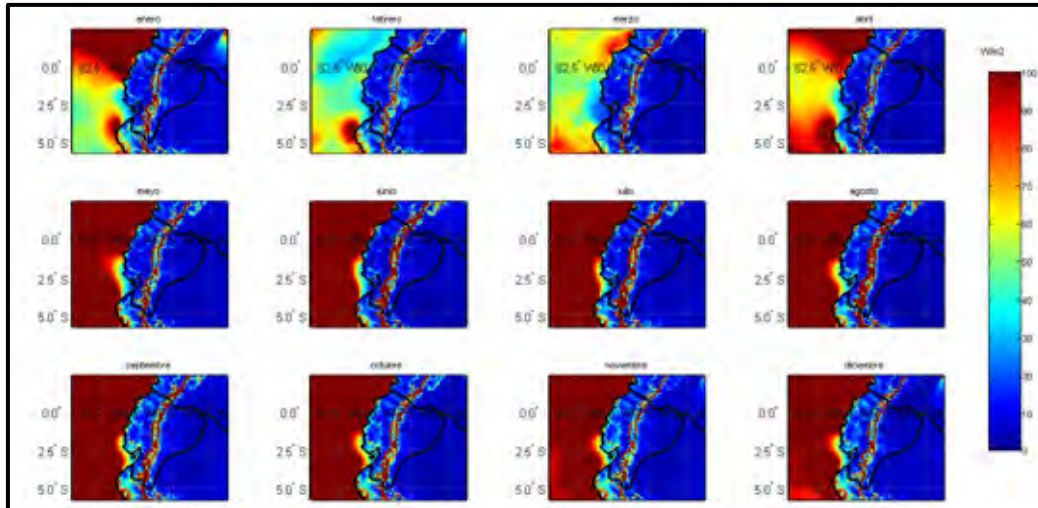


Figura 6. 10. Potencial Eólico Disponible estimado para el Ecuador (WRF)

6.6 VALIDACIÓN DE LAS SALIDAS DEL MODELO

Para la evaluación de las salidas de simulación del campo de viento generado por el modelo WRF, se emplearán las observaciones de estaciones en la zona geográfica de estudio, ya sean estas agroclimáticas, meteorológicas o radiométricas entre otras.

Para hacer la validación, se emplearon las 84 estaciones meteorológicas representativas seleccionadas en el capítulo 3. La base de datos consta de la velocidad del viento y dirección predominante medida a una altura de 10 metros, en diferentes escalas temporales según la institución de procedencia. La Figura 6. 11, muestra la ubicación de las estaciones de validación.

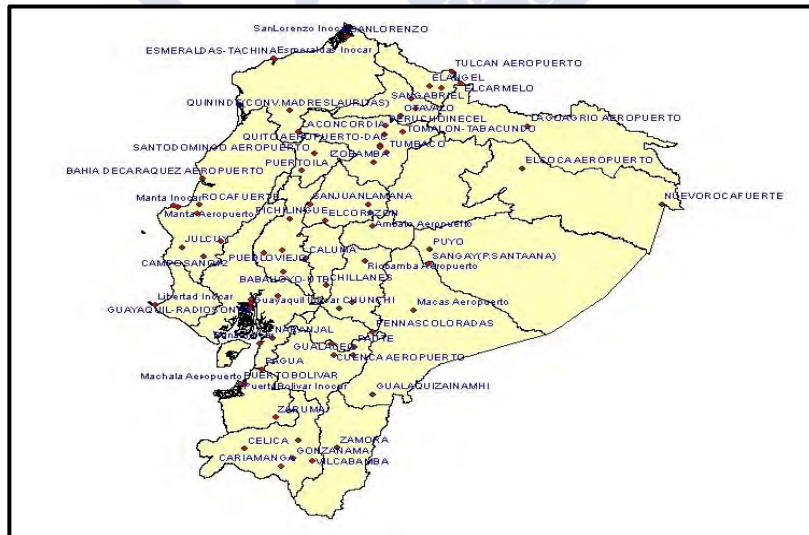


Figura 6. 11. Ubicación de las Estaciones Seleccionadas

Los estimadores estadísticos que se emplearán en esta sección serán los mismos explicados y utilizados en la validación de la radiación solar descrita en el capítulo 5.

6.6.1 Descripción de la metodología de validación

Para realizar el proceso de validación de los resultados obtenidos utilizando el modelo WRF de viento hemos asociado cada una de las medias mensuales de velocidad de las estaciones con el valor mensual correspondiente generada en el WRF en el punto de la cuadrícula más cercano, empleando la metodología explicada en capítulo 4.

De modo semejante a como se realizó en el caso de la validación de la radiación solar, utilizaremos como criterio de discriminación de estaciones la diferencia de altura entre la ubicación de la estación y el representado en la celda de correspondencia del modelo (Carvalho, Rocha, Gómez-Gesteira, & Santos, 2012). La Figura 6. 12 , muestra la diferencia entre los valores de altitud representados por el modelo y el real para cada estación.

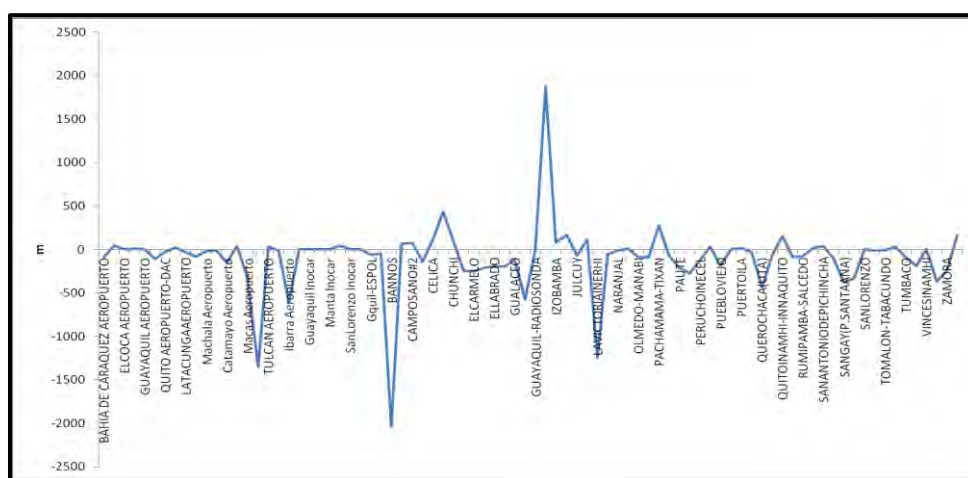


Figura 6. 12. Sesgo de Altura Modelo Estación

En la Figura 6. 13, se puede observar el histograma de sesgo en altura construido a partir de la diferencia de altura entre los valores del modelo y la estaciones. Las fluctuaciones de alturas pueden ser representadas por una distribución normal. El valor medio del sesgo se encuentra en -91.96 metros con una desviación estándar de 393.192 metros. Aplicando el criterio de 2σ reducimos el conjunto de estaciones válidas para ser empleadas en la validación a un total de 74.

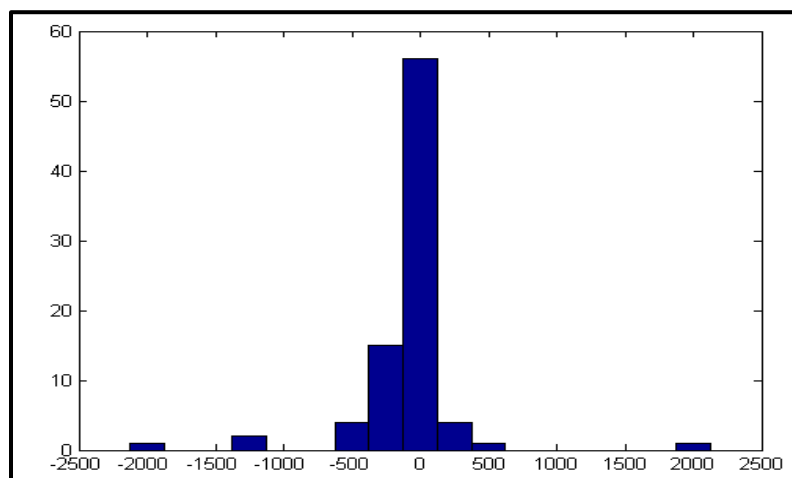


Figura 6. 13. Histograma del Sesgo Altura Modelo vs Estación

En la siguiente sección, se muestran los resultados de la validación obtenidos empleando solamente las 74 estaciones filtradas. Además, de una explicación del estudio estadístico realizado incluyendo los gráficos que resumen estos resultados.

6.6.2 Resultados de Validación

Se ha realizado un estudio estadístico para obtener resultados numéricos representativos del error cometido en la predicción de la velocidad y dirección del viento por parte del WRF a partir de las estaciones representativas. (Carvalho, Rocha, Gómez-Gesteira, & Santos, 2012). Importante hacer notar que existen algunos problemas asociados a los datos reales: El primero es que, si bien se cuenta con un número grande de estaciones representativas, las series de tiempo proporcionadas o los datos facilitados no cuenta con la robustez, confiabilidad o calidad adecuada en varias estaciones. Otro aspecto a considerar es que las fuentes de información provienen de tres entidades diferentes con distintos mecanismos de gestión de datos, trayendo consigo diferentes forma de errores propios de la manipulación de sus series de tiempo.

6.6.2.1 Validación de la Velocidad de Viento

Con el fin lograr una mejor interpretación del comportamiento de los resultados del modelo, en la Figura 6. 14 , se presenta la correlación entre los registros de velocidad de las observaciones (eje y) frente a la velocidad estimada por el WRF (eje x). En esta figura se puede apreciar que existe una relación bastante lineal en la Sierra. El mismo comentario puede ser aplicado a la zona de costa aunque en un grado ligeramente menor. Desgraciadamente, en la región del Oriente no es posible concluir por la poca información existente de estaciones de la zona.

Otro punto de interés se relaciona con el origen de los datos. Como se aprecia en la Figura 6. 15, existe un mejor grado de ajuste entre los datos observados y los modelos cuando se clasifican la observaciones en función de sus institución de origen. El modelo ajusta mejor sus salidas a las observaciones de la DGAC, en segundo lugar el INAMHI y por ultimo con ajuste pobre con las observaciones del INOCAR.

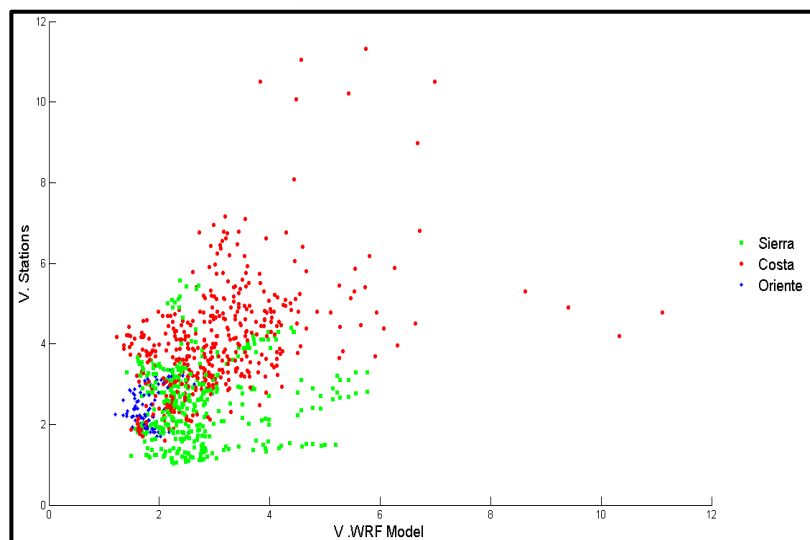


Figura 6. 14. Valores de Velocidad de Viento, WRF vs Estaciones

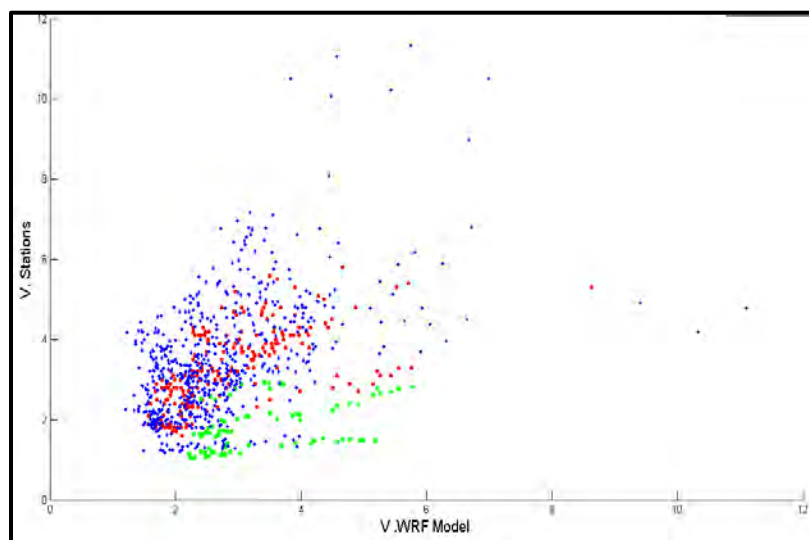


Figura 6. 15. Valores de Velocidad de Viento, WRF vs Estaciones por Institución
DGAC: rojo, INOCAR: verde, Inamhi: azul

En la Tabla 6.4, podemos observar los resultados del cálculo de errores para el promedio de velocidad Anual para todo el conjunto de estaciones. Los valores del BIAS muestran que el modelo tiende a subestimar la media anual de velocidad de viento en un valor de -0.55 m/s. De igual manera, los valores MAE y RMSE nos indican que la validez del modelo se encuentra por encima del 60% aproximadamente. Es evidente que la región Sierra presenta los errores más altos de predicción y son producto a la gran variación geográfica existente en la zona. (Detalle en el Anexo 17)

Tabla 6. 4. Estimadores Estadísticos para la Velocidad Media Anual

Estimador	Ecuador	Costa	Sierra	Oriente
BIAS	-0.55	-0.52	-0.93	-0.62
MAE (%)	32.56	33.59	27.22	33.43
RMSE (%)	46.01	47.89	34.16	46.15

Lo dicho en el párrafo anterior, corresponde al análisis de todo el conjunto de estaciones. Un análisis más detallado considerando el origen de los datos se presenta en la Tabla 6.5, donde se puede apreciar como el grado de subestimación aumenta principalmente en las estaciones del INAMHI y DGAC que engloban las tres regiones. En términos generales, la agrupación de las observaciones por su origen permite el incremento de algún error sistemático propio de la medición, no obstante contribuye a reducir la dispersión muestral tal como se lo demuestra en la disminución de los valores del MAE y RMSE.

Tabla 6. 5. Estimadores Estadísticos para la Velocidad Media Anual por Institución

Estimador	INAMHI	DGAC	INOCAR
BIAS	-0.89	-0.84	-0.70
MAE (%)	28.00	23.48	31.25
RMSE (%)	35.13	28.97	44.18

En la Figura 6. 16, se observan los valores del BIAS mensual obtenidos para las observaciones de cada Institución. Es claramente identificable la presencia de un BIAS positivo con mayor significancia en Junio a Noviembre con un valor medio de 1.5m/s. Los resultados obtenidos con las estaciones del INAMHI e DGAC presentan un BIAS negativo con un valor medio -0.79m/s y -0.33m/s respectivamente. En ambos casos presentan un grado de oscilación menor en comparación a lo obtenido con las estaciones INOCAR. De los anteriores resultados se deduce la posibilidad de la existencia de un error sistemático en las estaciones.

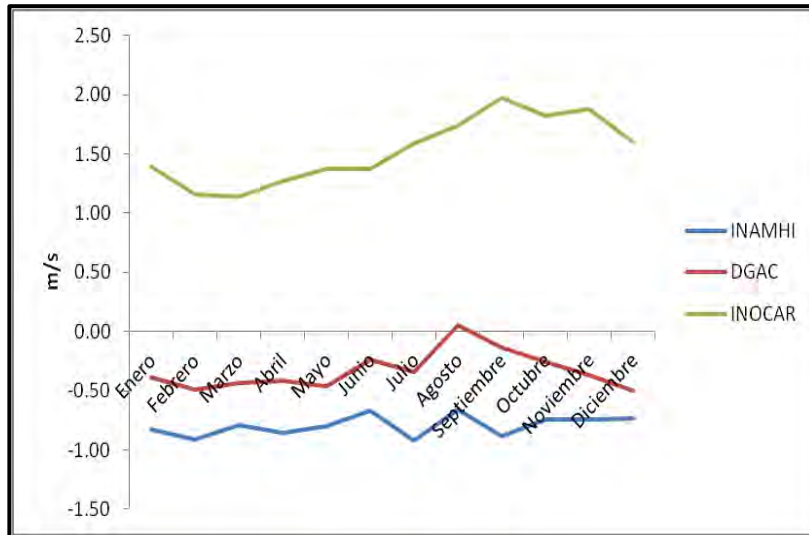


Figura 6. 16. Valores de Bías por Institución

En la Figura 6. 17, se muestra las graficas obtenidas para el BIAS mensual en función del origen de las observaciones y la región donde se encuentra la estación

Para el caso de la Costa como ya se comentó, las estaciones del INOCAR presentan los valores más altos de BIAS. En relación a las estaciones del INAMHI y DGAC ambas mantienen la misma tendencia en su comportamiento, se puede observar como gradualmente el BIAS tiende a disminuir desde de Junio en el caso de INAMHI hasta presentar un leve grado de sobrestimación en Noviembre. En igual forma los resultados con las estaciones DGAC con una mayor notoriedad en el grado de sobrestimación desde el mes de Junio.

En la región Sierra, se puede apreciar que el BIAS no presenta tendencia alguna para ninguna de la Instituciones. Es obvio que el error dependerá de las condiciones geográficas y climáticas locales.

Como último, en la región del Oriente, tampoco se aprecia una tendencia en el BIAS, pero presenta valores menores en comparación con los registrados en la Sierra.

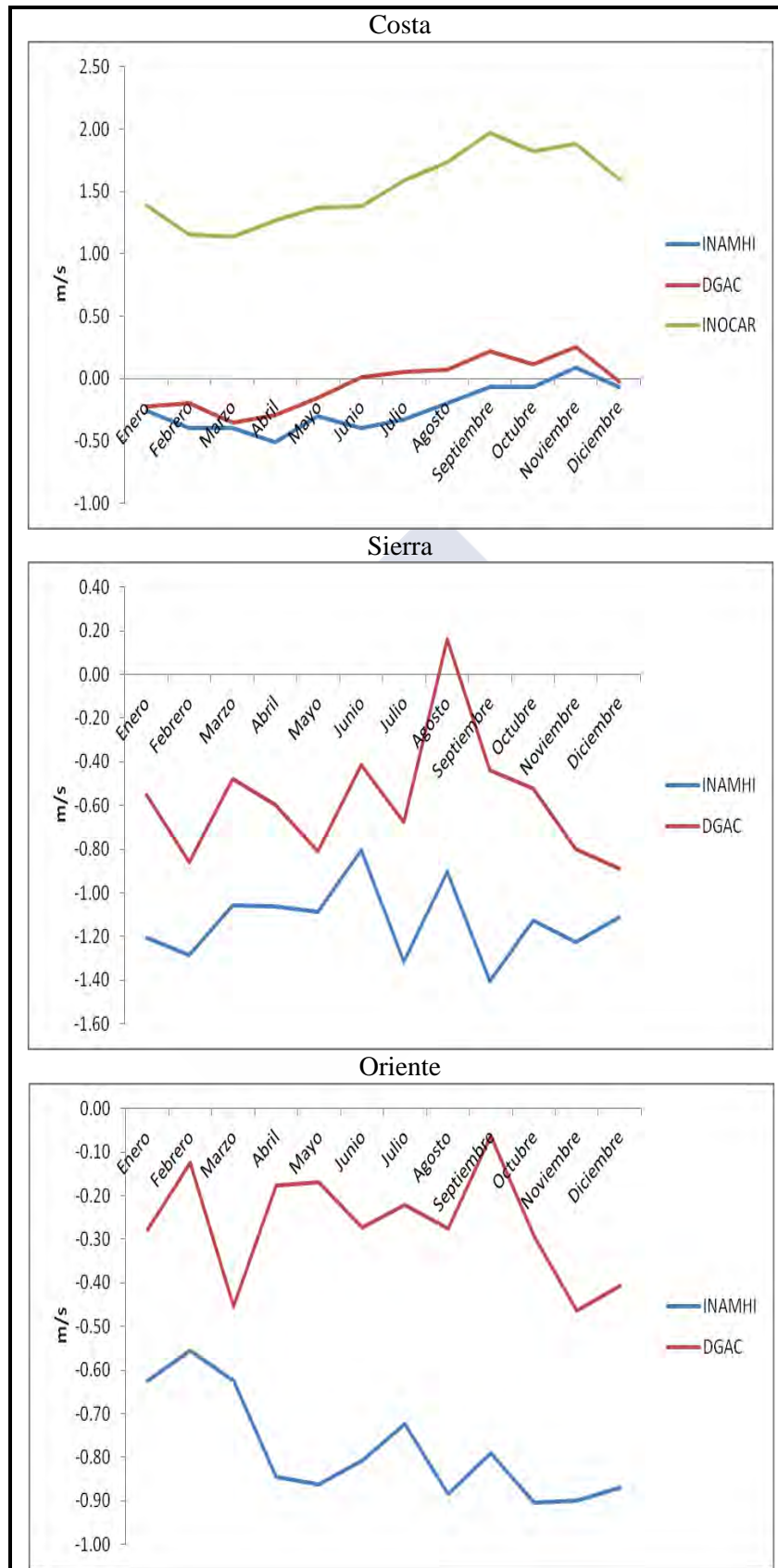


Figura 6. 17. Valores de Bías por Institución y Región

En la Tabla 6. 6, se presenta el resumen de los estimadores estadísticos por Institución. El INAMHI y DGAC presentan valores medios de MAE de 30% y 20% y RMSE son 40% y 35% respectivamente. Caso aparte son las estaciones del INOCAR que presenta un MAE 95% y un RMSE de 85%. Para concluir las estaciones que presentan mejor grados de ajustes corresponde a los datos del DGAC con r promedio de 0.6, tanto el INAMHI y el INOCAR presenta un valor de r promedio de 0.4.

A partir de las Tablas 6.7, 6.8 y 6.9, podríamos resumir que en la región costa el modelo presenta una mejor precisión en la estimación de la velocidad de viento los valores MAE y R se mantiene por debajo de 35% y los del RMSE por debajo de 50%. Excepto con las estaciones del INOCAR que presenta valores de MAE y RMSE por encima del 80%. En la región de la Sierra, el modelo presenta un de error de predicción por debajo del 30% y 35% en los valores del MAE y el RMSE respectivamente. Como ultimo la región del oriente muestra valores de MAE por debajo del 35% y valores inferiores 25% en el caso del RMSE. Por último es conveniente notar, que los mejores resultados de validación se obtienen con las observaciones de DGAC en cualquiera de las tres regiones analizadas.

En la Figura 6. 18, se puede apreciar que la zona de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Humedo. Los resultados del modelo presentan un ajuste bueno con las observaciones. De igual forma queda claro que en el clima Tropical Megatérmico Húmedo se presentan los peores ajustes. Apenas un 32% del total de estaciones presenta un r^2 mayor a 0.6, siendo la región Sierra la q tiene el mayor número con 14 estaciones.

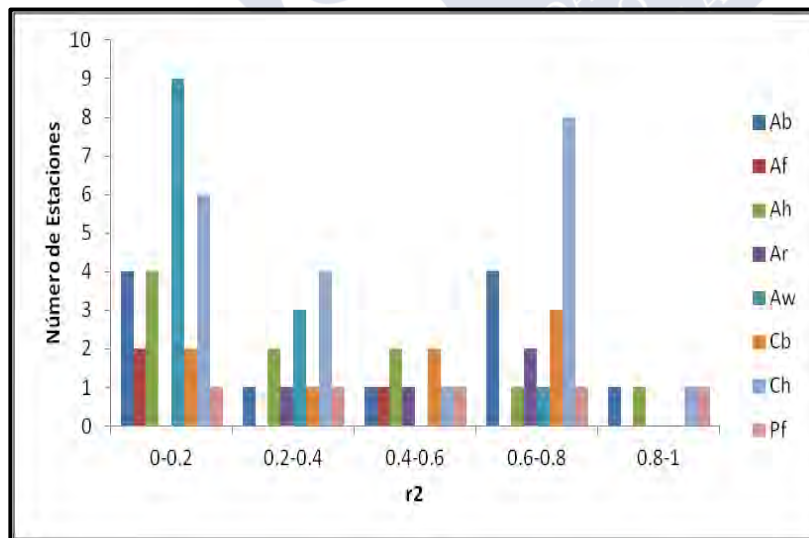


Figura 6. 18. Estaciones por rango de R^2 y tipos de Clima

Tabla 6. 6. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución

Estimador	Institución	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BIAS	INAMHI	-0.82	-0.91	-0.79	-0.85	-0.80	-0.67	-0.92	-0.66	-0.89	-0.74	-0.75	-0.73
	DGAC	-0.39	-0.49	-0.43	-0.42	-0.46	-0.24	-0.34	0.05	-0.14	-0.26	-0.37	-0.50
	INOCAR	1.39	1.15	1.14	1.27	1.37	1.38	1.59	1.73	1.97	1.82	1.88	1.60
MAE (%)	INAMHI	29.75	29.80	27.19	28.34	32.75	34.05	33.62	34.52	32.50	32.54	35.91	30.90
	DGAC	22.07	21.34	19.84	22.66	21.32	18.66	18.45	19.25	17.51	16.58	20.20	22.69
	INOCAR	92.25	80.75	80.76	86.91	89.23	86.34	97.75	103.06	115.83	106.76	109.79	97.51
RMSE (%)	INAMHI	36.77	37.29	33.30	33.60	39.36	45.19	41.64	44.71	41.62	42.21	47.76	39.18
	DGAC	25.29	23.84	24.26	27.36	26.35	26.54	26.24	28.09	24.00	22.33	26.85	28.68
	INOCAR	84.13	72.86	69.81	79.09	81.13	78.66	88.26	90.34	102.08	94.07	95.79	87.67
r	INAMHI	0.43	0.45	0.52	0.50	0.49	0.53	0.56	0.57	0.49	0.40	0.18	0.36
	DGAC	0.54	0.50	0.56	0.52	0.60	0.72	0.72	0.77	0.75	0.73	0.59	0.52
	INOCAR	0.30	0.24	0.28	0.27	0.40	0.42	0.46	0.50	0.50	0.50	0.54	0.53

Tabla 6. 7. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución, Región Sierra

Sierra													
Estimador	Institución	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BIAS	INAMHI	-1.20	-1.29	-1.06	-1.06	-1.09	-0.81	-1.32	-0.90	-1.40	-1.12	-1.23	-1.11
	DGAC	-0.55	-0.86	-0.48	-0.60	-0.81	-0.42	-0.68	0.16	-0.44	-0.52	-0.80	-0.89
MAE	INAMHI	29.64	29.40	26.92	29.10	32.33	35.23	33.63	33.42	31.65	29.36	31.40	28.43
	DGAC	23.85	22.92	15.41	20.44	20.20	15.10	16.73	17.13	15.61	14.08	23.90	24.75
RMSE	INAMHI	35.31	35.34	32.01	33.88	36.13	45.72	39.81	43.03	36.69	34.67	36.34	34.40
	DGAC	21.59	20.77	15.30	20.46	18.86	14.19	16.91	20.70	14.30	13.70	20.98	23.28
r	INAMHI	0.24	0.22	0.32	0.29	0.36	0.36	0.41	0.43	0.37	0.31	0.20	0.29
	DGAC	0.57	0.87	0.70	0.74	0.87	0.82	0.81	0.75	0.87	0.92	0.82	0.55

Tabla 6. 8. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución, Región Costa

Costa													
Estimador	Institución	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BIAS	INAMHI	-0.25	-0.40	-0.40	-0.51	-0.30	-0.40	-0.32	-0.19	-0.07	-0.07	0.09	-0.07
	DGAC	-0.23	-0.19	-0.35	-0.30	-0.15	0.01	0.05	0.07	0.22	0.12	0.25	-0.02
	INOCAR	1.39	1.15	1.14	1.27	1.37	1.38	1.59	1.73	1.97	1.82	1.88	1.60
MAE	INAMHI	31.64	32.94	28.46	25.83	33.29	32.76	34.89	36.37	34.50	37.65	44.18	34.39
	DGAC	22.27	22.91	26.73	28.71	25.59	25.66	23.01	22.70	19.85	18.81	17.02	23.22
	INOCAR	92.25	80.75	80.76	86.91	89.23	86.34	97.75	103.06	115.83	106.76	109.79	97.51
RMSE	INAMHI	41.66	43.42	37.00	32.95	44.97	46.55	46.80	49.56	50.77	53.85	64.69	47.29
	DGAC	19.00	18.02	22.00	23.27	23.44	26.59	25.04	24.09	22.69	20.00	21.35	22.99
	INOCAR	84.13	72.86	69.81	79.09	81.13	78.66	88.26	90.34	102.08	94.07	95.79	87.67
r	INAMHI	0.13	0.12	0.18	0.30	-0.04	-0.16	-0.22	-0.18	-0.01	-0.07	-0.21	-0.02
	DGAC	0.39	0.32	0.09	0.29	0.26	0.34	0.38	0.42	0.50	0.54	0.54	0.33
	INOCAR	0.30	0.24	0.28	0.27	0.40	0.42	0.46	0.50	0.50	0.50	0.54	0.53

Tabla 6. 9. Valores de los estimadores Estadísticos Mensuales por Institución, Región Oriente

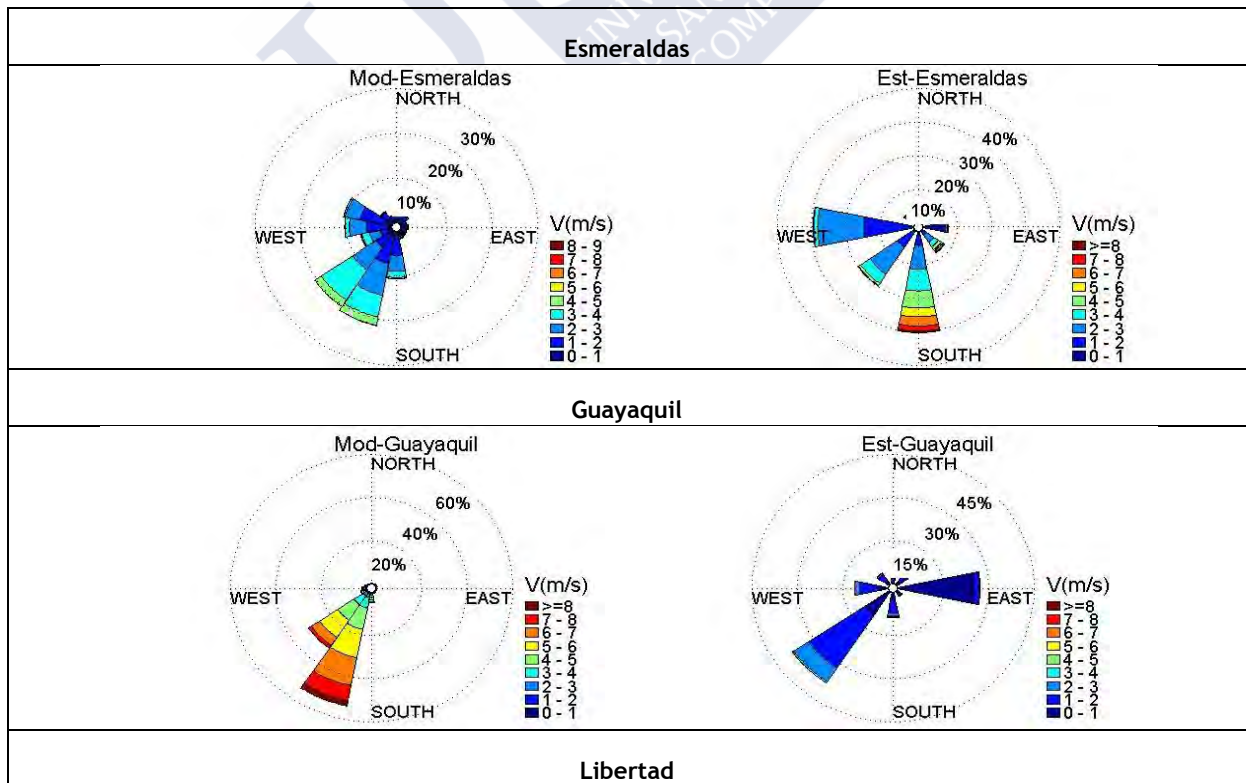
Oriente													
Estimador	Institución	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BIAS	INAMHI	-0.62	-0.56	-0.62	-0.85	-0.86	-0.81	-0.72	-0.89	-0.79	-0.90	-0.90	-0.87
	DGAC	-0.28	-0.12	-0.45	-0.18	-0.17	-0.27	-0.22	-0.27	-0.06	-0.29	-0.46	-0.41
MAE	INAMHI	23.94	21.34	24.38	32.66	33.26	31.78	29.27	34.44	30.43	33.00	33.03	32.80
	DGAC	16.97	13.96	17.89	16.47	15.80	14.16	13.91	17.97	17.90	18.78	16.69	16.11
RMSE	INAMHI	16.29	14.50	16.98	22.09	23.31	23.65	20.55	23.05	20.64	22.59	22.20	21.62
	DGAC	8.87	7.02	10.76	10.00	8.87	9.46	7.87	10.44	9.85	10.91	11.21	9.77
r	INAMHI	0.72	0.93	0.67	0.56	0.10	0.08	0.40	0.62	0.70	0.60	0.65	0.74
	DGAC	0.84	0.84	0.77	0.31	0.00	-0.92	-0.08	-0.78	-0.51	0.17	0.70	0.90

6.6.2.2 Resultados de la validación de la Dirección de Viento

A pesar que no se ha tenido acceso a las series de tiempo de dirección de viento por parte de la DGAC, INAMHI e INOCAR si disponen de la información lo cual nos va a permitir realizar al menos un análisis cualitativo de la predicción de la dirección del viento por parte del modelo.

La metodología de evaluación para determinar el error en la dirección de viento se basa en el cálculo del RMSED y BIASD a partir de los datos de dirección en toda la serie de tiempo construida por el modelo y la registrada por medio de observaciones. (ElAlimi, Maatallah, Dahmouni, & Nasrallah, 2012) (MÉNDEZ, 2009). Ahora bien, la información proporcionada solo corresponde al porcentaje de la dirección predominante para 8 direcciones de viento (Anexo 18). En vista de ello, se ha procedido a realizar un cálculo equivalente al BIAS, para lo cual previamente se ha construido la distribución de frecuencia en 8 direcciones de viento de las series de tiempo del modelo para los puntos de ubicación. Los resultados obtenidos deben por tanto considerarse solamente de carácter cualitativo o referencial.

Para el caso de las estaciones del INOCAR, el diferente periodo de registros entre sus series y las realizadas por las simulaciones del modelo tampoco permite un análisis cuantitativo del error en la dirección de la velocidad. No obstante, por medio de la Figura 6.19, se puede extraer algunas ideas del comportamiento de la dirección del campo de viento de modo cualitativo. Como conclusión, parece que el modelo está en capacidad de reproducir el comportamiento de la dirección predominante del viento en algunas estaciones como: Esmeraldas, Guayaquil y San Lorenzo



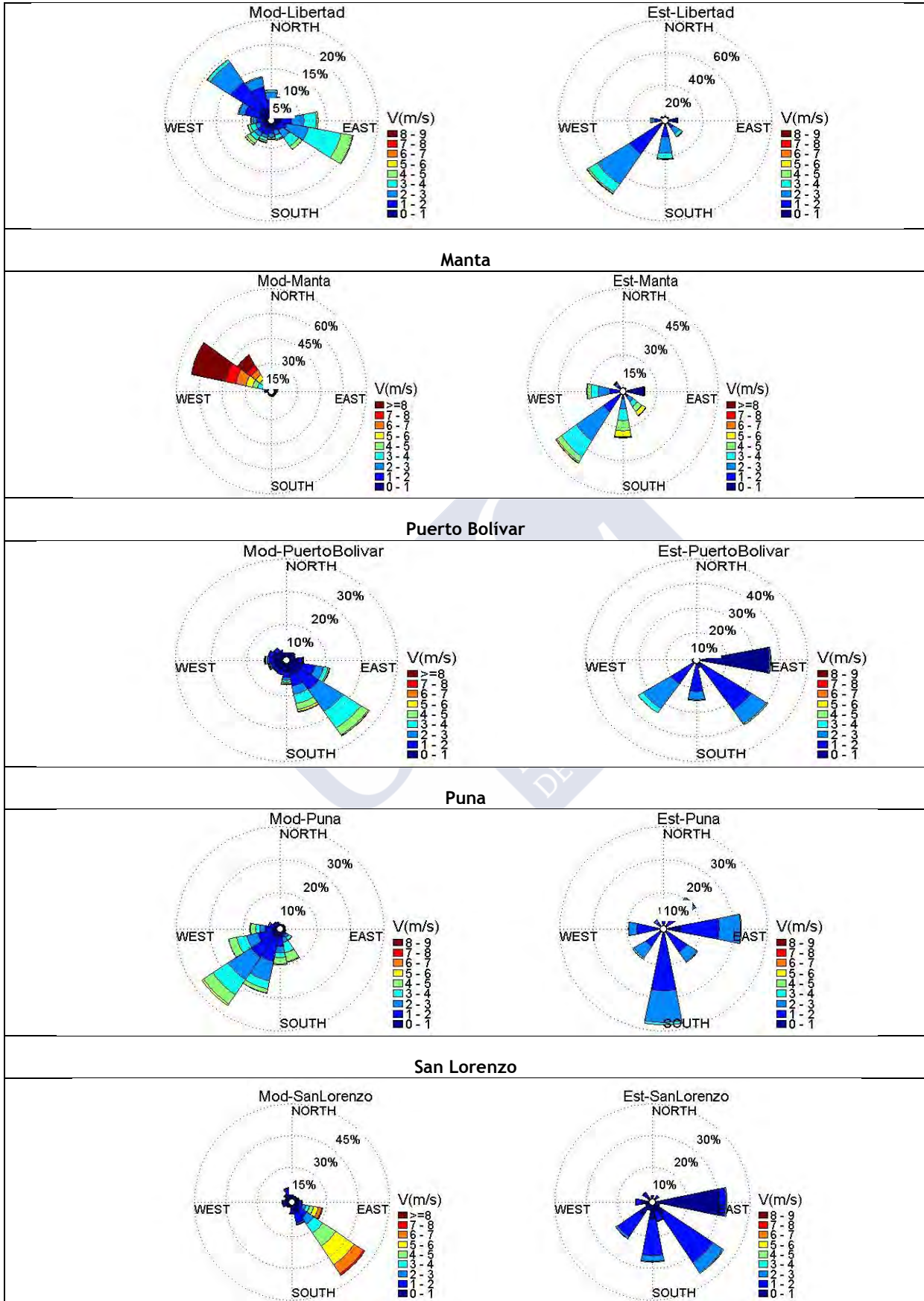


Figura 6. 19. Rosas de Viento: Modelo - Observaciones, Inocar

En la Figura 6. 20, se puede apreciar como para la estaciones de INAMHI, es notorio que en la región Sierra es donde el modelo presenta mayores problemas al momento de representar la dirección del viento. Para complementar este análisis la Figura 6. 21, muestra la distribución del BIAS por zona climática. Las estaciones que presentan BIAS más elevados se encuentran en la zona Ecuatorial Mesotérmico Semi-Humedo, principalmente en la provincia de Loja y las estribaciones de la cordillera de los Andes.

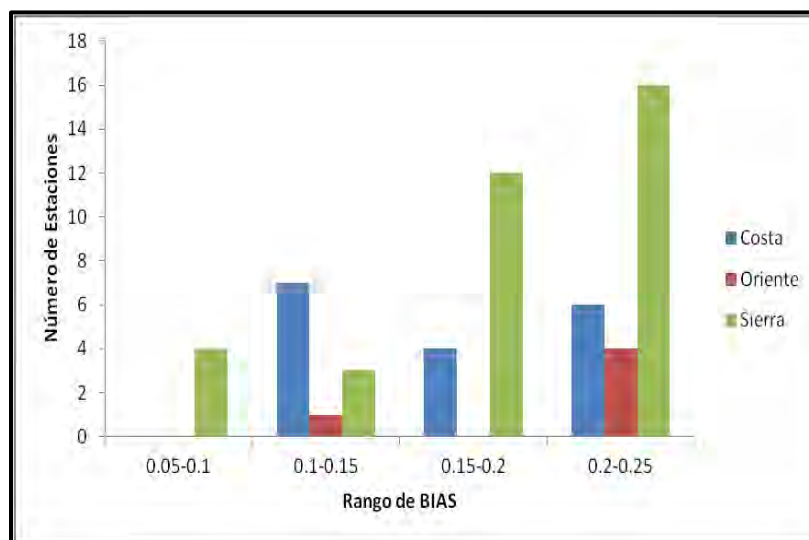


Figura 6. 20. Bias Referencial de la Dirección Predominante por Región

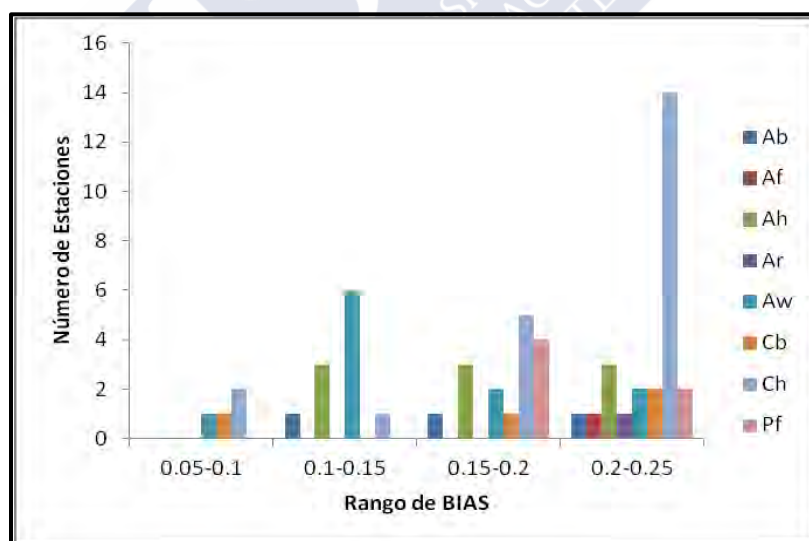


Figura 6. 21. Bias Referencial de la Dirección Predominante por Clima

6.7 CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado la evaluación o validación de los resultados obtenidos de las simulaciones del campo de viento para la región continental del Ecuador.

- A partir de la metodología seleccionada para selección días tipos se ha podido reproducir el comportamiento del campo de viento en la región Ecuador de

forma fiable y con una reducción considerable en el tiempo de trabajo producto a la reducción del año característico a tan solo 155 días.

Los resultados obtenidos permiten, por un lado, validar la configuración seleccionada de WRF con observaciones, mientras que por otro, permite obtener una descripción de la del comportamiento espacial y temporal del campo de viento en el Ecuador. A partir de:

- Según la validación del modelo de WRF con observaciones en las estaciones meteorológicas, se puede considerar que el modelo reproduce el comportamiento del campo de viento de forma razonable, si bien tiende a subestimar la velocidad del viento independientemente de la región geográfica.
- Los resultados de la validación mostraron que el modelo en términos generales tiende a subestimar los datos observados. Los valores absolutos de la diferencia muestran una tendencia creciente con la complejidad del terreno. Una posible interpretación va asociada a una deficiente descripción topográfica en alguna de las celdas de dominio del modelo.
- El desarrollo del campo de viento parece no verse afectado por las zonas climáticas. Los resultados mostrados que la zona climática que presenta los mejores ajustes es la Ecuatorial Mesotérmico Semi-Humedo.
- Incluso cuando las velocidades viento presentan una predicción buena y un ajuste adecuado con las observaciones puede generarse grandes errores en la dirección del viento. A bajas velocidad como es el caso de la región costa el modelo lograr reproducir la dirección del viento.
- El modelo aún cuando entrega valores referenciales, logra delimitar zonas que potencialmente podrían ser aptas para el desarrollo de proyectos eólico, principalmente en la región Sierra a una altitud mayor de 1000 m sobre todo en la zona Sur. Además se ha localizado puntos aislados en el perfil costero de las provincias de Esmeraldas y Manabí.
- Las zonas climáticas con un potencial eólico mayor a 50 W/m^2 en promedio anual corresponden al Ecuatorial de Alta Montaña y menor grado a la zona Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo.
- En la práctica los errores de predicción pueden ser producto de la complejidad de terreno y no se puede concluir que sean producto de alguna parametrización seleccionada.

Como línea de trabajo futuro incrementar la resolución de la malla para la obtención de datos más precisos, aplicando anidamientos para zonas geográficas de interés de potencial. Finalmente es importante continuar la validación con los nuevas ubicaciones y series de tiempo que puedan existir, adicionalmente incorporar nuevos puntos de validación correspondientes en función a las variaciones o regímenes climáticos o geográficos.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES GENERALES Y LINEAS FUTURAS

El objetivo final del presente trabajo fue desarrollar por medio de la simulación numérica una base de datos representada por medio de mapas validados de la radiación solar y del campo de viento para la evaluación del potencial del recurso solar y eólico en el Ecuador continental.

Clima y Geografía Local

Por su ubicación en la zona de convergencia intertropical la radiación solar y el campo de vientos en el Ecuador dependerán de los sistemas meteorológicos del Pacífico Sur y las perturbaciones del Caribe y Amazonia. Asimismo el comportamiento del campo de viento será influenciado por la presencia de la Cordillera de los Andes.

Información Meteorológica disponible

Los resultados obtenidos del inventario de las estaciones han permitido mostrar la poca simetría territorial de la red meteorológica. Adicionalmente se ha identificado un centralismo en el número de estaciones principalmente en las provincias de Pichincha y el Oro. Por el contrario, todavía existen zonas con una mínima cobertura de monitoreo principalmente en las provincias de la región del Oriente.

Del total de estaciones registradas a nivel nacional apenas un 30% cumplen las condiciones necesarias para garantizar una confiabilidad en los datos de las series de tiempo generadas a partir de las observaciones. Un amplio número de los registros de las series de tiempo presentaban inconsistencias o errores propios de la gestión de los datos.

Las series de tiempo validas de heliofanía corresponden a 23 estaciones representativas con un periodo de registro mayor de 15 años. Por otra parte, la información valida de la series de tiempo de velocidad corresponden a 85 estaciones, las cuales en su mayoría solo presentaban valores medios mensuales de las observaciones.

Modelo Numérico

Se ha seleccionado los dominios de anidamiento y sus diferentes resoluciones basado en fines de uso energético. De igual manera la adaptación, configuración y selección de parametrizaciones y puesta en operación del modelo WRF guarda relación directa con las características climáticas y geográficas del Ecuador continental estudiadas en la presente tesis.

Los scripts desarrollados para procesar los archivos de las simulaciones permiten el análisis y evaluación de las salidas del modelo de forma rápida. Esto nos permite estimar el

comportamiento de una variable en cualquier punto del dominio y para cualquier instante tiempo.

Radiación Solar

Los resultados de la validación demuestran que el modelo tiende a sobreestimar la radiación en todo el Ecuador continental en al menos 2 kWh/m².día. Esto representa un RMSE superior al 50%. La zonas con mejores resultados de predicción corresponde a la región de la Sierra específicamente las zonas de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Humedo y Ecuatorial de Alta Montana.

En el caso particular de la radiación solar los resultados del BIAS permiten identificar la presencia un error sistemático en la predicción, Concretamente, los valores del error presentan una fuerte correlación con la nubosidad local y por tanto puede ser relacionados a la capacidad que tenga el modelo a representar el comportamiento de las nubes.

Viento

Los resultados de la validación de viento demuestran una clara tendencia creciente del error con la complejidad del terreno. En términos generales para el caso del campo del viento el modelo tiende a subestimar los valores en todo el territorio continental con un valor medio de BIAS de -0.5 m/s en promedio el RMSE fue menor del 35%.

La evaluación de la velocidad de viento indica que las simulaciones numéricas realizadas con el modelo WRF reprodujeron de mejor manera, cuantitativa y espacial, el comportamiento de campo de viento en la región Costa y Oriente.

Líneas Futuras

Desarrollo de estudios de reordenamiento de espacial de las estaciones meteorológicas, incluyendo trabajos relacionados al control de calidad, estandarización, homologación y homogenización de la información disponible a nivel nacional.

Continuar el desarrollo de protocolo de automatización e interface de comunicación entre el Matlab y WRF para el análisis de la salidas del modelo tanto de forma grafica como numérica.

Estudios de sensibilidad relacionados a:

- ✓ Evaluar la capacidad que tienen las distintas parametrizaciones disponibles en especial la de Convección de Cumulus para reproducir el comportamiento de las nubes en la región del Ecuador.
- ✓ Incrementar la resolución del dominio de trabajo por medio de anidamientos en zonas de especial interés de recurso con el fin de mejorar los resultados de la simulación incorporando los efectos topográficos locales.

General Conclusions and Future Lines of Research

The ultimate goal of this work was to develop by means of numerical simulation database represented by solar radiation and wind maps validated for the evaluation of the potential of solar and wind resource in continental Ecuador.

Local Climate and Geography

Due to its location, at the ZCIT, solar radiation and wind in Ecuador will depend on the weather systems of the South Pacific and the Caribbean and Amazonia disturbances. Also the behavior of the wind field will be influenced by the presence of the Andes.

Weather information available

The results of the inventory of the stations allowed showing little spatial symmetry of the meteorological network. Additionally centralism has identified a number of stations mainly in the provinces of Pichincha and El Oro. On the contrary, there are still areas with a minimal monitoring coverage mainly in the provinces of the eastern region.

Of all registered stations nationwide only 30% met the necessary quality standards of data time series generated from observations conditions. A large number of records of the time series showed inconsistencies or mistakes in data management.

The time series of sunlight valid correspond to 23 representative stations with a longer period of 15 years. Moreover, the valid information of wind speed time series corresponds to 85 stations which had mostly mean monthly values of the observations.

Numerical Model

The nested domains and the different resolutions were based on a end-use energy applications. On the same way, adaptation, configuration and selection of settings and operation of the WRF model keeps direct relation to climatic and geographical characteristics of continental Ecuador studied in this thesis.

The developed scripts to process the output file simulations enable the analysis and evaluation of model outputs in fast fashion. This allows us to estimate the behavior of any variable at any point of the domain and for any time instant.

Solar Radiation

The validation results show that the model tends to overestimate the radiation throughout the continental Ecuador in at least 2 kWh / m² by day, this represents a RMSE of 50%. The areas with better prediction results corresponds to the region of the mountain range specifically the climate zones Mesothermal Equatorial and Equatorial Semi-Wet High Mountains.

In the particular case of solar radiation the BIAS results allow to identify the presence a systematic error in the prediction, definitely, the error values have a strong correlation with the local cloudiness and therefore can be related to the ability of the model to represent the behavior of clouds.

Wind Resource

The validation results for wind show a clear increasing trend of the error with the complexity of the terrain. Overall for the case of wind resource model tends to underestimate the values across the mainland with an average value of BIAS -0.5 m/s on average the RMSE is lower than 35%.

The evaluation of the wind speed indicates that numerical simulations with the WRF model reproduced better quantitative and spatial behavior of the wind at the East and Coast regions.

Future Lines of Research

- Development of spatial rearrangement studies for meteorological stations, also studies of quality control, standardization, certification and standardization of information available on a national level.
- To continue the development of automation and protocol communication interface between Matlab and WRF for the analysis of model outputs both graphically and numerically
Sensitivity studies related to:
- Evaluate the ability of the various settings available especially the Cumulus convection to reproduce the behavior of clouds in the region of Ecuador.
- Increase the resolution of the work domain by nesting in areas of special interest to appeal to improve the results of simulation incorporating local topographic effects.

NOMENCLATURA

Símbolo	Definición	Unidades
ρ_g	Albedo	
G_b	Radiación solar Directa	kWh/m ² dia
G_d	Radiación solar Difusa	kWh/m ² dia
G_T	Radiación solar total o global	kWh/m ² dia
I	Irradiación	W/m ²
V	Velocidad	m/s
H_r	heliofanía relativa	
n	Registro de Heliofanía diaria	
N	Horas de Sol Teóricas diarias	
d	Día del año seleccionado	
ij	Punto de coordenadas en el mapa	
$\mu_{SSDR(d)}$	Medias diarias históricas de los mapas	kWh/m ² dia
(N)	Número de horas de sol	
H_c	Radiación global recibida en un día claro	
\bar{H}	Radiación media	
H_o	radiación solar extraterrestre	
r	Coefficiente de Correlación Lineal	
V_{MA}	Mapa de Velocidad Media de la combinación aleatoria	m/s
V_{Ma}	Mapa con índice relacionado a la fecha del día aleatorio	m/s
Alt	Número de selecciones aleatorias	
V_M	Velocidad media mensual	m/s
F_G	Distribución de frecuencia de toda la serie de datos	
F_A	Distribución de frecuencia de la serie aleatoria de datos	
Ind	Índice de Selección de combinaciones	
W	Representa los 16 sectores de la rosa de viento	
D_p	Potencial eólico disponible	W/m ²
ρ	Densidad del aire	Kg/m ³
Γ	Función de Gamma	



ABREVIATURA

AN	Estaciones Anemográficas
AP	Estaciones Agrometeorológicas
AR	Estaciones Aeronáuticas
ARW	Advanced Research WRF
ARWpost	Advanced Research WRF post-processing
BIAS	Sesgo
C	Costa
CAM-LW	Radiación de Onda Larga
CAM-SW	Radiación de Onda Corta
CE	Estaciones Climáticas Especiales
CEDEGE	Comisión de estudios de Desarrollo de la Cuenca baja del Río Guayas
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CLP	Capa límite planetaria
CNC	Comité Nacional del Clima
CO	Estaciones Climáticas Ordinarias
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
CORDELIM	Corporación para la Promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio
CP	Estaciones Climáticas Principales
CRS	Climatological Solar Radiation Model
CWEC	Centro Nacional de Investigación del Clima de Canadá
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
DRV	Distancia recorrida por el viento
<i>E</i>	Este
ECMWF	Centro de Predicción a Corto y Medio Plazo
EDI	Índice de Desarrollo de Energía
FAE	Fuerza Aérea Ecuatoriano
FERUM	Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal
GEM	The Global Environmental Multiscale Model
GFS	Global Forecast System
GFDL-LW	Eta Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GFDL-SW	Sistema de información geográfica
GIS	Gas licuado de petróleo
GLP	Índice de Desarrollo Humano
HDI	Integrated Forecast System
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IFS	Integrated Forecast System
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
INERHI	Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador
IRENA	Agencia Internacional de las Energías Renovables

LRSE	Ley de Régimen del Sector Eléctrico
MAE	Ministerio del Ambiente
<i>MAE</i>	Mesoscale Atmospheric Simulation System
MASS	Mean Bias Error
MEER	Ministerio de Electricidad y Energías Renovables
MICSE	Ministerio de Coordinación de los Sectores Estratégicos
MM5	5th generation Mesoscale Model
MRF	Medium Range Forecast Model
MRNNR	Ministerio de Recursos Naturales No Renovables
MYJ	Mellor-Yamada-Janjic
<i>N</i>	Norte
NE	Noreste
NW	Noroeste
NWP	Numerical Weather Prediction
O	Oriente
OGE	Optimización de Generación Eléctrica
OMM	Métodos de Observación Meteorológicos
PG	Estaciones Pluviográficas
PIB	Producto Interno Bruto
PREDESUR	Programa Regional para el Desarrollo del Sur
PV	Estaciones Pluvimétricas
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System model
RMSE	Mean Root mean square error
RRTM	Modelo Rápido de Transferencia Radiativa
<i>S</i>	Sur
S	Sierra
SE	Sur este
SIN	Sistema Nacional Interconectado
<i>SW</i>	Sur oeste
SW	Esquema de Radiación de Onda Corta de Goddard
W	Oeste
WMO	Organización Mundial de Meteorología
WPS	WRF Preprocessor System
WRF	Weather Research Forecasting Model
YSU	Yonsei University
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2013). *Balance Energético Nacional 2013*. Quito.
2. Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. (2014, enero). *PLAN ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL 2014 - 2017*. Quito.
3. REN21. (2014). *RENEWABLES 2014: GLOBAL STATUS REPORT*. Francia.
4. A. Ochoa, L. P. (2014). Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18.
5. A. Portela, M. C. (1991). Parametrización de la capa límite atmosférica en los modelos numéricos de pronóstico meteorológico. *Revistas Científicas Complutenses*.
6. Abal, G., D'Angelo, M., Cataldo, J., & Gutierrez, A. (2011). *Mapa solar del Uruguay*. Montevideo: Universidad de la República.
7. Agencia Internacional de Energía. (2012). *World Energy Outlook 2012*. Francia.
8. Akdag, S. A., & Dinler, A. (2009). A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Energy Conversion and Management*, 1761–1766.
9. Almoroxa, J., Benitob, M., & Hontoriaa, C. (2005). Estimation of monthly Angstrom–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. *Renewable Energy*, 931–936.
10. Alvarez, D. F. (2003). Aplicación de un Método de clasificación sinóptica a la península Ibérica. *Investigaciones Geográficas*, 27 - 45.
11. AL-Yahyai, S., Charabi, Y., Gastli, A., & Al-Alawi, S. (2010). Assessment of wind energy potential locations in Oman using data from existing weather stations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1428–1436.
12. Anderson, T., M, J. D., & Carson, J. (2006). A Typical Meteorological Year for Energy Simulations in Hamilton, New Zealand. *IPENZ engineering treNz*.
13. ANTON DRIESSE, D. T. (2002). A TEST OF SUEHRCKE'S SUNSHINE–RADIATION RELATIONSHIP USING A GLOBAL DATA SET. *Solar Energy*, 167–175.
14. Bakirci, K. (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2580–2588.
15. Barrett, B. S., Garreaud, R., & Falvey, M. (2009). Effect of the Andes Cordillera on Precipitation from a Midlatitude Cold Front. *Monthly Weather Review*, 3092-3109.
16. Barros López, J. (2010, 02). Atlas Climatológico del Ecuador. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
17. Bonfils Safari, J. G. (2010). A statistical investigation of wind characteristics and wind energy potential based on the Weibull and Rayleigh models in Rwanda. *Renewable Energy*, 2874 - 2880.
18. Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook*. Wiley.
19. Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., & Santos, C. (2012). A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind. *Environmental Modelling & Software*, 23 - 34.

20. Castillo, O. C., López, E. G., Arriaga, I. H., & Reyes, E. T. (2013). WIND POTENTIAL STUDY IN THE BAJA CALIFORNIA PENINSULA AND THE CARIBBEAN. *MEMORIAS DEL XIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*.
21. Castro, M. (2011). *Hacia una matriz energética diversificada en el Ecuador*. Quito: Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental, CEDA.
22. Castro, M. (2012). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Quito: Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental.
23. Celik, A. N. (2003). A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. *Renewable Energy* 29, 593–604.
24. Cellura M., Cirrincioneb G., et al. (2008). Wind speed spatial estimation for energy planning in Sicily: Introduction and statistical analysis. *Renewable Energy* 33, 1237–1250.
25. Cesar, B. O. (n.d.). *La Hidrogeología del Ecuador*. Quito: Inamhi.
26. CESGA. (2014). *Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)*. Retrieved 08 2014, from https://www.cesga.es/es/cesga/sobre_cesga
27. Chilingua Byron, Rosero Eduardo. (2011). *Informe Final:Producto 1: Línea Base de las Tecnologías Energéticas Componente 2: Estado del Arte de las Energías Renovables*. Quito: OLADE UNIDI.
28. CIE, Corporación para la Investigación Energética. (2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA*. Quito: CONELEC.
29. CNE, C. N. (2009). *Modelamiento de Recurso Solar y Eólico del Norte de Chile*. Santiago, Chile: Comisión Nacional de Energía (CNE).
30. Coello G. Javier, Morales T. Vanessa. (2010). *ESTUDIO MAPEO DE ENERGÍA Y CLIMA EN AMÉRICA LATINA*. Fundación Friedrich Ebert (FES).
31. Coiffier, J. (2011). *Fundamentals of Numerical Weather Prediction*. New York: Cambridge University Press,.
32. CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013 2022, Resumen Ejecutivo*. Quito.
33. CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022: Estudio y gestión de la demanda energética*. Quito.
34. Crawley, D. (1998). Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings? *ASHRAE Transactions*, 498–515. .
35. Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., . . . Hai, L. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 553–597.
36. Departamento de Geofísica, F. d. (2012). *Documentación Explorador Eólico Versión 2012*. Ministerio de Energía / GIZ / Universidad de Chile.
37. DMQ. (2011). *La Hora*. Retrieved 2014, from <http://www.lahora.com.ec/frontEnd/images/objetos/Plan.pdf>
38. Driesse, A., & Thevenard, D. (2002). A TEST OF SUEHRCKE'S SUNSHINE–RADIATION RELATIONSHIP USING A GLOBAL DATA SET. *Solar Energy*, 167–175.
39. Duda, M. (2008). *MMM: Mesoscale & Microscale Meteorology Division*. Retrieved 2014, from <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/tutorial/200807/WPS-run.pdf>

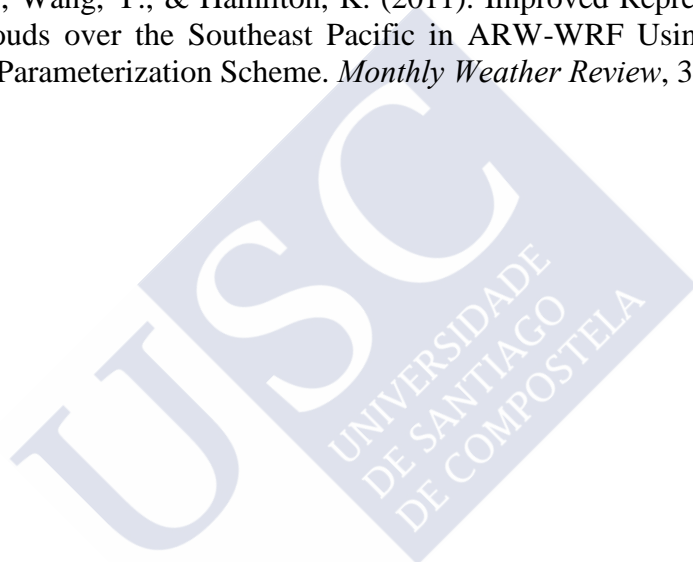
40. Dudhia, J. (1989). Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *Journal of the Atmospheric Sciences*.
41. Duffie, J., & Beckman, W. (n.d.). *Solar Engineering of Thermal Process* (2 ed.). Wiley.
42. Economía, R. (2013, 8 27). Ecuador usa 15% de su potencial hidroeléctrico. *El Telegrafo*.
43. ElAlimi, S., Maatallah, T., Dahmouni, A. W., & Nasrallah, S. B. (2012). Modeling and investigation of the wind resource in the gulf of Tunis, Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5466–5478.
44. Enio Bueno Pereira, F. R. (2006). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. INPE.
45. Fanego, V. L., Arias, J. R., Vazquez, D. P., & Pescador, J. T. (2011). Evaluation of the WRF model solar irradiance forecasts in Andalusia (southern Spain). *Solar Energy*.
46. FELS, M. D. (1991). The Simplified Exchange Method Revisited' An Accurate, Rapid Method for Computation of Infrared Cooling Rates and Fluxes. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*.
47. G. Abal, M. D. (2010). *Mapa Solar del Uruguay*. Montevideo: Universidad de la Republica.
48. Gallegos, H. G., A Roberti, G. R., & Sierra, V. (2003). Algunos Comentarios sobre el Modelo de Suehrcke y su aplicación en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7.
49. Gallegos, H. G., Righini, R., & Raichijk, C. (2005). PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DE AMÉRICA DEL SUR. *XIV Congreso Ibérico, IX Congreso Iberoamericano Energía <solar*. Vigo, Coruña, España.
50. Garreaud, R., & Fuenzalida, H. A. (2007). The Influence of the Andes on Cutoff Lows: A Modeling Study. *MONTHLY WEATHER REVIEW*(136), 1596-1613.
51. Gastón M, P. E. (2008). Wind resources map of Spain at mesoscale. Methodology and validation . Bruselas.
52. Glass, J. (2013, 10). Presentación: La matriz energética del Ecuador. Guayaquil: Vicepresidencia del Ecuador.
53. Global Atlas for renewable energy. (2014). *Overview of Solar and Wind Maps*. IRENA.
54. Gu, Y., Liou, K. N., Lee, W.-L., & Leung, a. L. (2012). Simulating 3-D radiative transfer effects over the Sierra Nevada Mountains using WRF. *Atmos. Chem. Phys*.
55. Guerrero-Higueras, A. G.-O.-O. (2012). Procesamiento paralelo de los pronosticos meteorologicos del modelo WRF mediante NCL. *Actas de las XXIII Jornadas de Paralelismo*, 55 - 60.
56. Guitiérrez, J. M., Cano, R., Cofiño, A., & Sordo, C. (2004). *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas*. Santander.
57. IDAE. (2005). *Proyecto OPET América Latina y Caribe: Informe Sintético - WP4 Ecuador*. España.
58. IDEAM, UPME. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eolica Colombia*. Bogota.
59. INAMHI. (2013, 02). *INOCAR*. Retrieved 2014, from http://www.inocar.mil.ec/erfen/imagenes/reuniones/20130117/INAMHI_ERFEN_20130117.pdf
60. INAMHI. (2013). Publicación Conmemorativa. *52 Años haciendo historia 1961 - 2013*. Quito.

61. Inamhi, G. d. (2014). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI*. Retrieved 2014, from <http://186.42.174.231/pronostico/modelos/wrfecu.pdf>
62. INAMHI, G. d. (2014). *Salidas segun el modelo WRF para la Cuenca del Paute*. Retrieved 2014, from Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI: <http://186.42.174.231/pronostico/modelos/wrfpaute.pdf>
63. INE, I. N. (1982). *Geografía Energética del Ecuador, Bases para la Caracterización energética de las Regiones Ecuatorianas*. Quito.
64. INEC, I. N. (2013). *Ecuador en Cifras*. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/division-politico-administrativa/>
65. INECCEL. (1981). *Estudio Del Potencial Solar y Eólico Del Ecuador*. Quito.
66. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013, 04 05). *Estadísticas Nacionales*. Retrieved from <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>
67. International Energy Agency. (2010). *Energy poverty. How to make modern energy access universal?* Paris: OECD/IEA.
68. International Energy Agency. (2013). *WORLD ENERGY OUTLOOK 2013*. Paris.
69. Jörg Bendix, K. T. (2011). EL NIÑO MEETS LA NIÑA – ANOMALOUS RAINFALL PATTERNS IN THE “TRADITIONAL” EL NIÑO REGION OF SOUTHERN ECUADOR. *Erdkunde*, 151-167.
70. Juan J. Ruiz, C. S., & Nogués-Paegle, J. (2010). WRF Model Sensitivity to Choice of Parameterization over South America: Validation against Surface Variables. *Monthly Weather Review*, 3342-3355.
71. Kalnay, E. (2003). *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge University Press.
72. Lara-Fanego, V., Ruiz-Arias, J. A., Pozo-Vázquez, A. D., & Tovar-Pescador, C. A. (2012). Evaluation Of DNI Forecast Based On The WRF Mesoscale Atmospheric Model For CPV Applications.
73. Lighezzolo, R. A. (2014). *Integración de modelos numéricos de predicción meteorológica en sistemas de alerta temprana a emergencias*. Cordova: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
74. Liou, K. N. (2002). *An Introduction to Atmospheric Radiation*. San Diego, California.
75. Maimouna Diagne, M. D. (2014). Post-processing of solar irradiance forecasts from WRF model at Reunion Island. *Solar Energy Volume 105*, 99–108.
76. Manlio F. Coviello, Unidad Energía y Recursos Naturales CEPAL, Naciones Unidas. (2013). Panorama Económico-Energético Mundial, Situación de la Región y Acceso a la Energía. *Estudio “Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe”*. Montevideo.
77. MEER, CONELEC, CENACE, CELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 2012-2021*. Quito.
78. MÉNDEZ, J. V. (2009). ANÁLISIS DEL EVENTO METEOROLÓGICO DEL 2007 RELACIONADO CON LA INUNDACIÓN DE TABASCO.
79. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador. (2013). *Resumen: Balance Energético Nacional 2013, Año Base 2012*. Quito.
80. Ministerio de energía y Minas del Perú. (2008). *Atlas eólico del Perú*. Lima.
81. Ministerio De Recursos Naturales No Renovables. (2011, 03 23). <http://www.recursosnaturales.gob.ec/>. Retrieved from <http://www.recursosnaturales.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/NORMAS-DE-CREACION-DEL-MRNNR.pdf>

82. Mlawer, E. T. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research*.
83. MRNNR. (2014, 05). *Ministerio de Recursos Naturales No Renovables*. Retrieved from <http://www.recursosnaturales.gob.ec/organigrama-del-mrnnr/>
84. MRNNR, M. D. (2011, 23 03). <http://www.recursosnaturales.gob.ec/>. Retrieved from <http://www.recursosnaturales.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/NORMAS-DE-CREACION-DEL-MRNNR.pdf>
85. NINA NETZER, BÄRBEL KOFLER. (2014). Una Transformación Energética Mundial. *Política Global y Desarrollo*.
86. Nunalee, C. G., & Basu, S. (2013). Mesoscale modeling of coastal low-level jets implications for offshore wind resource estimation. *Wind Energy*.
87. OLADE, Victorio Oxilia Dávalos. (2012). Matriz Energética en América Latina y el Caribe, Situación Actual y Perspectivas de la Energías Renovables. La Habana, Cuba.
88. ONUDI, OMS, PNUMA. (2013). Desarrollo de la Energía para satisfacer las necesidades de Desarrollo. In UNESCO, *Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo* (pp. 250 - 262).
89. Pablo C. Spennemann, A. C. (2010). Evaluación de la representación de la humedad de suelo con el modelo WRF-ARW. Belem, Brasil: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia.
90. Parra, R. (2012). Evaluación preliminar de la temperatura media en superficie del Ecuador para el año 2010, obtenida mediante el modelo Weather Research Forecasting (WRF). *Avances en Ciencias de la Ingeniería*, 27-35.
91. Peralta Juan, O. C. (2012). IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL POTENCIAL DE RECURSOS RENOVABLES EN EL ECUADOR Y SU VIABILIDAD DE DESARROLLO LOCAL. Buenos Aires, Argentina: Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica.
92. Peralta, J., & A. L. (2013). Evaluación energética y Análisis Estadístico del régimen de Vientos del perfil costero Ecuatoriano. *CIBIM XI*. La Plata Argentina.
93. Pierre Pourrut, Oscar Rdvere, Ivan Romo, Homero Villacrés. (1995). CLIMA DEL ECUADOR. *EL AGUA EN EL ECUADOR, Clima, precipitaciones, escorrentía*, 13 - 26.
94. Pleim, J. E. (2007). A Combined Local and Nonlocal Closure Model for the Atmospheric Boundary Layer. Part I: Model Description and Testing. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* , 1383–1395.
95. R. Parra, V. D. (2007). Preliminary comparison of ozone concentrations provided by the emission inventory/WRF-Chem model and the air quality monitoring network from the Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador). *WRF workshops 2007*. National Center for Atmospheric Research.
96. REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11. (2011, 04 14). *Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales*. Quito, Ecuador.
97. Righini, R., Gallegos, H. G., & Raichijk, C. (2005). Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina. *Renewable Energy*(30).
98. Rigoberto García Ochoa. (2013). *Pobreza energética en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile: Naciones Unidas.
99. Rodríguez, A. A. (2013). *Sistema de pronóstico de radiación solar a corto plazo a partir de un modelo meteorológico y técnicas de post-proceso para España* . Barcelona: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

100. RODRIGUEZ, A. A. (2013). *Sistema de pronóstico de radiación solar a corto plazo a partir de un modelo*. Barcelona: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
101. Rodriguez, L. (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros con aplicaciones en Matlab*. Guayaquil: ESPOL.
102. Rogner, Hans-Holger y Anca Popescu. (2000). *An Introduction to Energy*. Washington.
103. Saleh, H., Aly, A. A.-A., & Abdel-Hady, S. (2012). Assessment of different methods used to estimate Weibull distribution parameters for wind speed in Zafarana wind farm, Suez Gulf, Egypt. *Energy*.
104. Seaman, N. L. (2000). Meteorological modeling for air-quality assessments. *Atmospheric Environment* 34 , 2231-2259.
105. SENPLADES, Gobierno del Ecuador. (n.d.). *PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR 2009-2013*. Retrieved diciembre 2012, from <http://plan.senplades.gob.ec/estrategia7>
106. SENPLADES, S. N. (2009). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural*. Quito.
107. Serrano Rico, J. C. (2013). Comparison of methods for determining Weibull parameters for wind energy generation. *Scientia et Technica Año XVII*.
108. Solman, S. (2011). La verificación de la calidad de los pronósticos. Laboratorio de Previsión del Tiempo.
109. STENSRUD, D. J. (2009). *PARAMETERIZATION SCHEMES Keys to Understanding Numerical Weather Prediction Models*. New York: United States of America by Cambridge University Press,.
110. Stoffel, T. (2013). *Solar Energy Forecasting*. Elsevier.
111. Stull, R. (2000). *Meteorology today for scientists and engineers*. Los Angeles: West Publishing Company.
112. Suehrcke, H., Bowden, R. S., & Hollands, K. (2013). Relationship between sunshine duration and solar radiation. *Solar Energy*, 160–171.
113. Suehrcke, H., Bowden, R., & Hollands, K. (2013). Relationship between sunshine duration and solar radiation. *Solar Energy*, 160-171.
114. Suerhcke, H. (2000). ON THE RELATIONSHIP BETWEEN DURATION OF SUNSHINE AND SOLAR RADIATION ON THE EARTH'S SURFACE: ANGSTROM'S EQUATION REVISITED. *Solar Energy*, 417-425.
115. Tiba., C. (2004). Brazilian Solar Resource Atlas. 29(6).
116. Tibaa, C., Aguiarb, R. d., & Fraidenraich, N. (2005). Analysis of a new relationship between monthly global irradiation and sunshine hours from a database of Brazil. *Renewable Energy*, 957–966.
117. Tom Warner, E. T. (2011). Charla 12: Modelos Numéricos para el Pronostico Meteorológico. *Taller Centroamericano de Pronosticado de la Calidad del Aire*. Costa Rica.
118. UCAR, U. C. (2014). *NCAR Command Language*. Retrieved from <http://www.ncl.ucar.edu/Document/Functions/Built-in/atan2.shtml>
119. University Corporation for Atmospheric Research. (2014, 08). *Meteorology Education and Training*. Retrieved from <https://www.meted.ucar.edu/>
120. V. Lara-Fanego, J. R.-A.-V.-A.-P. (2012). Evaluation of the WRF model solar irradiance forecasts in Andalusia (southern Spain). *Solar Energy, Volume 86, Issue 8*, 2200–2217.

121. ViceMinisterio de Electricidad y Energías Alternativas. (2008). *Mapa Eolico de la Republica de Bolivia*. Cochabamba.
122. Wang, W., Bruyère, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., & Kavulich, M. (2012). *User's Guide describes the Advanced Research WRF (ARW) Version 3.4*.
123. Weisser, D. (2003). A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the 'Weibull' density function. *Renewable Energy*, 1803–1812.
124. William C. Skamarock, J. B.-Y. (2008). *A Description of the Advanced Research WRF Version 3*. Boulder, Colorado, USA: Mesoscale and Microscale Meteorology Division National Center for Atmospheric Research.
125. Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *CLIMATE RESEARCH*.
126. Wim C. de Rooy, P. B.-I. (2011). Entrainment and detrainment in cumulus convection: an overview. *Royal Meteorological Society*.
127. Zhang, C., Wang, Y., & Hamilton, K. (2011). Improved Representation of Boundary Layer Clouds over the Southeast Pacific in ARW-WRF Using a Modified Tiedtke Cumulus Parameterization Scheme. *Monthly Weather Review*, 3489-3513.

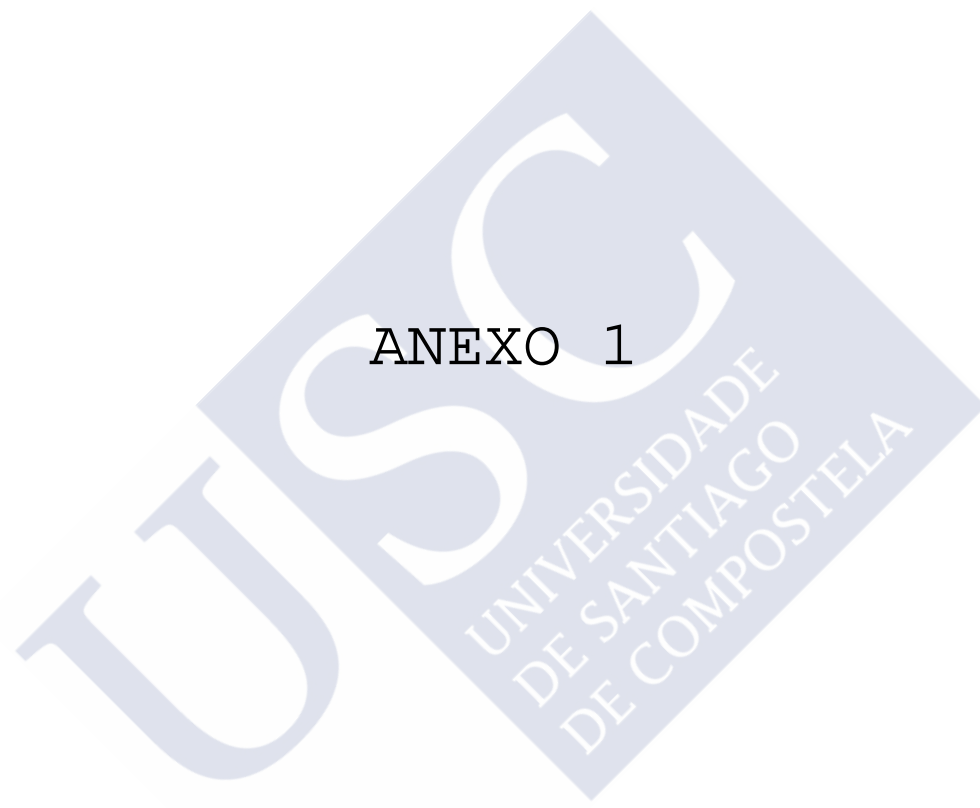




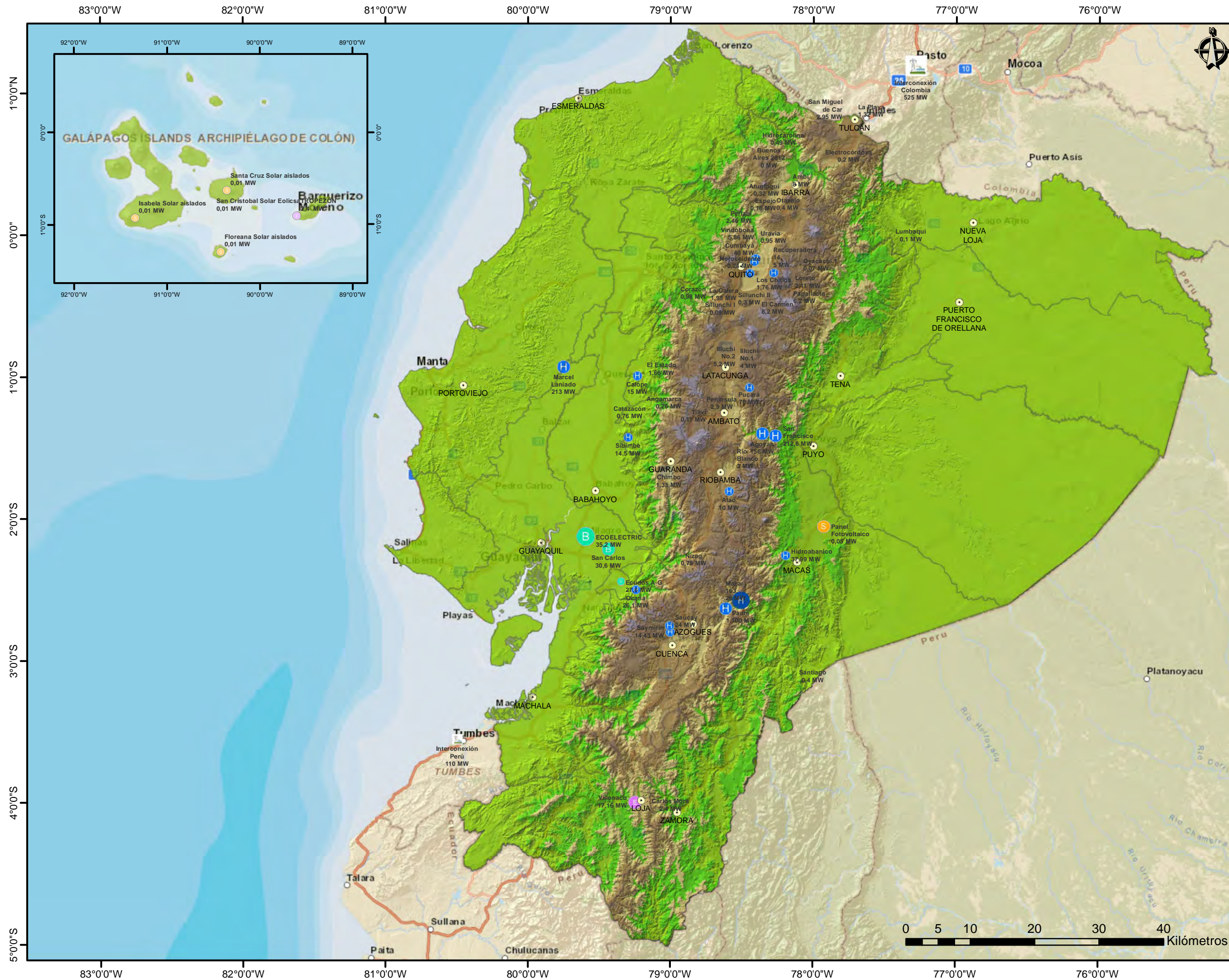
ANEXOS



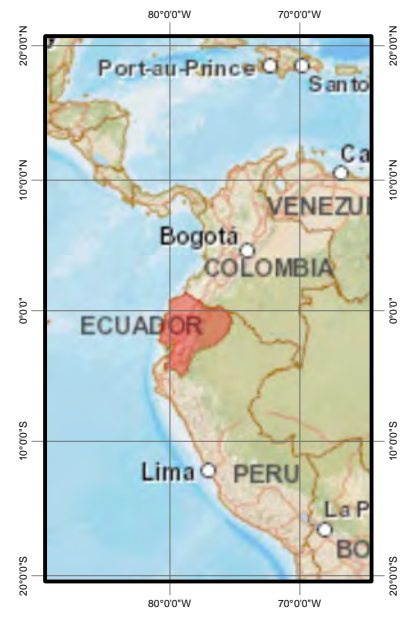
ANEXO 1



MAPA DE CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE NO CONVENCIONAL



UBICACIÓN DEL ECUADOR



SIGNOS CONVENCIONALES

- ▭ Límite provincial
- Cabecera provincial

LEYENDA

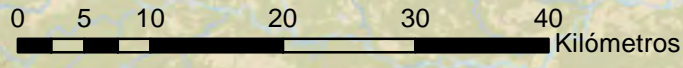
- Interconexiones**
Potencia efectiva (MW)
110,00 MW
110,01 - 525,00 MW
- Centrales de generación solar**
Potencia efectiva (MW)
0,01
0,02 - 0,05
27,60 MW
27,61 - 30,60 MW
30,61 - 35,20 MW
- Centrales de generación de biomasa**
Potencia efectiva (MW)
2,40
2,41 - 17,16
- Centrales de generación hidráulica**
Potencia efectiva (MW)
10,00 - 70,00 MW
70,01 - 213,00 MW
213,01 - 1.100,00 MW
- Centrales de generación eólica**
Potencia efectiva (MW)
2,40
2,41 - 17,16



MAPA DE CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLE NO CONVENCIONAL

Elaborado por: Lcda. Sara Dávila	Proyección Geográfica Datum WGS84
Revisado por: Ing. Wilson Calvopiña	Escala gráfica
Aprobado por: Ing. Santiago Flores	Fecha de elaboración: Julio, 2013
Fuente: Cartografía Base: Arc Gis. com Cartografía Temática: CONELEC, 2012	

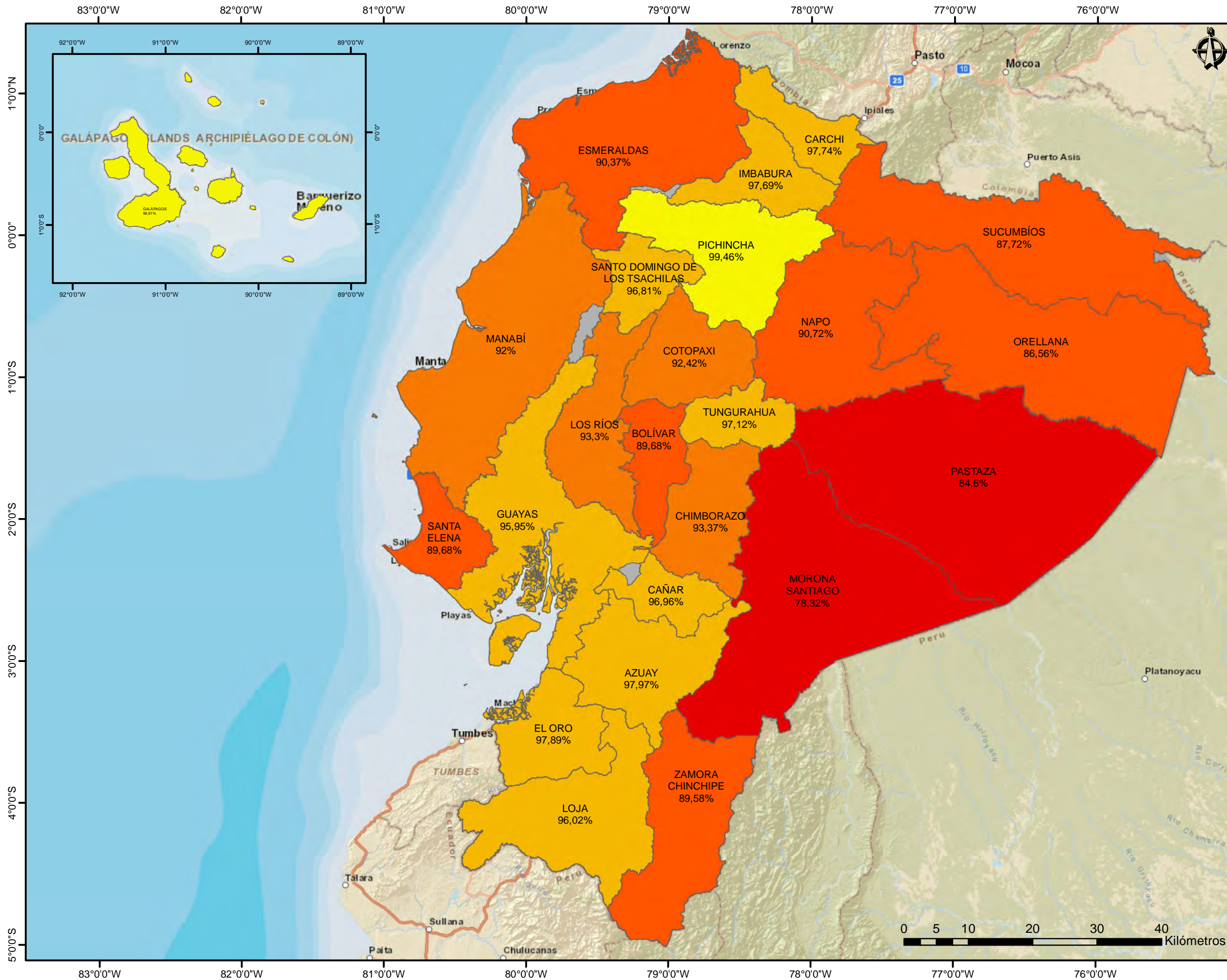
* Para mayor detalle consulte el Portal CONELEC www.conelec.gob.ec



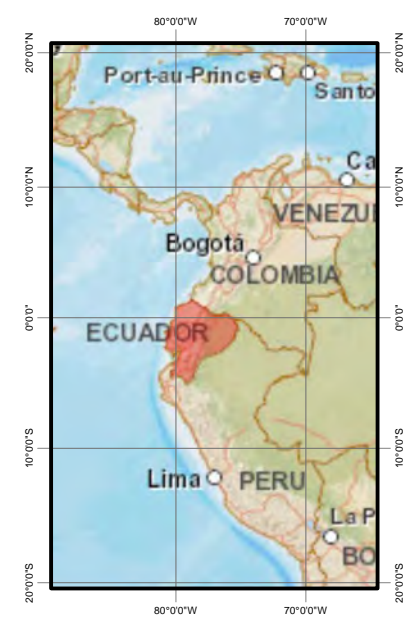
ANEXO 2



MAPA DE COBERTURA DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO A NIVEL PROVINCIAL 2012



UBICACIÓN DEL ECUADOR



SIGNOS CONVENCIONALES

□ Limite provincial

LEYENDA

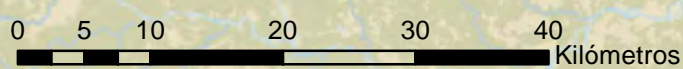
Cobertura del Suministro Eléctrico Porcentaje

- 98,37% - 99,86%
- 95,39% - 98,36%
- 91,18% - 95,38%
- 85,72% - 91,17%
- 78,32% - 85,71%
- Zona no delimitada



MAPA DE COBERTURA DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO A NIVEL PROVINCIAL 2012

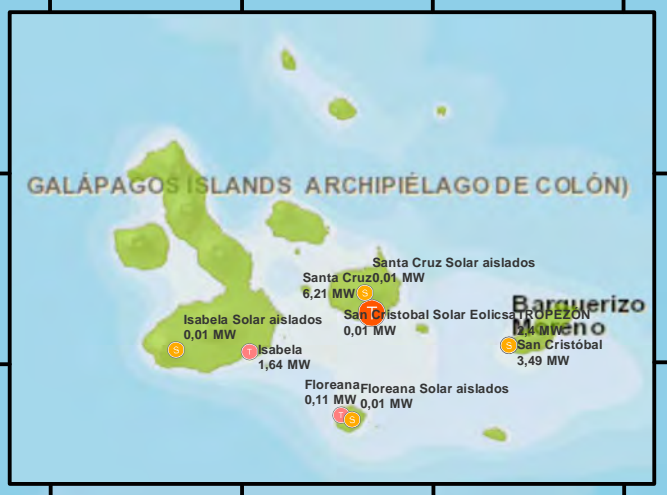
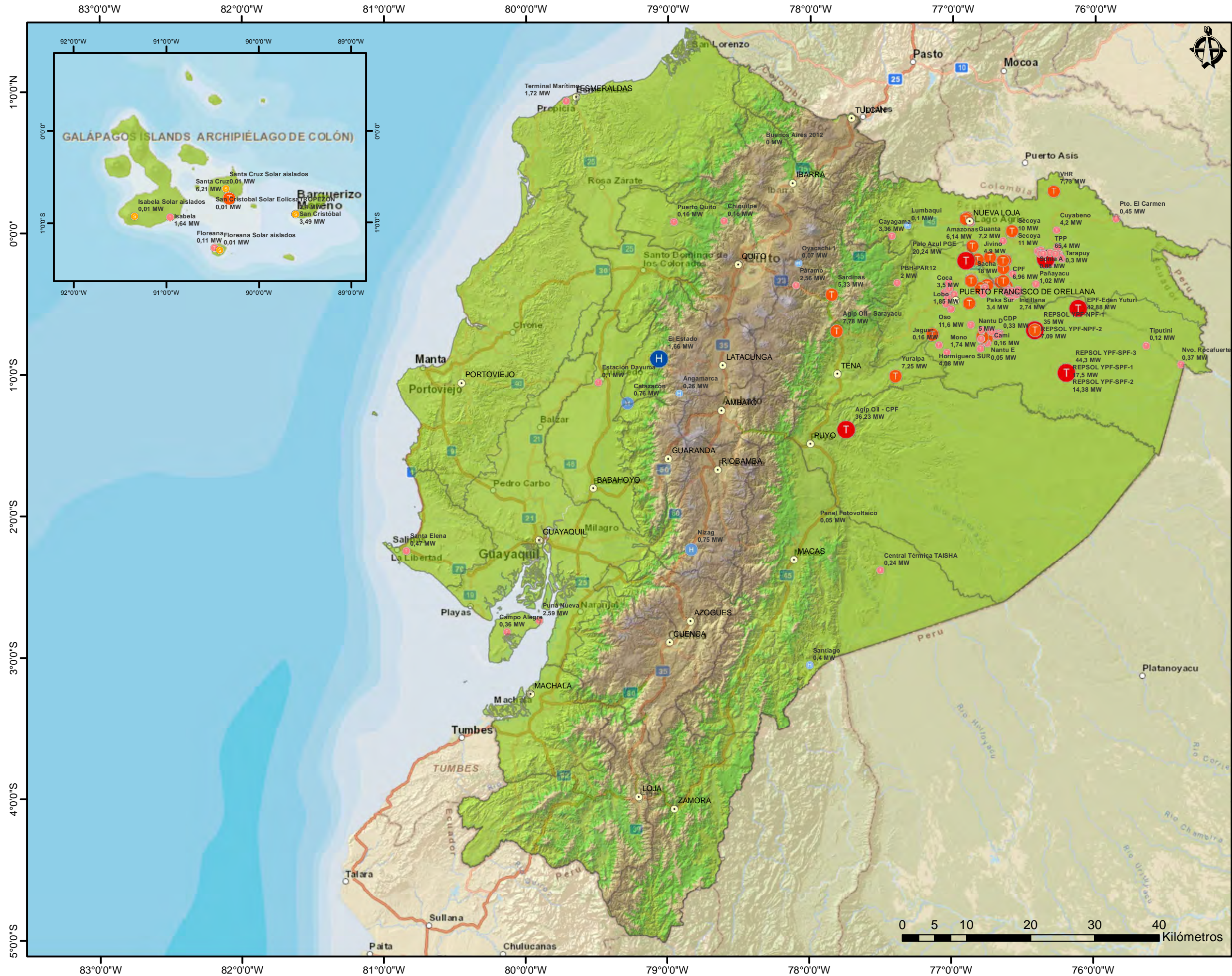
Elaborado por: Lcda. Sara Dávila	Proyección Geográfica Datum WGS84
Revisado por: Ing. Wilson Calvopiña	Escala gráfica
Aprobado por: Ing. Santiago Flores	Fecha de elaboración: Julio, 2013
Fuente: Cartografía Base: Arc Gis. com Cartografía Temática: CONELEC, 2012	
* Para mayor detalle consulte el Geportal CONELEC www.conelec.gob.ec	



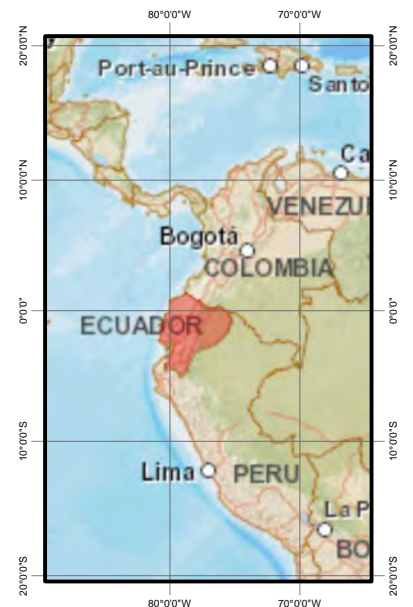
ANEXO 3



MAPA DE SISTEMAS AISLADOS



UBICACIÓN DEL ECUADOR



SIGNOS CONVENCIONALES

- ▭ Límite provincial
- Cabecera provincial

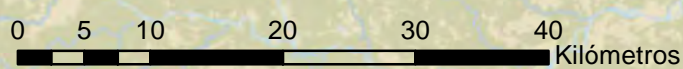
LEYENDA

- Centrales de generación hidráulica (No Incorporado)**
Potencia efectiva (MW)
 H 0,07 - 0,40 MW
 H 0,41 - 0,76 MW
 H 0,77 - 1,66 MW
- Centrales de generación térmica (No Incorporado)**
Potencia efectiva (MW)
 T 0,05 - 4,20 MW
 T 4,21 - 18,00 MW
 T 18,01 - 65,40 MW
- Centrales de generación solar (No Incorporado)**
Potencia efectiva (MW)
 S 0,01 MW
- Centrales de generación eólica (No Incorporado)**
Potencia efectiva (MW)
 E 2,40 MW



MAPA DE SISTEMAS AISLADOS

Elaborado por: Lcda. Sara Dávila	Proyección Geográfica Datum WGS84
Revisado por: Ing. Wilson Calvoña	Escala gráfica
Aprobado por: Ing. Santiago Flores	Fecha de elaboración: Julio, 2013
Fuente: Cartografía Base: Arc Gis. com Cartografía Temática: CONELEC, 2012	
* Para mayor detalle consulte el Portal CONELEC www.conelec.gob.ec	



ANEXO 4

ESTACIONES INAMHI 2014

CODIGO	NOMBRE ESTACION	TIPO	PROVINCIA	LATITUD	LONGITUD	ESTADO
M0001	INGUINCHO	CP	IMBABURA	0G 15' 30" N	78G 24' 3" W	Activa
M0002	LA TOLA	AU,CP	PICHINCHA	0G 13' 46" S	78G 22' 0" W	Activa
M0003	IZOBAMBA	RS	PICHINCHA	0G 22' 0" S	78G 33' 0" W	Activa
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	AG	COTOPAXI	1G 1' 12" S	78G 35' 41" W	Activa
M0005	PORTOVIEJO-UTM	AU,CP	MANABI	1G 2' 15" S	80G 27' 35" W	Activa
M0006	PICHILINGUE	AU, AG	LOS RIOS	1G 4' 28" S	79G 29' 35" W	Activa
M0007	NUEVO ROCAFUERTE	AU, AG	ORELLANA	0G 55' 0" S	75G 25' 0" W	Activa
M0008	PUYO	AU, AG	PASTAZA	1G 30' 27" S	77G 56' 38" W	Activa
M0009	LA VICTORIA INERHI	CO	PICHINCHA	0G 3' 36" S	78G 12' 2" W	Activa
M0012	LA CUCA	CO	EL ORO	3G 29' 49" S	80G 4' 54" W	Activa
M0021	ATUNTAQUI	PV	IMBABURA	0G 21' 13" N	78G 13' 39" W	Activa
M0023	OLMEDO-PICHINCHA	CO	PICHINCHA	0G 8' 53" N	78G 2' 52" W	Activa
M0024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	AU,CP	PICHINCHA	0G 10' 0" S	78G 29' 0" W	Activa
M0025	LA CONCORDIA	AU, AG	ESMERALDAS	0G 1' 29" N	79G 22' 49" W	Activa
M0026	PUERTO ILA	CP	STO. D. TSACHILAS	0G 28' 34" S	79G 20' 20" W	Activa
M0029	BANNOS	CP	TUNGURAHUA	1G 23' 29" S	78G 25' 5" W	Activa
M0031	CAÑAR	AU,CP	CAÑAR	2G 33' 7" S	78G 56' 43" W	Activa
M0032	SANTA ISABEL INAMHI	AU,CP	AZUAY	3G 14' 51" S	79G 16' 36" W	Activa
M0033	LA ARGELIA-LOJA	AU, AG	LOJA	4G 2' 11" S	79G 12' 4" W	Activa
M0037	MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	AU, AG	GUAYAS	2G 8' 1" S	79G 36' 1" W	Activa
M0040	PASAJE	PV	EL ORO	3G 19' 19" S	79G 46' 8" W	Activa
M0041	SANGAY(P.SANTA ANA)	CP	MORONA SANTIAGO	1G 41' 18" S	77G 57' 31" W	Activa
M0045	PALMAS-AZUAY	CP	AZUAY	2G 42' 58" S	78G 37' 47" W	Activa
M0051	BABAHOYO-UTB	CP	LOS RIOS	1G 47' 49" S	79G 32' 0" W	Activa
M0086	SAN VICENTE DE PUSIR	CO	CARCHI	0G 29' 39" N	78G 2' 29" W	Activa
M0101	EL CARMELO	PV	CARCHI	0G 41' 3" N	77G 36' 42" W	Activa
M0102	EL ANGEL	CO	CARCHI	0G 37' 35" N	77G 56' 38" W	Activa
M0103	SAN GABRIEL	CP	CARCHI	0G 36' 15" N	77G 49' 10" W	Activa
M0104	MIRA-FAO GRANJA LA PORTADA	CO	CARCHI	0G 33' 11" N	78G 1' 39" W	Activa
M0105	OTAVALO	CP	IMBABURA	0G 14' 36" N	78G 15' 0" W	Activa
M0107	CAHUASQUI-FAO	CO	IMBABURA	0G 31' 5" N	78G 12' 40" W	Activa
M0113	UYUMBICHO	PV	PICHINCHA	0G 23' 18" S	78G 31' 31" W	Activa
M0116	CHIRIBOGA	PV	STO. D. TSACHILAS	0G 12' 38" S	78G 46' 55" W	Activa
M0120	COTOPAXI-CLIRSEN -IEE	CO	COTOPAXI	0G 37' 24" S	78G 34' 53" W	Activa
M0122	PILALO	CO	COTOPAXI	0G 56' 37" S	78G 59' 42" W	Activa
M0123	EL CORAZON	CP	COTOPAXI	1G 8' 2" S	79G 4' 32" W	Activa
M0124	SAN JUAN LA MANA	CO	COTOPAXI	0G 54' 59" S	79G 14' 44" W	Activa
M0126	PATATE	CO	TUNGURAHUA	1G 10' 31" S	78G 30' 33" W	Activa

ANEXO 4

M0128	PEDRO FERMIN CEVALLOS(COLEGIO)	CO	TUNGURAHUA	1G 21' 9" S	78G 36' 54" W	Activa
M0129	CALUMA	AU, CO	BOLIVAR	1G 37' 12" S	79G 17' 35" W	Activa
M0130	CHILLANES	CO	BOLIVAR	1G 58' 32" S	79G 3' 48" W	Activa
M0133	GUASLAN	CO	CHIMBORAZO	1G 43' 15" S	78G 39' 40" W	Activa
M0136	CHUNCHI	CP	CHIMBORAZO	2G 16' 31" S	78G 55' 25" W	Activa
M0137	BIBLIAN	CO	CAÑAR	2G 42' 32" S	78G 53' 30" W	Activa
M0138	PAUTE	CO	AZUAY	2G 48' 0" S	78G 45' 46" W	Activa
M0139	GUALACEO	CP	AZUAY	2G 52' 55" S	78G 46' 35" W	Activa
M0141	EL LABRADO	CO	AZUAY	2G 43' 58" S	79G 4' 23" W	Activa
M0142	SARAGURO	CO	LOJA	3G 36' 43" S	79G 14' 2" W	Activa
M0143	MALACATOS	CO	LOJA	4G 12' 58" S	79G 16' 16" W	Activa
M0145	QUINARA INAMHI	CO	LOJA	4G 18' 50" S	79G 14' 36" W	Activa
M0146	CARIAMANGA	AU, CO	LOJA	4G 20' 0" S	79G 33' 16" W	Activa
M0147	YANGANA	AU, CO	LOJA	4G 22' 5" S	79G 10' 29" W	Activa
M0148	CELICA	CO	LOJA	4G 6' 17" S	79G 57' 5" W	Activa
M0149	GONZANAMA	PV	LOJA	4G 13' 49" S	79G 25' 52" W	Activa
M0150	AMALUZA INAMHI	AU, CO	LOJA	4G 35' 5" S	79G 25' 50" W	Activa
M0151	ZAPOTILLO	AU, CO	LOJA	4G 22' 57" S	80G 14' 11" W	Activa
M0153	MUISNE	CO	ESMERALDAS	0G 36' 54" N	80G 1' 28" W	Activa
M0154	CAYAPAS	CO	ESMERALDAS	0G 51' 28" N	78G 57' 44" W	Activa
M0160	EL CARMEN	CO	MANABI	0G 15' 35" S	79G 25' 37" W	Activa
M0162	CHONE-U.CATOLICA	CP	MANABI	0G 39' 51" S	80G 2' 11" W	Activa
M0163	BOYACA	PV	MANABI	0G 34' 15" S	80G 10' 41" W	Activa
M0165	ROCAFUERTE	CO	MANABI	0G 55' 21" S	80G 26' 55" W	Activa
M0166	OLMEDO-MANABI	AU, CO	MANABI	1G 23' 44" S	80G 12' 21" W	Activa
M0167	JAMA	AU, CO	MANABI	0G 11' 49" S	80G 15' 53" W	Activa
M0169	JULCUY	CO	MANABI	1G 28' 48" S	80G 37' 56" W	Activa
M0171	CAMPOSANO #2	AU, CO	MANABI	1G 35' 34" S	80G 24' 4" W	Activa
M0172	PUEBLO VIEJO	CO	LOS RIOS	1G 31' 5" S	79G 32' 30" W	Activa
M0173	PLAYAS-GRAL.VILLAMIL	CO	GUAYAS	2G 37' 41" S	80G 24' 4" W	Activa
M0176	NARANJAL	AU, CO	GUAYAS	2G 39' 42" S	79G 37' 3" W	Activa
M0180	ZARUMA	CO	EL ORO	3G 41' 56" S	79G 36' 41" W	Activa
M0185	MACHALA-UTM - PAGUA	CO	EL ORO	3G 6' 0" S	79G 44' 0" W	Activa
M0188	PAPALLACTA	CO	NAPO	0G 21' 54" S	78G 8' 41" W	Activa
M0189	GUALAQUIZA INAMHI	AU, CO	MORONA SANTIAGO	3G 23' 53" S	78G 34' 33" W	Activa
M0191	CHARLES DARWIN INAMHI	CP	GALAPAGOS	0G 44' 0" S	90G 18' 0" W	Activa
M0192	BELLAVISTA-ISLA S.CRUZ	CO	GALAPAGOS	0G 42' 0" S	90G 22' 0" W	Activa
M0197	JACARIN (SOLANO)	PG	CAÑAR	2G 49' 16" S	78G 56' 0" W	Activa
M0203	REVENTADOR	AU, PV	SUCUMBIOS	0G 25' 18" S	77G 58' 0" W	Activa
M0217	PENNAS COLORADAS	PG	AZUAY	2G 34' 18" S	78G 34' 0" W	Activa
M0218	INGENIO SAN CARLOS (BATEY)	AU, CO	GUAYAS	2G 13' 14" S	79G 24' 30" W	Activa
M0221	SAN CRISTOBAL- GALAPAGOS	RS	GALAPAGOS	0G 54' 0" S	89G 36' 0" W	Activa

ANEXO 4

M0232	PUENTE PUYANGO	CO	LOJA	3G 54' 3" S	80G 4' 43" W	Activa
M0238	TAHUIN-REPRESA	CO	EL ORO	3G 37' 48" S	80G 0' 26" W	Activa
M0239	EL SALADO-PREDESUR	CO	EL ORO	3G 43' 22" S	79G 38' 37" W	Activa
M0241	QUILANGA	AU, PV	LOJA	4G 18' 5" S	79G 23' 57" W	Activa
M0245	EL SUSPIRO	CP	SANTA ELENA	1G 54' 0" S	80G 38' 48" W	Activa
M0247	MURUCUMBA	PG	ZONA NO DELIMITADA	0G 48' 17" S	79G 37' 3" W	Activa
M0258	QUEROCHACA(UTA)	AU,CP	TUNGURAHUA	1G 22' 2" S	78G 36' 20" W	Activa
M0270	SAN JACINTO	CP	MANABI	0G 47' 0" S	80G 30' 0" W	Activa
M0283	INMORIEC-EL VERGEL	CO	LOS RIOS	0G 46' 54" S	79G 21' 13" W	Activa
M0290	SANTA ANA CRM	CO	MANABI	1G 12' 0" S	80G 32' 0" W	Activa
M0292	GRANJA STA.INES(UTM)	AU, AG	EL ORO	3G 17' 16" S	79G 54' 5" W	Activa
M0295	BANCHAL(CUENCA EXP.)	CP	MANABI	1G 38' 1" S	80G 29' 36" W	Activa
M0301	FF CC CARCHI	PV	IMBABURA	0G 36' 30" N	78G 8' 11" W	Activa
M0305	JULIO ANDRADE	PV	CARCHI	0G 39' 21" N	77G 43' 25" W	Activa
M0308	TUFINNO	PV	CARCHI	0G 48' 3" N	77G 51' 18" W	Activa
M0310	MARIANO ACOSTA	PV	IMBABURA	0G 18' 6" N	77G 58' 54" W	Activa
M0312	PABLO ARENAS	PV	IMBABURA	0G 30' 8" N	78G 11' 34" W	Activa
M0314	AMBUQUI	PV	IMBABURA	0G 25' 34" N	78G 0' 28" W	Activa
M0315	PIMAMPIRO	PV	IMBABURA	0G 23' 23" N	77G 56' 28" W	Activa
M0318	APUELA-INTAG	PV	IMBABURA	0G 21' 18" N	78G 30' 49" W	Activa
M0321	TOPO-IMBABURA(ANGLA)	PV	IMBABURA	0G 12' 41" N	78G 9' 58" W	Activa
M0324	SAN FRANCISCO DE SIGSIPAMBA	PV	IMBABURA	0G 17' 53" N	77G 54' 42" W	Activa
M0325	GARCIA MORENO	PV	IMBABURA	0G 14' 5" N	78G 37' 38" W	Activa
M0326	SELVA ALEGRE-IMBABURA	PV	IMBABURA	0G 14' 47" N	78G 34' 37" W	Activa
M0327	CHONTAL BAJO(GUAYLL.DJ ALAMBI)	PV	PICHINCHA	0G 14' 14" N	78G 44' 57" W	Activa
M0328	HDA.LA MARIA-ANEXAS(LETICIA)	PV	IMBABURA	0G 20' 54" N	78G 16' 11" W	Activa
M0335	LA CHORRERA	PV	PICHINCHA	0G 12' 6" S	78G 32' 6" W	Activa
M0337	SAN JOSE DE MINAS	PV	PICHINCHA	0G 10' 8" N	78G 23' 35" W	Activa
M0339	NANEGALITO	PV	PICHINCHA	0G 4' 0" N	78G 40' 35" W	Activa
M0343	EL QUINCHE-PICHINCHA	PV	PICHINCHA	0G 6' 8" S	78G 18' 12" W	Activa
M0344	CANGAHUA	PV	PICHINCHA	0G 3' 26" S	78G 10' 2" W	Activa
M0345	CALDERON	PV	PICHINCHA	0G 5' 54" S	78G 25' 15" W	Activa
M0346	YARUQUI INAMHI	PV	PICHINCHA	0G 9' 35" S	78G 18' 55" W	Activa
M0348	SANTA ANITA-KM.10 VIA CHONE	PV	STO. D. TSACHILAS	0G 13' 50" S	79G 14' 54" W	Activa
M0353	RUMIPAMBA-PICHINCHA	PV	PICHINCHA	0G 25' 39" S	78G 24' 57" W	Activa
M0354	SAN JUAN-PICHINCHA(CHILLOG.)	PV	PICHINCHA	0G 17' 5" S	78G 37' 57" W	Activa
M0357	CANAL 10 TV.	PV	PICHINCHA	0G 9' 53" S	78G 31' 21" W	Activa
M0358	CALACALI INAMHI	PV	PICHINCHA	0G 0' 5" N	78G 30' 45" W	Activa
M0359	CAYAMBE	PV	PICHINCHA	0G 3' 14" N	78G 8' 22" W	Activa

ANEXO 4

M0361	NONO	PV	PICHINCHA	0G 4' 24" S	78G 34' 22" W	Activa
M0362	LAS PAMPAS	CO	COTOPAXI	0G 25' 32" S	78G 57' 54" W	Activa
M0363	SIGCHOS	PV	COTOPAXI	0G 41' 58" S	78G 53' 25" W	Activa
M0364	LORETO PEDREGAL	PV	PICHINCHA	0G 33' 41" S	78G 25' 35" W	Activa
M0367	PINLLOPATA	PV	COTOPAXI	1G 8' 27" S	79G 1' 34" W	Activa
M0368	MORASPUNGO-COTOPAXI	PV	COTOPAXI	1G 10' 34" S	79G 13' 21" W	Activa
M0369	CUSUBAMBA	PV	COTOPAXI	1G 4' 17" S	78G 42' 10" W	Activa
M0370	RAMON CAMPANNA	PV	COTOPAXI	1G 6' 59" S	79G 5' 10" W	Activa
M0371	PASTOCALLE	PV	COTOPAXI	0G 43' 19" S	78G 37' 39" W	Activa
M0374	SAN ANTONIO DEL DELTA(PATE)	PV	LOS RIOS	0G 52' 3" S	79G 14' 50" W	Activa
M0375	SAQUISILI	PV	COTOPAXI	0G 50' 5" S	78G 39' 48" W	Activa
M0376	PILAHUIN	PV	TUNGURAHUA	1G 18' 6" S	78G 43' 56" W	Activa
M0377	TISALEO	PV	TUNGURAHUA	1G 20' 54" S	78G 40' 13" W	Activa
M0378	RIO VERDE	PV	TUNGURAHUA	1G 24' 4" S	78G 17' 43" W	Activa
M0380	HUAMBALO	PV	TUNGURAHUA	1G 23' 14" S	78G 31' 39" W	Activa
M0383	ECHEANDIA	PV	BOLIVAR	1G 25' 33" S	79G 17' 22" W	Activa
M0385	SALINAS-BOLIVAR	PV	BOLIVAR	1G 24' 13" S	79G 1' 6" W	Activa
M0388	RIO SAN ANTONIO-MONJAS	PG	BOLIVAR	1G 57' 0" S	79G 14' 0" W	Activa
M0390	URBINA	PV	TUNGURAHUA	1G 29' 0" S	78G 41' 0" W	Activa
M0391	PALLATANGA	CO	CHIMBORAZO	2G 0' 2" S	78G 58' 23" W	Activa
M0392	HUIGRA	PV	CHIMBORAZO	2G 17' 18" S	78G 58' 50" W	Activa
M0393	SAN JUAN-CHIMBORAZO	PV	CHIMBORAZO	1G 37' 35" S	78G 47' 0" W	Activa
M0395	CEBADAS	PV	CHIMBORAZO	1G 54' 28" S	78G 38' 27" W	Activa
M0396	ALAO	PV	CHIMBORAZO	1G 53' 0" S	78G 29' 0" W	Activa
M0397	COMPUD	PV	CHIMBORAZO	2G 20' 25" S	78G 56' 13" W	Activa
M0399	ACHUPALLAS-CHIMBORAZO	PV	CHIMBORAZO	2G 16' 49" S	78G 46' 6" W	Activa
M0402	CHIMBO DJ PANGOR	PV	CHIMBORAZO	1G 56' 24" S	79G 0' 16" W	Activa
M0403	ALASI	PV	CHIMBORAZO	2G 11' 58" S	78G 50' 47" W	Activa
M0404	CA-I-LIMBE	PV	CHIMBORAZO	1G 46' 18" S	78G 59' 25" W	Activa
M0405	GUASUNTOS	PV	CHIMBORAZO	2G 13' 45" S	78G 48' 38" W	Activa
M0407	LICTO	PV	CHIMBORAZO	1G 48' 20" S	78G 36' 0" W	Activa
M0408	GUANO	PV	CHIMBORAZO	1G 36' 33" S	78G 38' 7" W	Activa
M0409	PANGOR-J.DE VELASCO(H.TEPEYAC)	PV	CHIMBORAZO	1G 49' 42" S	78G 52' 54" W	Activa
M0410	RIO MAZAR-RIVERA	PV	CAÑAR	2G 34' 25" S	78G 39' 0" W	Activa
M0411	INGAPIRCA	PV	CAÑAR	2G 32' 21" S	78G 52' 29" W	Activa
M0412	SUSCALPAMBA(CAPILLA DOLOROSA)	AU, PV	CAÑAR	2G 27' 38" S	79G 3' 51" W	Activa
M0414	CHANIN	PV	CAÑAR	2G 40' 13" S	78G 44' 50" W	Activa
M0417	PISCICOLA CHIRIMICHAY	PV	AZUAY	2G 46' 28" S	79G 10' 20" W	Activa
M0418	CUMBE	PV	AZUAY	3G 4' 58" S	79G 0' 46" W	Activa
M0419	GIRON	PV	AZUAY	3G 9' 14" S	79G 8' 58" W	Activa
M0420	NABON INAMHI	PV	AZUAY	3G 20' 2" S	79G 3' 58" W	Activa

ANEXO 4

M0422	HDA.STA.LUCIA-CAMINO RIRCAY	PV	AZUAY	3G 16' 20" S	79G 15' 26" W	Activa
M0424	SIGSIG INAMHI	PV	AZUAY	3G 2' 54" S	78G 47' 10" W	Activa
M0426	RICAUARTE-CUENCA	PV	AZUAY	2G 51' 3" S	78G 56' 55" W	Activa
M0427	SAYAUSI(MATADERO DJ.)	AU, PV	AZUAY	2G 52' 37" S	79G 4' 13" W	Activa
M0429	SURUCUCHO(LLULLUCHIS)	PV	AZUAY	2G 49' 34" S	79G 7' 54" W	Activa
M0431	SEVILLA DE ORO	PV	AZUAY	2G 47' 51" S	78G 39' 11" W	Activa
M0432	SAN LUCAS INAMHI	PV	LOJA	3G 43' 55" S	79G 15' 41" W	Activa
M0433	EL LUCERO INAMHI	PV	LOJA	4G 23' 59" S	79G 28' 18" W	Activa
M0434	SOZORANGA INAMHI	PV	LOJA	4G 19' 29" S	79G 47' 20" W	Activa
M0435	ALAMOR	PV	LOJA	4G 1' 7" S	80G 1' 40" W	Activa
M0436	CUYUJA	AU, PV	NAPO	0G 25' 0" S	78G 2' 58" W	Activa
M0437	SAUCILLO(ALAMOR EN)	PV	LOJA	4G 16' 51" S	80G 11' 55" W	Activa
M0438	JIMBURA	PV	LOJA	4G 37' 41" S	79G 27' 54" W	Activa
M0439	SABIANGO INAMHI	PV	LOJA	4G 21' 40" S	79G 48' 37" W	Activa
M0441	SAGUE(SAN MATEO)	PV	ESMERALDAS	0G 53' 13" N	79G 37' 54" W	Activa
M0444	TEAONE-TABIAZO	PV	ESMERALDAS	0G 47' 54" N	79G 40' 59" W	Activa
M0446	SAN ISIDRO-MANABI	PV	MANABI	0G 22' 34" S	80G 11' 1" W	Activa
M0447	24 DE MAYO(JABONCILLO)	PV	MANABI	1G 16' 44" S	80G 25' 6" W	Activa
M0448	LA LAGUNA	PV	MANABI	1G 9' 10" S	80G 37' 27" W	Activa
M0449	SANCAN-INAMHI	PV	MANABI	1G 15' 29" S	80G 35' 12" W	Activa
M0450	CAMARONES-MANABI	PV	MANABI	1G 7' 46" S	80G 46' 38" W	Activa
M0451	EL ANEGADO	PV	MANABI	1G 28' 46" S	80G 32' 19" W	Activa
M0452	ZAPOTE	AU, PV	MANABI	0G 55' 42" S	80G 2' 50" W	Activa
M0453	CHORRILLOS	PV	MANABI	1G 3' 15" S	80G 41' 20" W	Activa
M0454	RIO CHICO EN ALAJUELA	PV	MANABI	1G 3' 16" S	80G 17' 33" W	Activa
M0455	JOA-JIPIJAPA	PV	MANABI	1G 21' 45" S	80G 35' 40" W	Activa
M0457	PUERTO CAYO	PV	MANABI	1G 21' 10" S	80G 44' 15" W	Activa
M0458	COLIMES DE PAJAN	PV	MANABI	1G 34' 42" S	80G 30' 21" W	Activa
M0459	SAN PABLO-MANABI	PV	MANABI	1G 34' 44" S	80G 35' 30" W	Activa
M0462	JUNIN	PV	MANABI	0G 56' 4" S	80G 12' 30" W	Activa
M0464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	PV	MANABI	1G 2' 12" S	80G 13' 58" W	Activa
M0465	VENTANAS INAMHI	PV	LOS RIOS	1G 26' 39" S	79G 27' 56" W	Activa
M0466	VINCES INAMHI	AU, CO	LOS RIOS	1G 33' 33" S	79G 46' 5" W	Activa
M0468	MONTALVO-LOS RIOS	PV	LOS RIOS	1G 46' 32" S	79G 17' 59" W	Activa
M0470	MOCACHE	PV	LOS RIOS	1G 10' 37" S	79G 29' 39" W	Activa
M0471	ZAPOTAL-LOS RIOS	PV	LOS RIOS	1G 21' 10" S	79G 19' 3" W	Activa
M0475	COLIMES DE BALZAR INAMHI	PV	GUAYAS	1G 32' 34" S	80G 0' 29" W	Activa
M0476	LA CAPILLA INAMHI	PV	GUAYAS	1G 41' 46" S	79G 59' 45" W	Activa
M0477	PUERTO INCA(CANNAR EN)	PV	GUAYAS	2G 31' 49" S	79G 32' 38" W	Activa
M0481	USHCURRUMI	PV	EL ORO	3G 19' 16" S	79G 35' 0" W	Activa
M0482	CHACRAS	CO	EL ORO	3G 32' 37" S	80G 11' 53" W	Activa

ANEXO 4

M0485	ZATZAYACU(AROSEMENA TOLA)	AU, PV	NAPO	1G 11' 14" S	77G 55' 27" W	Activa
M0497	LOGRONNO	PV	MORONA SANTIAGO	2G 37' 28" S	78G 12' 6" W	Activa
M0501	MENDEZ INAMHI	PV	MORONA SANTIAGO	2G 42' 7" S	78G 18' 11" W	Activa
M0502	EL PANGUI	PG	ZAMORA CHINCHIPE	3G 55' 59" S	78G 40' 29" W	Activa
M0503	SAN FRANCISCO-SAN RAMON	PV	ZAMORA CHINCHIPE	3G 57' 50" S	79G 4' 19" W	Activa
M0506	PAQUISHA	PV	ZAMORA CHINCHIPE	3G 37' 42" S	78G 35' 24" W	Activa
M0508	LA SOLEDAD-ISLA SAN CRISTOBAL	PV	GALAPAGOS	0G 52' 0" S	89G 33' 0" W	Activa
M0515	CATACOCOA	PV	LOJA	4G 3' 21" S	79G 38' 40" W	Activa
M0535	LAS HERRERIAS	PV	BOLIVAR	1G 36' 21" S	78G 56' 29" W	Activa
M0540	MULTITUD	PV	CHIMBORAZO	2G 7' 8" S	79G 1' 32" W	Activa
M0542	EL CISNE	PV	LOJA	3G 51' 8" S	79G 25' 37" W	Activa
M0543	CAJANUMA	PV	LOJA	4G 4' 50" S	79G 12' 19" W	Activa
M0544	COLAISACA	PV	LOJA	4G 19' 0" S	79G 41' 35" W	Activa
M0555	VILLAO-PEDRO CARBO	CO	GUAYAS	1G 50' 30" S	80G 19' 46" W	Activa
M0563	LORETO	AU, PV	ORELLANA	0G 41' 33" S	77G 18' 42" W	Activa
M0589	GAULE	PV	MANABI	1G 37' 32" S	80G 14' 9" W	Activa
M0619	MANGLARALTO	PV	SANTA ELENA	1G 50' 16" S	80G 44' 48" W	Activa
M0623	PALMERAS UNIDAS(PALMAR)	PV	MANABI	0G 15' 53" S	79G 35' 48" W	Activa
M0697	PUERTO LIBRE(SP.DE LOS CFNES.)	AU, PV	SUCUMBIOS	0G 12' 11" N	77G 29' 46" W	Activa
M0698	LA BONITA	PV	SUCUMBIOS	0G 27' 30" N	77G 31' 58" W	Activa
M0710	CHONTA PUNTA	AU, PV	NAPO	0G 56' 0" S	77G 21' 0" W	Activa
M0735	AYAPAMBA	PV	EL ORO	3G 37' 0" S	79G 40' 30" W	Activa
M0736	BALSAS	PV	EL ORO	3G 46' 0" S	79G 49' 30" W	Activa
M0742	LA VICTORIA PREDESUR	PV	EL ORO	3G 47' 7" S	80G 3' 52" W	Activa
M0755	CHAGUARGUAYCO	PV	LOJA	4G 1' 0" S	80G 18' 40" W	Activa
M0756	CHANGAIMINA	AU, PV	LOJA	4G 13' 16" S	79G 31' 25" W	Activa
M0757	EL LIMO	PV	LOJA	3G 59' 0" S	80G 7' 30" W	Activa
M0758	EL PRADO(GUAYQUICHUMA) 200 CC	PV	LOJA	3G 49' 16" S	79G 33' 36" W	Activa
M0759	EL TAMBO-LOJA	PV	LOJA	4G 4' 25" S	79G 18' 0" W	Activa
M0760	LAURO GUERRERO	PV	LOJA	3G 58' 5" S	79G 45' 31" W	Activa
M0762	MERCADILLO	PV	LOJA	4G 1' 10" S	79G 59' 5" W	Activa
M0763	NAMBACOLA	CO	LOJA	4G 8' 26" S	79G 26' 2" W	Activa
M0765	SABANILLA-PREDESUR	PV	LOJA	4G 9' 52" S	80G 6' 43" W	Activa
M0768	SOZORANGA PREDESUR	PV	LOJA	4G 19' 29" S	79G 47' 20" W	Activa
M0770	ORIANGA	PV	LOJA	3G 53' 35" S	79G 52' 2" W	Activa
M0773	PI-AS	PV	EL ORO	3G 40' 36" S	79G 42' 10" W	Activa
M0774	ABRETONES	PV	GUAYAS	2G 11' 0" S	80G 8' 0" W	Activa
M0775	LIMONCITO	PV	SANTA ELENA	2G 13' 0" S	80G 14' 0" W	Activa

ANEXO 4

M0776	SABANA GRANDE	PV	GUAYAS	2G 28' 0" S	80G 12' 40" W	Activa
M0777	SAN JUAN-GUAYAS	PV	GUAYAS	2G 29' 0" S	80G 20' 7" W	Activa
M0779	LOS CEIBITOS	PV	SANTA ELENA	2G 1' 0" S	80G 27' 7" W	Activa
M0780	COLONCHE	PV	SANTA ELENA	2G 1' 0" S	80G 40' 0" W	Activa
M0782	BARCELONA	PV	SANTA ELENA	1G 54' 0" S	80G 41' 0" W	Activa
M0783	SALANGUILLO	PV	SANTA ELENA	1G 57' 0" S	80G 33' 30" W	Activa
M0786	PUERTO LIMON	PV	STO. D. TSACHILAS	0G 23' 24" S	79G 23' 43" W	Activa
M0789	EL TRIUNFO #8	PV	LOS RIOS	0G 52' 0" S	79G 20' 0" W	Activa
M0794	LAS NAVES	PV	BOLIVAR	1G 16' 0" S	79G 18' 48" W	Activa
M0899	PANIGON # 12	PV	LOS RIOS	1G 42' 0" S	79G 32' 55" W	Activa
M0901	PITA CEDEGE	PV	LOS RIOS	1G 37' 0" S	79G 19' 30" W	Activa
M0906	SOLANO-CEDEGE	PV	CAÑAR	2G 49' 16" S	78G 56' 0" W	Activa
M0909	GUALSAQUI	PV	IMBABURA	0G 19' 15" N	78G 24' 30" W	Activa
M0910	MORASPUGRO- IMBABURA	PV	IMBABURA	0G 16' 19" N	78G 20' 32" W	Activa
M1040	MACAS SAN ISIDRO-PNS	CO	MORONA SANTIAGO	2G 12' 37" S	78G 9' 41" W	Activa
M1066	COTOPILALO CONVENIO INAMHI-CESA	CO	COTOPAXI	0G 41' 0" S	78G 42' 0" W	Activa
M1074	AYAMPE	PV	MANABI	1G 41' 0" S	80G 47' 0" W	Activa
M1075	DOS BOCAS	PV	MANABI	0G 51' 0" S	79G 58' 0" W	Activa
M1076	GUAJABE	PV	MANABI	1G 6' 0" S	80G 10' 0" W	Activa
M1077	BELLA FLOR	PV	MANABI	1G 5' 0" S	80G 7' 0" W	Activa
M1078	GALE AYAMPE	PV	SANTA ELENA	1G 41' 0" S	80G 44' 0" W	Activa
M1079	CONVENTO	PV	MANABI	0G 16' 0" S	80G 2' 0" W	Activa
M1080	POZA HONDA	CP	MANABI	1G 7' 0" S	80G 12' 0" W	Activa
M1081	LA COLOMBIA (AYAMPE)	PV	MANABI	1G 40' 0" S	80G 40' 0" W	Activa
M1082	CEIBAL	CP	MANABI	0G 57' 0" S	80G 28' 0" W	Activa
M1088	BOTADERO (RIO BRICENIO)	PV	MANABI	0G 32' 0" S	80G 16' 0" W	Activa
M1089	LA AZUCENA	PV	MANABI	1G 4' 0" S	79G 59' 0" W	Activa
M1090	SAN MIGUEL	PV	MANABI	1G 2' 0" S	80G 5' 0" W	Activa
M1091	RIO GRANDE (CHONE)	PV	MANABI	0G 40' 0" S	79G 59' 0" W	Activa
M1092	SANCAN-CRM	CO	MANABI	1G 15' 0" S	80G 35' 0" W	Activa
M1095	INGENIO AZTRA (LA TRONCAL)	AU,CP	CAÑAR	2G 26' 15" S	79G 21' 09" W	Activa
M1096	GUAYAQUIL U.ESTATAL (RADIO SONDA)	AU,CP	GUAYAS	2G 10' 50" S	79G 53' 59" W	Activa
M1104	RIO SANTO	AU, PV	MANABI	0G 34' 0,7" S	80G 0' 3" W	Activa
M1105	RIO GRANDE INAMHI	PV	MANABI	0G 43' 52" S	79G 56' 44" W	Activa
M1107	LAGUACOTO	CP	BOLIVAR	1G 36' 52" S	78G 59' 54" W	Activa
M1111	CHANLUD	CP	AZUAY	2G 40' 36" S	79G 1' 53" W	Activa
M1117	INSTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	CP	BOLIVAR	1G 40' 47" S	79G 2' 5" W	Activa
M1123	HACIENDA TAURA (BANATEL)	CP	GUAYAS	2G 21' 0" S	79G 38' 10" W	Activa
M1124	SIERRAZUL	CO	NAPO	0G 40' 26" S	77G 55' 36" W	Activa

ANEXO 4

M1143	EL PORVENIR	CO	EL ORO	3G 21' 36" S	79G 41' 21" W	Activa
M1146	JULIO MORENO-CEDEGE	PV	SANTA ELENA	2G 20' 18" S	80G 21' 24" W	Activa
M1148	PRIMO BANANO	CO	GUAYAS	2G 15' 0" S	79G 28' 30" W	Activa
M1149	SAN CRISTOBAL-CEDEGE	CO	LOS RIOS	0G 41' 0" S	79G 24' 0" W	Activa
M1152	SUBE Y BAJA-CEDEGE	PV	SANTA ELENA	2G 21' 30" S	80G 26' 48" W	Activa
M1153	GUALLIL	AU	AZUAY	3G 4' 18" S	78G 48' 50" W	Activa
M1094	TOMALON-TABACUNDO	AU, AG	PICHINCHA	0G 2' 0" N	78G 14' 0" W	Activa
M1159	CA-AVERAL	PV	LOJA	4G 9' 32" S	80G 24' 20" W	Activa
M1160	CAPIRO	PV	EL ORO	3G 44' 30" S	79G 42' 43" W	Activa
M1161	CELEN	PV	LOJA	3G 35' 45" S	79G 20' 5" W	Activa
M1163	LOS AMARILLOS	PV	EL ORO	3G 47' 54" S	79G 44' 26" W	Activa
M1164	MANGAHURQUILLO	PV	LOJA	4G 4' 56" S	80G 17' 36" W	Activa
M1165	MATER	PV	LOJA	3G 38' 30" S	79G 9' 59" W	Activa
M1166	PALETILLAS	CO	LOJA	4G 9' 42" S	80G 17' 47" W	Activa
M1167	SABADEL	PV	LOJA	3G 34' 5" S	79G 27' 18" W	Activa
M1169	SANTA RUFINA	PV	LOJA	3G 50' 44" S	79G 45' 31" W	Activa
M1170	SANTA ELENA- UNIVERSIDAD	AU,CP	SANTA ELENA	2G 14' 06" S	80G 52' 30" W	Activa
M1171	HUATICOCHA	AU, PV	ORELLANA	0G 44' 43" S	77G 29' 1" W	Activa
M1172	CARTAGENA-O-A	CO	AZUAY	3G 24' 34" S	79G 9' 51" W	Activa
M1173	ISLA PUNA-SECTOR BELLAVISTA	CO	GUAYAS	2G 46' 8" S	80G 13' 04" W	Activa
M1183	RUNDOPAMBA	PV	PICHINCHA	0G 5' 25" S	78G 32' 34" W	Activa
M1184	LA DELICIA-HCPP	PV	PICHINCHA	0G 8' 45" N	78G 57' 50" W	Activa
M1185	MAR DE LA TRANQUILIDAD	PV	STO. D. TSACHILAS	0G 12' 24" S	78G 53' 59" W	Activa
M1186	COOP. U. GANADEROS ORENSES	PV	PICHINCHA	0G 4' 21" S	78G 59' 16" W	Activa
M1190	SAN BERNABE	PV	PICHINCHA	0G 0' 40" S	79G 5' 10" W	Activa
M1191	MONTE OLIVO – HCPP	PV	PICHINCHA	0G 11' 27" N	78G 57' 39" W	Activa
M1192	EL PASO	PV	STO. D. TSACHILAS	0G 15' 15" S	78G 49' 27" W	Activa
M1199	HUACA HACIENDA-UPEC	CP	CARCHI	0G 37' 3" N	77G 45' 3" W	Activa
M1203	LUMBAQUI	AU,CP	SUCUMBIOS	0G 2' 26" N	77G 20' 2" W	Activa
M1204	QUIROGA	PV	MANABI	0G 53' 0" S	80G 6' 0" W	Activa
M1205	CUAQUE PEDERNALES	PV	MANABI	0G 00' 00" N	80G 04' 35" W	Activa
M1207	NOBOL	AU,CP	GUAYAS	1G 54' 0" S	80G 1' 20" W	Activa
M1208	LA TEODOMIRA	CP	MANABI	1G 9' 51" S	80G 23' 24" W	Activa
M1209	TOTORILLAS	CO	CHIMBORAZO	2G 0' 54" S	78G 43' 20" W	Activa
M1210	PUJILI	CP	COTOPAXI	0G 57' 24" S	78G 42' 22" W	Activa
M1212	PUCARA-COLEGIO TEC.AGROP.	CO	AZUAY	3G 12' 22" S	79G 27' 50" W	Activa
M1213	POZUL COLEGIO AGROP.RODRIGUEZ	CO	LOJA	4G 6' 54" S	80G 3' 24" W	Activa
M1214	NAMBACOLA-COLEGIO AGROP.CUEVA	CP	LOJA	4G 8' 13" S	79G 25' 52" W	Activa

ANEXO 4

M1215	LA LIBERTAD-RIO BLANCO	PV	STO. D. TSACHILAS	0G 31' 54" S	79G 7' 20" W	Activa
M1216	EL CEBOLLAR	CP	AZUAY	2G 52' 55" S	79G 1' 0" W	Activa
M1217	BAHIA DE CARAQUEZ-PUCE	CO	MANABI	0G 39' 34" S	80G 23' 51" W	Activa
M1219	TENA HDA. CHAUPI SHUNGO	AU, CO	NAPO	0G 55' 1" S	77G 49' 9" W	Activa
M1220	ATASCOSO (VIA PICHINCHA)	PV	MANABI	1G 5' 0" S	79G 55' 0" W	Activa
M1221	SAN JOSE DE PAYAMINO	AU,CP	ORELLANA	0G 30' 14" S	77G 19' 3" W	Activa
M1230	ESPAM-MFL- CALCETA	AU,CP	MANABI	0G 49' 23" S	80G 11' 0,6" W	Activa
M1231	ILLINIZA-BIGROSES	CP	PICHINCHA	0G 37' 22" S	78G 39' 34" W	Activa
M1232	CONONACO	PV	ORELLANA	0G 59' 34" S	76G 56' 15" W	Activa
M1233	CANTAGALLO-GRANJA UNESUM	CP	MANABI	1G 17' 13" S	80G 43' 44" W	Activa
M1234	ANDIL-UNESUM	CO	MANABI	1G 20' 49" S	80G 32' 23" W	Activa
M1238	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI-UTC	CP	COTOPAXI	0G 59' 57" S	78G 37' 14" W	Activa
M1239	UNIVERSIDAD ESTATAL DE QUEVEDO-UTEQ	CO	LOS RIOS	1G 3' 41" S	79G 25' 15" W	Activa
M1240	IBARRA – INAMHI	CP	IMBABURA	0G 20' 2" N	78G 8' 23" W	Activa
M1241	ATASCOSO	PV	MANABI	1G 4' 21" S	80G 0' 32" W	Activa
M1243	CUNCHIBAMBA-ITLAM (INST.LUIS A. MARTINEZ)	CO	TUNGURAHUA	1G 8' 1" S	78G 35' 53" W	Activa
M1244	PALMALES	AU, CO	EL ORO	3G 39' 43" S	80G 6' 13" W	Activa
M1245	ISIDRO AYORA – CEDEGE	CO	GUAYAS	1G 52' 44" S	80G 8' 33" W	Activa
M1246	LAS LAJAS – INAMHI	AU, CO	EL ORO	3G 47' 33" S	80G 6' 13" W	Activa
M1248	EL CRISTAL	CO	ESMERALDAS	0G 50' 05" N	78G 28' 54" W	Activa
M1249	PALESEMA	CP	ESMERALDAS	01G 18' 21" N	78G 43' 54" W	Activa
M1250	LA CONCEPCION – GRANJA ALFONSO TADEO UPEC	CP	CARCHI	0G 36' 03" N	78G 07' 51" W	Activa
M1251	BANCHAL	PV	MANABI	1G 38' 37" S	80G 29' 13" W	Activa
M1252	SAMBORONDON – UESS	PV	GUAYAS	2G 8' 6" S	79G 52' 3" W	Activa
M1253	PUERTO HONDO	PV	GUAYAS	2G 11' 33" S	80G 1' 27" W	Activa
M1254	INDULAC	PV	GUAYAS	2G 4' 41" S	79G 56' 21" W	Activa
M1255	DURAN	PV	GUAYAS	2G 10' 12" S	79G 49' 48" W	Activa
M1256	LOS RANCHEROS DEL NORTE- EL CARMELO	CO	CARCHI	0G 39' 17" N	77G 36' 18" W	Activa
M1257	HDA. SAN RAFAEL BUCAY	CP	GUAYAS	02G 11' 05" S	79G 14' 00" W	Activa
M5004	CONONACO	AU, PV	ORELLANA	0G 59' 34" S	76G 56' 15" W	Activa
M5006	OYACACHI	AU	NAPO	1G 12' 40" S	78G 5' 27" W	Activa
M5008	COSANGA	AU	NAPO	0G 34' 42" S	77G 52' 6" W	Activa
M5014	SALVE FACCHA	AU	NAPO	0G 13' 50" S	78G 9' 9" W	Activa
M5015	HDA. SECAS	AU	NAPO	0G 44' 38" S	78G 17' 14" W	Activa

ANEXO 4

M5021	SALVEFACHA-OYACACHI	AU	NAPO	0G 11' 18" S	78G 6' 38" W	Activa
M5022	CONTROL BA-OS (PAPALLACTA)	AU	NAPO	0G 19' 20" S	78G 8' 52" W	Activa
M5023	PAPALLACTA	AU	NAPO	0G 22' 41" S	78G 8' 28" W	Activa
M5024	EL TAMBO (PAPALLACTA)	AU	NAPO	0G 22' 46" S	78G 11' 45" W	Activa
M5025	LA VIRGEN-PAPALLACTA	AU	NAPO	0G 20' 1" S	78G 11' 54" W	Activa
M5026	COTOPAXI-CONTROL NORTE (MACHACHI)	AU	PICHINCHA	0G 33' 49" S	78G 26' 36" W	Activa
M5044	YARUQUI	AU	PICHINCHA	0G 9' 39" S	78G 18' 14" W	Activa
M5063	YASUNI-CONONACO	AU	PASTAZA	1G 32' 38,3" S	75G 35' 42,3" W	Activa
M0030	SAN SIMON	CP	BOLIVAR	1G 38' 45" S	78G 59' 52" W	Activa
M0190	YANZATZA	CO	ZAMORA CHINCHIPE	3G 49' 13" S	78G 45' 45" W	Activa
M1130	SHIRY XII	CO	CHIMBORAZO	1G 51' 0" S	78G 45' 0" W	Activa
M1258	CASA LAGARTO	PV	MANABI	1G 12' 43" S	80G 21' 27" W	Activa
M1259	MACARA	CO	LOJA	4G 22' 11" S	79G 56' 42" W	Activa
M1260	QUIMIAG	CO	CHIMBORAZO	1G 39' 25" S	78G 34' 10" W	Activa
M1261	ILAPO	CO	CHIMBORAZO	1G 32' 27" S	78G 34' 32" W	Activa
M5089	EL TABLON – LAS CUEVAS	AU	AZUAY	2G 48' 41.72" S	79G 19' 28.7" W	Activa
M5090	LA LAMPADA	AU	GUAYAS	2G 31' 43.28" S	79G 30' 9.49" W	Activa
M5091	TANZARAY	AU	AZUAY	2G 34' 48.96" S	79G 18' 27.6" W	Activa
M5092	GUEALLETURO	AU	CAÑAR	2G 31' 39.61" S	79G 8' 4.58" W	Activa
M5093	CHACAPAMBA	AU	CAÑAR	2G 28' 50.59" S	78G 55' 2.98" W	Activa
M5094	COCHAHUMA	AU	CAÑAR	2G 37' 17.48" S	78G 47' 2.84" W	Activa
M5095	ESCUBILLA	AU	CAÑAR	2G 35' 5.71" S	78G 58' 42.43" W	Activa
M5096	CHIPLA	AU	AZUAY	2G 44' 35.85" S	79G 24' 33.43" W	Activa
M5103	EMOV- EP CUENCA	AU	AZUAY			Activa
M5104	RADAR – TANQUE DE AGUA SAN JUAN DE CALDERON ALTO	AU	PICHINCHA	0G 2' 38.87" S	78G 25' 57.06" W	Activa
M5105	RADAR DE APROXIMACION DE MONJAS	AU	PICHINCHA	0G 2' 38.87" S	78G 25' 57.06" W	Activa
M5106	RADAR – PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL TROJE	AU	PICHINCHA	0G 20' 0.22" S	78G 31' 21.3" W	Activa
M1156	NAYON GRANJA SANTA ANA – PUCE	CO	PICHINCHA	0G 10' 37" S	78G 25' 39" W	

ANEXO 5

ESTACIONES: DISTANCIA RECORRIDA POR EL VIENTO

Estaciones	Tipo	Clima	Región	Provincias	LON	LAT
ALLURIQUIN INECEL	CO	Aw	Sierra	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	-78.99	-0.32
ARENILLAS	CO	Ab	Costa	EL ORO	-80.05	-3.54
BANNOS	CP	Ch	Sierra	TUNGURAHUA	-78.42	-1.39
BUCAJ	CP	Aw	Costa	EL ORO	-79.13	-2.20
CANNAR	CP	Pf	Sierra	CAÑAR	-78.95	-2.55
CAHUASQUI FAO	CO	Ch	Sierra	IMBABURA	-78.21	0.52
CHACRAS	CO	Ar	Costa	EI ORO	-80.20	-3.54
EL CHACO INECEL	CP	Aw	Oriente	NAPO	-77.67	-0.33
GONZANAMA	PV	Ch	Sierra	LOJA	-79.43	-4.23
GRANJA STAINES UTM	AP	Ab	Costa	EL ORO	-79.90	-3.29
GUALAQUIZA INAMHI	CO	Aw	Oriente	MORONA SANTIAGO	-78.58	-3.40
INGENIO AZTRA LA TRONCAL	CP	Ah	Sierra	COTOPAXI	-79.37	-2.37
INIAP SUPLEMENTARIA PORCINOS	CO	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.50	-0.35
IZOBAMBA	AP	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.55	-0.37
JACARIN SOLANO	PG	Ch	Sierra	BOLIVAR	-78.93	-2.82
LA ARGELIA LOJA	AP	Ch	Sierra	LOJA	-79.20	-4.04
LA CONCORDIA	CP	Aw	Sierra	IMBABURA	-79.37	0.03
LA TOLA	AP	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.37	-0.23
MACHALA UTM PAGUA	AP	Ah	Sierra	BOLIVAR	-79.73	-3.05
MILAGRO INGENIO VALDEZ	AP	Ah	Costa	GUAYAS	-79.60	-2.12
NUEVO ROCAFUERTE	AP	Af	Oriente	ORELLANA	-75.42	-0.92
OTAVALO	CP	Ch	Sierra	IMBABURA	-78.25	0.24
PAGUA	CO	Ah	Sierra	COTOPAXI	-79.77	-3.07
PALMORIENTE HUASHITO PALMAR DEL RIO	CP	Af	Oriente	ORELLANA	-77.07	-0.31
PALO QUEMADO	CP	Aw	Costa	GUAYAS	-78.92	-0.37
PENNAS COLORADAS	CP	Ch	Sierra	COTOPAXI	-78.57	-2.57
PICHILINGUE	AP	Ah	Costa	LOS RIOS	-79.46	-1.10
PORTOVIEJO UTM	AP	Ab	Costa	MANABI	-80.46	-1.04
PUEBLO VIEJO	CO	Ah	Costa	MANABI	-80.06	-1.21
PUYO	AP	Aw	Oriente	PASTAZA	-77.94	-1.51
QUININDE CONVMADRES LAURITAS	CP	Aw	Costa	ESMERALDAS	-79.43	0.32
QUITO INAMHI INNAQUITO	CP	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.48	-0.17
RUMIPAMBA SALCEDO	AP	Cb	Sierra	COTOPAXI	-78.59	-1.02
SANGAY PSANTA ANA	CP	Aw	Oriente	MORONA SANTIAGO	-77.96	-1.69
VINDOBONA	CP	Cb	Sierra	PICHINCHA	-78.40	0.00
YANZATZA	CO	Aw	Oriente	ZAMORA CHINCHIPE	-78.75	-3.84

ANEXO 6

ESTACIONES: DIRECCION PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MENSUAL DEL VIENTO

Estacion	Tipo	Clima	Región	Provincia	LON	LAT
BABAHOYO-UTB	AP	Ah	Costa	LOS RIOS	-79.5333	-1.7969
BANNOS	CP	Ch	Sierra	TUNGURAHUA	-78.4181	-1.3914
CALUMA	CO	Aw	Sierra	BOLIVAR	-79.2931	-1.6200
CAMPOSANO#2	CP	Ah	Costa	MANABI	-80.4011	-1.5928
CARIAMANGA	AP	Ch	Sierra	LOJA	-79.5544	-4.3333
CELICA	CO	Ch	Sierra	LOJA	-79.9514	-4.1047
CHILLANES	CO	Ch	Sierra	BOLIVAR	-79.0633	-1.9756
CHUNCHI	CO	Cb	Sierra	CHIMBORAZO	-78.9236	-2.2753
ELANGEL	CO	Ch	Sierra	CARCHI	-77.9439	0.6264
ELCARMELO	CO	Pf	Sierra	CARCHI	-77.5994	0.6611
ELCORAZON	CO	Aw	Sierra	COTOPAXI	-79.0756	-1.1339
ELLABRADO	CO	Pf	Sierra	AZUAY	-79.0081	-2.7328
GONZANAMA	CO	Ch	Sierra	LOJA	-79.4311	-4.2303
GUALACEO	CO	Pf	Sierra	AZUAY	-78.7764	-2.8819
GUALAQUIZAINAMHI	CO	Aw	Oriente	MORONA SANTIAGO	-78.5667	-3.4000
GUAYAQUIL-RADIOSONDA	CO	Ah	Costa	GUAYAS	-79.8833	-2.2000
INGUINCHO	CO	Aw	Sierra	IMBABURA	-78.7342	0.2583
IZOBAMBA	AP	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.5500	-0.3667
JACARIN	CO	Ch	Sierra	CAÑAR	-78.9333	-2.8211
JULCUY	CO	Ab	Costa	MANABI	-80.6322	-1.4800
LACONCORDIA	CP	Aw	Costa	ESMERALDAS	-79.3714	0.0267
LAVICTORIAINERHI	AP	Pf	Sierra	PICHINCHA	-78.2006	-0.0600
MILAGRO(INGENIOVALDE Z)	CP	Ah	Costa	GUAYAS	-79.5992	-2.1156
NARANJAL	CO	Ab	Costa	GUAYAS	-79.6564	-2.6622
NUEVOROCAFUERTE	AP	Af	Oriente	ORELLANA	-75.4167	-0.9167
OLMEDO-MANABI	CP	Ah	Costa	MANABI	-80.2108	-1.3956
OTAVALO	CO	Ch	Sierra	IMBABURA	-78.2597	0.2378
PACHAMAMA-TIXAN	CO	Pf	Sierra	CHIMBORAZO	-78.7817	-2.1950
PAGUA	CO	Ah	Costa	EL ORO	-79.7678	-3.0694
PAUTE	CO	Ch	Sierra	AZUAY	-78.7589	-2.7775
PENNASCOLORADAS	CP	Ch	Sierra	AZUAY	-78.5664	-2.5792
PERUCHOINECEL	CP	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.4219	0.1122
PICHILINGUE	AP	Ah	Costa	LOS RIOS	-79.4617	-1.1000
PUEBLOVIEJO	CO	Ah	Costa	LOS RIOS	-79.5417	-1.5181
PUERTOBOLIVAR	CO	Ab	Costa	EL ORO	-80.0000	-3.2567
PUERTOILA	CO	Aw	Sierra	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	-79.3389	-0.4761
PUYO	AP	Aw	Oriente	PASTAZA	-77.9439	-1.5075
QUEROCHACA(UTA)	AP	Ch	Sierra	TUNGURAHUA	-78.5833	-1.4000
QUININDE(CONV.MADRES LAURITAS)	CO	Aw	Costa	ESMERALDAS	-79.4625	0.3053
QUITOINAMHI-INNAQUITO	CE	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.4833	-0.1667
ROCAFUERTE	CO	Ar	Costa	MANABI	-80.4486	-0.9225

ANEXO 6

RUMIPAMBA-SALCEDO	AP	Cb	Sierra	COTOPAXI	-78.5922	-1.0181
SALINAS- IMBABURAINERHI	CP	Cb	Sierra	IMBABURA	-78.1489	0.4631
SANANTONIODEPICHINCHA A	CO	Cb	Sierra	PICHINCHA	-78.4369	-0.0103
SANGABRIEL	CO	Ch	Sierra	CARCHI	-77.8194	0.6042
SANGAY(P.SANTAANA)	CP	Aw	Oriente	MORONA SANTIAGO	-77.9500	-1.6931
SANJUANLAMANA	CO	Aw	Sierra	COTOPAXI	-79.2456	-0.9164
SANLORENZO	CP	Aw	Costa	ESMERALDAS	-78.8417	1.2683
SARAGURO	CO	Ch	Sierra	LOJA	-79.2322	-3.6206
TOMALON-TABACUNDO	AP	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.2333	0.0333
TULCANAEROPUERTO	AR	Pf	Sierra	CARCHI	-77.7000	0.8167
TUMBACO	CO	Ch	Sierra	PICHINCHA	-78.4139	-0.2333
VILCABAMBA	CO	Ch	Sierra	LOJA	-79.2178	-4.2628
VINCESINAMHI	PV	Ah	Costa	LOS RIOS	-79.7500	-1.5492
YANGANA	CO	Ch	Sierra	LOJA	-79.1747	-4.3681
ZAMORA	CP	Ch	Oriente	ZAMORA CHINCHIPE	-78.9500	-4.0936
ZARUMA	CO	Ch	Costa	EL ORO	-79.6161	-3.6969



ANEXO 7

ESTACIONES: HELIOFANIA

Estacion	Tipo	Clima	Región	Provincia	LON	LAN
BABAHOYO UTB	CP	Ah	Costa	Los Rios	-79.53333	-1.79694
BANNOS	CP	Ch	Sierra	Tungurahua	-78.41806	-1.39139
COTOPAXI CLIRSEN	CO	Pf	Sierra	Cotopaxi	-78.58139	-0.62333
GUAYAQUIL U ESTATAL RADIO SONDA	CP	Ah	Costa	Guayas	-79.88333	-2.2
INGUINCHO	CO	Pf	Sierra	Imbabura	-78.40083	0.25833
INIAP SUPLEMENTARIA PORCINOS	CO	Ch	Sierra	Pichincha	-78.5	-0.35
IZOBAMBA	AP	Ch	Sierra	Pichincha	-78.55	-0.36667
JULCUY	CO	Ab	Costa	Manabi	-80.63222	-1.48
LA ARGELIA LOJA	AP	Ch	Sierra	Lo Loja	-79.20111	-4.03639
LA CONCORDIA	CP	Aw	Costa	Esmeraldas	-79.37139	0.02667
LA TOLA	AP	Ch	Sierra	Pichincha	-78.36667	-0.22944
MILAGRO INGENIO VALDEZ	AP	Ah	Costa	Guayas	-79.59917	-2.11556
NUEVO ROCAFUERTE	AP	Af	Oriente	Orellana	-75.41667	-0.91667
OTAVALO	CP	Ch	Sierra	Imbabura	-78.25	0.24333
PALMORIENTE HUASHITO PALMAR DEL RIO	CP	Af	Oriente	Sucumbios	-77.06833	-0.30611
PORTOVIEJO UTM	AP	Ab	Costa	Manabi	-80.45972	-1.0375
PUYO	AP	Aw	Oriente	Pastaza	-77.94389	-1.5075
QUEROCHACA UTA	CP	Cb	Sierra	Tungurahua	-78.60556	-1.36722
QUITO INAMHI INNAQUITO	CP	Ch	Sierra	Pichincha	-78.48333	-0.16667
RUMIPAMBA SALCEDO	AP	Cb	Sierra	Pichincha	-78.59472	-1.02
SAN GABRIEL	CP	Ch	Sierra	Carchi	-77.81944	0.60417
SANGAY P SANTA ANA	CP	Aw	Oriente	Morona Santiago	-77.95861	-1.68833
TOMALON TABACUNDO	AP	Ch	Sierra	Pichincha	-78.23333	0.03333

ANEXO 8

PROMEDIO DISTANCIA RECORRIDA POR EL VIENTO (m/s)

Estaciones	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ALLURIQUIN INECEL	0.60	0.60	0.61	0.59	0.60	0.59	0.58	0.57	0.59	0.59	0.60	0.61
ARENILLAS	0.67	0.66	0.67	0.65	0.67	0.65	0.65	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68
BANNOS	0.72	0.69	0.67	0.64	0.72	0.65	0.71	0.62	0.68	0.65	0.64	0.69
BUCAJ	0.66	0.67	0.67	0.65	0.64	0.63	0.63	0.62	0.63	0.64	0.63	0.65
CANNAR	1.51	1.55	1.54	1.55	1.50	1.49	1.53	1.51	1.58	1.55	1.61	1.55
CAHUASQUI FAO	0.79	0.74	0.73	0.75	0.75	0.74	0.73	0.73	0.74	0.77	0.74	0.77
CHACRAS	0.71	0.69	0.67	0.70	0.69	0.67	0.68	0.68	0.70	0.71	0.67	0.71
EL CHACO INECEL	0.58	0.55	0.54	0.52	0.54	0.52	0.51	0.51	0.53	0.53	0.53	0.53
GONZANAMA	0.63	0.59	0.60	0.58	0.57	0.55	0.55	0.55	0.57	0.58	0.57	0.58
GRANJA STAINES UTM	0.50	0.52	0.52	0.51	0.53	0.50	0.49	0.49	0.52	0.52	0.52	0.50
GUALAQUIZA INAMHI	0.57	0.55	0.56	0.53	0.55	0.53	0.53	0.52	0.55	0.54	0.55	0.56
INGENIO AZTRA LA TRONCAL	0.59	0.61	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.57	0.59	0.58	0.59	0.58
INIAP SUPLEMENTARIA PORCINOS	0.71	0.72	0.73	0.72	0.72	0.71	0.69	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73
IZOBAMBA	1.12	1.11	1.10	1.09	1.06	1.08	1.07	1.05	1.08	1.15	1.17	1.15
JACARIN SOLANO	0.90	0.90	0.86	0.89	1.00	0.88	0.88	0.86	0.87	0.91	0.91	0.89
LA ARGELIA LOJA	0.66	0.67	0.70	0.70	0.68	0.67	0.69	0.69	0.70	0.71	0.71	0.66
LA CONCORDIA	0.32	0.37	0.32	0.32	0.32	0.34	0.33	0.32	0.31	0.52	0.69	0.32
LA TOLA	0.77	0.75	0.76	0.81	0.79	0.75	0.77	0.73	0.78	0.80	0.78	0.79
MACHALA UTM PAGUA	0.63	0.61	0.60	0.61	0.61	0.59	0.62	0.58	0.59	0.63	0.61	0.63
MILAGRO INGENIO VALDEZ	0.89	0.91	0.87	0.87	0.87	0.86	0.88	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87
NUEVO ROCAFUERTE	0.59	0.57	0.58	0.55	0.57	0.59	0.56	0.56	0.61	0.60	0.57	0.53
OTAVALO	0.63	0.64	0.62	0.60	0.61	0.62	0.62	0.60	0.60	0.64	0.65	0.63
PAGUA	0.51	0.51	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.46	0.47	0.48	0.49	0.48

ANEXO 8

PALMORIENTE	0.60	0.57	0.54	0.57	0.55	0.54	0.55	0.52	0.52	0.55	0.55	0.54
HUASHITO												
PALMAR DEL RIO												
PALO QUEMADO	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.48	0.49	0.51	0.51	0.50
PENNAS	0.62	0.62	0.61	0.60	0.61	0.83	0.59	0.59	0.60	0.61	0.62	0.60
COLORADAS												
PICHILINGUE	0.55	0.55	0.56	0.54	0.56	0.55	0.55	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56
PORTOVIEJO UTM	0.77	0.76	0.78	0.75	0.76	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.74	0.76
PUEBLO VIEJO	0.67	0.62	0.65	0.62	0.62	0.61	0.60	0.61	0.61	0.62	0.61	0.62
PUYO	0.43	0.41	0.40	0.42	0.44	0.44	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41
QUININDE	0.48	0.44	0.43	0.45	0.43	0.43	0.43	0.42	0.46	0.44	0.43	0.43
CONVMADRES												
LAURITAS												
QUITO INAMHI	0.98	0.72	0.72	0.71	0.69	0.69	0.70	0.68	0.71	0.72	0.73	0.74
INNAQUITO												
RUMIPAMBA	1.11	1.27	1.10	1.19	1.06	1.06	1.07	1.05	1.07	1.08	1.09	1.10
SALCEDO												
SANGAY PSANTA	0.64	0.63	0.63	0.61	0.63	0.62	0.61	0.61	0.62	0.62	0.64	0.63
ANA												
VINDOBONA	0.66	0.63	0.65	0.63	0.64	0.63	0.62	0.61	0.62	0.64	0.64	0.65
YANZATZA	0.61	0.73	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61

ANEXO 9

FRECUENCIA DE DIRECCIONES PREDOMINANTES

Estacion	Provincia	Media (m/s)	N (0)	NE (45)	E (90)	SE (135)	S (180)	SW (225)	W (270)	NW (315)
Paute	Azuay	3.08	0	121	116	8	39	5	7	0
Gualaceo	Azuay	2.99	27	43	10	61	8	23	5	100
El Labrado	Azuay	5.28	1	133	53	53	0	29	24	1
Pennas Coloradas	Azuay	5.70	0	0	0	2	121	0	1	0
Caluma	Bolívar	4.10	4	108	0	20	0	26	1	52
Chillanes	Bolívar	3.39	3	30	26	26	0	0	228	0
Jacarin	Cañar	7.01	0	1	114	0	1	0	4	0
Tulcan Aeropuerto	Carchi	4.56	0	3	177	13	0	1	0	0
El Carmelo	Carchi	3.77	1	36	58	57	0	0	0	0
El Angel	Carchi	5.15	2	102	15	129	13	40	2	1
San Gabriel	Carchi	3.45	2	12	0	193	37	62	0	5
Pachamama-Tixan	Chimborazo	6.40	11	30	83	13	18	7	8	0
Chunchi	Chimborazo	4.39	18	8	2	22	14	128	38	48
Rumipamba-Salcedo	Cotopaxi	4.67	0	0	0	139	184	0	0	0
El Corazon	Cotopaxi	3.76	4	34	104	18	0	9	13	103
Sanjuanlamana	Cotopaxi	1.96	7	22	15	11	19	94	45	55
Zaruma	El Oro	2.26	3	34	117	84	40	7	7	1
Pagua	El Oro	1.85	0	47	0	110	0	6	0	11
Puerto Bolivar	El Oro	2.58	0	0	0	0	0	40	1	93
La Concordia	Esmeraldas	2.85	2	0	3	20	238	52	1	0
Quininde(Conv. Madres Lauritas)	Esmeraldas	1.92	4	16	3	47	1	41	20	23
San Lorenzo	Esmeraldas	2.87	0	0	0	0	0	5	50	89
Milagro(Ingenio Valdez)	Guayas	1.37	0	2	1	20	1	221	16	48
Naranjal	Guayas	3.12	1	0	14	3	0	119	1	155
Guayaquil-Radiosonda	Guayas	1.42	3	53	14	50	37	30	0	0
Inguincho	Imbabura	5.43	0	106	184	23	2	0	0	1
Salinas-Imbabura Inerhi	Imbabura	4.78	17	110	0	5	21	7	0	9
Otavalto	Imbabura	3.93	11	221	2	5	2	15	0	104
Saraguro	Loja	6.04	9	55	0	210	11	7	2	12
Vilcabamba	Loja	4.38	2	54	0	78	12	23	0	14
Cariamanga	Loja	3.47	18	61	1	136	31	24	0	9
Yangana	Loja	12.02	12	16	0	163	45	45	0	11
Celica	Loja	4.14	4	3	79	3	92	29	51	3
Gonzanama	Loja	3.81	0	94	68	2	17	0	3	0
Pichilingue	Los Ríos	1.85	4	12	0	19	90	195	2	2
Babahoyo-Utb	Los Ríos	1.25	0	2	0	37	18	262	0	2
Pueblviejo	Los Ríos	2.19	1	0	0	0	179	74	0	0
Vinces Inamhi	Los Ríos	2.43	8	1	12	6	124	6	5	0
Rocafuerte	Manabí	5.14	12	0	0	0	0	3	0	298
Olmedo-Manabi	Manabí	3.36	0	234	0	42	0	0	10	0
Julcuy	Manabí	3.67	11	230	56	17	5	0	0	0
Camposano#2	Manabí	3.41	40	168	0	1	0	32	1	61

ANEXO 9

Sangay(P.Santa Ana)	Morona Santiago	2.79	6	39	115	4	5	5	80	12
Gualaquiza Inamhi	Morona Santiago	3.15	5	1	0	14	294	0	0	0
Nuevo Rocafuerte	Orellana	2.02	44	120	0	4	0	0	1	149
Puyo	Pastaza	2.22	7	156	134	15	4	4	1	1
Izobamba	Pichincha	2.37	18	143	54	7	68	33	1	0
La Victoria Inerhi	Pichincha	3.97	1	0	22	0	0	2	112	0
Quitoinamhi-Innaquito	Pichincha	3.11	21	247	10	8	14	2	0	3
Tumbaco	Pichincha	4.64	22	50	32	39	17	36	20	16
San Antonio De Pichincha	Pichincha	6.52	0	8	0	0	0	0	0	167
Perucho Inecel	Pichincha	4.39	0	2	0	0	0	0	0	122
Tomalon-Tabacundo	Pichincha	6.98	4	10	54	45	1	81	25	1
Puerto Ila	Santo Domingo De Los Tsachilas	2.53	5	10	4	3	155	34	34	76
Bannos	Tungurahua	9.78	1	121	102	62	2	0	3	0
Querochaca(Uta)	Tungurahua	6.34	3	0	253	8	12	2	0	0
Zamora	Zamora Chinchipe	2.28	0	3	22	4	88	0	3	8



ANEXO 10

VELOCIDAD MEDIA MENSUAL (m/s)

Estacion	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BABAHOYO-UTB	1.24	1.21	1.24	1.21	1.19	1.22	1.25	1.24	1.33	1.32	1.30	1.22
BANNOS	10.26	10.14	10.26	10.51	9.62	8.83	8.78	8.86	9.05	10.86	10.25	10.13
CALUMA	4.22	4.12	4.28	4.42	3.92	4.16	3.89	3.96	3.73	4.01	4.19	4.22
CAMPOSANO#2	3.25	3.22	3.54	3.56	3.59	3.50	3.48	3.50	3.34	3.36	3.39	3.24
CARIAMANGA	3.00	3.17	3.12	3.06	3.48	3.87	4.29	4.24	3.85	3.21	2.96	2.76
CELICA	3.35	3.12	3.42	3.45	4.23	4.50	4.45	4.78	4.44	4.95	4.63	4.13
CHILLANES	3.06	3.07	2.94	3.02	3.20	3.30	3.71	3.96	3.77	3.74	3.71	3.27
CHUNCHI	4.58	4.17	4.12	4.18	3.84	4.25	4.55	4.84	4.69	4.80	4.60	4.20
ELANGEL	4.81	4.32	4.55	4.47	4.83	5.89	6.18	6.80	6.05	4.96	4.43	4.37
ELCARMELO	3.23	3.54	3.75	3.41	3.47	4.42	4.77	4.37	3.82	3.64	3.24	3.73
ELCORAZON	3.77	3.46	3.69	3.62	3.55	3.85	3.74	3.98	4.00	3.83	3.82	3.81
ELLABRADO	4.90	5.14	4.85	5.11	5.17	5.75	5.92	6.18	5.26	5.05	4.69	5.33
GONZANAMA	3.40	3.38	3.58	3.45	3.70	4.18	4.91	4.78	3.95	3.65	2.79	3.38
GUALACEO	2.92	2.76	2.98	2.75	3.19	3.02	3.27	3.11	3.00	2.99	3.15	2.84
GUALAQUIZAINAMHI	3.19	3.04	3.04	3.20	3.09	3.13	2.97	3.11	3.19	3.35	3.36	3.19
GUAYAQUIL-RADIOSONDA	1.35	1.26	1.39	1.38	1.28	1.39	1.46	1.61	1.58	1.50	1.33	1.45
INGUINCHO	5.10	5.30	4.92	4.86	4.90	5.48	6.10	6.81	5.98	5.15	5.06	5.43
IZOBAMBA	2.22	2.12	2.18	2.09	2.18	2.47	2.91	2.93	2.85	2.13	2.24	2.08
JACARIN	6.76	6.67	5.98	5.78	6.30	6.92	7.79	8.98	8.88	7.60	6.26	6.42
JULCUY	3.41	3.30	3.43	3.36	3.37	3.36	3.54	4.01	4.35	4.06	4.05	3.85
LACONCORDIA	2.91	3.05	2.69	2.86	2.56	2.95	3.13	2.97	2.68	2.92	2.75	2.74
LAVICTORIAINERHI	3.97	3.66	3.63	3.80	3.58	3.94	4.38	4.92	4.30	3.88	3.68	3.89
MILAGRO(INGENIOVALDEZ)	1.20	1.24	1.37	1.40	1.38	1.36	1.41	1.43	1.51	1.46	1.35	1.28
NARANJAL	3.17	3.04	3.18	3.14	3.15	2.94	3.10	3.24	3.21	3.23	3.10	2.95
NUEVOROCAFUERTE	2.35	2.18	1.94	2.01	1.89	1.89	1.86	1.93	1.88	1.93	2.08	2.36
OLMEDO-MANABI	3.28	3.36	3.25	3.67	3.23	3.30	3.20	3.43	3.39	3.46	3.37	3.41
OTAVALO	3.60	3.63	3.58	3.61	3.49	3.92	4.54	4.75	4.25	3.85	3.89	3.88
PACHAMAMA-TIXAN	4.98	4.64	4.22	5.17	6.63	8.97	10.21	10.51	8.08	5.51	4.34	4.01
PAGUA	1.81	1.98	2.26	2.05	1.89	1.80	1.99	1.72	1.64	1.62	1.58	1.76
PAUTE	3.17	2.88	2.90	2.90	3.07	3.17	3.24	3.31	3.35	3.05	2.93	3.02
PENNASCOLORADAS	6.55	5.79	5.74	5.41	5.19	5.11	5.37	5.43	5.41	5.77	6.43	6.63

ANEXO 10

PERUCHOINECEL	4.69	4.45	4.33	3.66	3.85	4.37	4.46	4.57	4.53	4.47	4.70	4.74
PICHILINGUE	1.79	2.03	1.92	1.81	1.79	1.87	1.85	1.79	1.86	1.79	1.83	1.83
PUEBLOVIEJO	2.07	2.06	2.09	2.05	2.14	2.18	2.29	2.25	2.36	2.27	2.32	2.18
PUERTOBOLIVAR	2.40	2.67	2.44	2.58	2.80	2.47	2.96	2.61	2.62	2.56	2.49	2.44
PUERTOILA	2.66	2.63	2.66	2.37	2.54	2.46	2.48	2.45	2.56	2.50	2.41	2.61
PUYO	2.16	2.24	2.21	2.19	2.18	1.89	1.97	2.21	2.23	2.56	2.40	2.36
QUEROCHACA(UTA)	6.49	6.51	5.86	5.53	6.24	6.69	7.41	7.09	6.96	6.24	5.45	5.75
QUININDE(CONV.MADRESLA	1.81	1.86	1.99	1.88	1.80	1.98	2.01	1.98	1.87	1.97	1.95	1.85
QUITOINAMHI-INNAQUITO	3.03	3.01	2.99	2.97	2.80	2.90	3.39	3.58	3.35	3.05	3.15	3.06
ROCAFUERTE	5.12	4.66	4.90	5.03	5.10	4.91	5.00	5.18	5.45	5.36	5.43	5.56
RUMIPAMBA-SALCEDO	4.47	4.61	4.19	4.29	4.40	5.12	5.22	5.45	5.16	4.54	4.36	4.18
SALINAS-IMBABURAINERHI	4.78	4.94	4.58	4.65	4.44	4.79	4.54	4.79	5.23	4.95	4.86	4.80
SANANTONIODEPICHINCHA	6.95	6.77	6.79	6.45	5.91	5.97	6.23	6.21	6.79	6.73	7.15	6.36
SANGABRIEL	3.18	3.35	3.29	3.19	3.21	3.78	3.94	3.82	3.62	3.52	3.33	3.19
SANGAY(P.SANTAANA)	2.72	2.92	2.74	2.76	2.83	2.60	2.64	2.86	2.74	2.87	2.79	2.96
SANJUANLAMANA	2.01	2.06	2.24	2.15	2.09	1.87	1.92	1.86	1.87	1.70	1.94	1.78
SANLORENZO	2.99	3.09	3.25	2.92	2.62	2.65	2.68	2.81	2.93	2.99	2.83	2.76
SARAGURO	5.94	5.45	5.73	5.52	5.95	6.41	6.68	6.86	6.85	6.14	5.80	5.35
TOMALON-TABACUNDO	4.89	5.14	4.09	4.78	5.54	10.06	11.05	11.33	10.50	6.47	4.54	4.56
TULCANAEROPUERTO	4.48	4.46	4.52	4.12	4.49	4.76	5.07	4.90	4.71	4.59	4.33	4.21
TUMBACO	3.62	3.93	4.01	3.74	3.96	5.43	7.10	6.77	5.74	3.96	3.68	3.67
VILCABAMBA	3.27	3.70	3.89	3.49	4.09	5.13	6.41	5.86	5.08	4.14	3.59	3.66
VINCESINAMHI	2.12	2.37	2.30	1.97	2.33	2.33	2.37	2.46	2.81	2.86	2.53	2.52
YANGANA	11.38	10.49	10.76	10.35	12.27	14.16	13.99	13.86	12.89	11.36	11.23	11.59
ZAMORA	2.15	2.00	2.20	2.26	2.20	2.25	2.23	2.34	2.46	2.40	2.57	2.20
ZARUMA	2.13	2.01	1.96	1.94	1.90	2.16	2.56	2.77	2.44	2.49	2.58	2.24

ANEXO 11

Calculo de la Heliofania relativa

Día juliano: El día juliano será igual al día del mes más los días transcurridos de los meses.

Tabla de Días julianos

Mes	Año Normal		Año Bisiesto	
	Días del mes	Días transcurrido	Días del mes	Días transcurrido
Enero	31	0	31	0
Febrero	28	31	29	31
Marzo	31	59	31	60
Abril	30	90	30	91
Mayo	31	120	31	121
Junio	30	151	30	152
Julio	31	181	31	182
Agosto	31	212	31	213
Septiembre	30	243	30	244
Octubre	31	273	31	274
Noviembre	30	304	30	305
Diciembre	31	334	31	335

Latitud (λ). Angulo que forma la línea del sol con el plano del ecuador en la posición del observador. $S \approx -90 \leq \lambda \leq 90 \approx N$

Declinación (δ), Es la posición angular del sol respecto al plano del ecuador en el mediodía solar, el valor del ángulo se suele tomar cada día al mediodía solar. Esto es debido a que el eje de rotación de la Tierra está inclinado a un ángulo de $23^{\circ}45'$ respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe alrededor del Sol y de ahí que el valor de la declinación varía entre $\pm 23^{\circ}45'$ a lo largo del año. Cabe indicar que la declinación al Norte del Ecuador se considera positiva, d día juliano.

$$\delta = 23.45^{\circ} \operatorname{sen} \left(360^{\circ} \frac{284 + d}{365} \right)$$

Horas de sol.(N)

Para determinar el número de horas que dura un día del año en un sitio específico, se lo puede determinar a través del orto y el ocaso, o simplemente conociendo la latitud y declinación de ese día en particular.

$$N = \frac{2}{15} \operatorname{arcos} (-\operatorname{tg} \lambda * \operatorname{tg} \delta)$$

Finalmente se calcula la heliofania relativa para cada registro diario a lo largo de toda la serie de tiempo por medio de la ecuación

$$Hr = \frac{n}{N}$$

n: Registro de Heliofania diaria

N: Horas de Sol Teóricas diarias

ANEXO 12

```
&share
wrf_core = 'ARW',
max_dom = 5,
start_date = '$AAAA', '$AAAA', '$AAAA', '$AAAA', '$AAAA',
end_date   = '$BBBB', '$BBBB', '$BBBB', '$BBBB', '$BBBB',
interval_seconds = 21600
io_form_geogrid = 2,
/
&geogrid
parent_id      = 1,1,2,3,3,
parent_grid_ratio = 1,3,3,3,3,
i_parent_start = 1,13,68,117,109,
j_parent_start = 1,20,50,144,25,
e_we          = 107,238,394,682,646,
e_sn          = 105,199,304,400,370,
geog_data_res = '10m', '2m', '30s', '30s', '30s',
dx = 27000,
dy = 27000,
map_proj = 'mercator',
ref_lat  = -1.724,
ref_lon  = -79.832,
truelat1 = -1.724,
truelat2 = 0,
stand_lon = -79.832,
geog_data_path =
'/sfs/home/usc/fm/coc/TEMPLATES/GEOG_DATA_V3_4/geog',
/

&ungrib
out_format = 'WPS',
prefix = 'FILE',
/

&metgrid
fg_name = 'FILE'
io_form_metgrid = 2,
/
```

ANEXO 13

```

&time_control
  run_days           = 1,
  run_hours          = 12,
  run_minutes        = 0,
  run_seconds        = 0,
  start_year         = $SYSY, $SYSY, $SYSY, $SYSY,
  $SYSY,
  start_month        = $SMSM, $SMSM, $SMSM, $SMSM,
  $SMSM,
  start_day          = $SDSD, $SDSD, $SDSD, $SDSD,
  $SDSD,
  start_hour         = $SHSH, $SHSH, $SHSH, $SHSH,
  $SHSH,
  start_minute       = 00, 00, 00, 00, 00,
  start_second       = 00, 00, 00, 00, 00,
  end_year           = $EYFY, $EYFY, $EYFY, $EYFY,
  $EYFY,
  end_month          = $EMEM, $EMEM, $EMEM, $EMEM,
  $EMEM,
  end_day            = $EDED, $EDED, $EDED, $EDED,
  $EDED,
  end_hour           = $EHEH, $EHEH, $EHEH, $EHEH,
  $EHEH,
  end_minute         = 00, 00, 00, 00, 00,
  end_second         = 00, 00, 00, 00, 00,
  interval_seconds   = 21600,
  input_from_file    = .true., .true., .true.,
  .true., .true.,
  history_interval   = 180, 180, 180, 60, 60,
  frames_per_outfile = 1000, 1000, 1000, 1, 1,
  restart            = .false.,
  restart_interval   = 5000,
  iofields_filename = 'wrf_io_fieldlist.txt',
  'wrf_io_fieldlist.txt', 'wrf_io_fieldlist.txt',
  'wrf_io_fieldlist.txt', 'wrf_io_fieldlist.txt',
  io_form_auxhist2   = 2
  io_form_history     = 2
  io_form_restart     = 2
  io_form_input       = 2
  io_form_boundary    = 2
  debug_level        = 0
  auxhist2_outname    =
  'wind_component_d<domain>_<date>',
  auxhist2_interval   = 180, 30, 10, 10, 10, 10,
  frames_per_auxhist2 = 1000, 1000, 36, 36, 36,
  /

&domains
  time_step           = 108,
  time_step_fract_num = 0,
  time_step_fract_den = 1,
  max_dom             = 3,
  e_we                = 107, 238, 394, 682, 646,
  e_sn                = 105, 199, 304, 400, 370,
  e_vert              = 38, 38, 38, 76,
  38,
  p_top_requested     = 5000,
  num_metgrid_levels  = 38,
  num_metgrid_soil_levels = 4,
  dx                  = 27000, 9000, 3000, 1000,
  1000,
  dy                  = 27000, 9000, 3000, 1000,
  1000,
  grid_id             = 1, 2, 3, 4, 5,
  parent_id           = 0, 1, 2, 3, 3,

```

ANEXO 13

```

i_parent_start      = 1,13,68,117,109,
j_parent_start      = 1,20,50,144,25,
parent_grid_ratio   = 1, 3, 3, 3, 3,

parent_time_step_ratio = 1, 2, 3, 6, 6,

feedback            = 0,
smooth_option       = 0
/

&physics
mp_physics          = 6, 6, 6, 6,
  6,
ra_lw_physics       = 1, 1, 1, 1,
  1,
ra_sw_physics       = 1, 1, 1, 1,
  1,
radt                = 30, 30, 30, 30,
30,
sf_sfclay_physics   = 11, 11, 11, 11,
11,
sf_surface_physics  = 2, 2, 2, 2, 2,

bl_pbl_physics      = 1, 1, 1, 1, 1,

bldt                = 0, 0, 0, 0, 0,

cu_physics           = 1, 1, 0, 0, 0,

cudt                = 5, 5, 5, 5, 5,

isfflx              = 1,
ifsnow               = 0,
icloud               = 1,
surface_input_source = 1,
num_soil_layers      = 4,
sf_urban_physics     = 0, 0, 0, 0, 0,

/

&fdda
/

&dynamics
w_damping            = 0,
diff_opt              = 1,
km_opt                = 4,
diff_6th_opt         = 0, 0, 0, 0,
0,
diff_6th_factor      = 0.12, 0.12, 0.12, 0.12,
0.12,
base_temp             = 290.
damp_opt              = 0,
zdamp                 = 5000., 5000., 5000., 5000.,
5000.,
dampcoef              = 0.2, 0.2, 0.2, 0.2,
0.2,
khdif                 = 0, 0, 0, 0,
0,
kvdif                 = 0, 0, 0, 0,
0,
non_hydrostatic       = .true., .true., .true.,
.true., .true.,
moist_adv_opt         = 1, 1, 1, 1,
1,

```

ANEXO 13

```
scalar_adv_opt          = 1,      1,      1,      1,
1,
/

&bdy_control
spec_bdy_width          = 5,
spec_zone               = 1,
relax_zone              = 4,
specified               = .true., .false., .false.,
.false., .false.,
nested                  = .false., .true., .true.,
.true., .true.,
/

&grib2
/

&namelist_quilt
nio_tasks_per_group = 0,
nio_groups = 1,
/
```

ANEXO 14

ANEXO Días Seleccionados

DIAS	MES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1988	1986	1991	2007	1988	2002	1991	2002	2008	1981	1997	1996
2	2011	1996	2005	2007	1987	1985	2008	1984	1985	2002	1997	1986
3	1981	1994	2001	1998	2004	2001	1989	1999	2000	1989	2003	1984
4	1998	1986	2008	1982	1985	2003	2004	1996	1987	2000	2004	2002
5	2008	2005	2009	2000	1999	1981	1998	2011	2010	2007	1992	2004
6	1985	2001	2011	1992	1995	2004	1996	1985	1990	2003	2001	2003
7	2004	2004	1992	1995	1997	2007	2001	2003	1995	1991	2000	1987
8	1992	1989	1993	1990	1983	2002	1997	2011	2003	2005	2006	1999
9	1982	2004	1996	1985	1998	1985	1988	1997	2007	2003	2003	1988
10	1995	1986	2003	1989	2000	2011	2001	2011	2007	1997	1998	1992
11	1995	1994	2000	2000	2000	1998	2008	1987	1993	1994	1991	1989
12	2005	2002	2008	1994	2005	1985	1990	2003	2008	1995	2002	1999
13	1993	2002	2011	2010	1983	2008	1990	2005	1984	1985	1999	1999
14	2005	2004	1995	2000	1992	1986	2007	2002	1991	1998	1993	1982
15	1982	1995	2011	1995	1981	1996	2007	2007	1990	2008	2000	1982
16	2005	1984	1992	2000	1994	2010	1998	2003	2004	2010	1998	2009
17	1996	2000	1983	1986	1995	1995	1987	1996	1988	2007	2005	2003
18	1996	2006	2006	1987	1990	1996	1993	2002	2001	2000	1987	2006
19	1986	1990	1998	2010	1987	1996	1997	2004	1988	1990	1997	1984
20	2003	1986	2000	1999	1996	1993	1998	1992	2005	1996	2004	2004
21	1998	2007	2006	2007	2006	1996	2004	1987	2004	2001	2006	2004
22	2006	1994	1999	2006	1996	1984	1997	1999	2002	2004	1993	2007
23	2007	1999	1996	2005	2003	1999	2009	1999	2001	2006	1990	2009
24	1993	2001	1995	1985	2003	2009	1992	1994	2004	2010	1986	1997
25	2009	2003	1985	1996	1998	1998	2000	1991	1996	1994	1996	2010
26	2005	2004	2011	1995	2007	2007	2006	1981	1982	1981	1999	2011
27	2007	1984	2005	1983	2010	1988	1982	1999	2001	2007	1999	1992
28	2002	1984	1989	1996	2002	1994	2000	2007	1990	1998	1992	2005
29	1996		2007	1986	2003	2000	2000	1991	2006	1987	2008	1996
30	2011		2009	1985	1990	1989	1991	2009	2004	2008	2000	2011
31	1986		1997		1999		1991	1988		1996		1999

ANEXO 15

SESGO ERA INTERIM ESTACIONES

Estaciones	Región	Clima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BABAHYOY_UTB	C	Ah	0,76	0,05	-0,28	0,30	1,03	2,01	2,31	2,64	2,91	2,83	2,01	1,39
BANNOS	S	Ch	0,29	0,12	-0,20	0,54	0,89	1,67	2,03	2,55	2,13	0,98	0,19	-0,15
COTOPAXI_CLIRSEN	S	Pf	-0,79	-0,72	-0,72	0,28	0,06	0,66	0,53	0,41	1,07	-0,18	-0,40	-0,75
QUIL_U_ESTATAL_RADIO	C	Ah	1,22	0,72	0,41	0,54	1,06	1,40	1,43	1,83	2,00	2,15	2,04	1,55
INGUINCHO	S	Pf	-2,58	-2,44	-1,92	-1,83	-1,82	-1,70	-1,60	-1,85	-1,63	-1,90	-1,81	-2,14
P SUPLEMENTARIA_PORC	S	Ch	-1,74	-1,83	-1,53	-1,16	-0,79	-0,67	-0,62	-0,31	-0,15	-0,78	-1,14	-1,32
IZOBAMBA	S	Ch	-1,30	-1,25	-0,96	-0,75	-0,57	-0,22	-0,30	0,05	0,30	-0,41	-0,85	-1,17
JULCUY	C	Ab	1,27	0,27	0,60	0,82	0,97	1,15	0,94	0,89	1,14	1,70	1,62	1,65
LA_ARGELIA_LOJA	S	Ch	1,04	0,36	0,51	0,77	1,10	1,33	1,44	1,61	1,92	1,89	1,54	1,17
LA_CONCORDIA	C	Aw	-0,65	-0,74	-0,88	-0,82	-0,11	0,47	0,64	0,74	0,79	0,65	0,63	-0,04
LA_TOLA	S	Ch	-1,64	-1,57	-1,14	-0,80	-0,62	-0,43	-0,42	-0,18	0,05	-0,54	-0,95	-1,31
LAGRO_INGENIO_VALDI	C	Ah	1,36	0,75	0,70	0,89	1,33	2,10	2,37	2,73	3,13	3,22	2,52	1,71
NUEVO_ROCAFUERTE	O	Af	-0,29	-0,35	0,01	0,03	-0,21	-0,20	-0,19	-0,39	-0,13	0,10	-0,12	0,07
OTAVALO	S	Ch	-2,43	-2,41	-1,92	-1,95	-1,81	-1,59	-1,63	-1,61	-1,55	-1,87	-1,93	-2,27
NTE_HUASHITO_PALMA	O	Af	-0,02	-0,13	0,00	-0,08	-0,04	0,35	0,31	0,41	0,46	0,26	-0,29	-0,29
PORTOVIEJO_UTM	C	Ab	0,44	-0,23	-0,03	0,05	0,50	0,73	0,64	0,86	1,10	1,46	1,50	0,98
PUYO	O	Aw	1,05	1,00	0,85	1,02	1,03	1,33	1,57	1,68	1,64	1,31	0,90	1,02
QUEROCHACA_UTA	S	Cb	-0,32	-0,26	-0,16	0,13	0,52	1,48	1,73	2,27	2,08	0,95	0,01	-0,23
UITO_INAMHI_INNAQUIT	S	Ch	-1,88	-1,85	-1,60	-1,22	-0,85	-0,64	-0,53	-0,49	-0,39	-0,81	-1,15	-1,57
RUMIPAMBA_SALCEDO	S	Cb	-0,63	-0,68	-0,56	0,02	0,51	1,05	1,34	1,79	1,69	0,58	-0,29	-0,59
SAN_GABRIEL	S	Ch	-1,69	-1,56	-1,01	-1,12	-1,30	-0,86	-0,84	-0,44	-0,50	-0,88	-1,17	-1,52
SANGAY_P_SANTA_ANA	O	Aw	1,16	0,90	0,85	0,96	0,91	1,35	1,62	1,68	1,77	1,66	0,79	0,79
TOMALON_TABACUNDO	S	Ch	-2,14	-2,09	-1,36	-1,33	-1,42	-1,51	-1,50	-1,44	-1,16	-1,27	-1,37	-1,85

ANEXO 16

SELECCIÓN DE DIAS TIPO:VIENTO

Año	Mes	Día
1986	1	25
1989	1	11
1990	1	25
1991	1	4
1993	1	3
1993	1	11
1995	1	31
1997	1	1
1997	1	12
2000	1	30
2002	1	23
2004	1	21
2008	1	2
2008	1	19
2011	1	11
1983	2	22
1992	2	4
1994	2	16
2003	2	21
2006	2	6
1984	3	31
1997	3	26
1998	3	16
1998	3	20
1999	3	26
1984	4	21
1992	4	22
1993	4	19
2000	4	5
2000	4	9
2000	4	23
2005	4	5
2010	4	23
1989	5	15
1990	5	22
1990	5	25
1990	5	30
1991	5	18
1992	5	1
1993	5	11
1993	5	24
1993	5	29

Año	Mes	Día
1994	5	8
1995	5	4
1995	5	25
1996	5	7
1996	5	30
2000	5	5
2000	5	5
2003	5	24
2003	5	26
2009	5	4
2009	5	18
1984	6	2
1984	6	13
1989	6	17
1991	6	15
1994	6	29
1998	6	7
1999	6	7
2001	6	21
2001	6	29
2004	6	15
2005	6	30
2006	6	11
1983	7	14
1986	7	2
1988	7	8
1991	7	15
1995	7	13
1996	7	5
1996	7	24
1998	7	9
2002	7	30
2003	7	4
2003	7	9
2004	7	10
2008	7	18
2010	7	4
2011	7	29
1983	8	1
1984	8	2
1986	8	7
1989	8	18

ANEXO 16

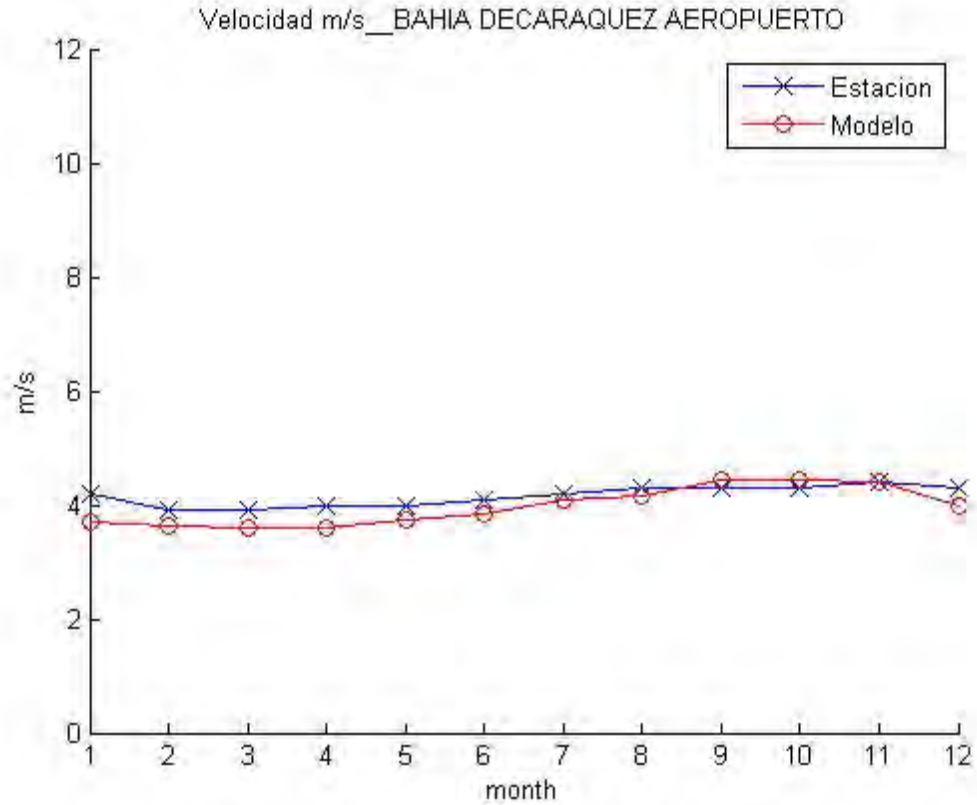
Año	Mes	Día
1993	8	29
1995	8	24
1996	8	15
1996	8	16
1998	8	5
2000	8	25
2003	8	5
2003	8	20
1986	9	18
1986	9	25
1987	9	10
1987	9	21
1988	9	16
1990	9	4
1990	9	14
1991	9	8
1991	9	15
1991	9	21
1992	9	24
1992	9	24
1998	9	24
1999	9	27
2000	9	6
2004	9	8
2008	9	20
2010	9	4
1984	10	12
1986	10	6
1987	10	12
1989	10	17
1990	10	7
1991	10	29
1992	10	13
1993	10	5
2000	10	14
2003	10	15
2003	10	19
2004	10	14
2007	10	21
2010	10	27
2011	10	20
1985	11	29
1991	11	29

Año	Mes	Día
1992	11	15
1993	11	7
1994	11	25
1995	11	22
1995	11	29
2000	11	21
2001	11	1
2002	11	23
2003	11	15
2011	11	17
1982	12	10
1982	12	29
1984	12	24
1986	12	5
1987	12	1
1987	12	7
1987	12	10
1987	12	10
1987	12	19
1987	12	22
1987	12	24
1994	12	7
1995	12	31
1997	12	12
1998	12	27
2004	12	11
2005	12	7
2009	12	18

Graficos de Resultados Modelo vs Estación

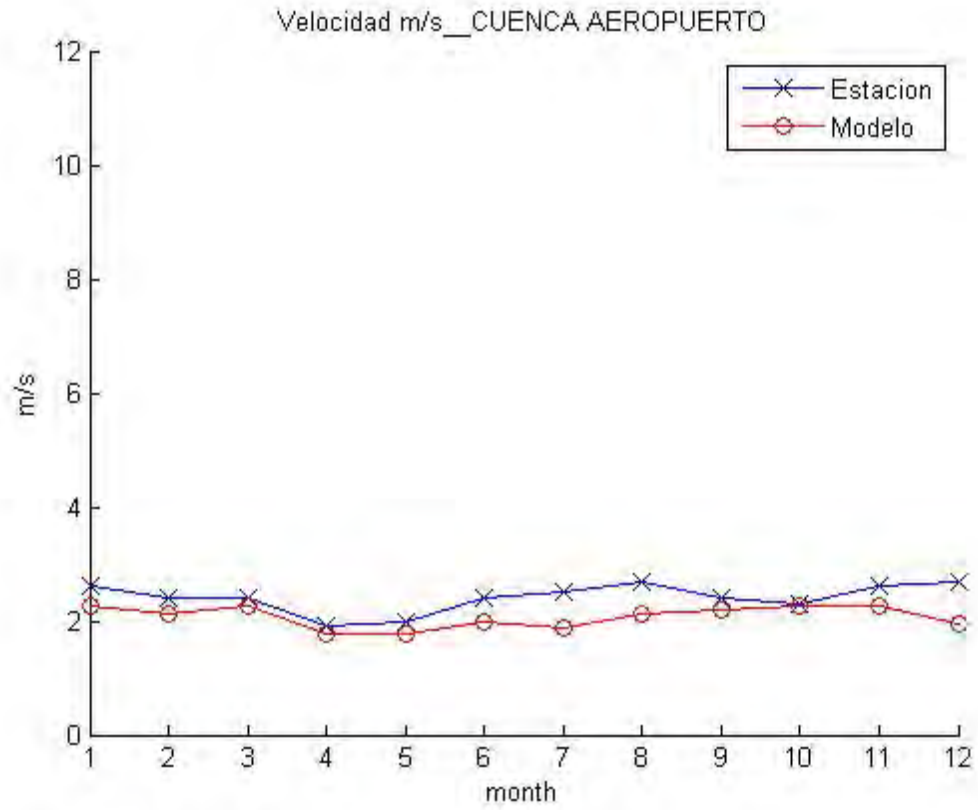
Warning: incomplete command in TeX text string:

'Velocidad m/s__BAHIA DECARAQUEZ AEROPUERTO'

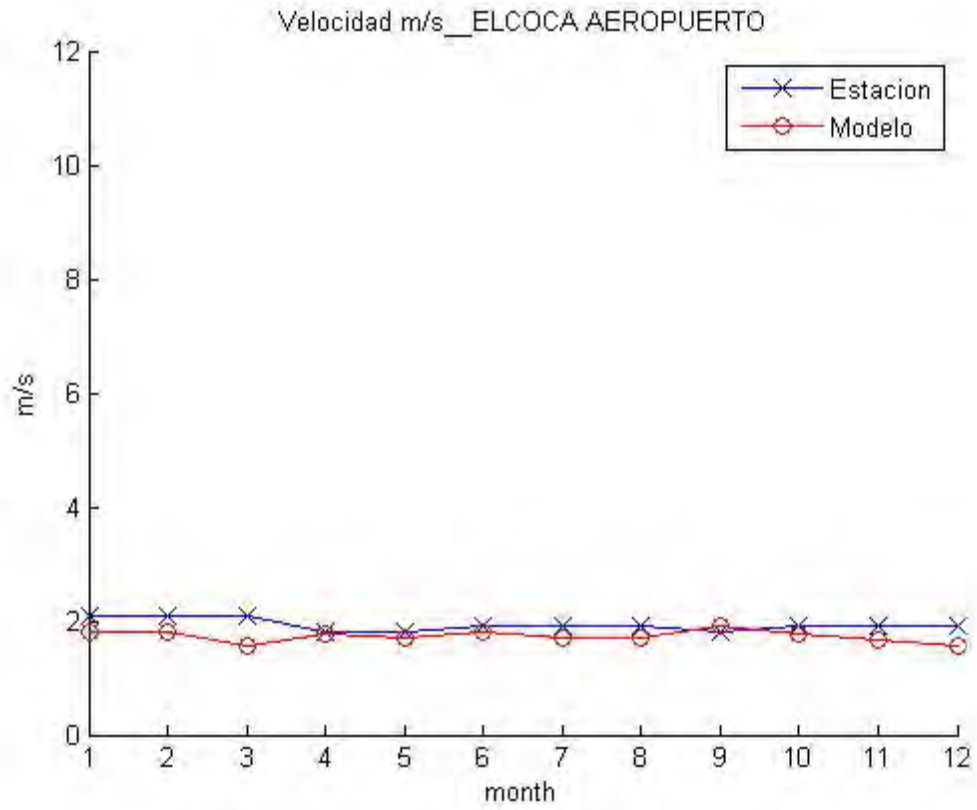


Warning: incomplete command in TeX text string:

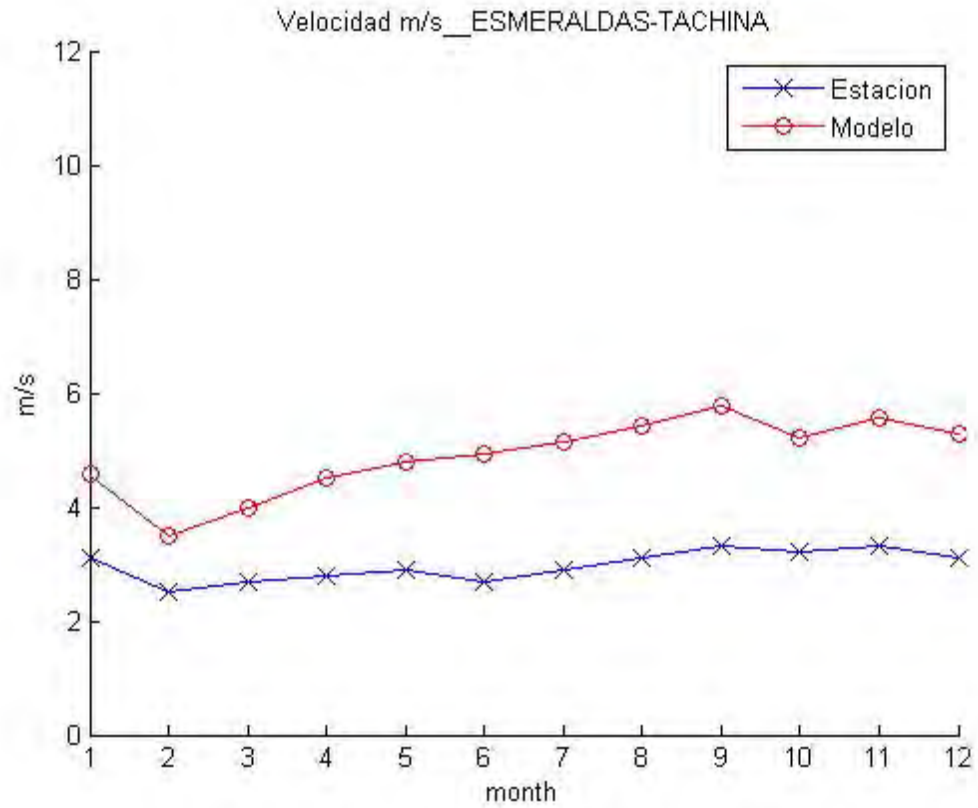
'Velocidad m/s__CUENCA AEROPUERTO'



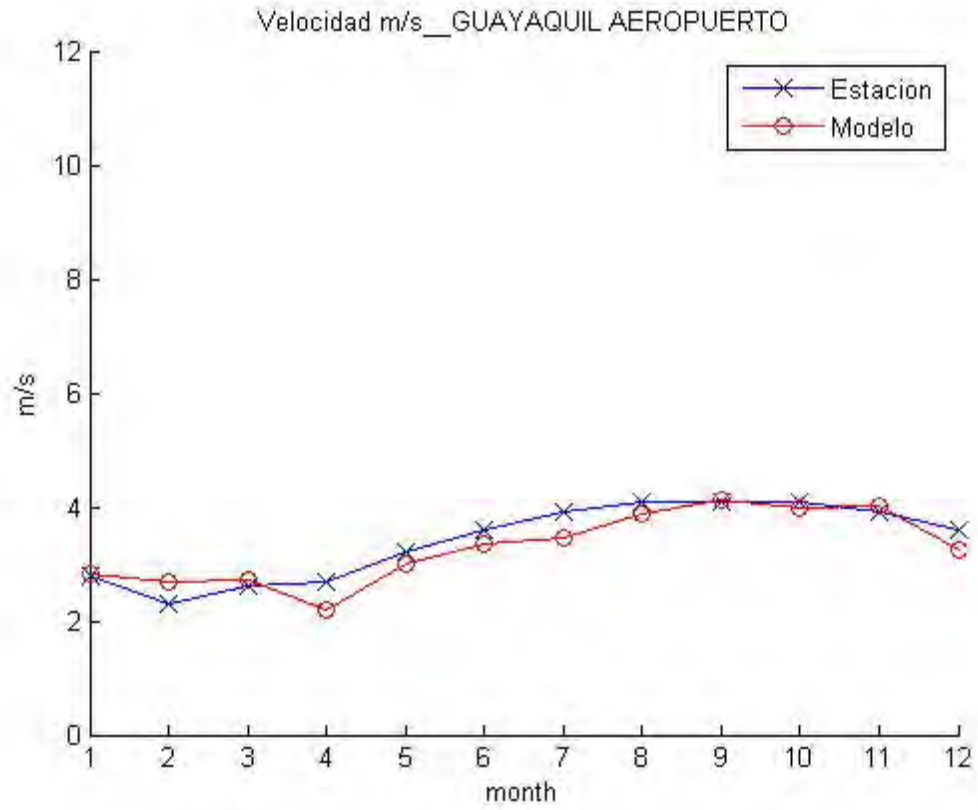
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ELCOCA AEROPUERTO'



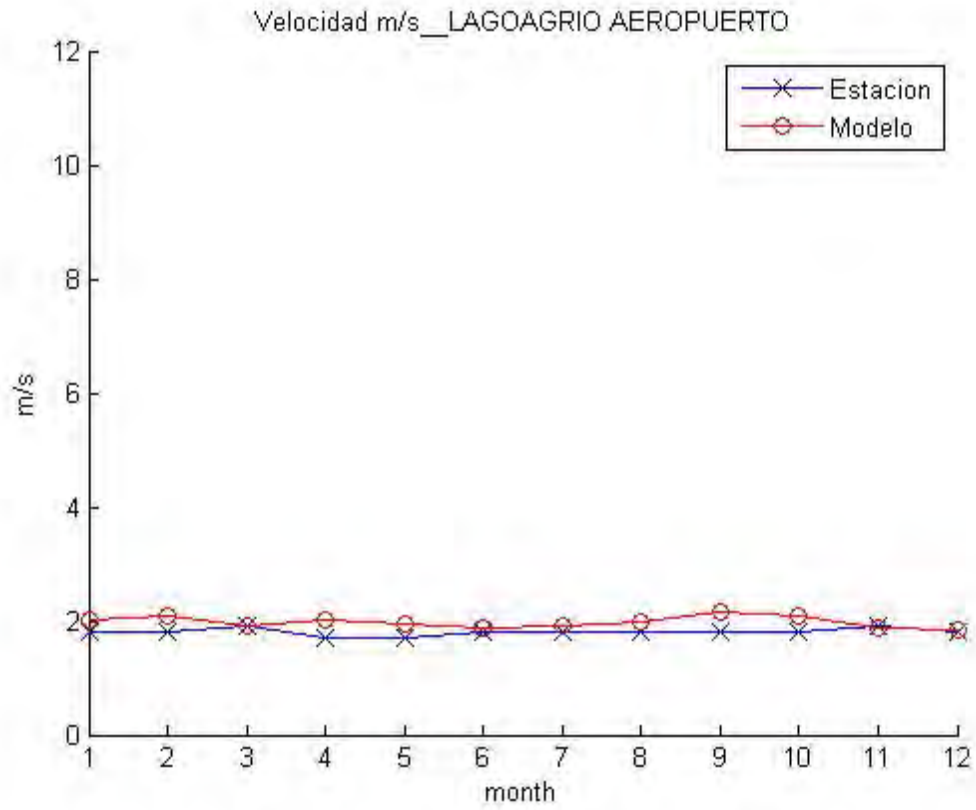
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ESMERALDAS-TACHINA'



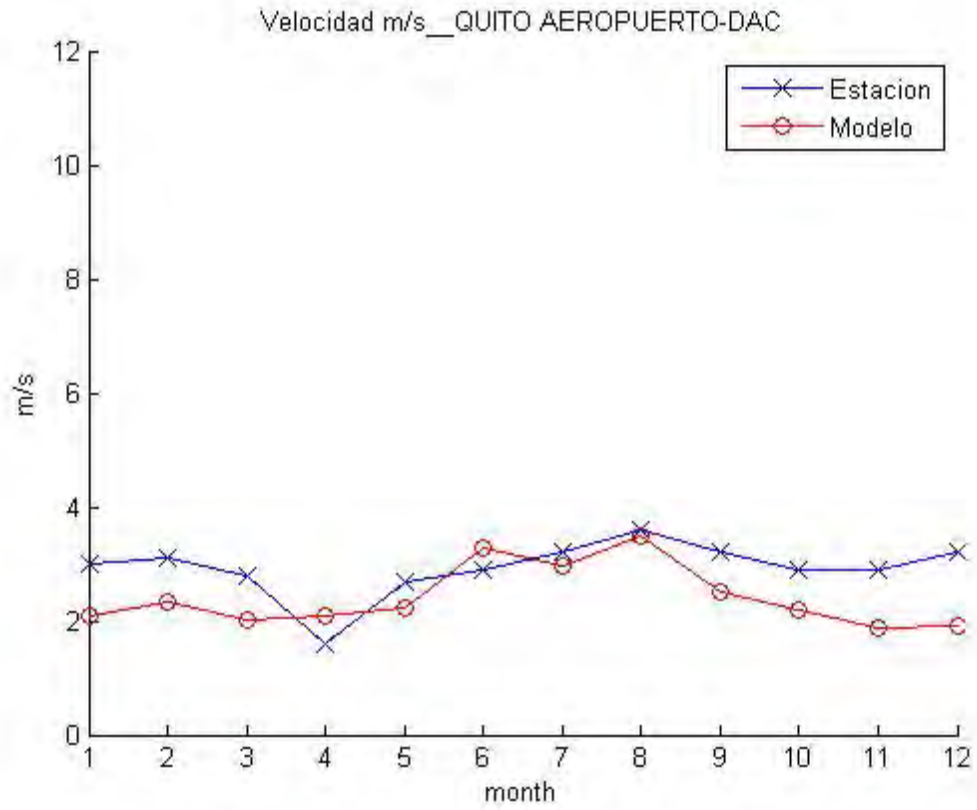
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__GUAYAQUIL AEROPUERTO'



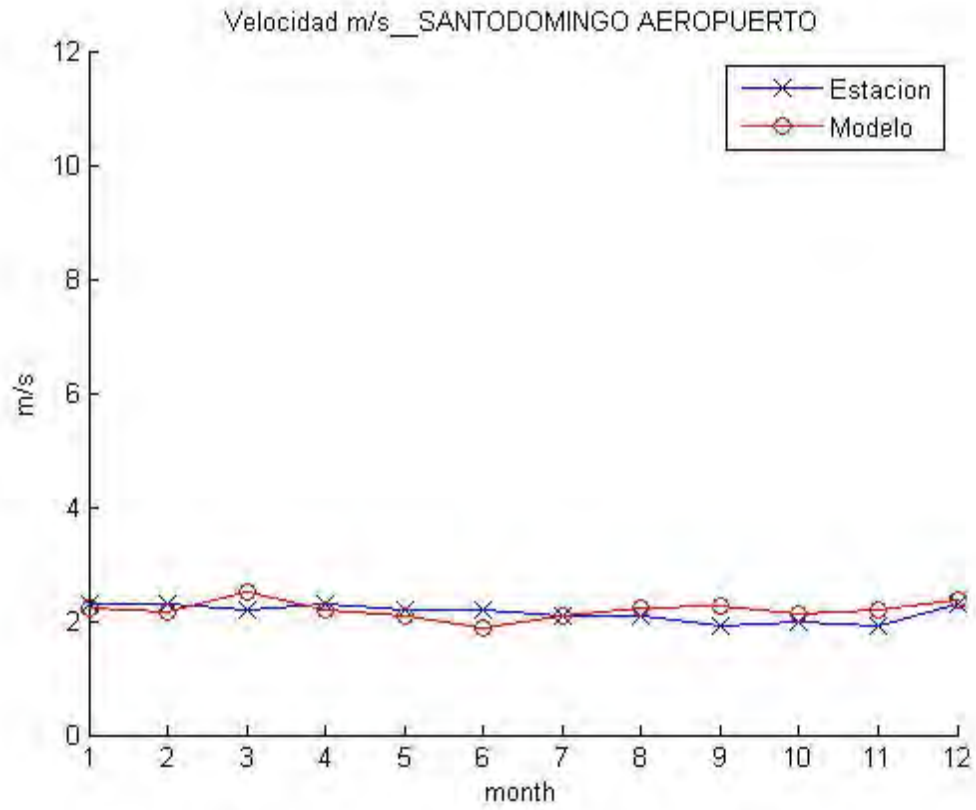
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__LAGOAGRIO AEROPUERTO'



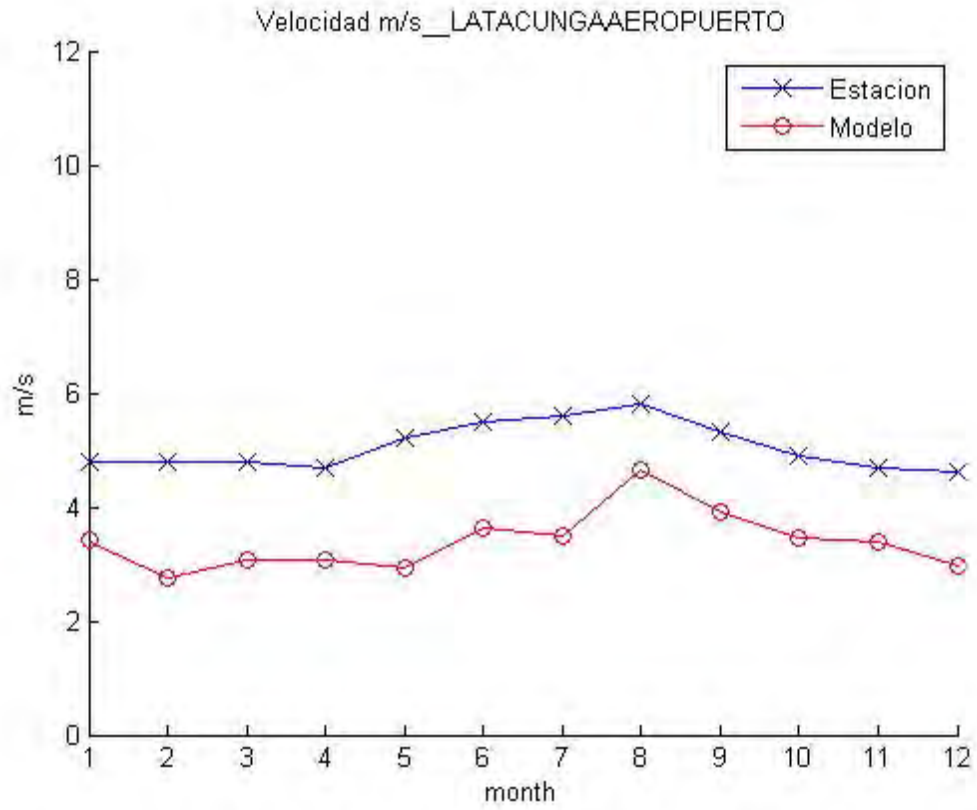
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s _QUITO AEROPUERTO-DAC'



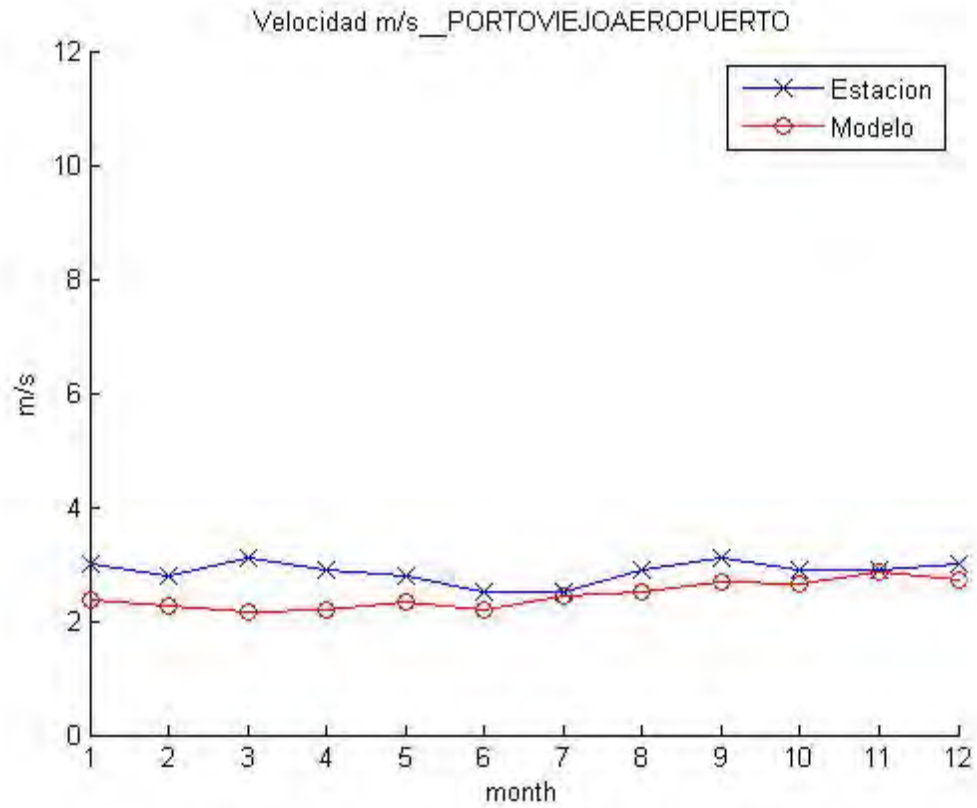
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SANTODOMINGO AEROPUERTO'



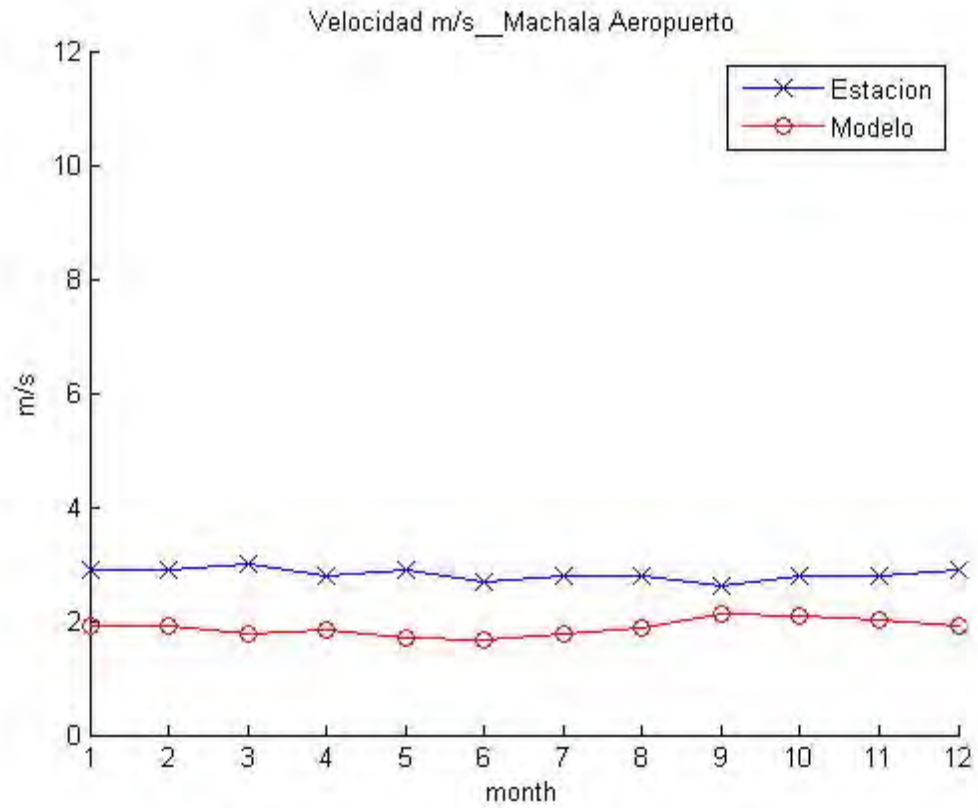
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__LATACUNGA AEROPUERTO'



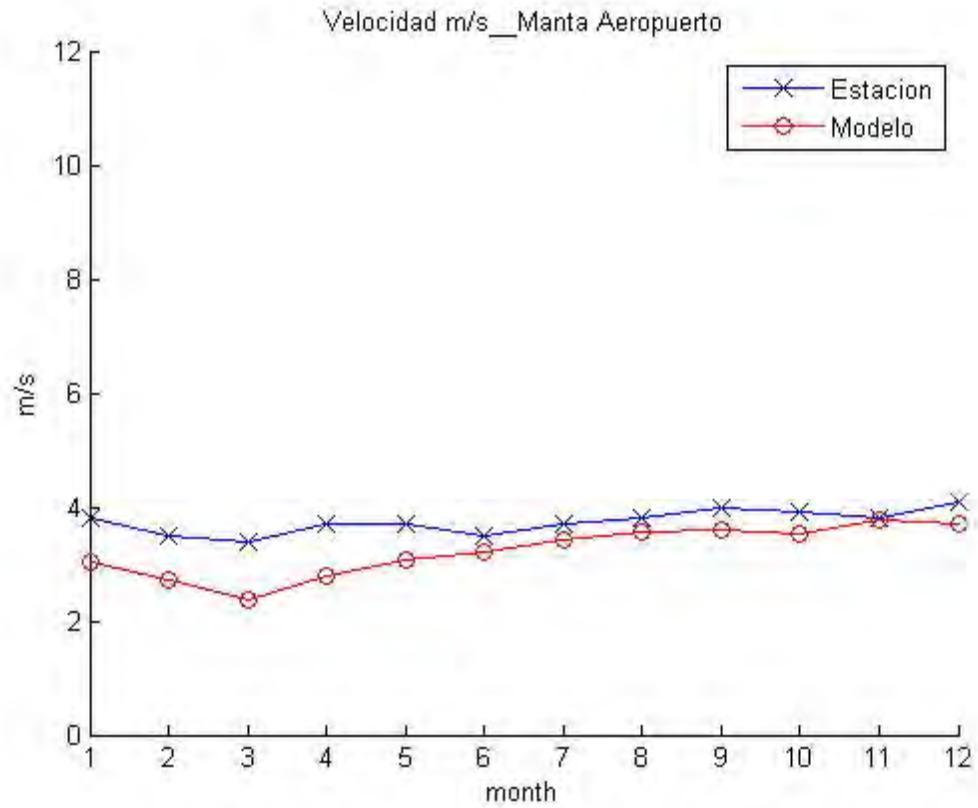
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_PORTOVIEJOAEROPUERTO'



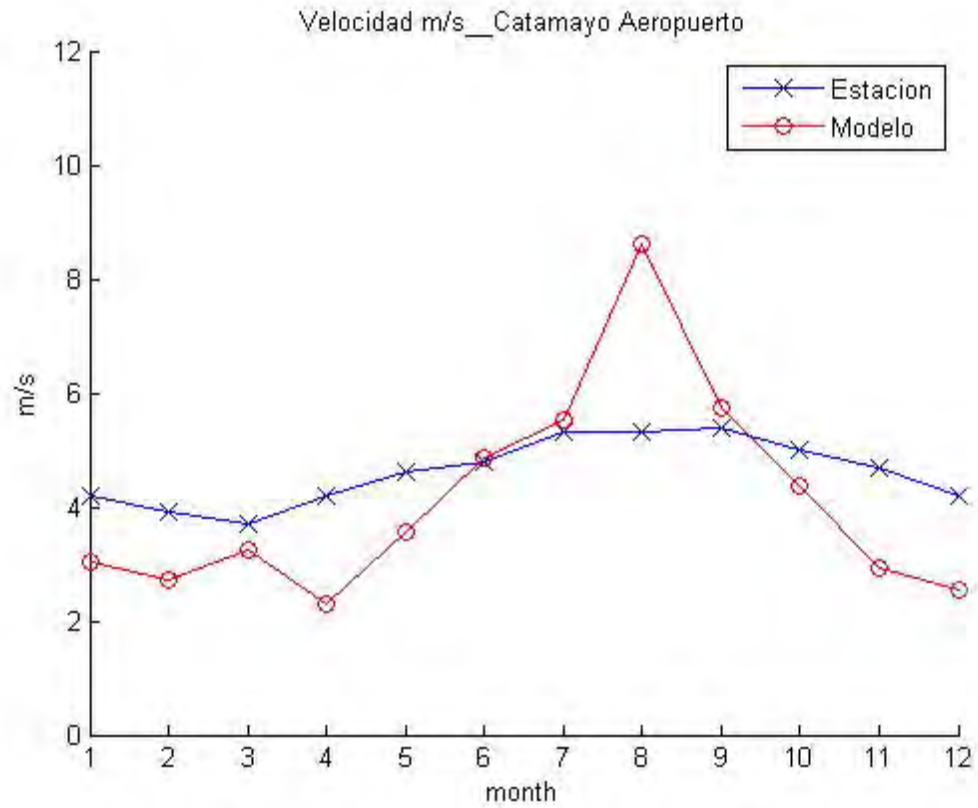
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_Machala Aeropuerto'



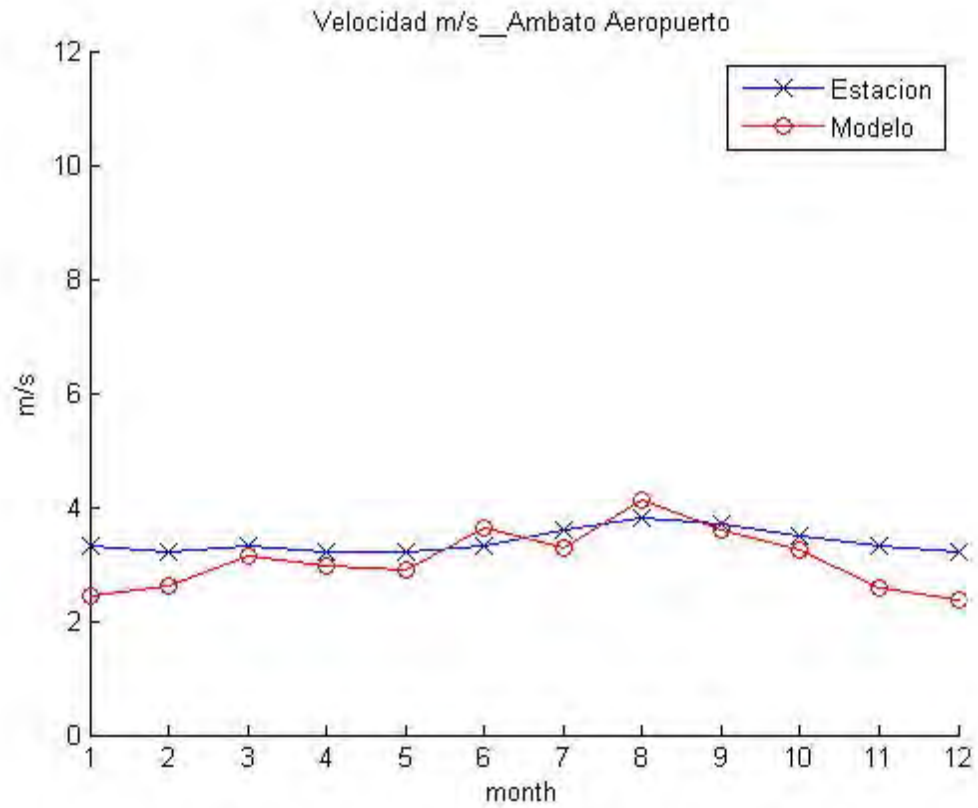
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Manta Aeropuerto'



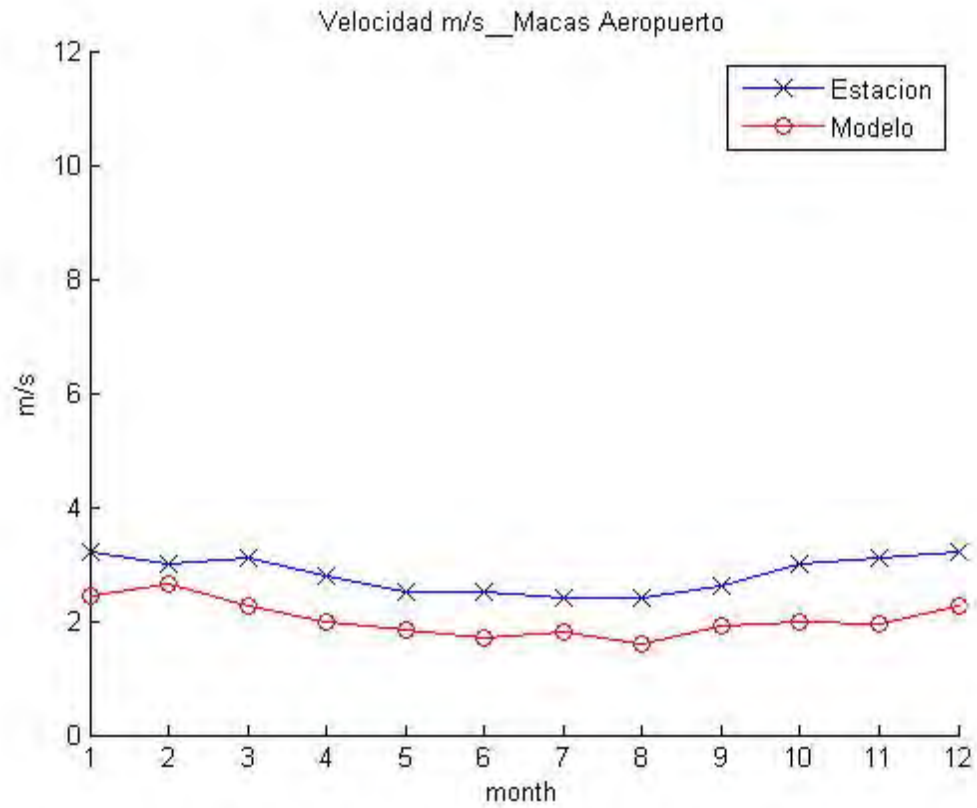
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Catamayo Aeropuerto'



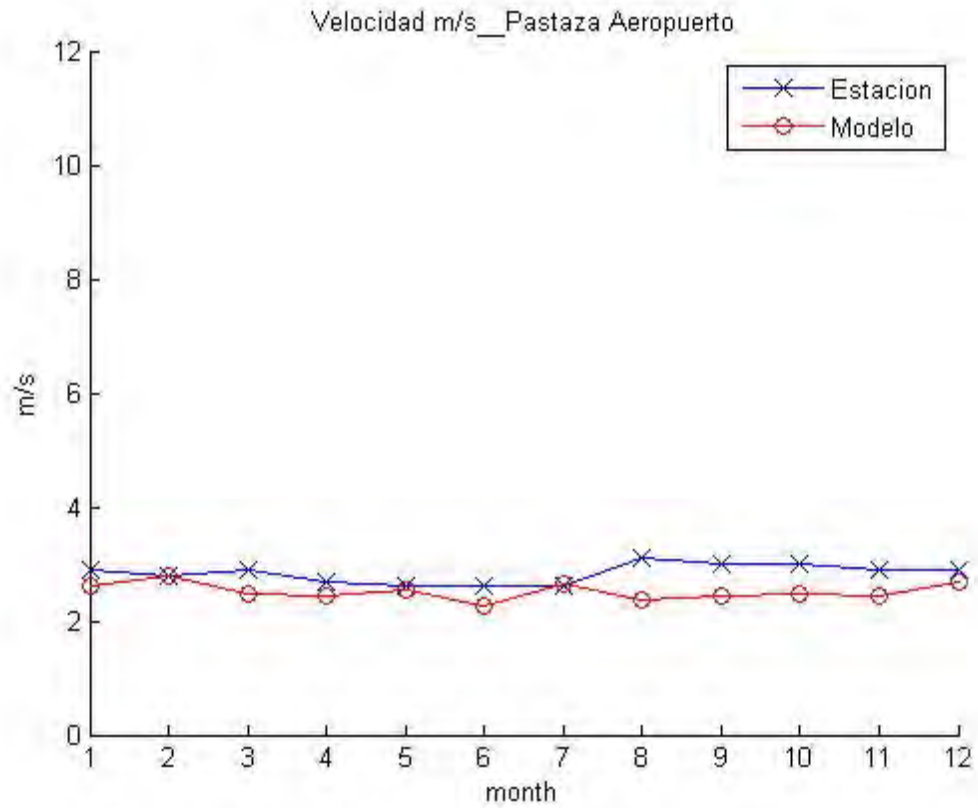
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Ambato Aeropuerto'



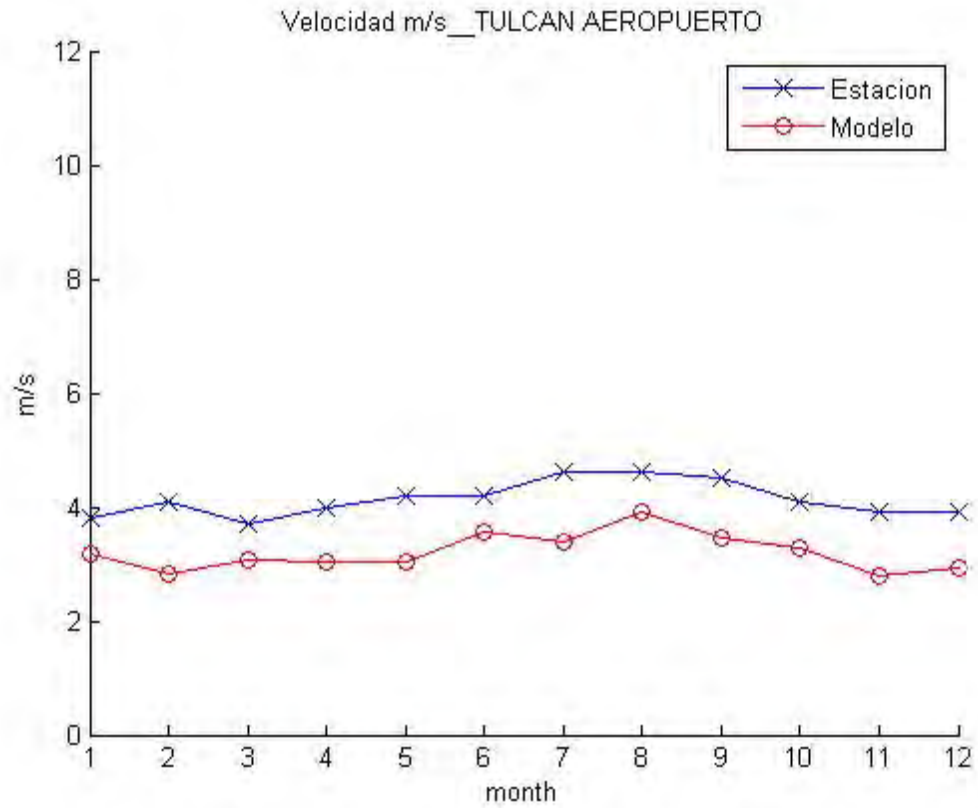
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s __Macas Aeropuerto'



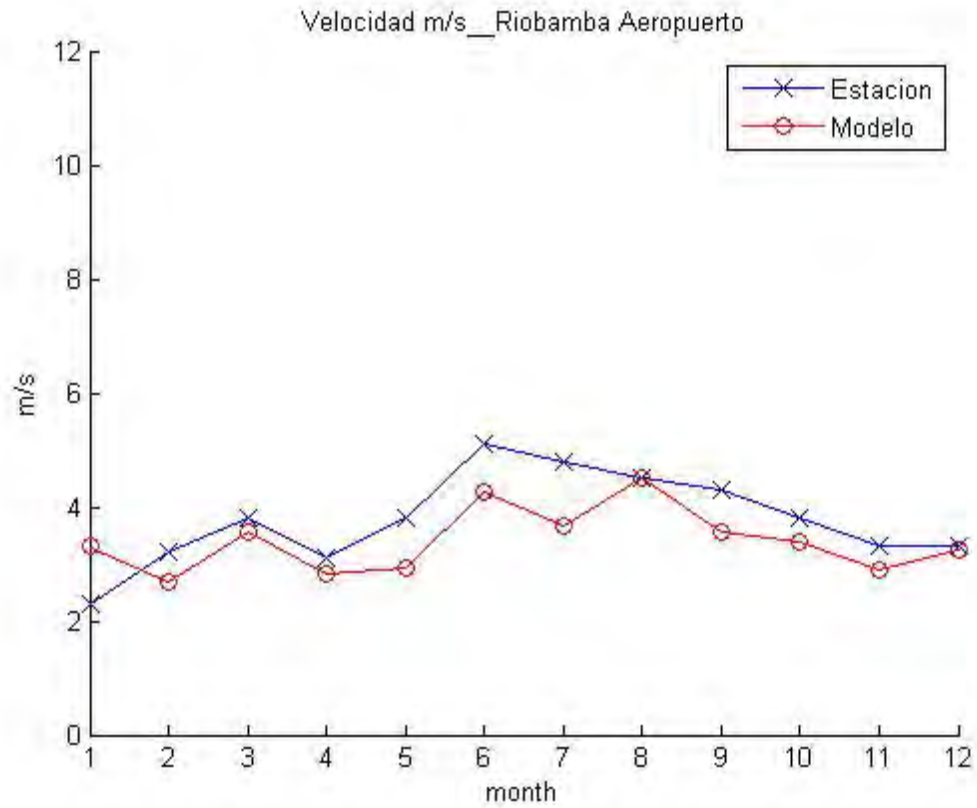
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_Pastaza Aeropuerto'



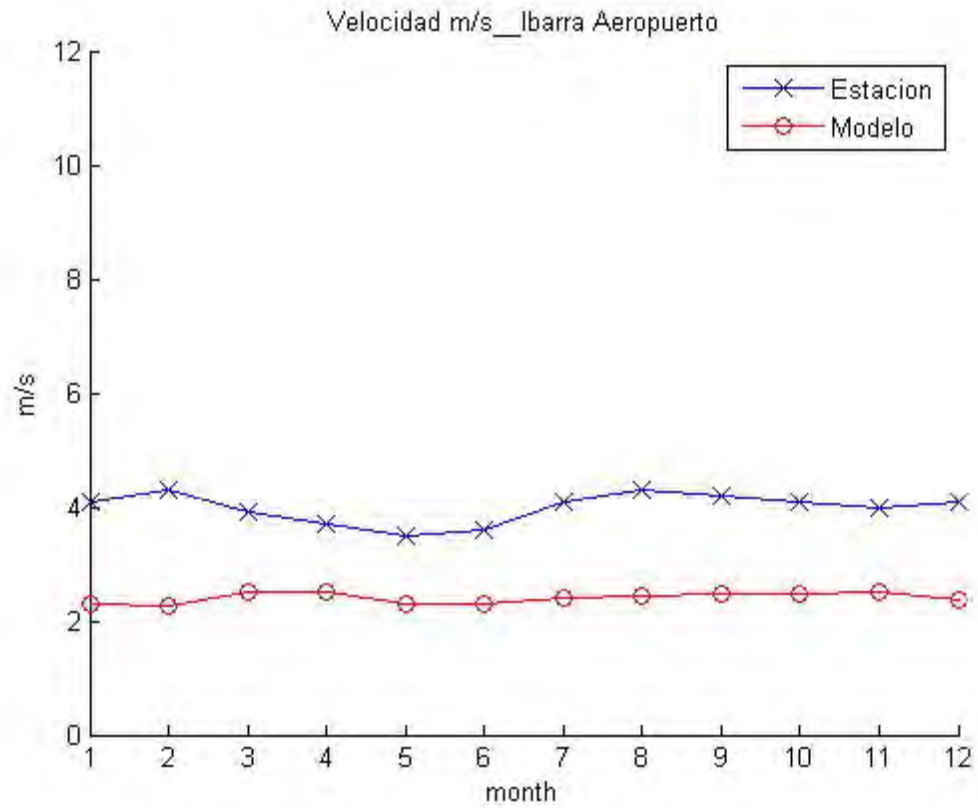
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__TULCAN AEROPUERTO'



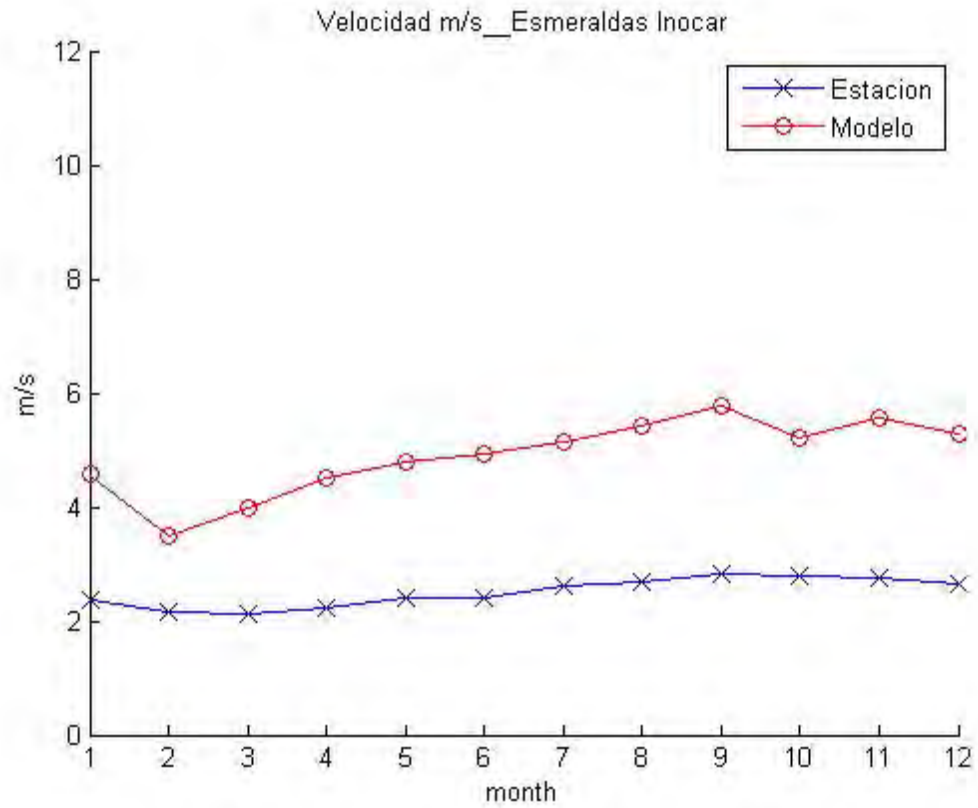
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_Riobamba Aeropuerto'



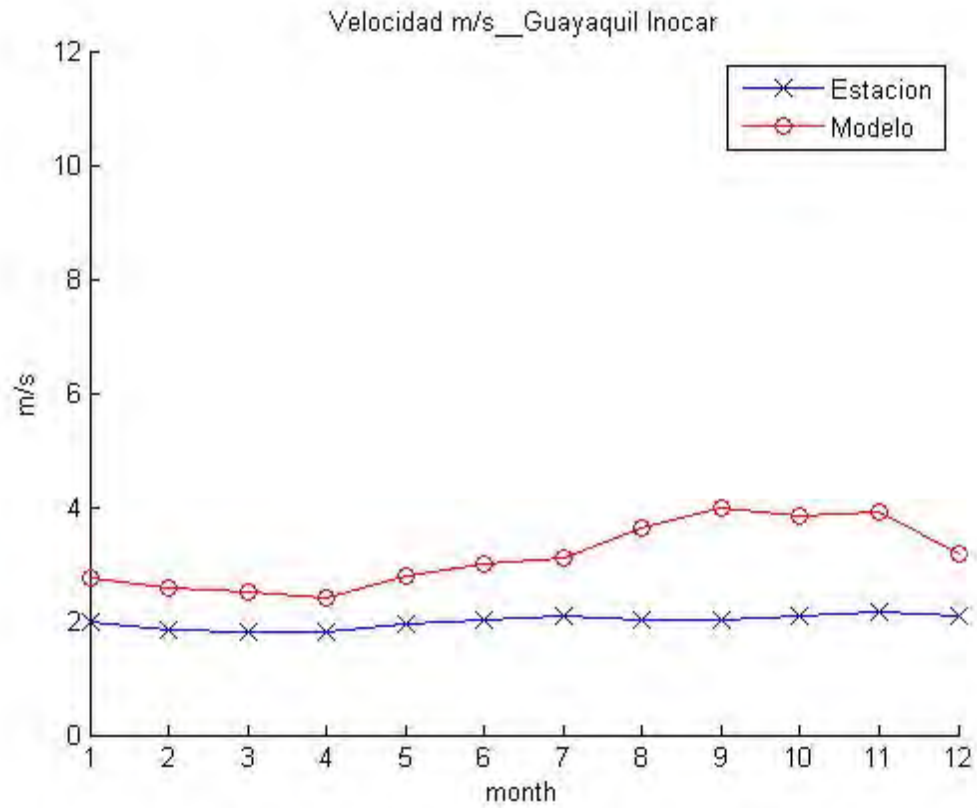
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Ibarra Aeropuerto'



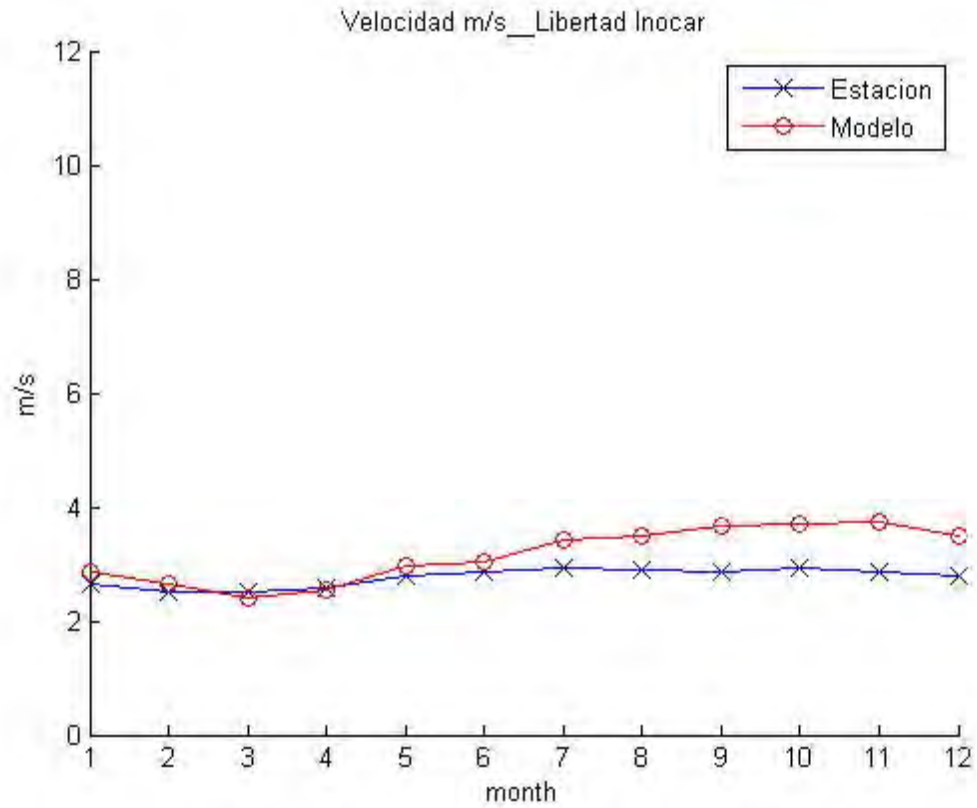
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s __Esmeraldas Inocar'



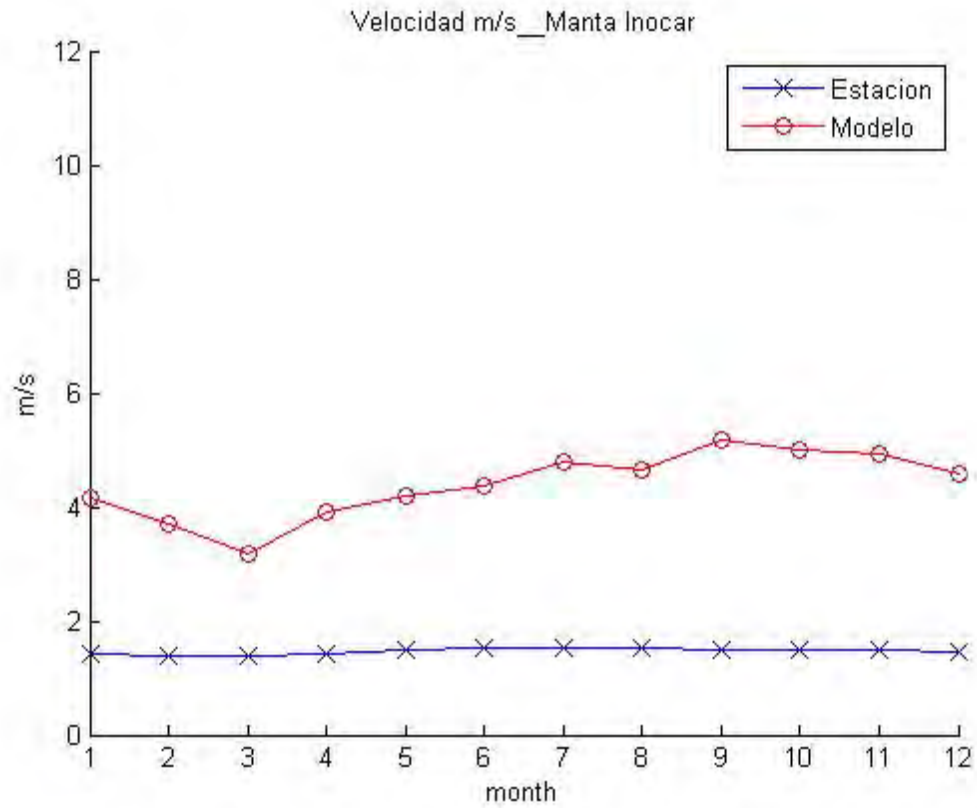
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Guayaquil Inocar'



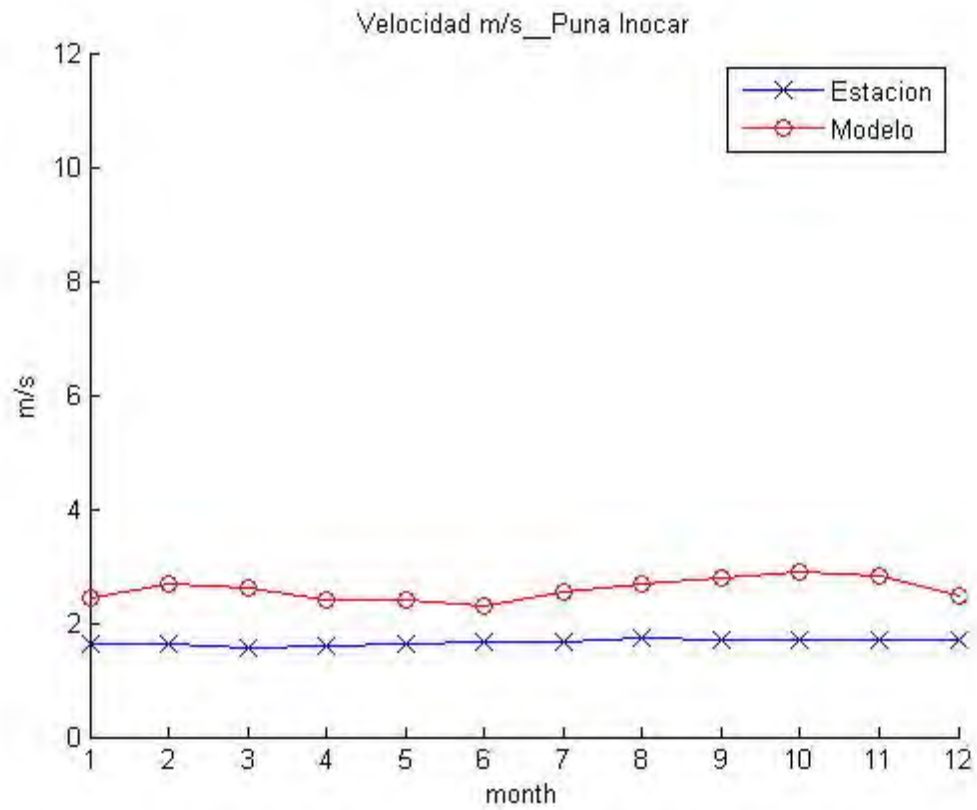
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Libertad Inocar'



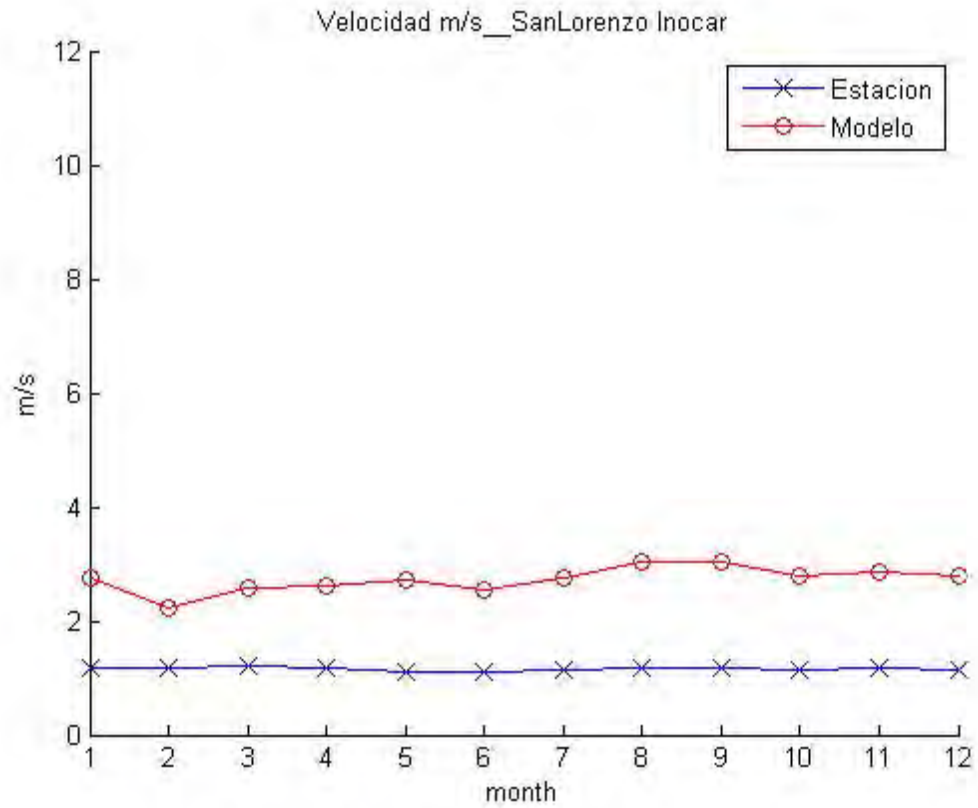
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Manta Inocar'



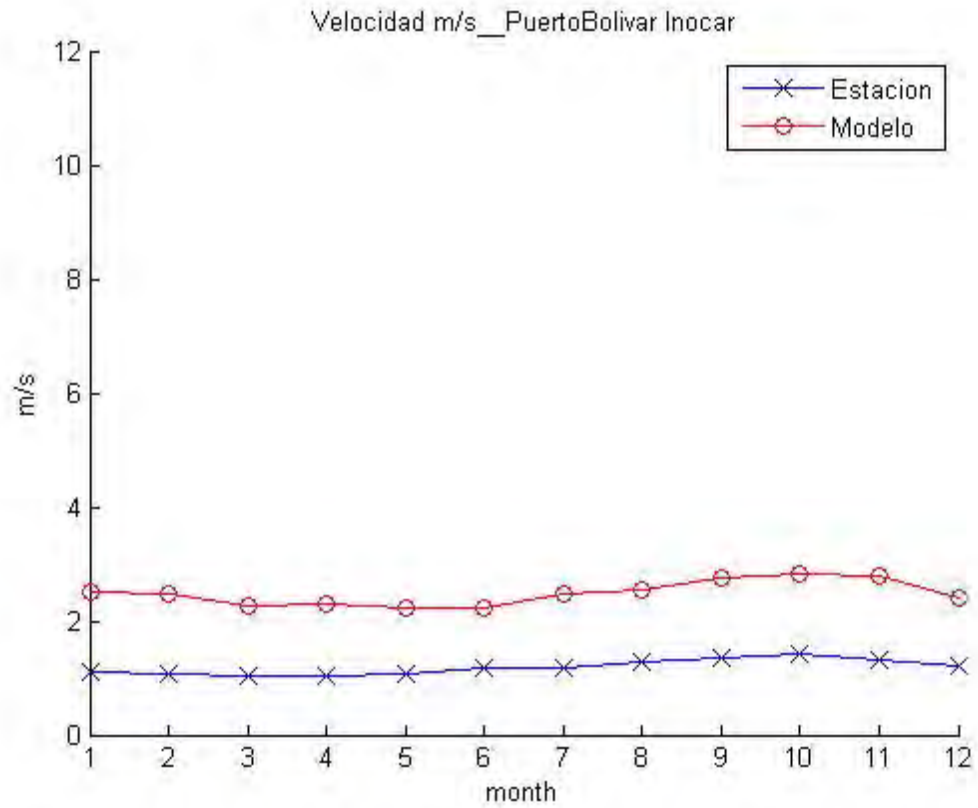
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Puna Inocar'



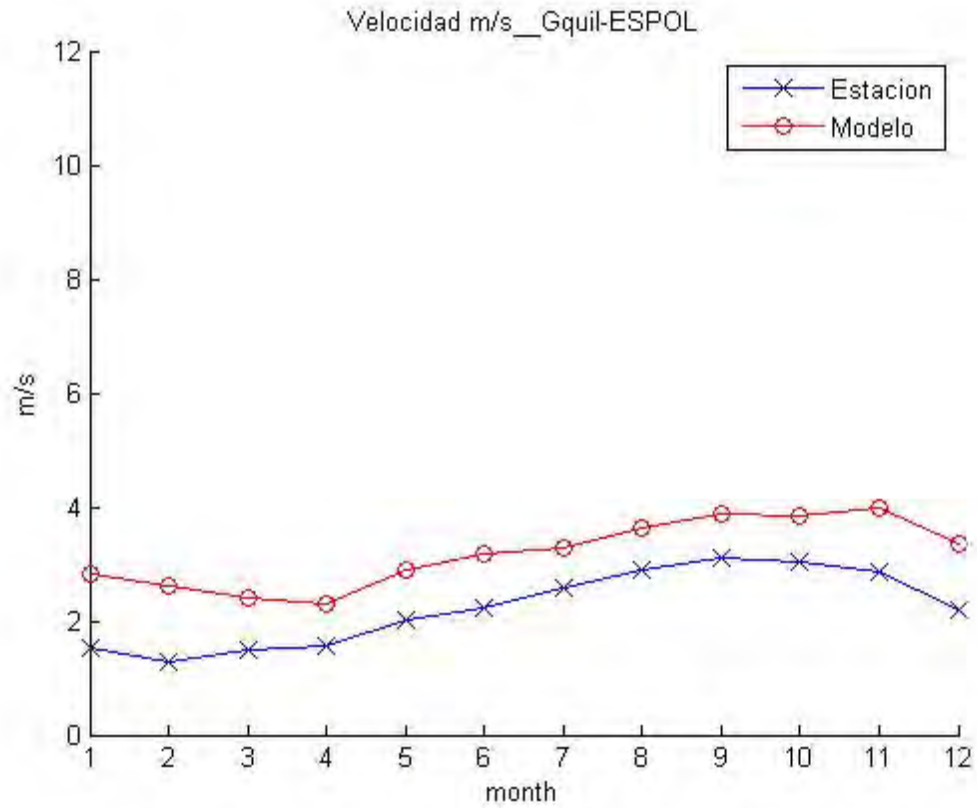
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SanLorenzo Inocar'



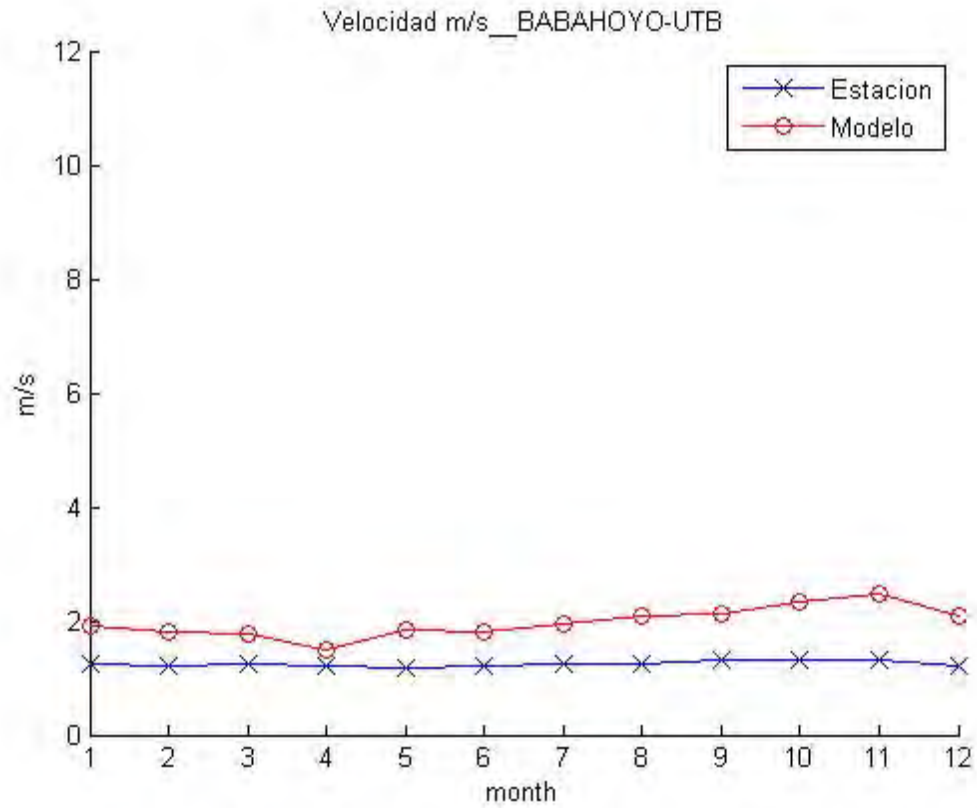
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PuertoBolivar Inocar'



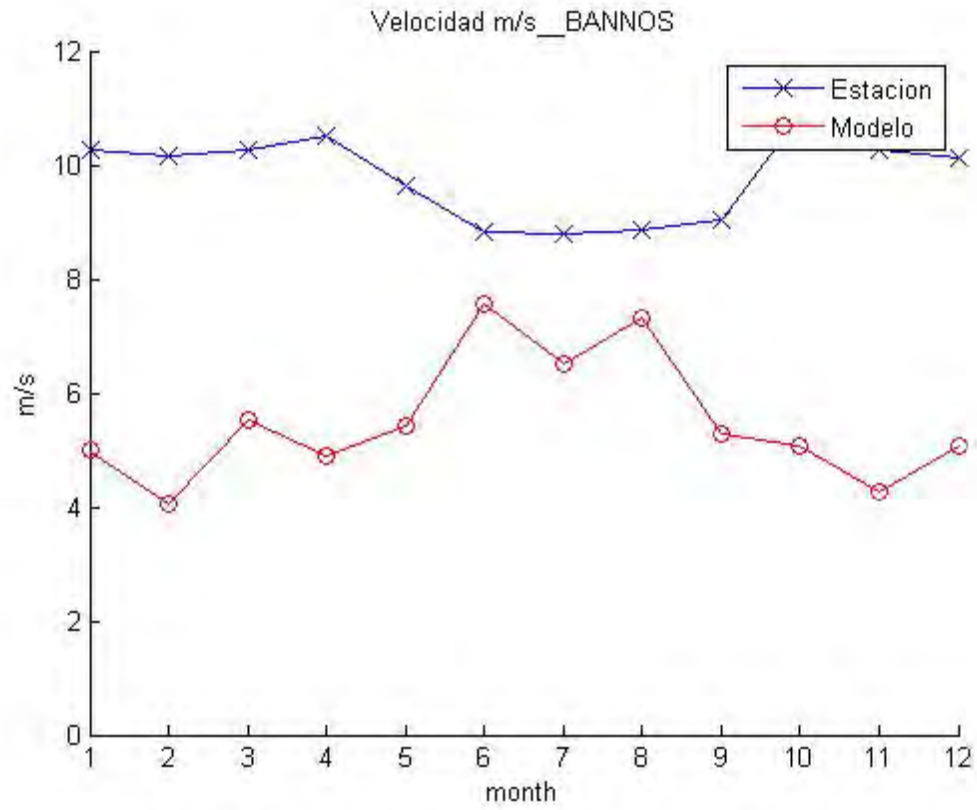
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__Gquil-ESPOL'



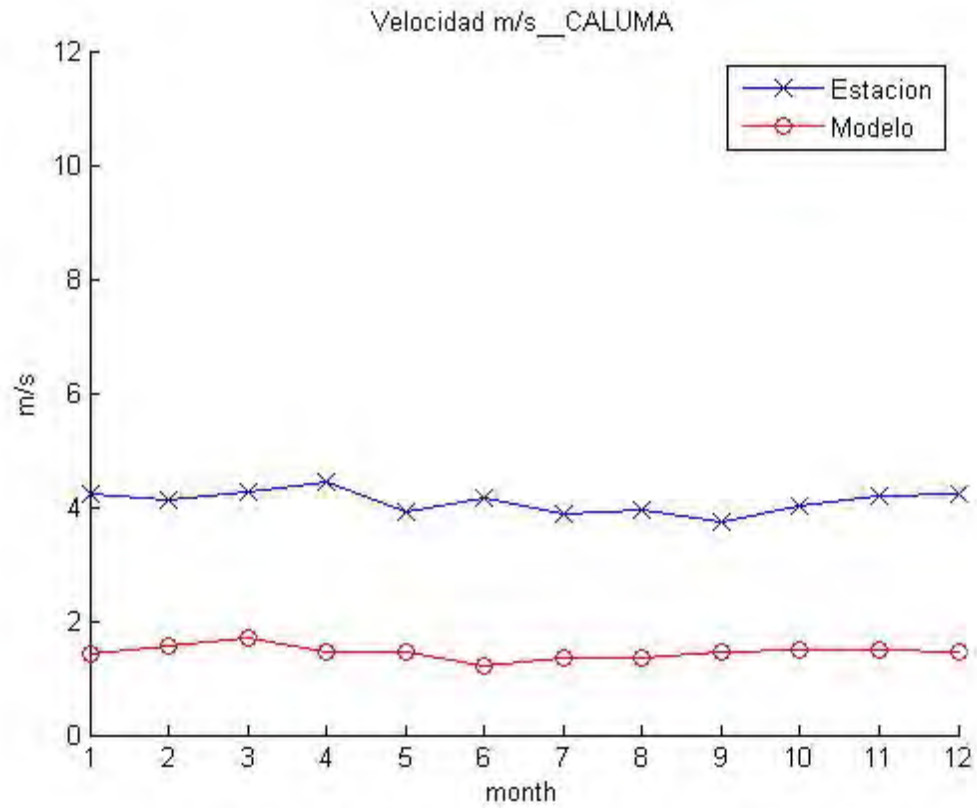
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__BABAHOYO-UTB'



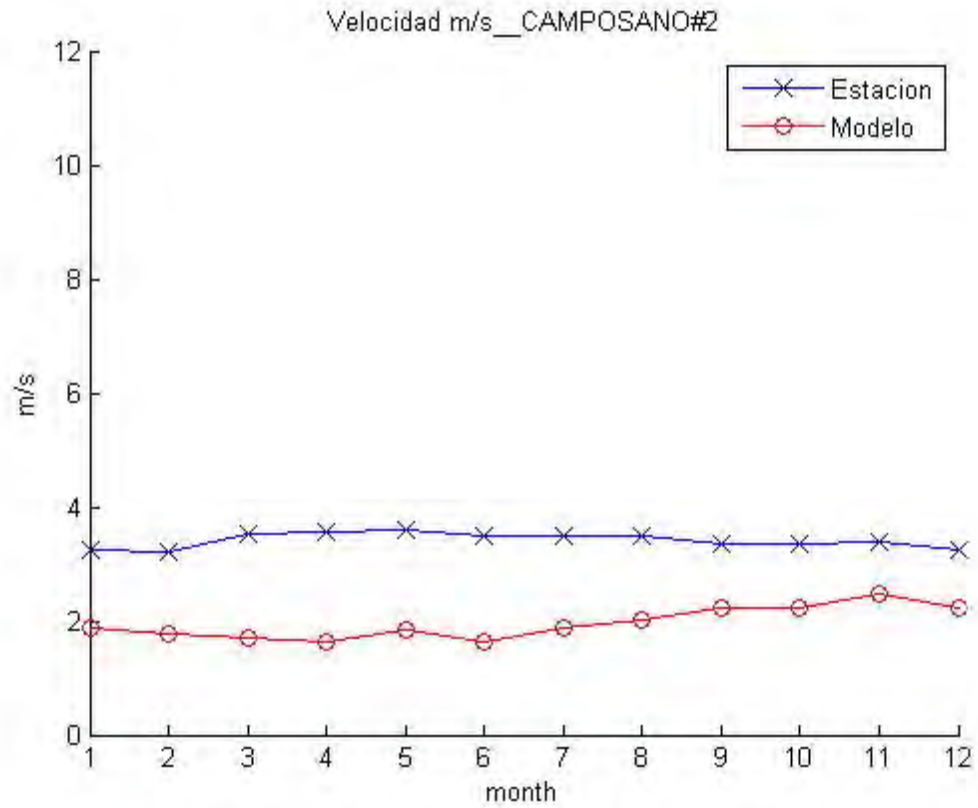
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__BANNOS'



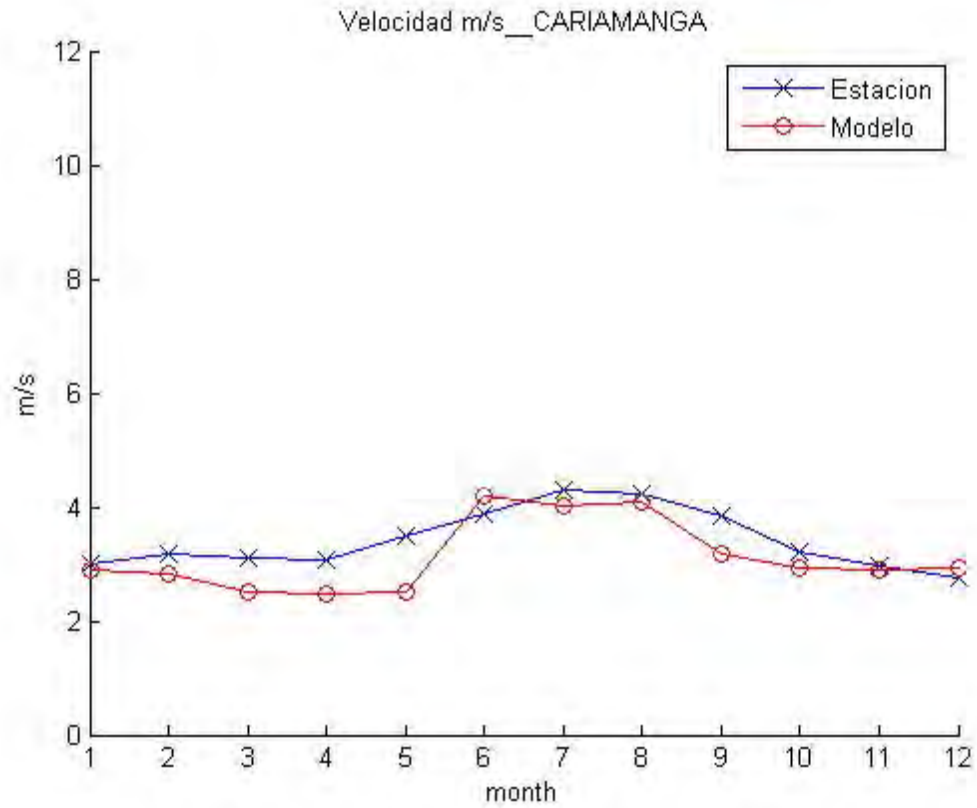
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__CALUMA'



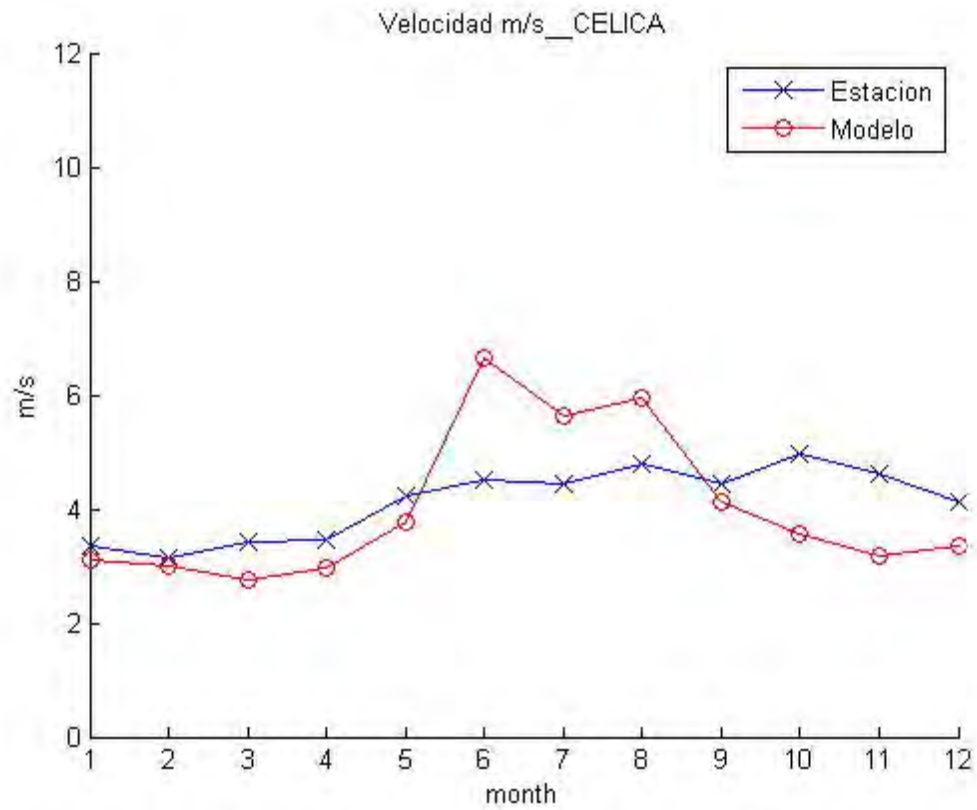
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__CAMPOSANO#2'



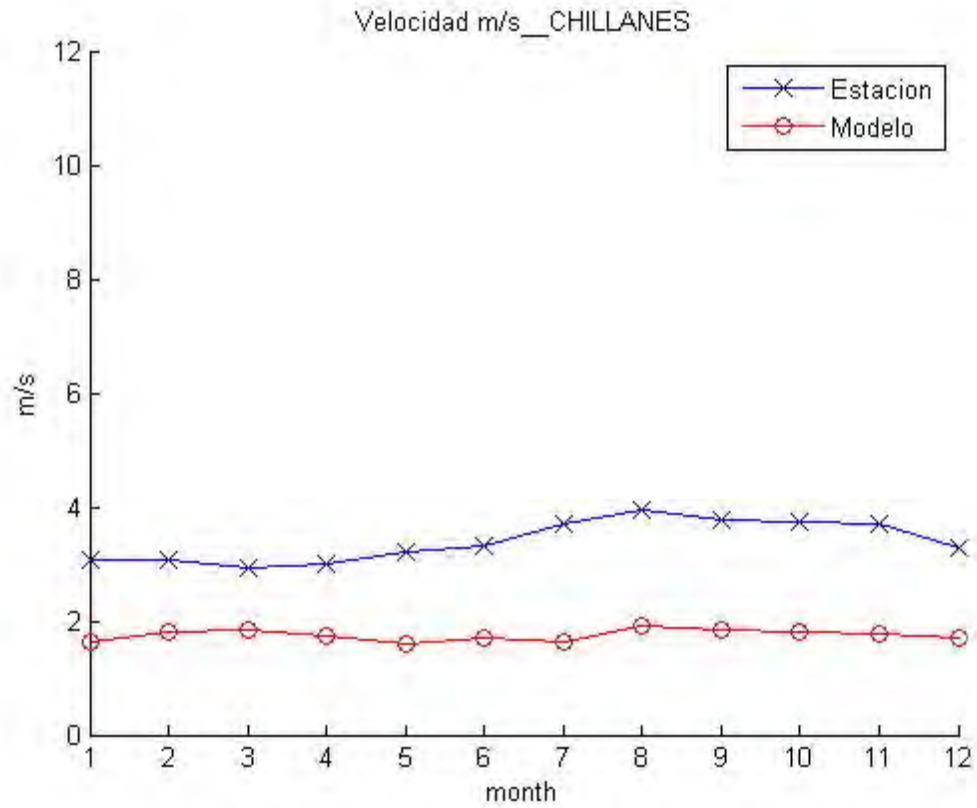
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__CARIAMANGA'



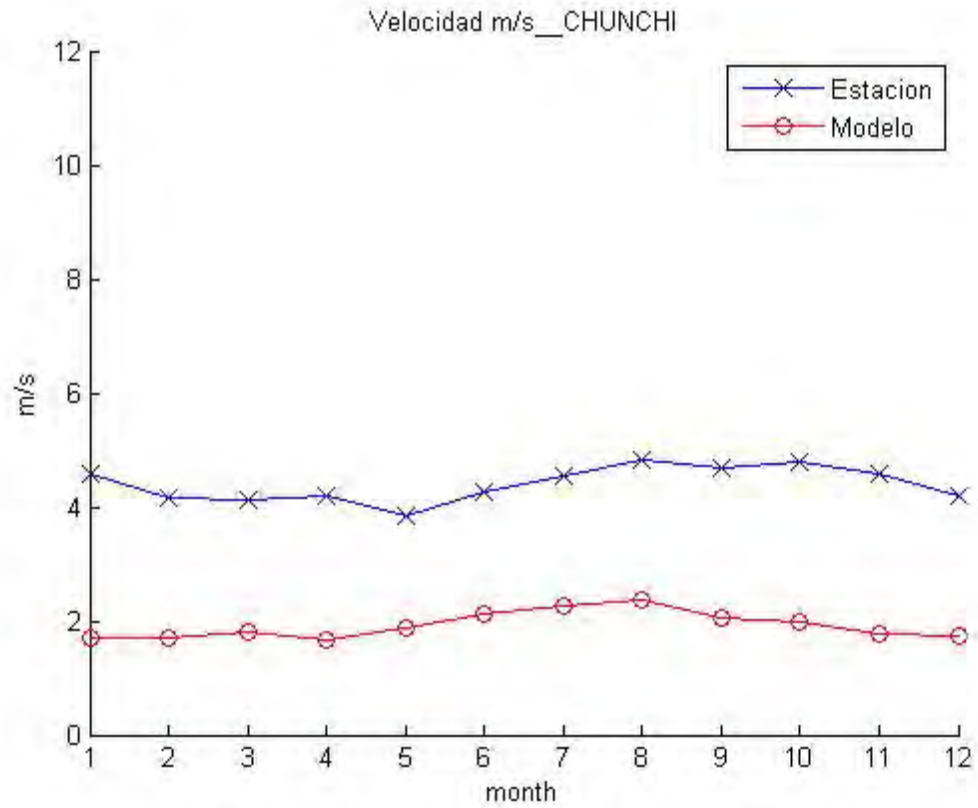
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__CELICA'



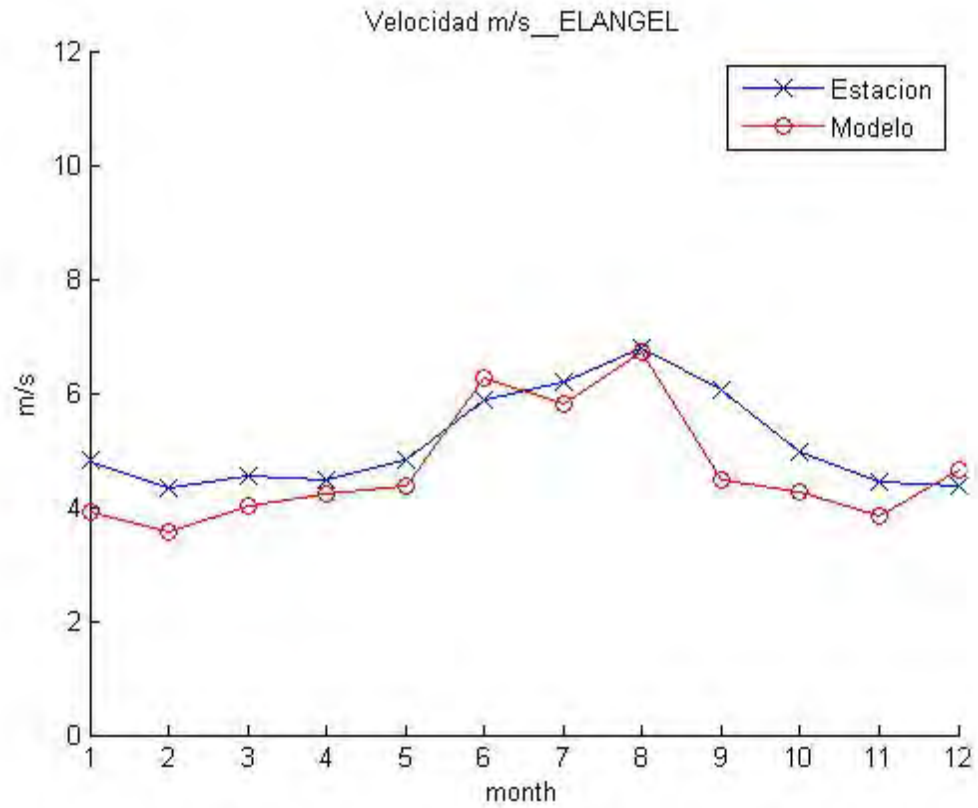
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__CHILLANES'



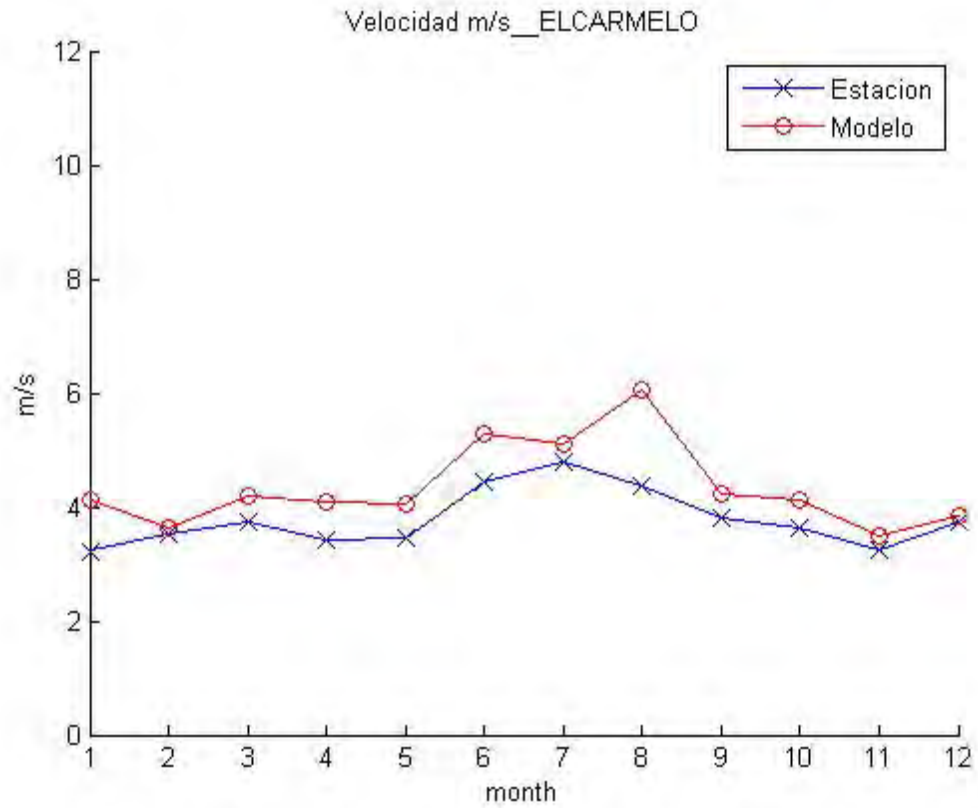
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__CHUNCHI'



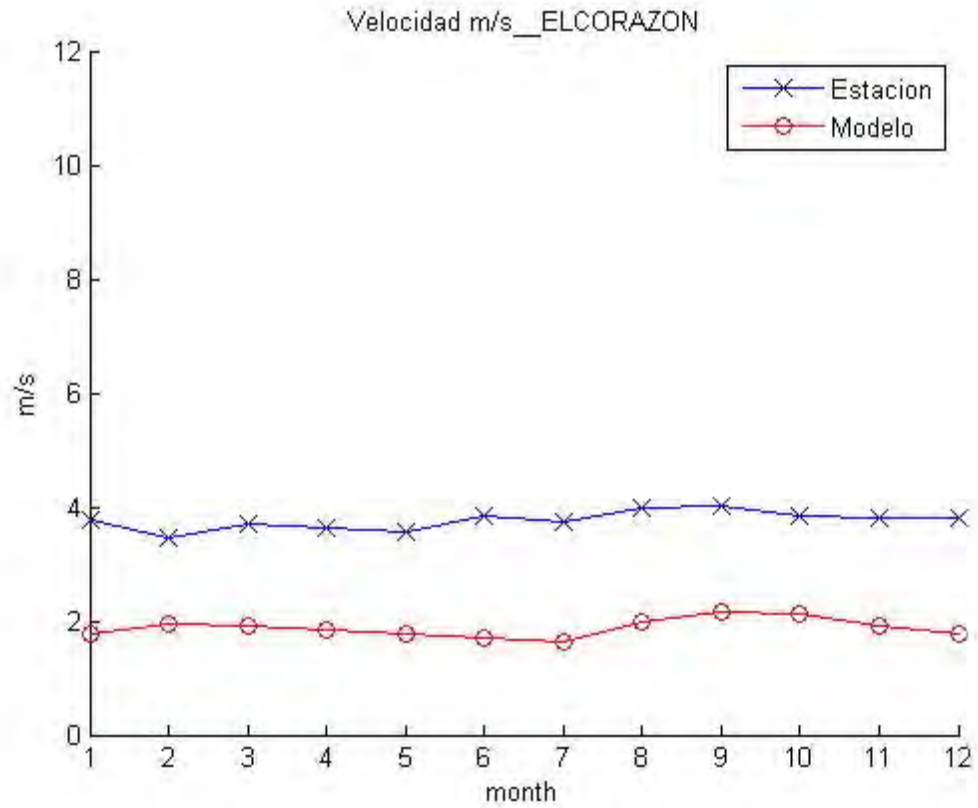
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ELANGEL'



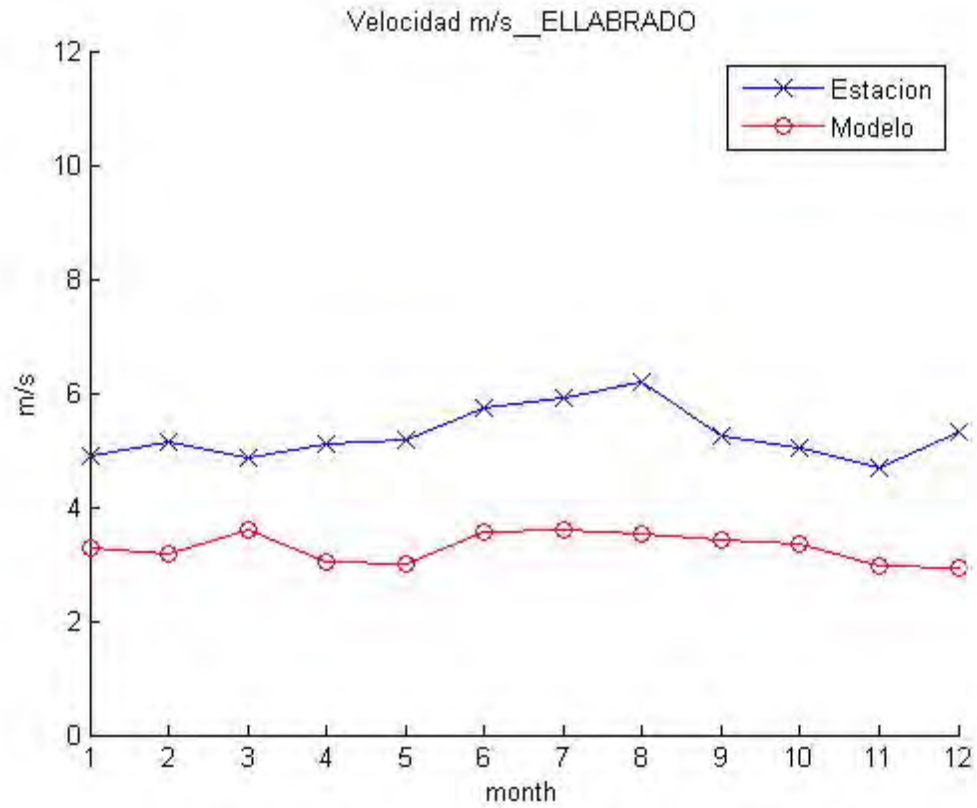
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ELCARMELO'



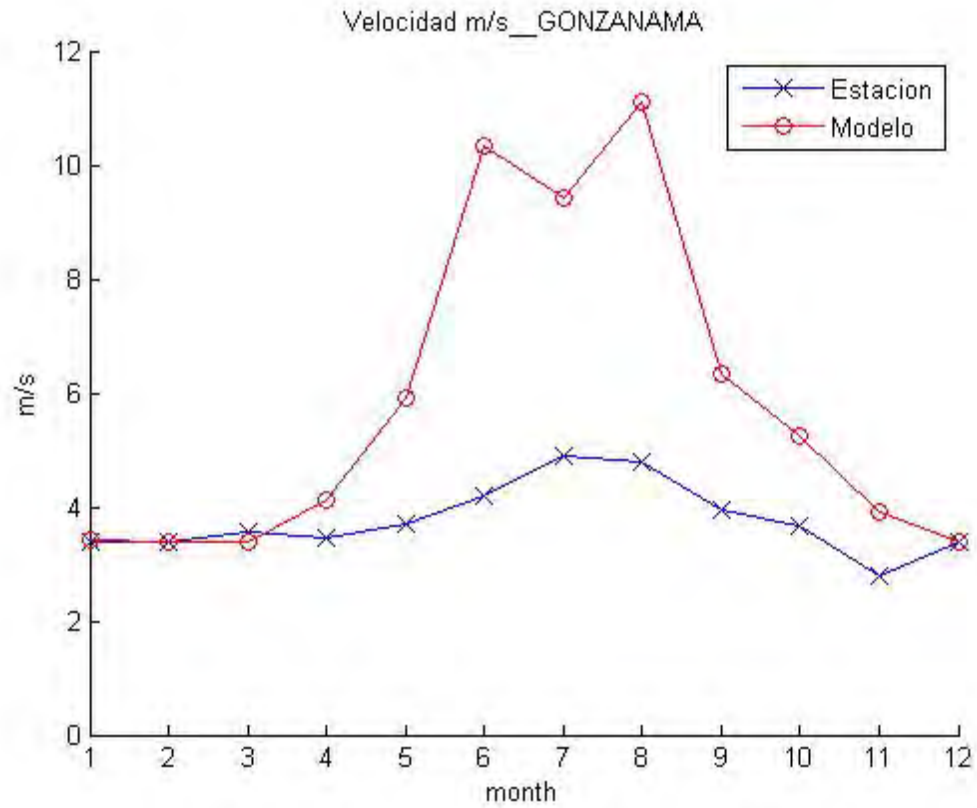
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ELCORAZON'



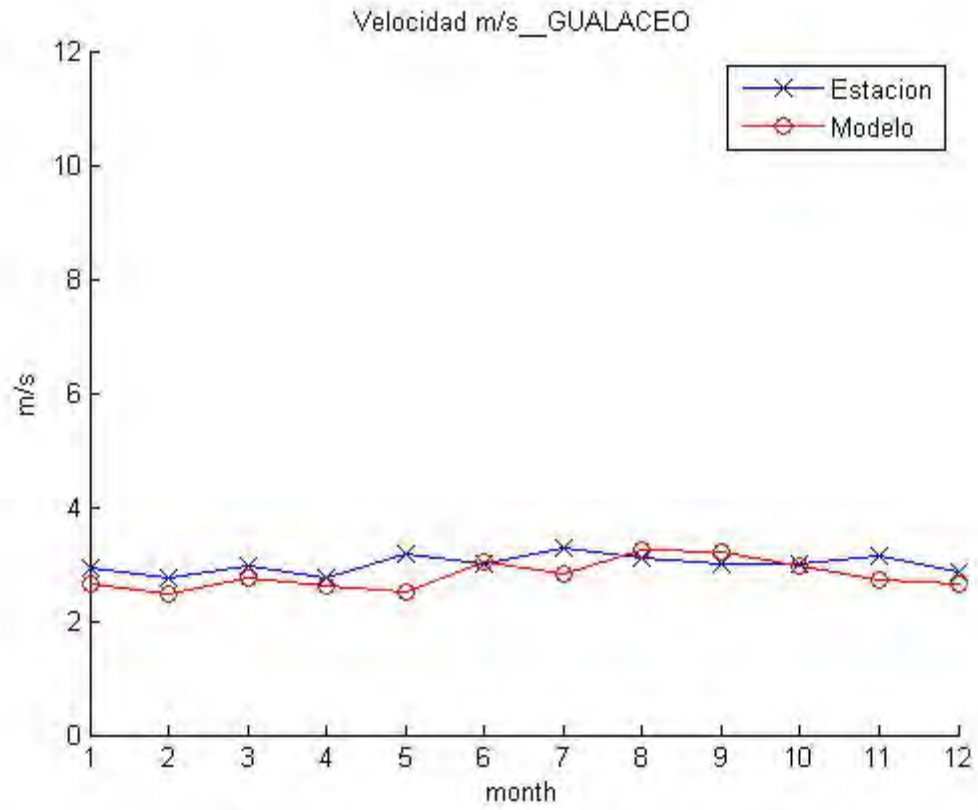
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ELLABRADO'



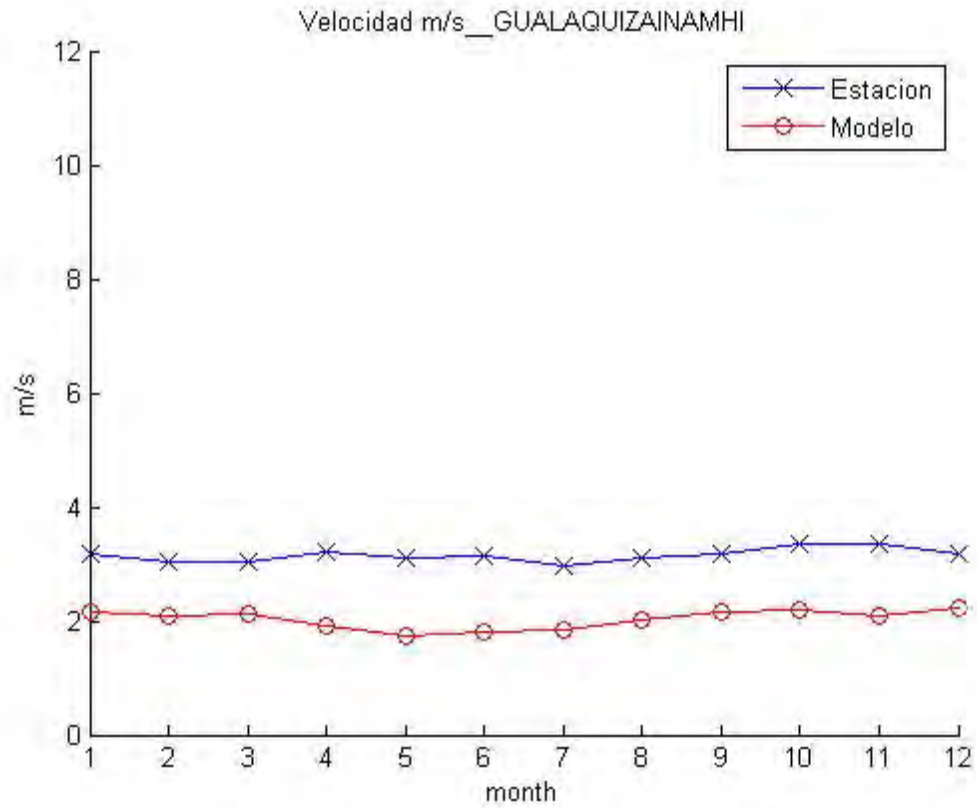
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__GONZANAMA'



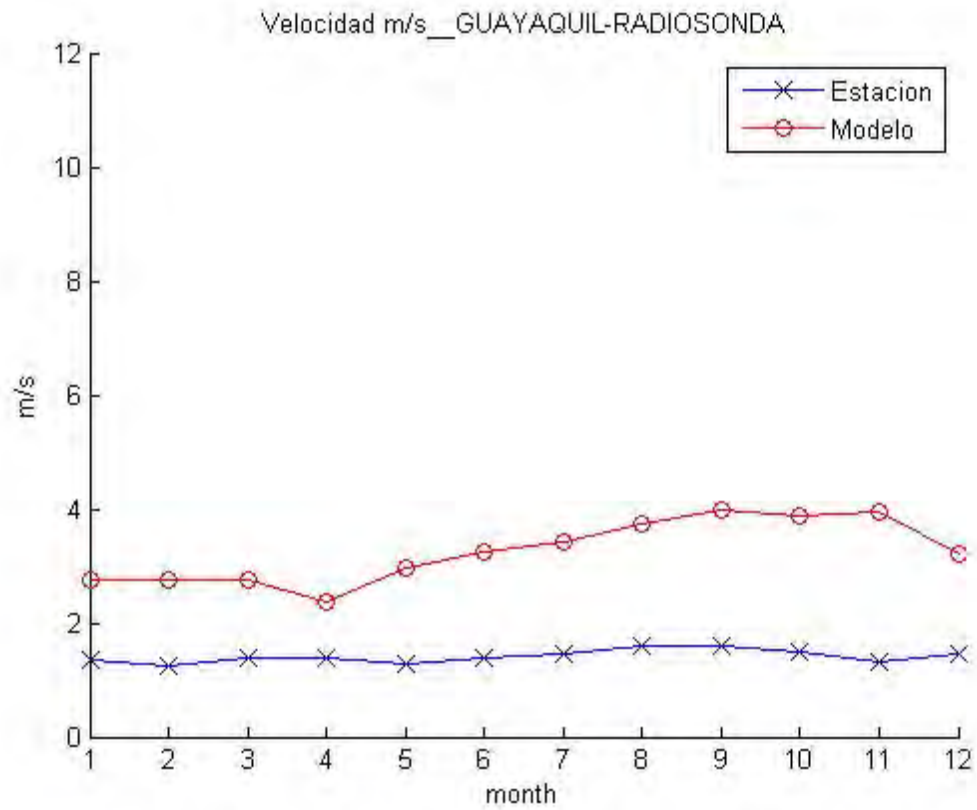
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_GUALACEO'



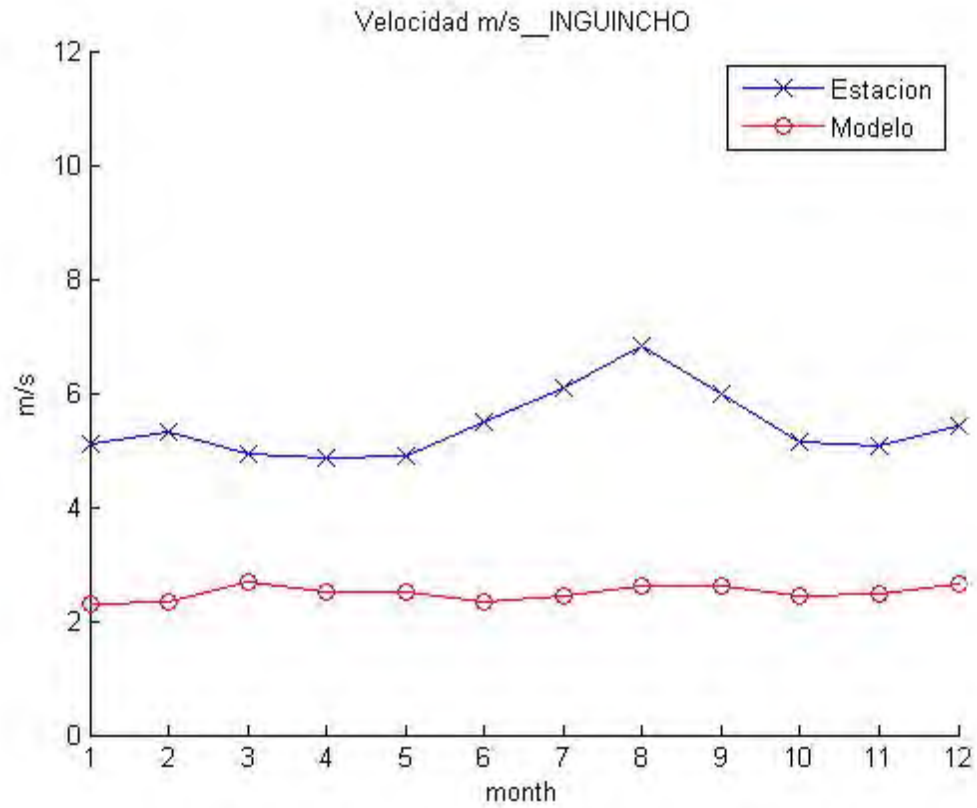
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__GUALAQUIZAINAMHI'



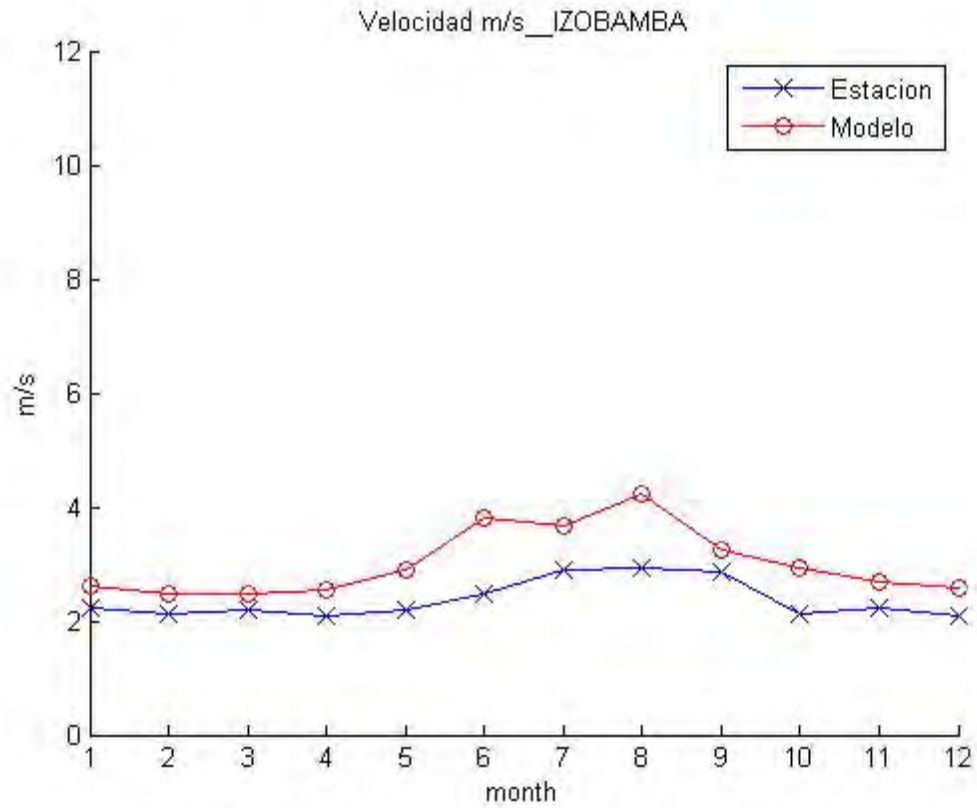
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__GUAYAQUIL-RADIOSONDA'



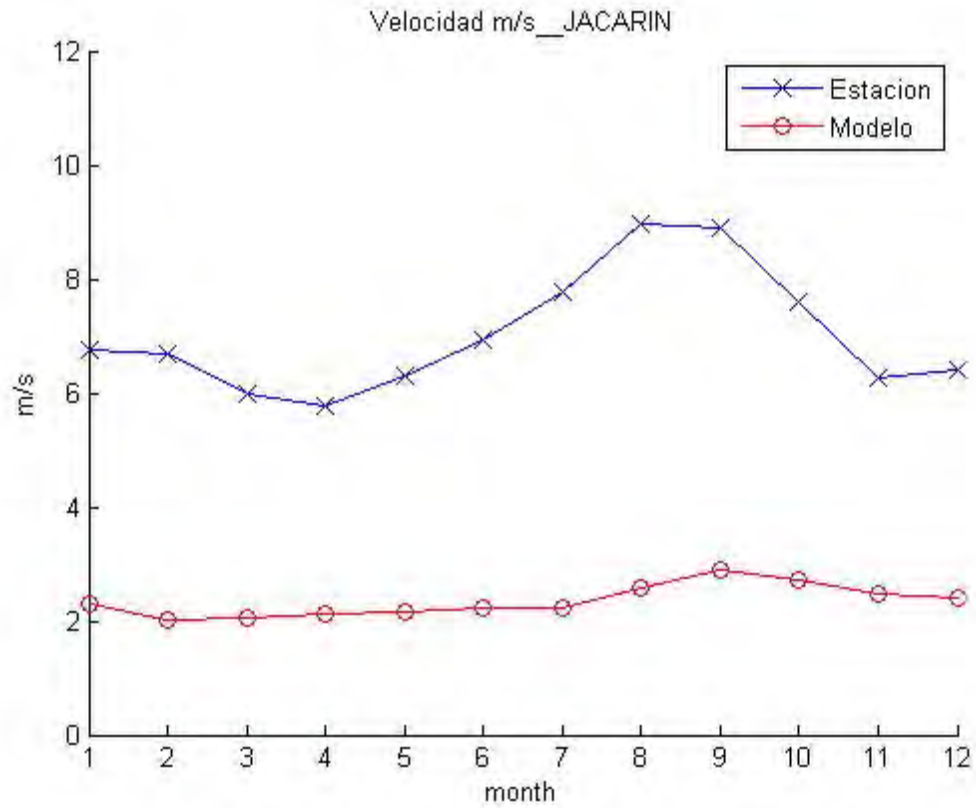
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__INGUINCHO'



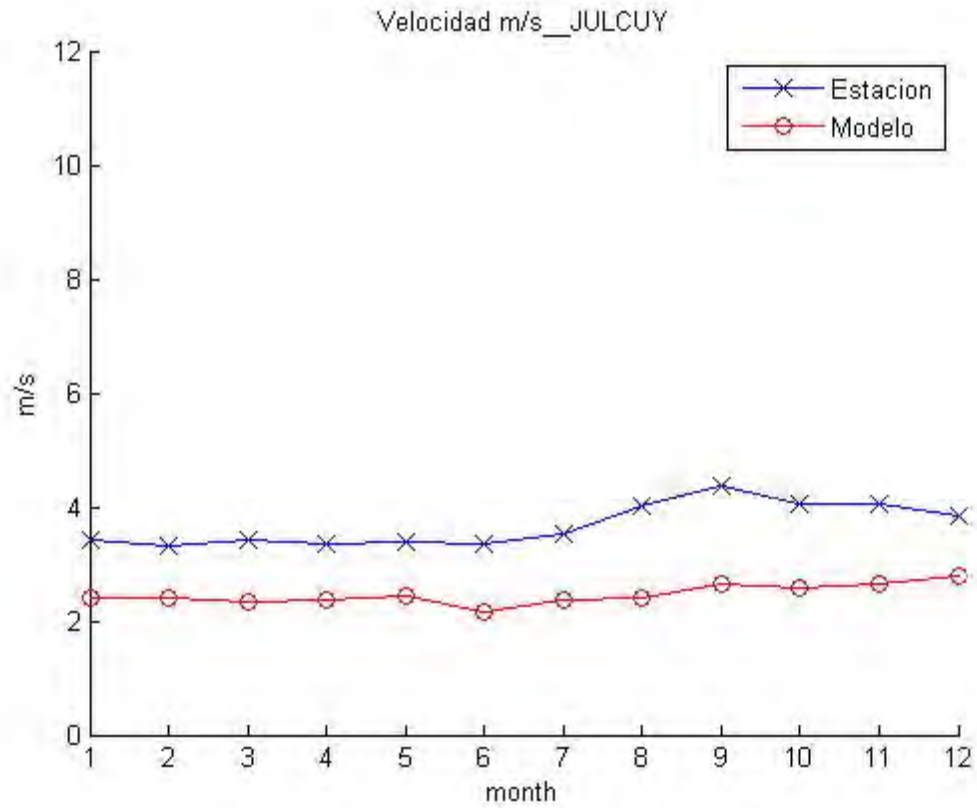
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__IZOBAMBA'



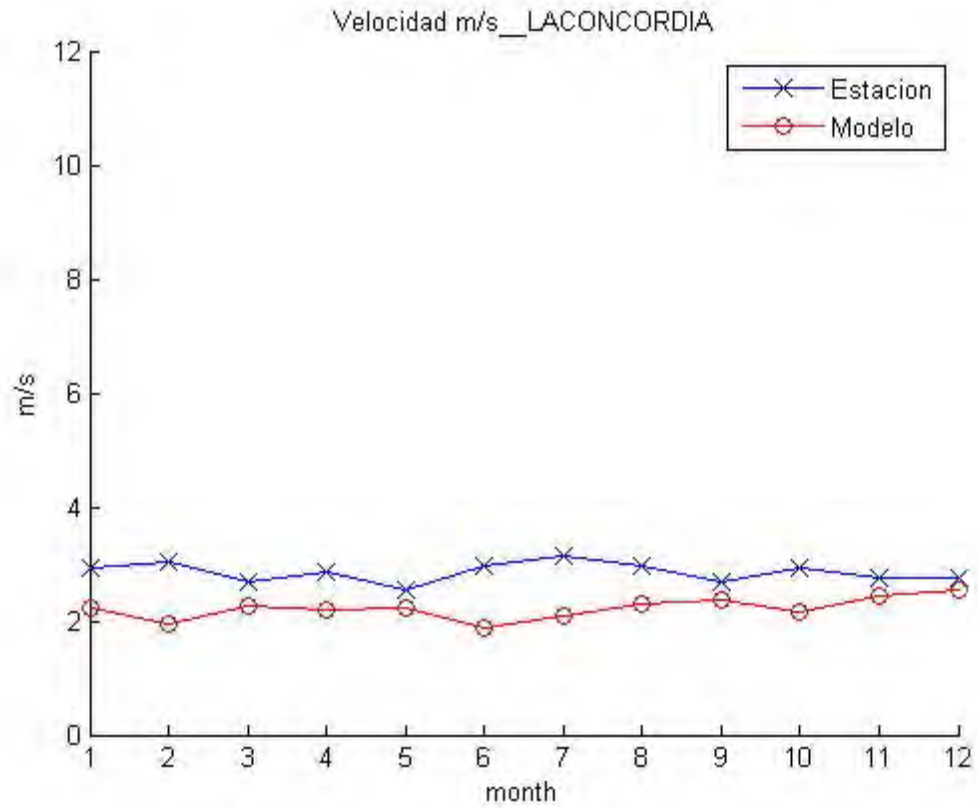
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__JACARIN'



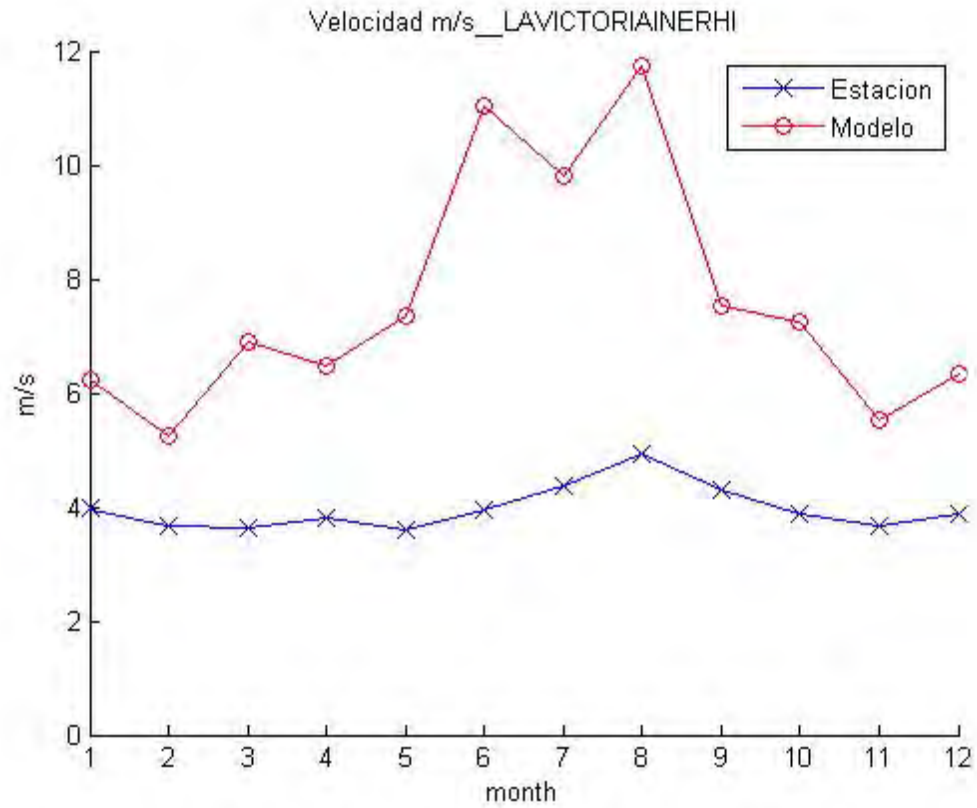
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__JULCUY'



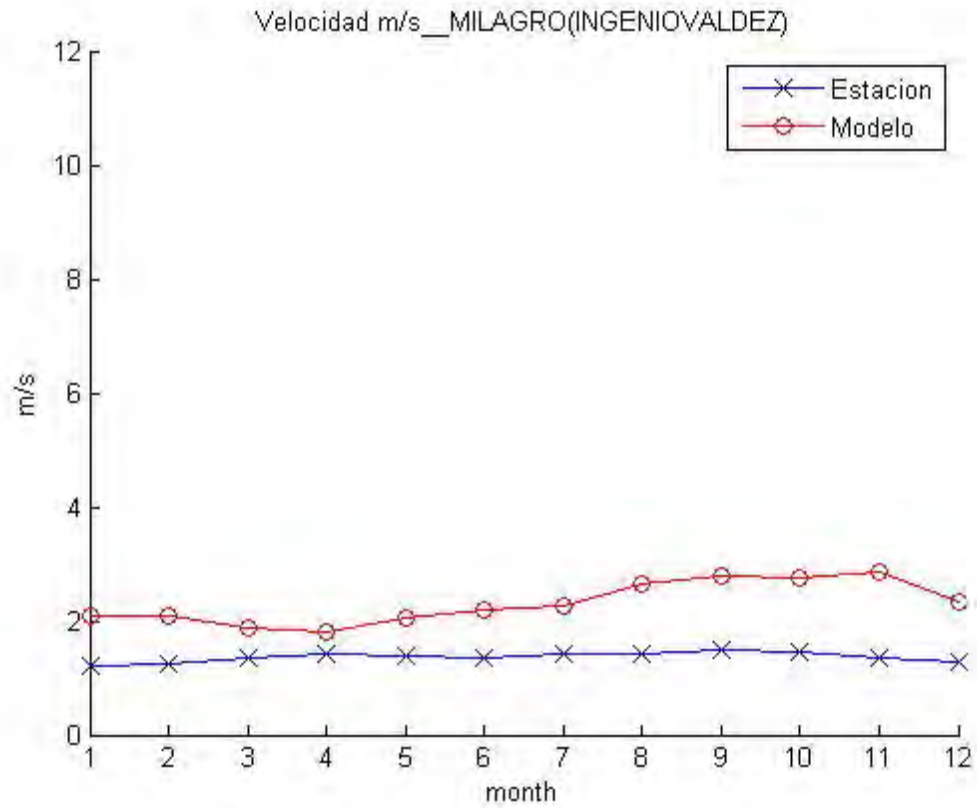
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s _LACONCORDIA'



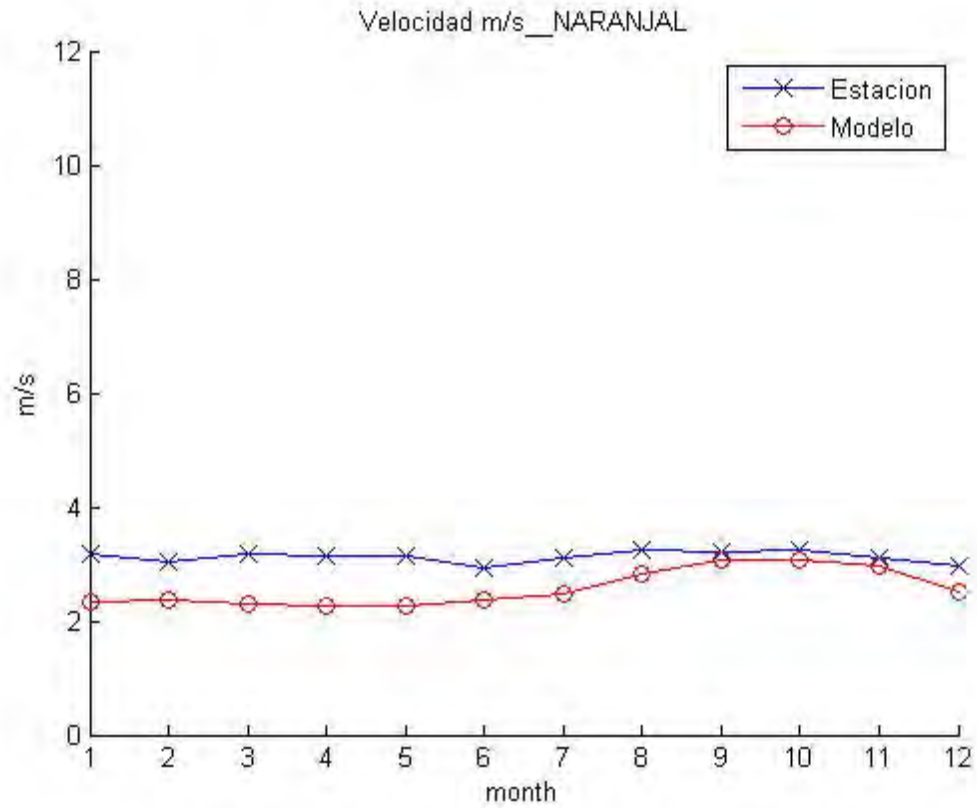
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__LAVICTORIAINERHI'



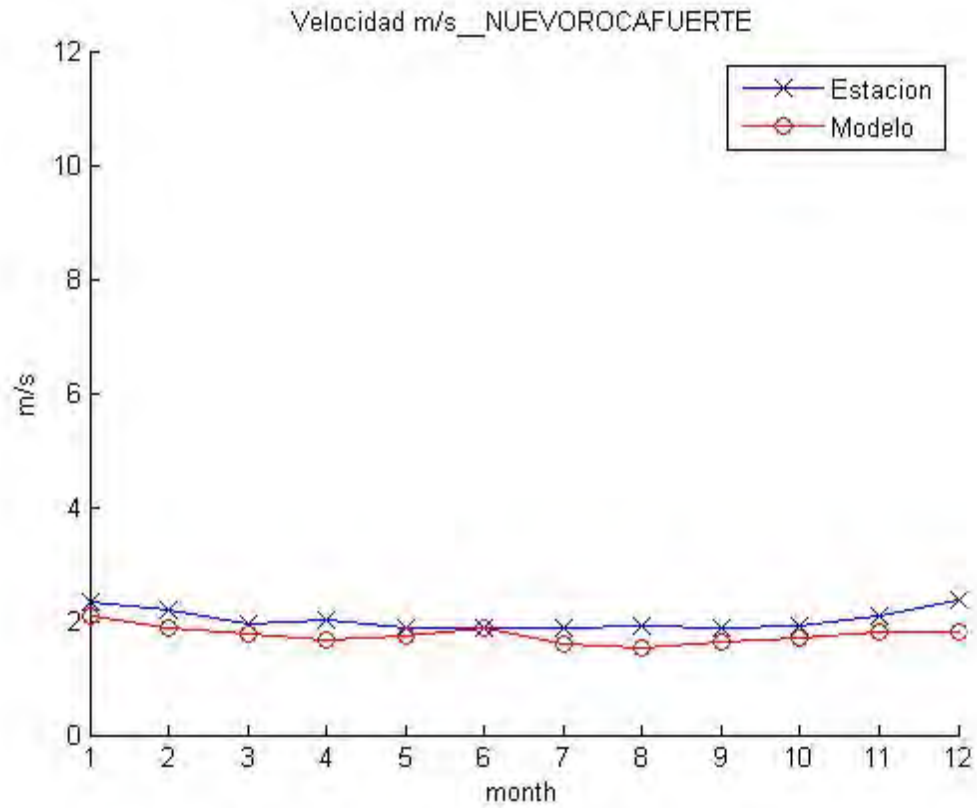
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__MILAGRO(INGENIOVALDEZ)'



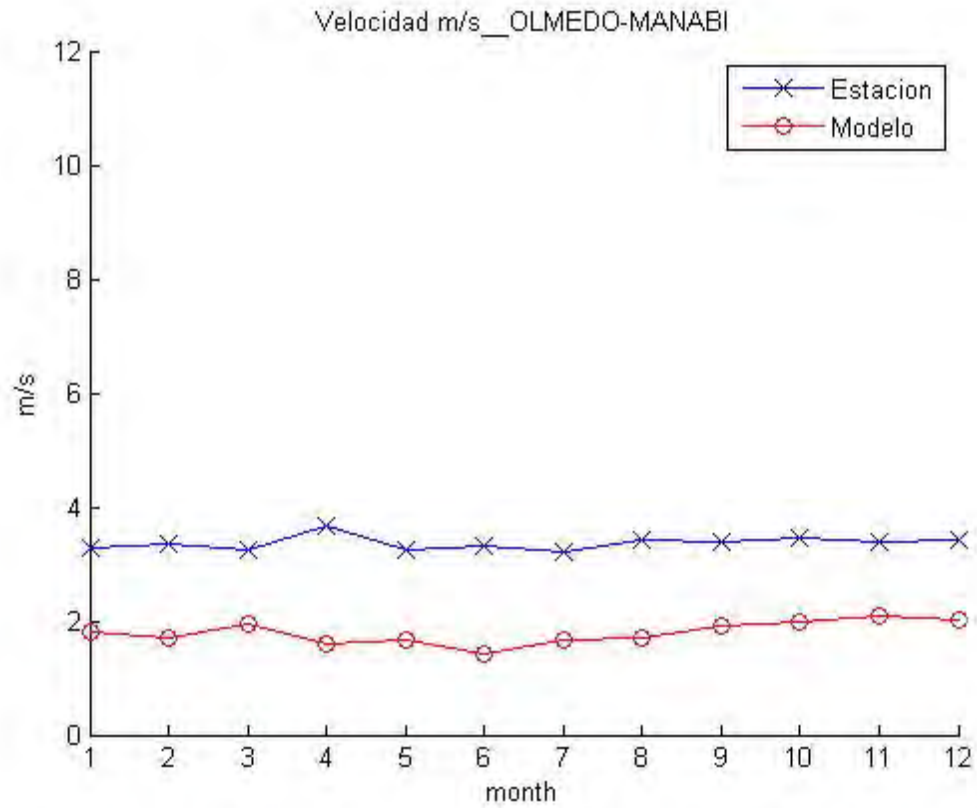
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_NARANJAL'



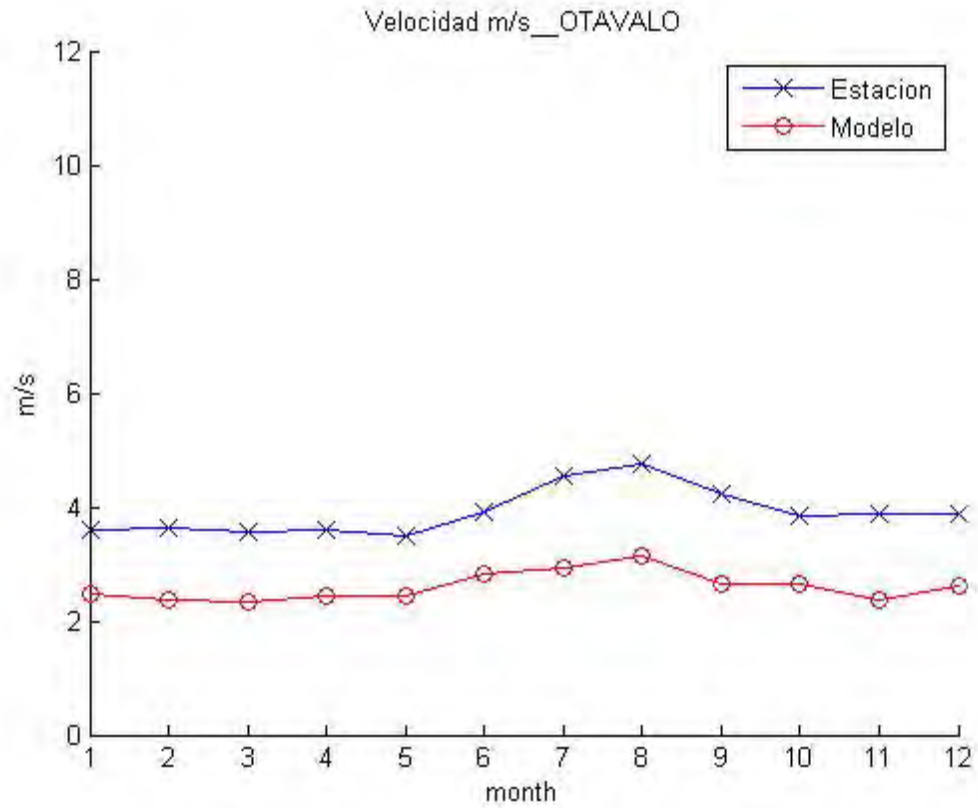
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_NUEVOROCAFUERTE'



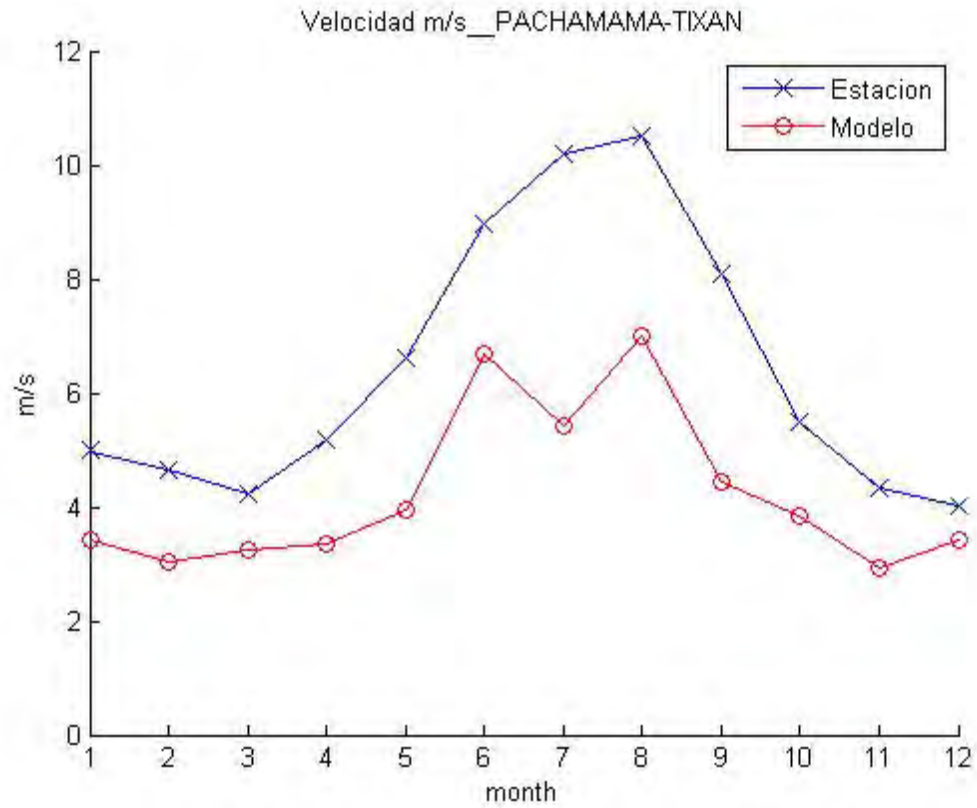
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__OLMEDO-MANABI'



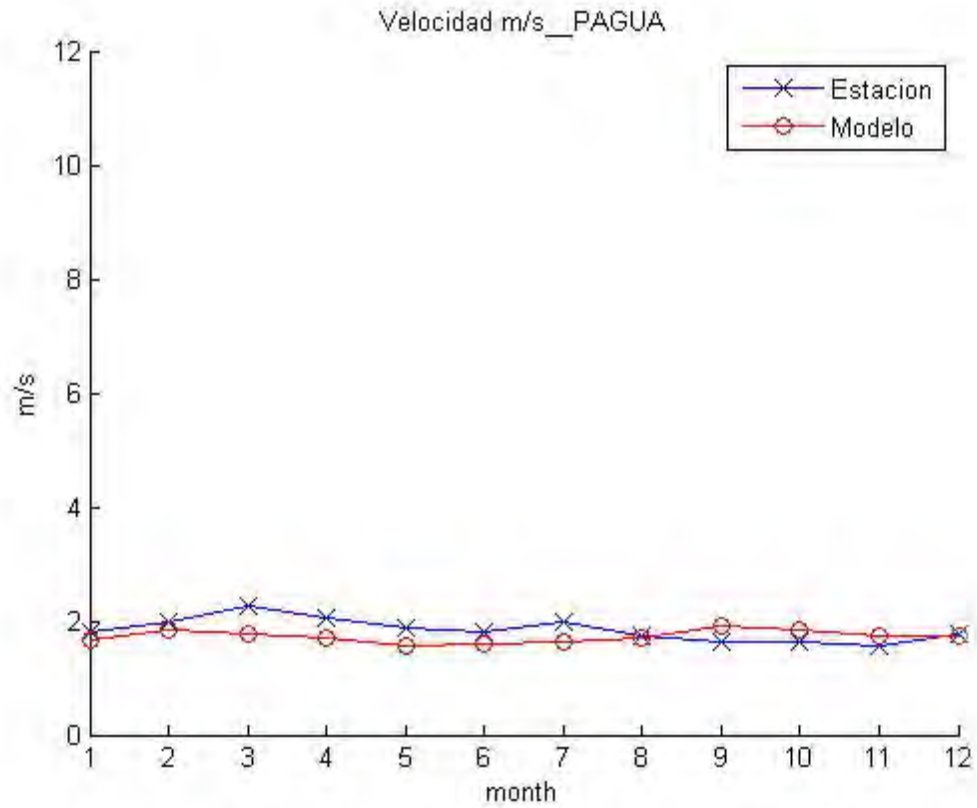
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__OTAVALO'



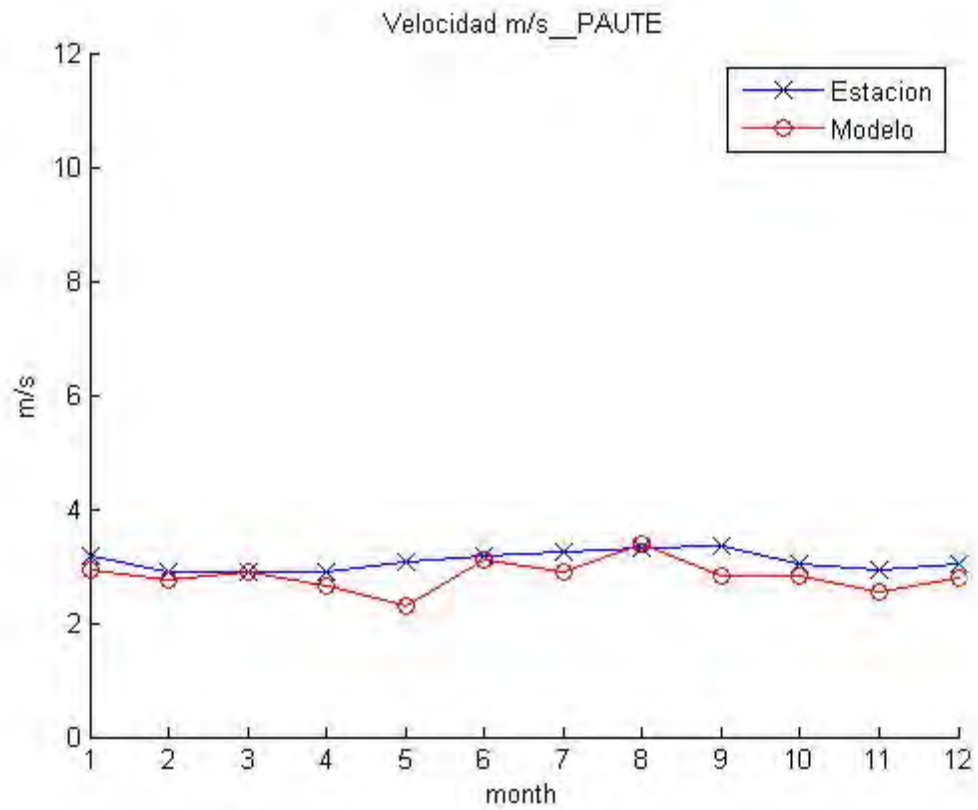
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PACHAMAMA-TIXAN'



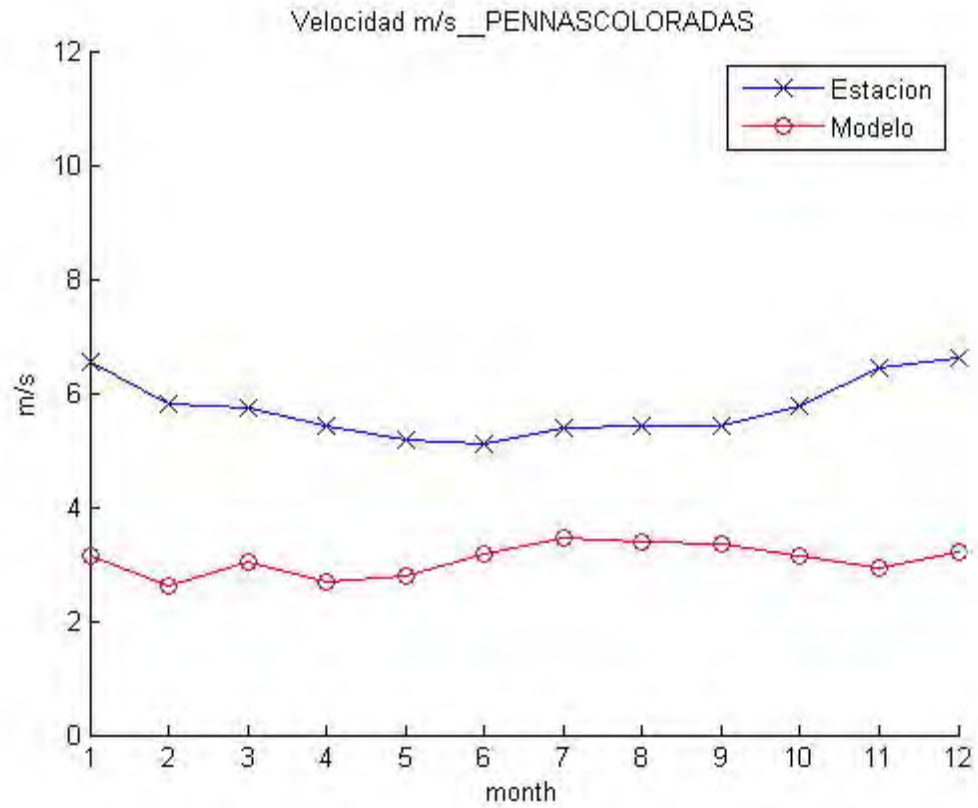
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PAGUA'



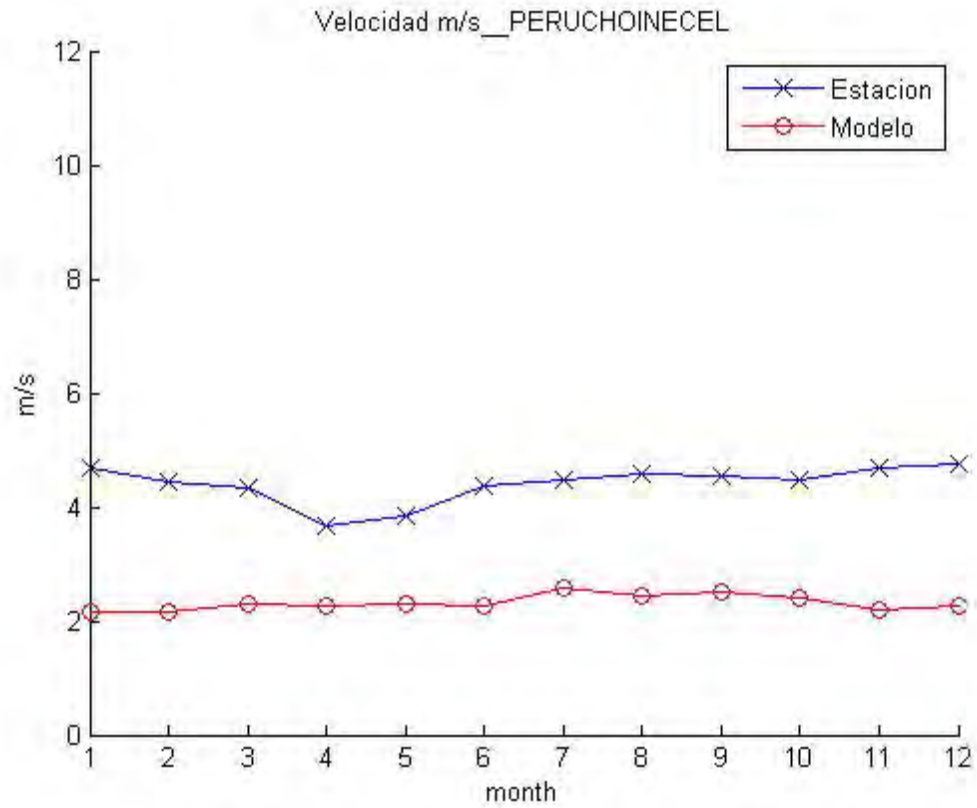
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_PAUTE'



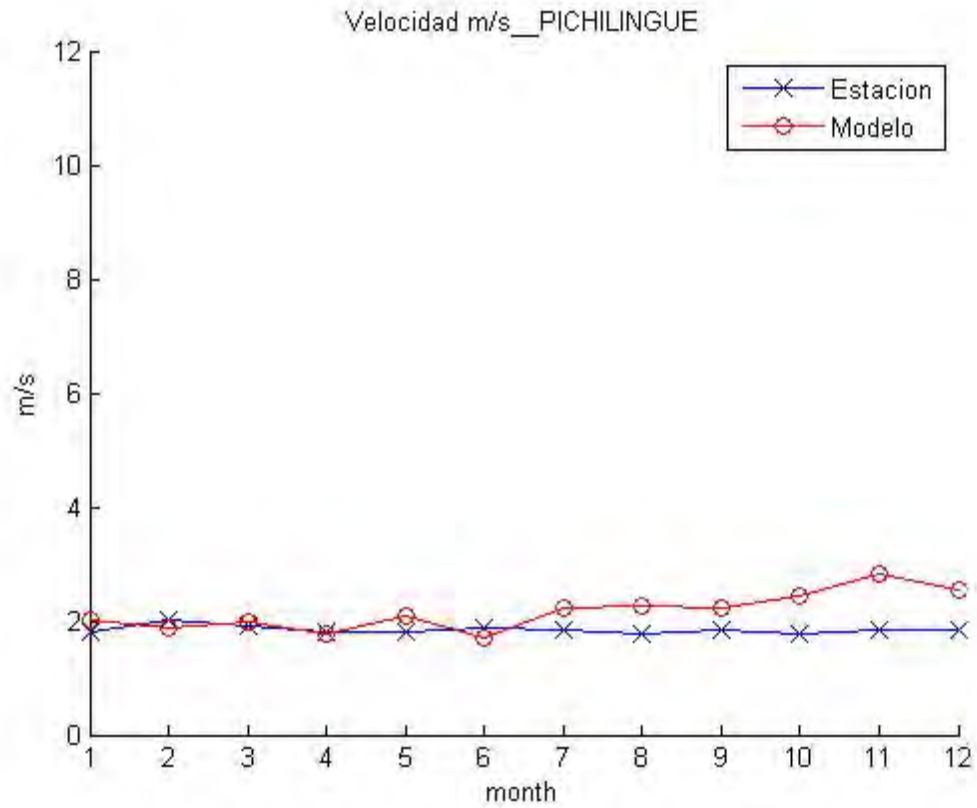
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_PENNASCOLORADAS'



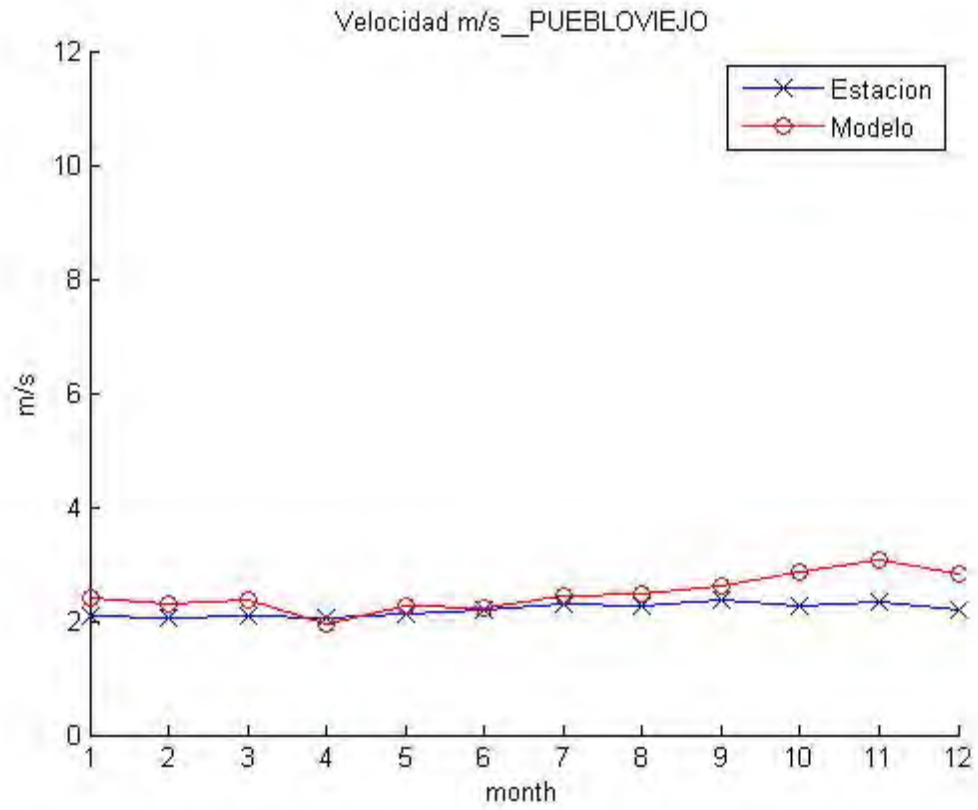
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PERUCHOINECEL'



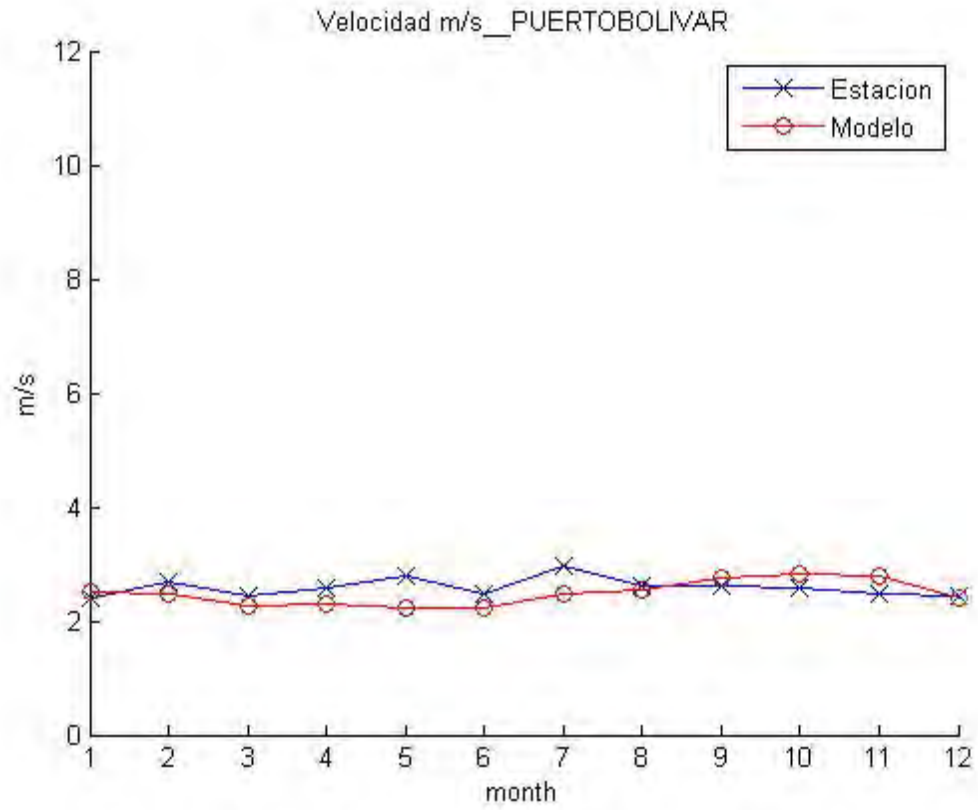
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PICHILINGUE'



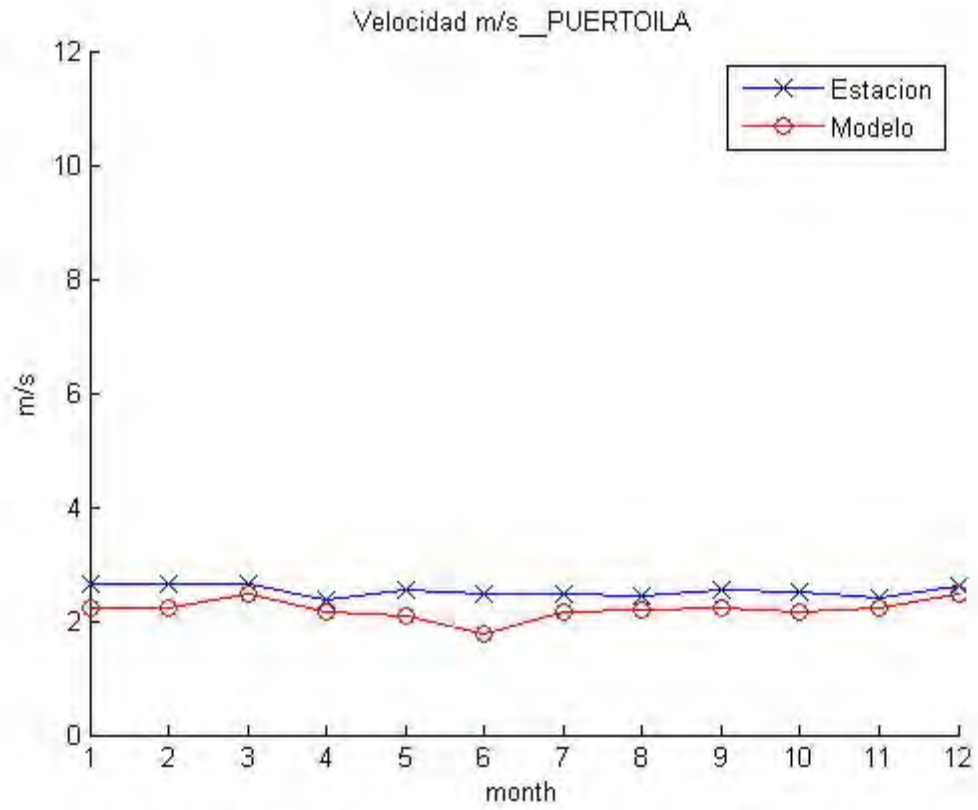
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_PUEBLOVIEJO'



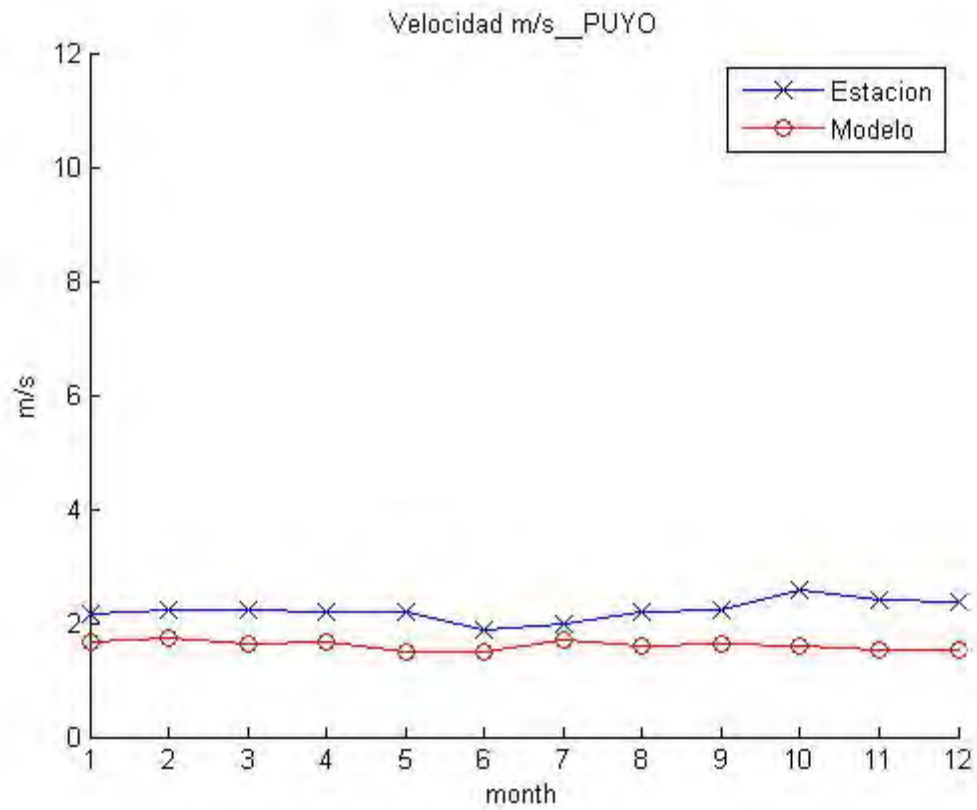
Warning: incomplete command in TeX text string:
 'Velocidad m/s_PUERTO BOLIVAR'



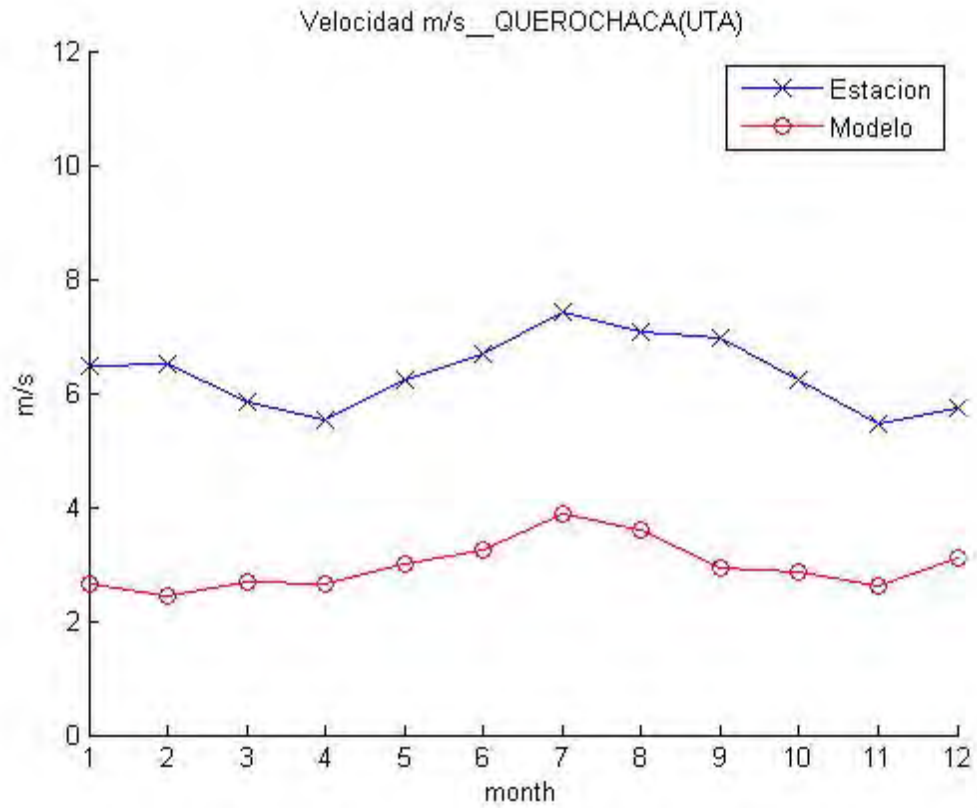
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PUERTOILA'



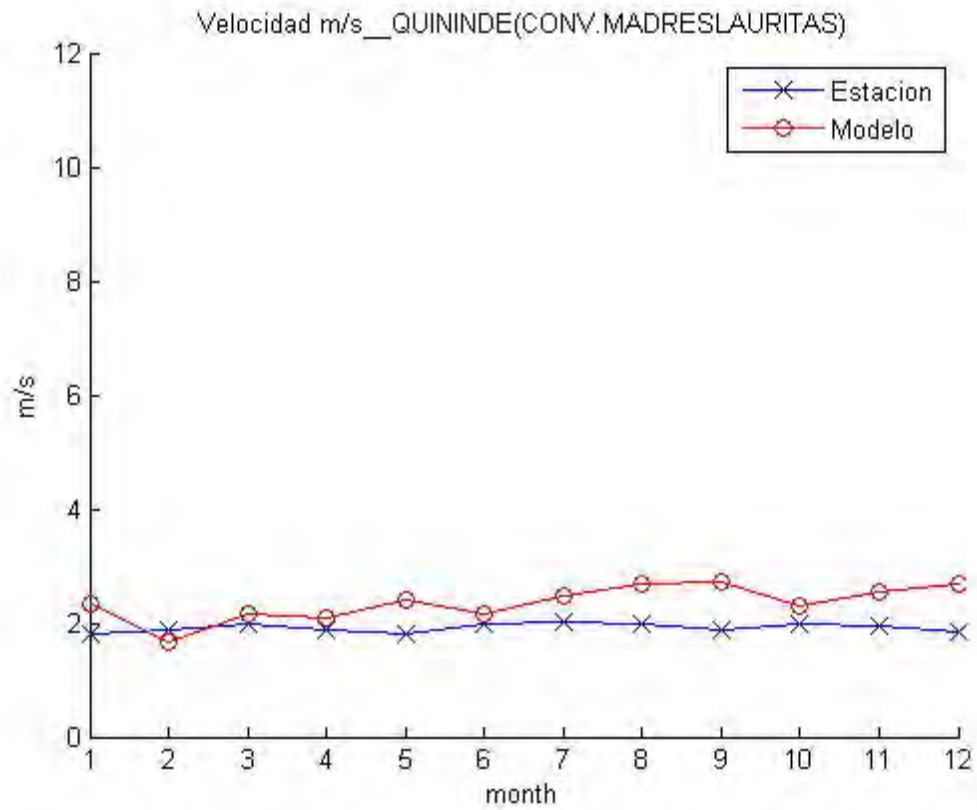
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__PUYO'



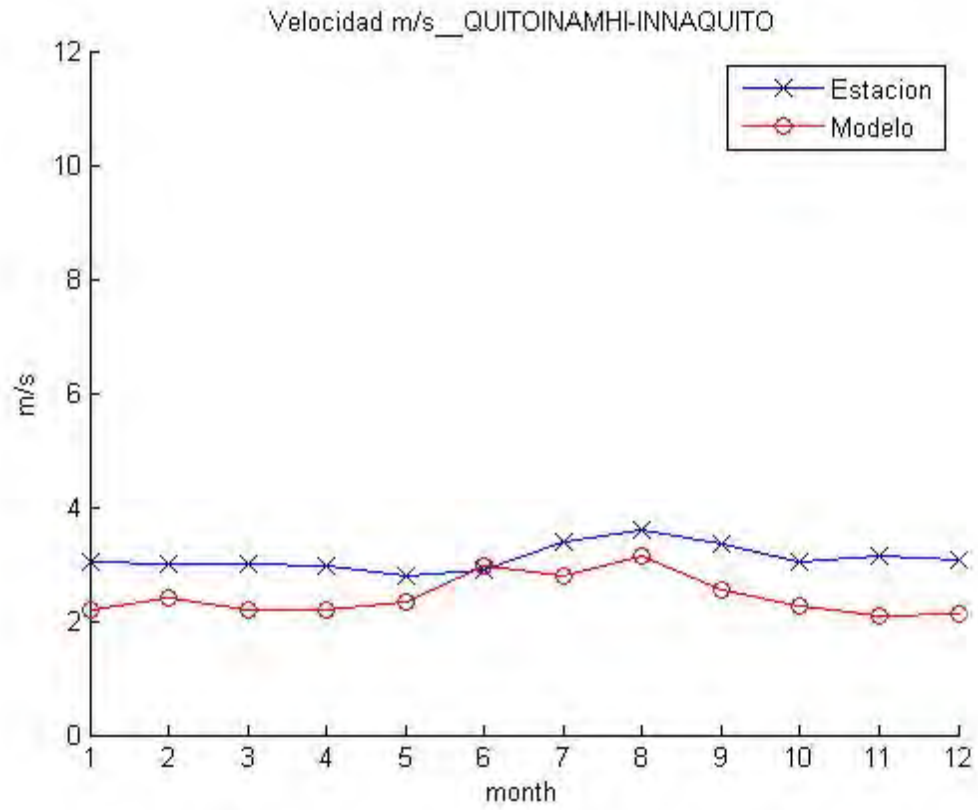
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_QUEROCHACA(UTA)'



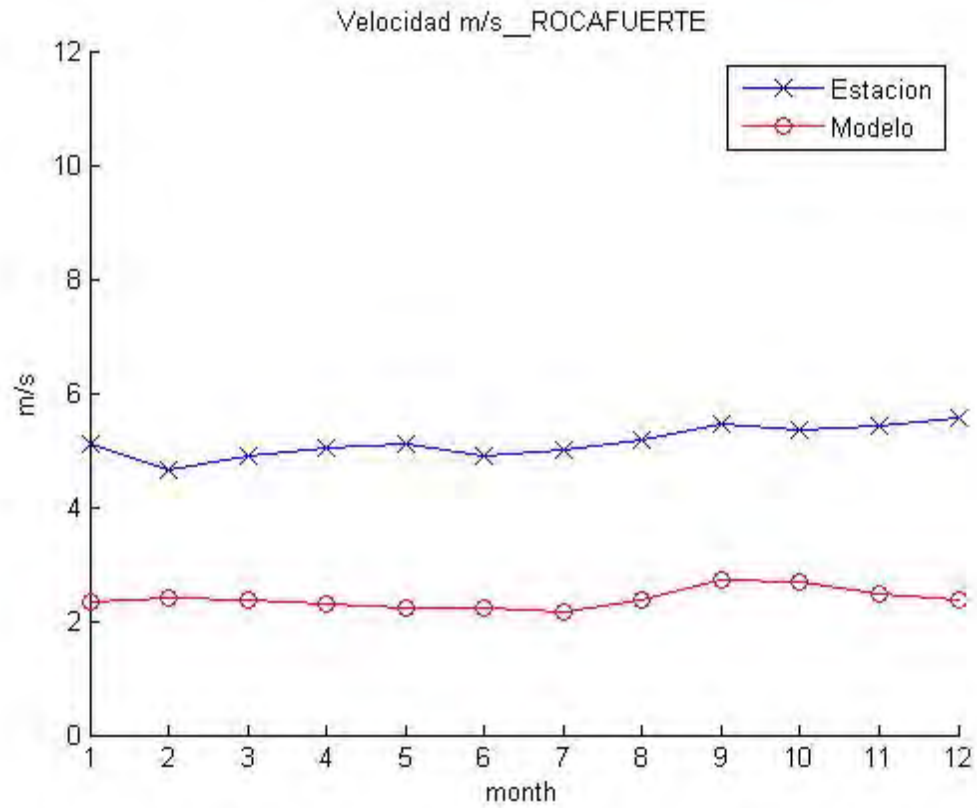
Warning: incomplete command in TeX text string:
 'Velocidad m/s__QUININDE(CONV.MADRESLAURITAS)'



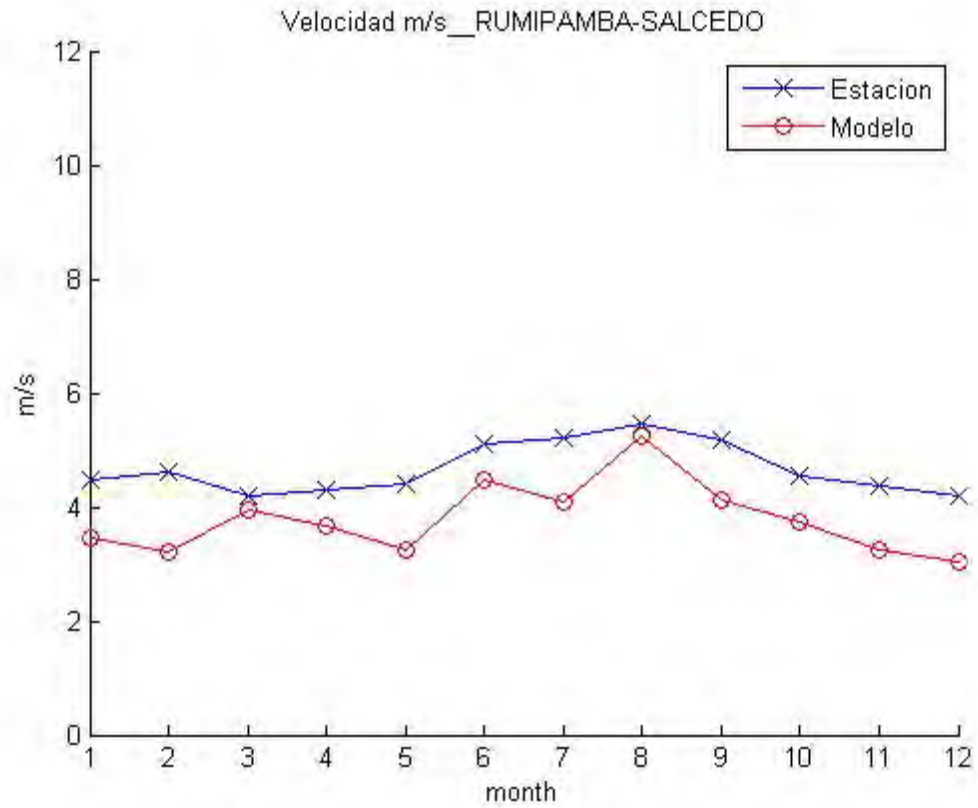
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__QUITOINAMHI-INNAQUITO'



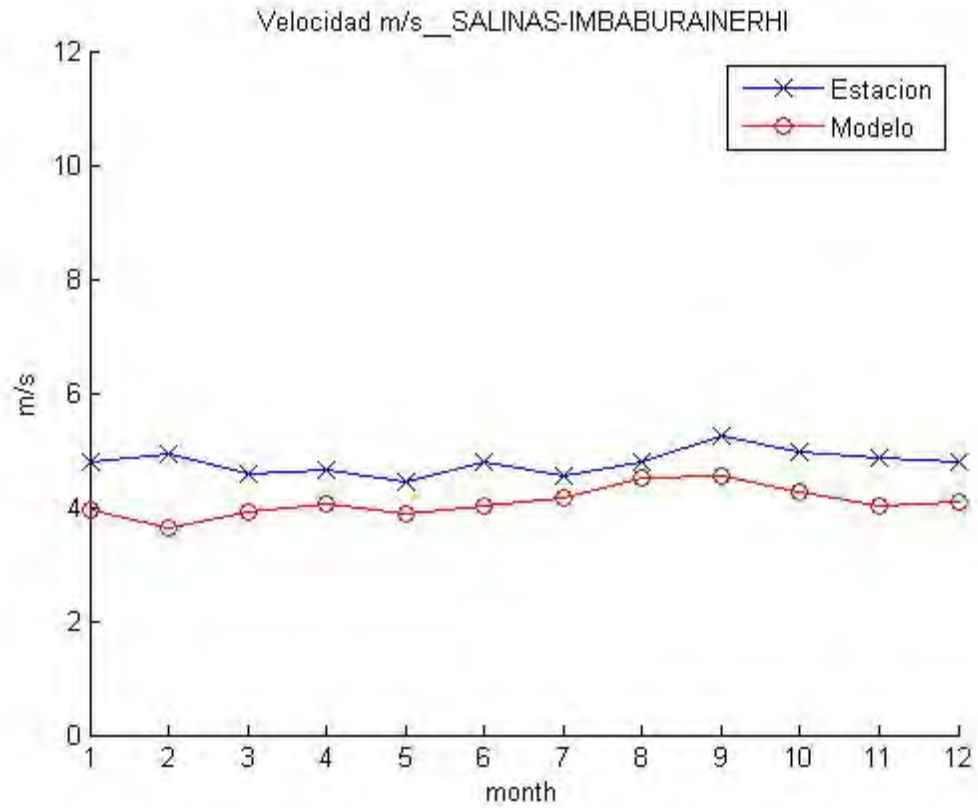
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ROCAFUERTE'



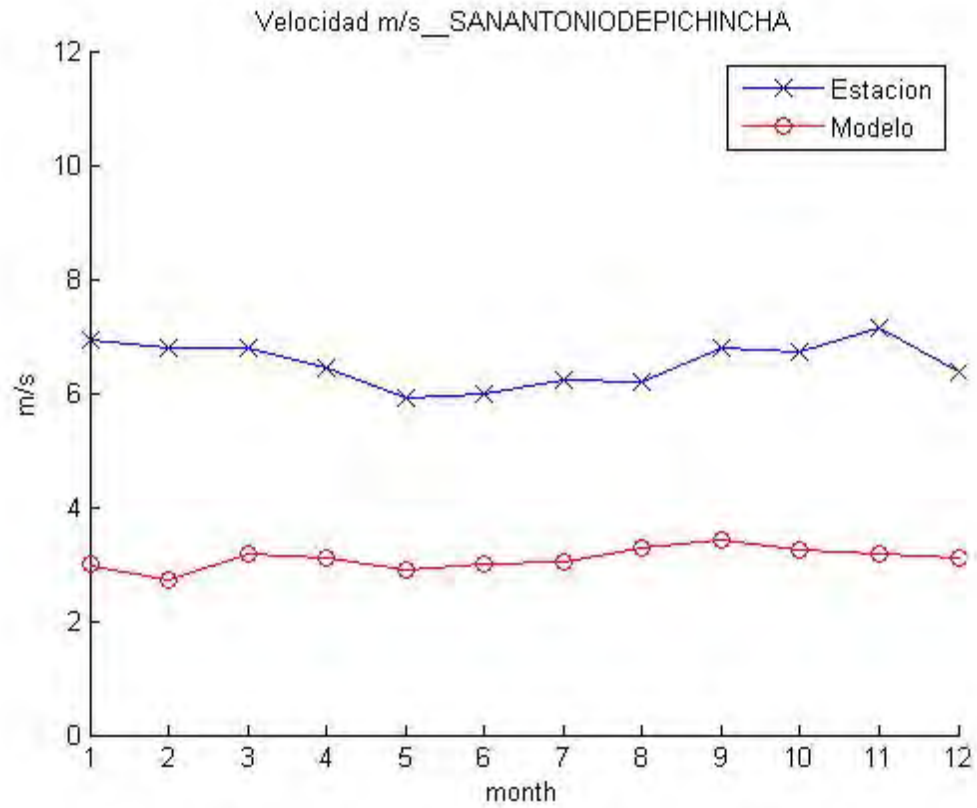
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__RUMIPAMBA-SALCEDO'



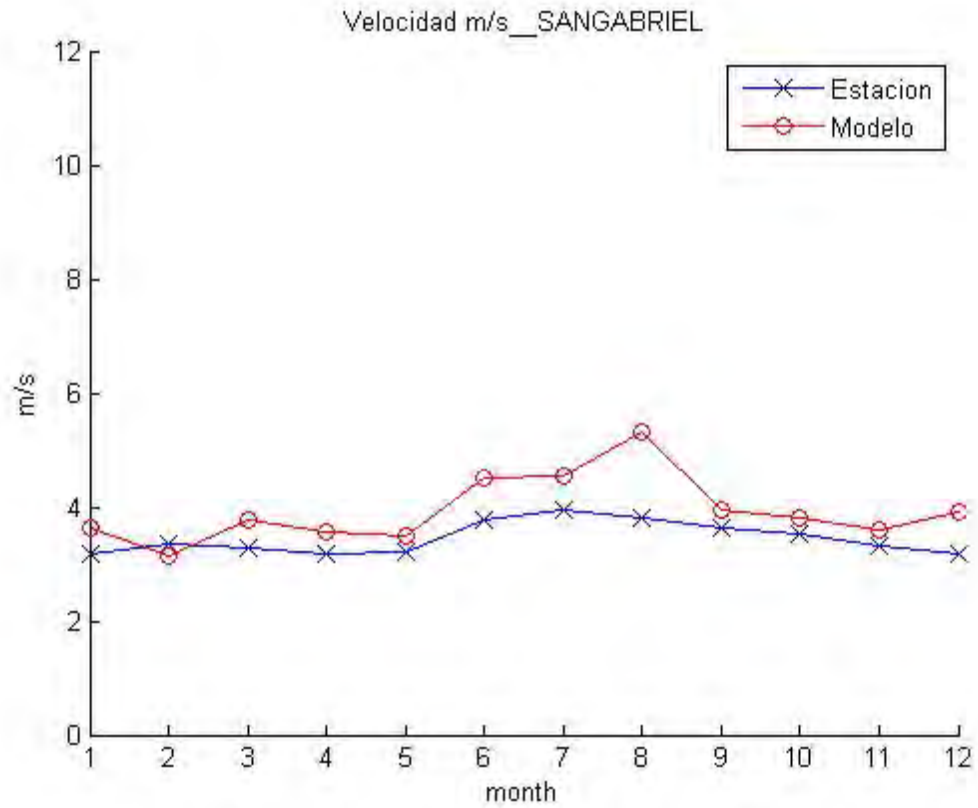
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SALINAS-IMBABURAINERHI'



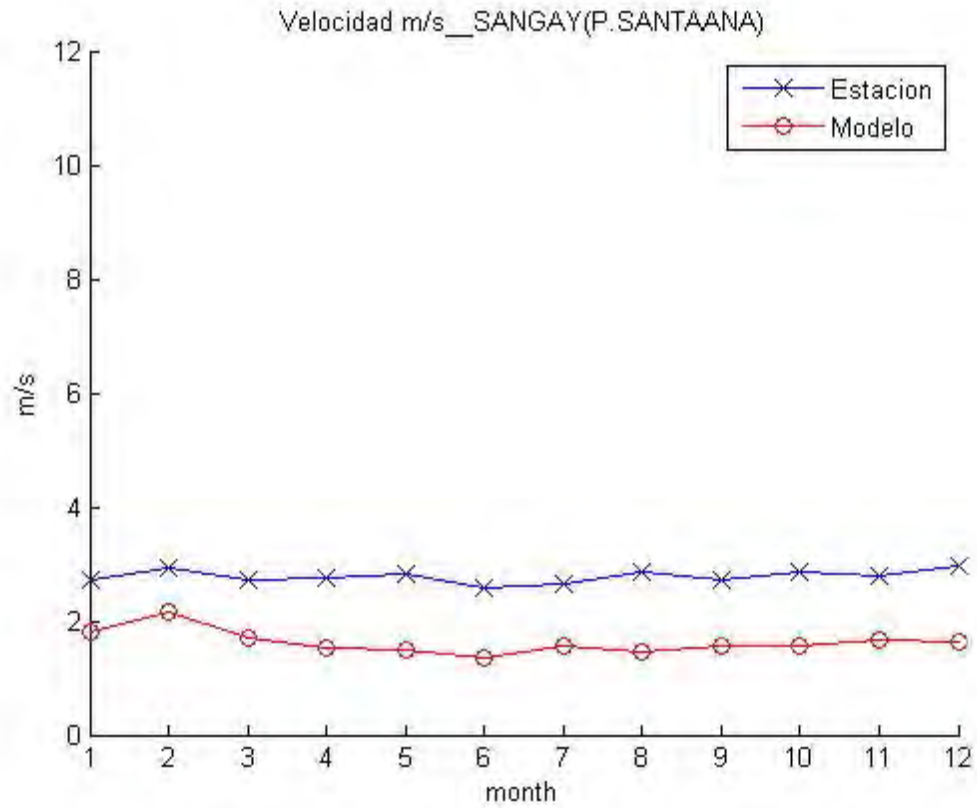
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SANANTONIODEPICHINCHA'



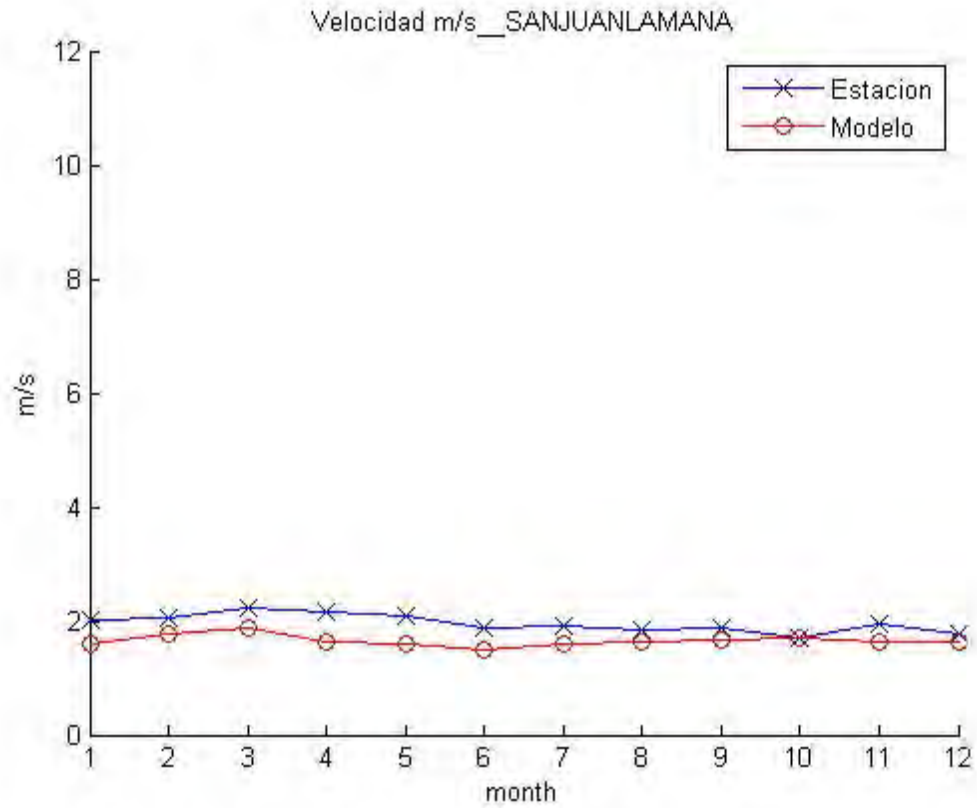
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SANGABRIEL'



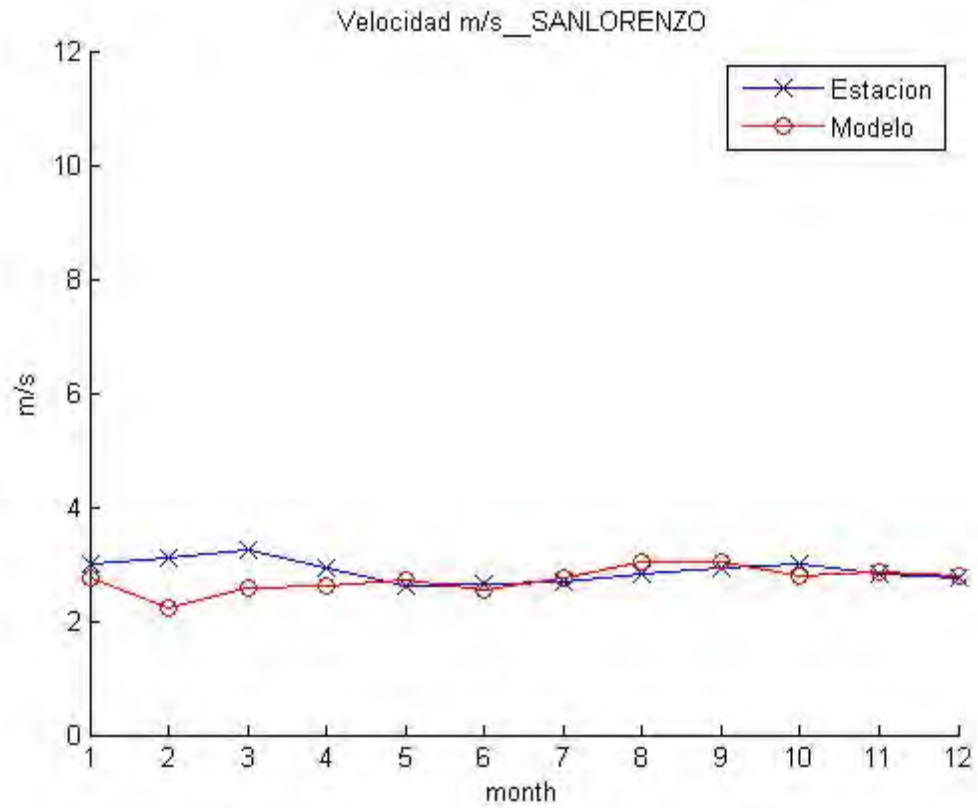
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SANGAY(P.SANTAANA)'



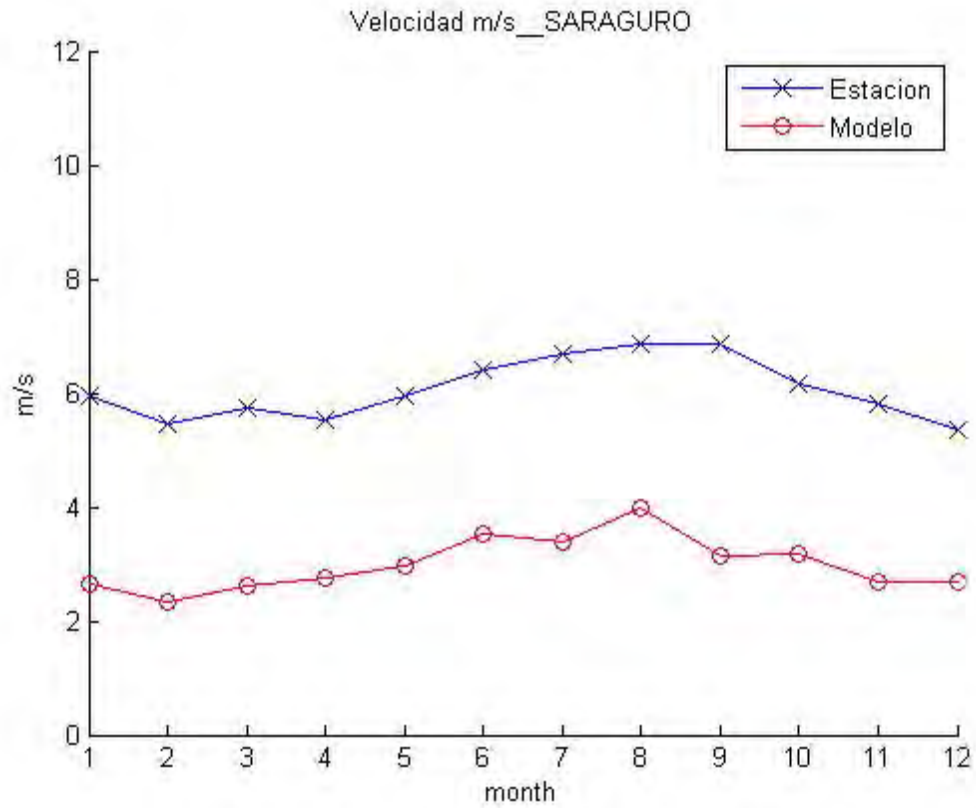
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SANJUANLAMANA'



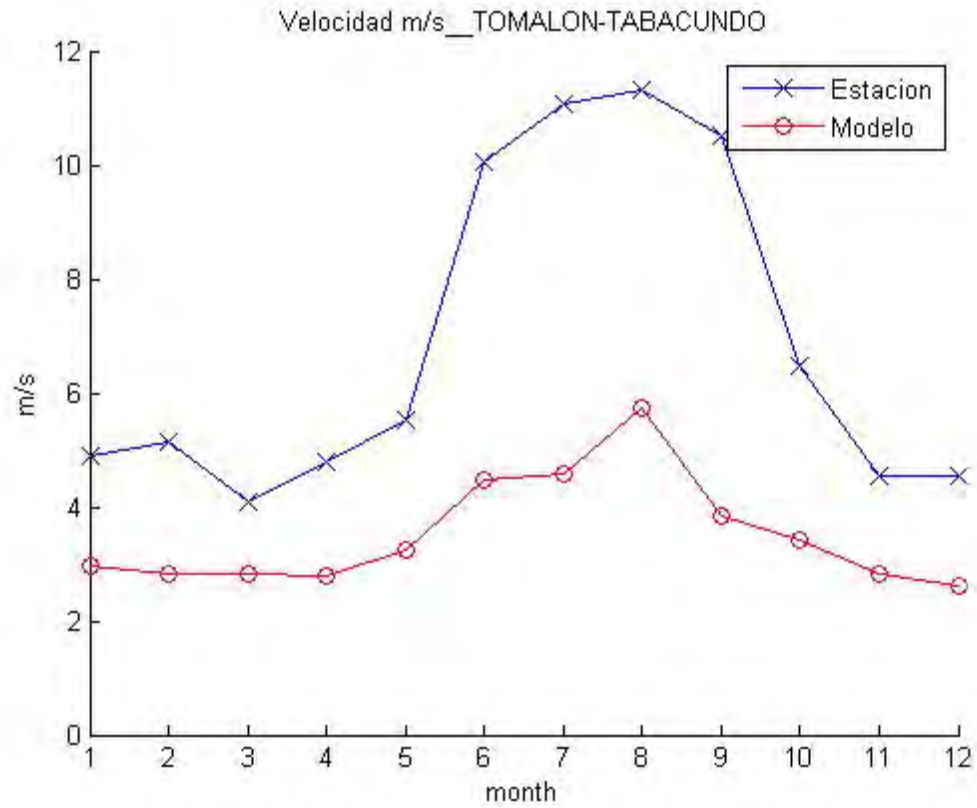
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SANLORENZO'



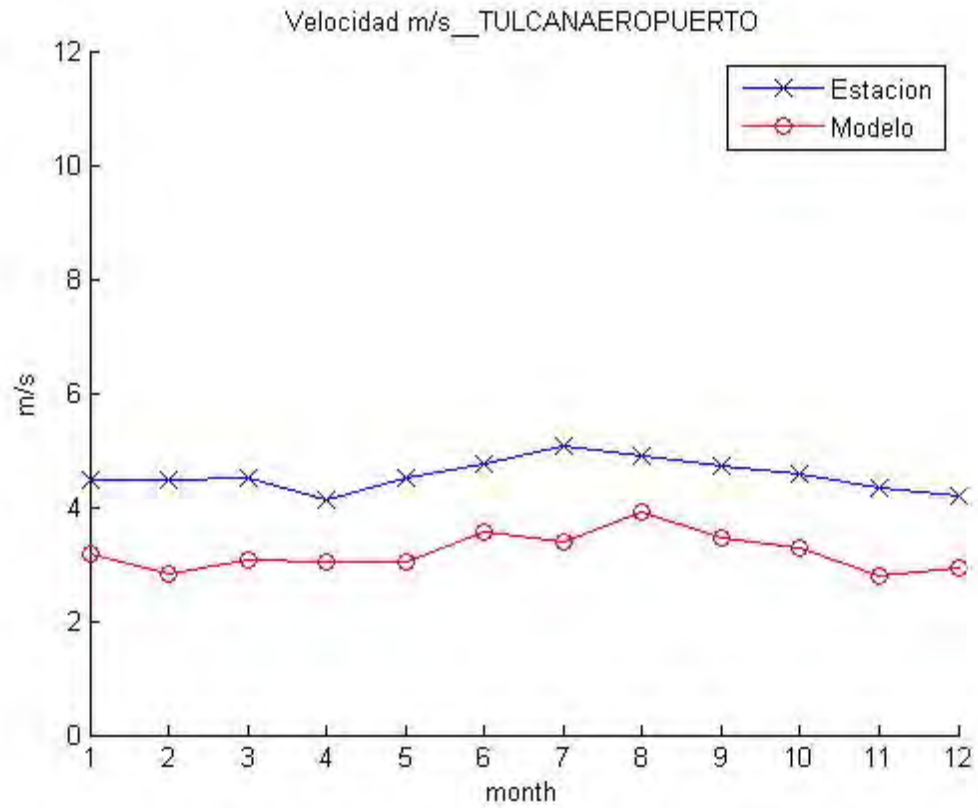
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__SARAGURO'



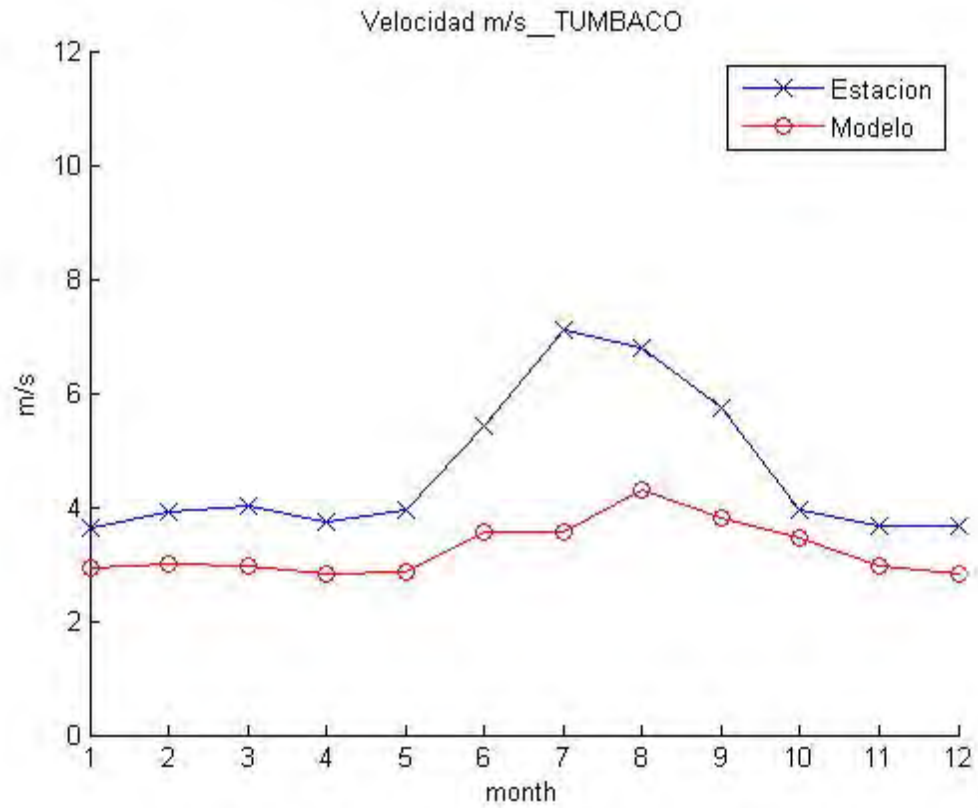
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_TOMALON-TABACUNDO'



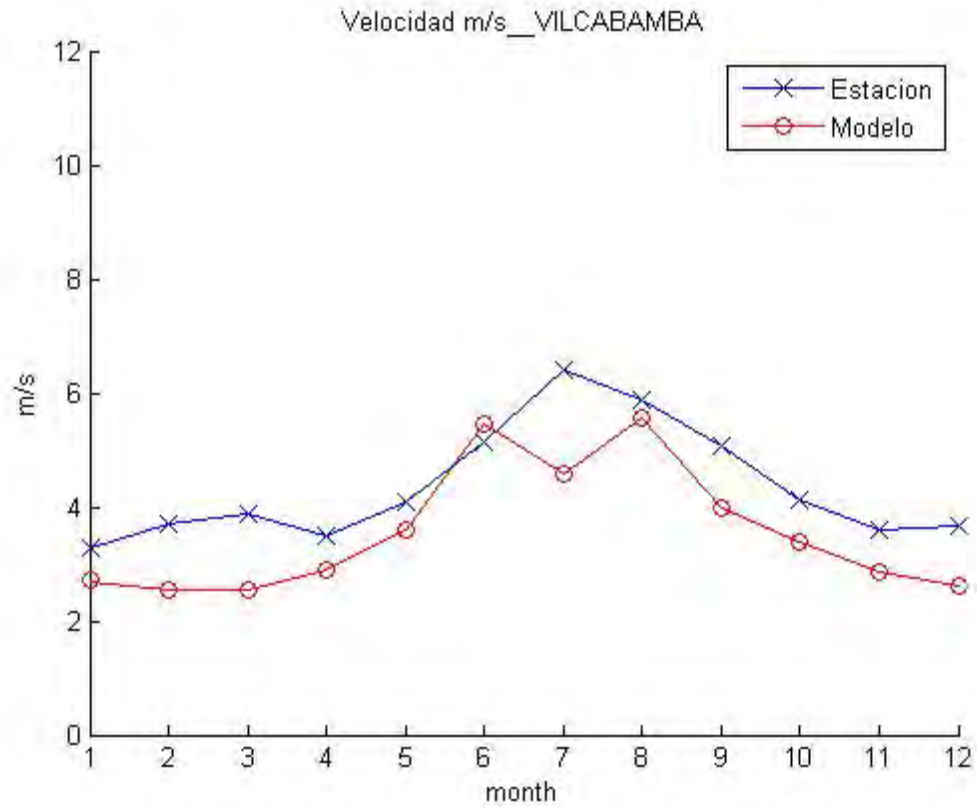
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__TULCANAEROPUERTO'



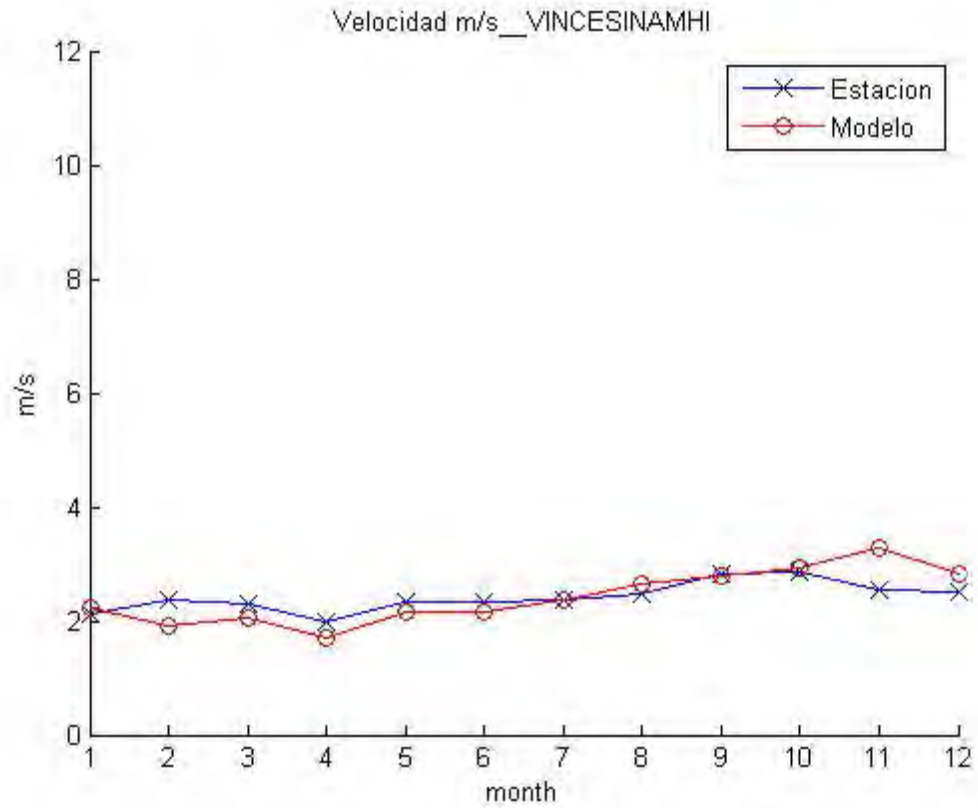
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__TUMBACO'



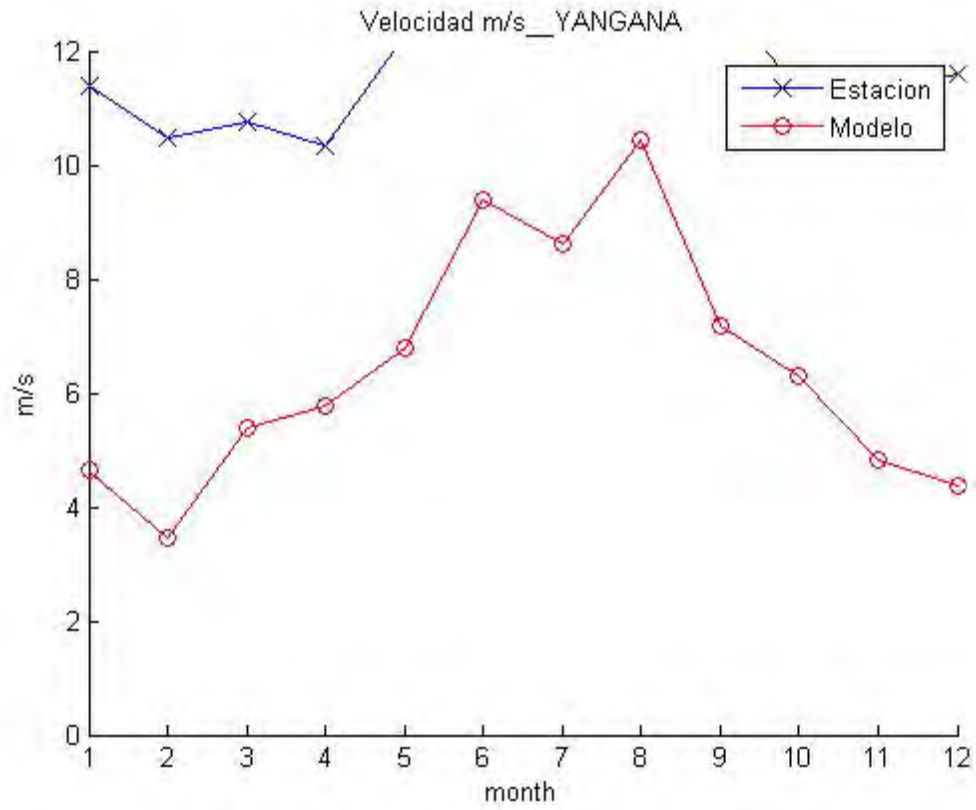
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__VILCABAMBA'



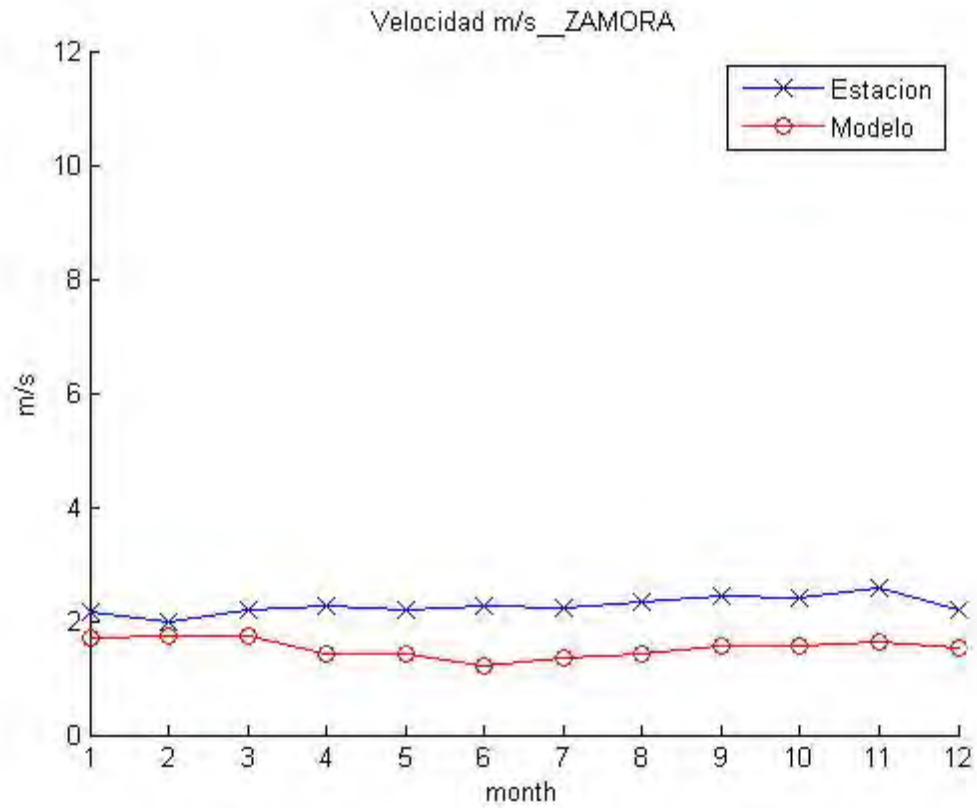
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__VINCESINAMHI'



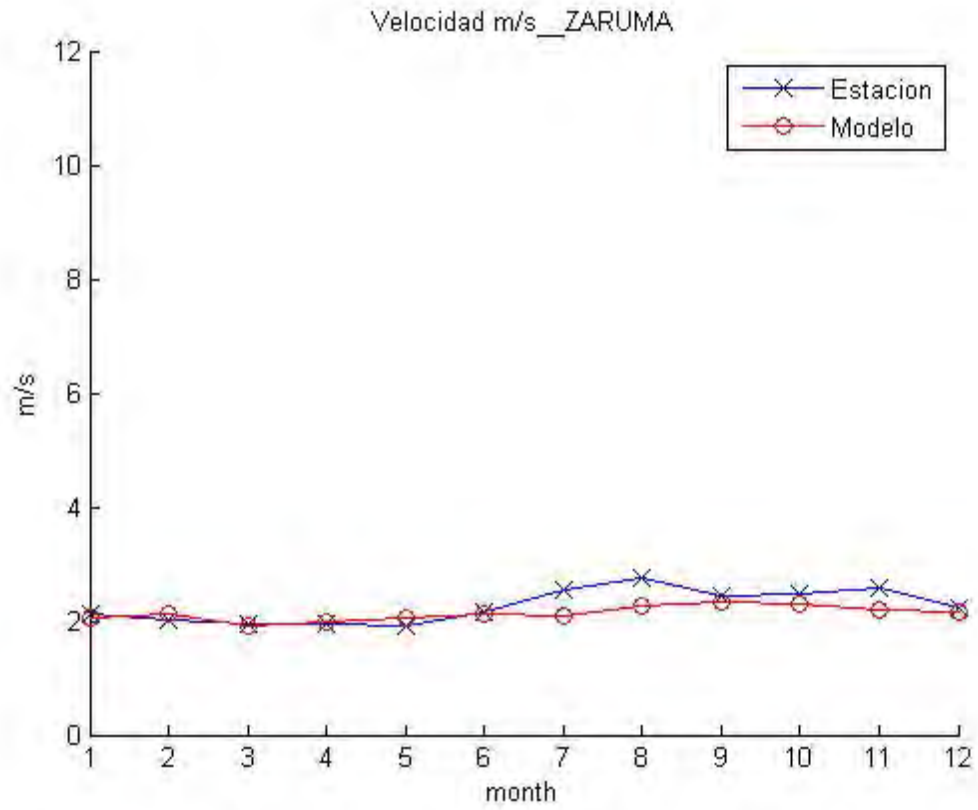
Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__YANGANA'



Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s_ZAMORA'

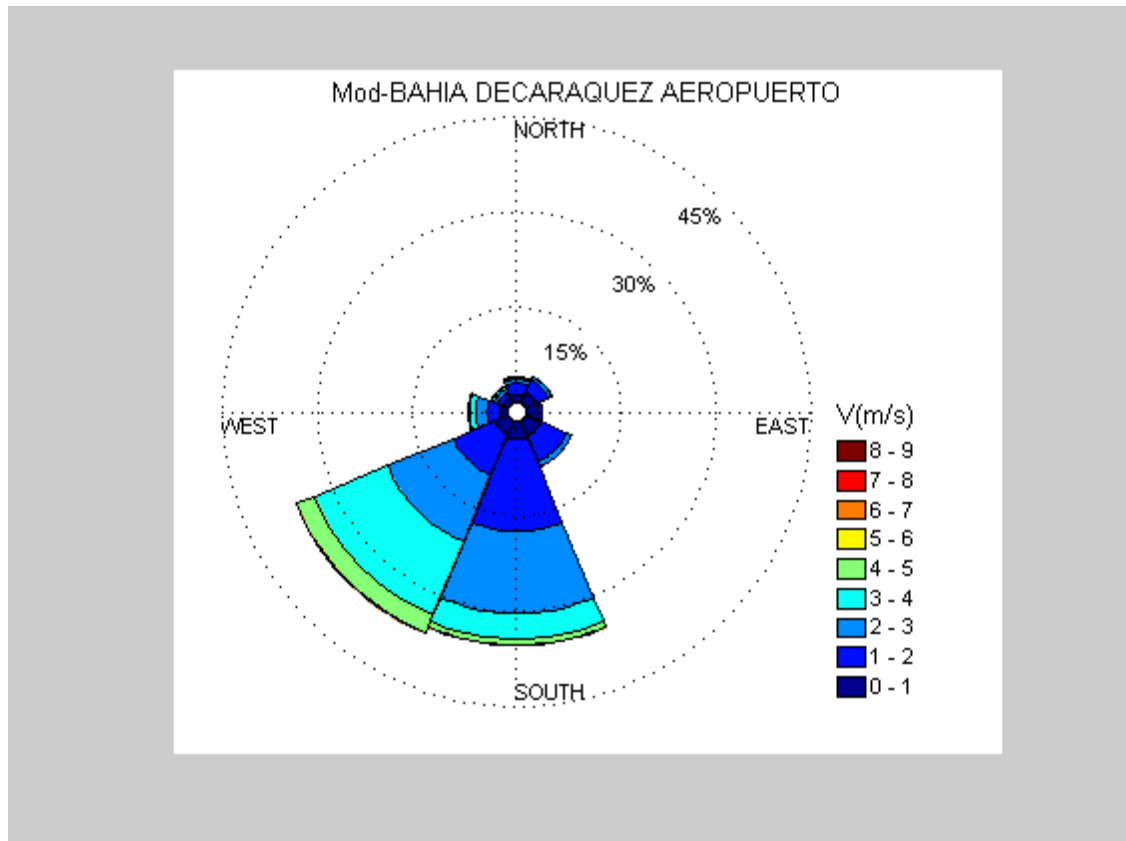


Warning: incomplete command in TeX text string:
'Velocidad m/s__ZARUMA'

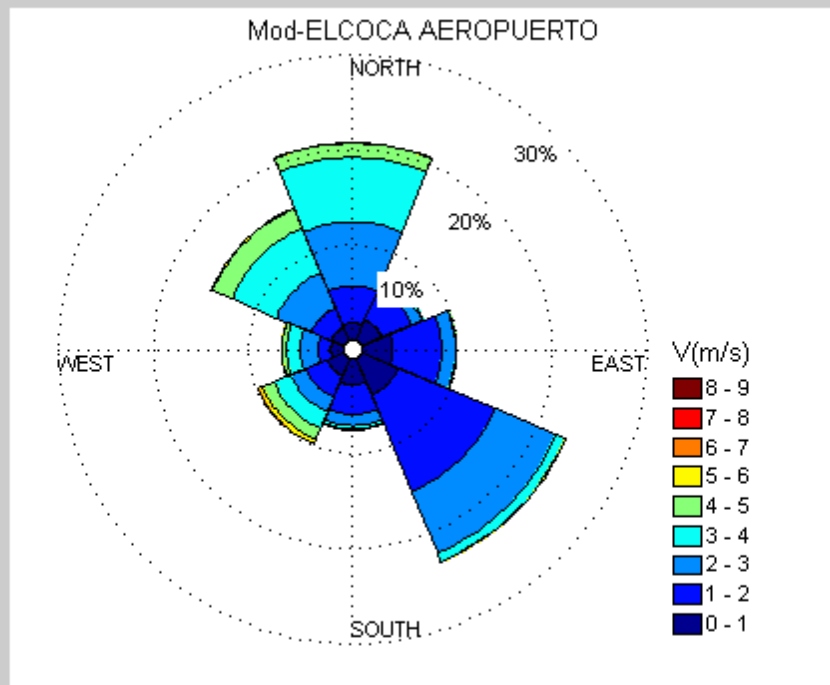
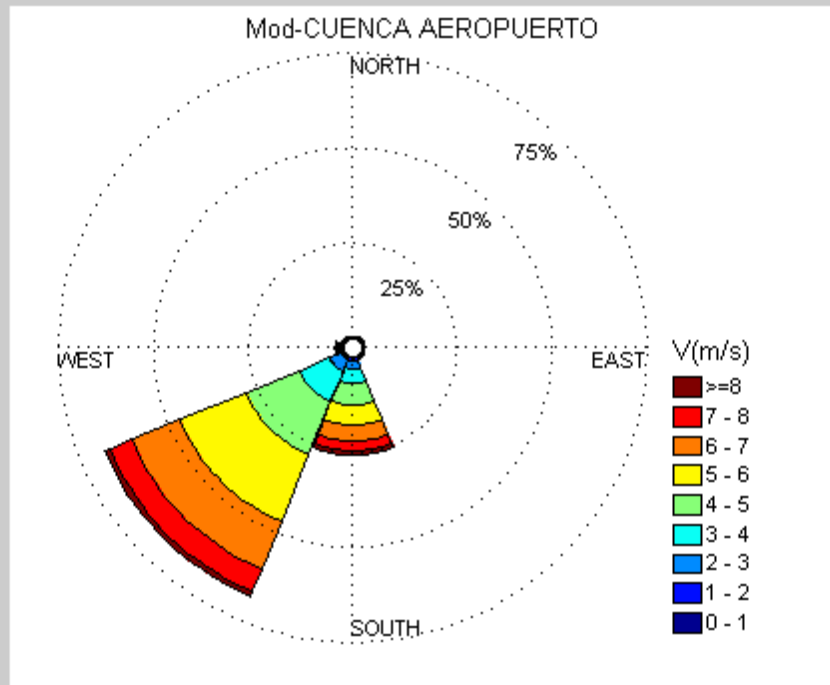


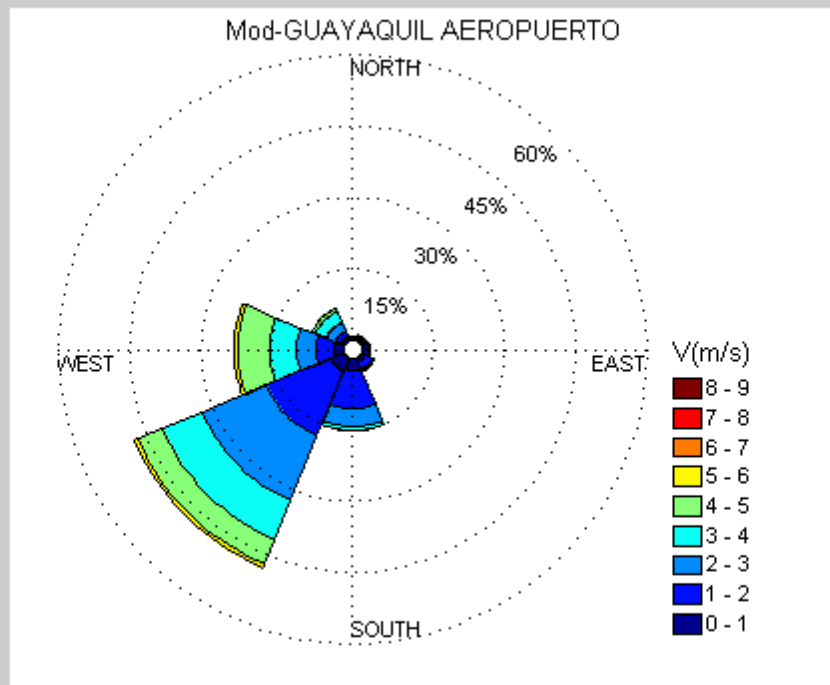
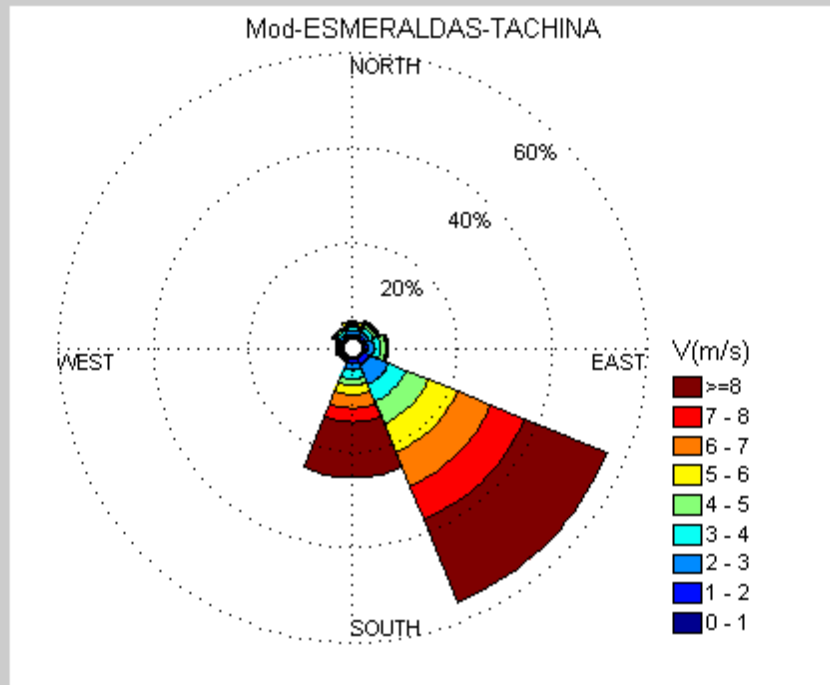
Published with MATLAB® 7.13

Rosas de Vientos de las Estaciones a partir del WRF

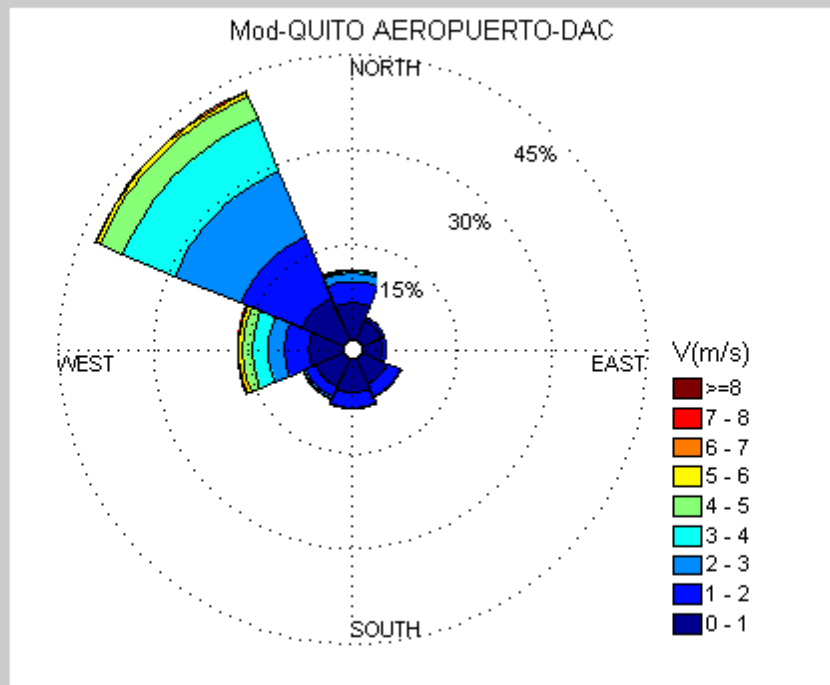
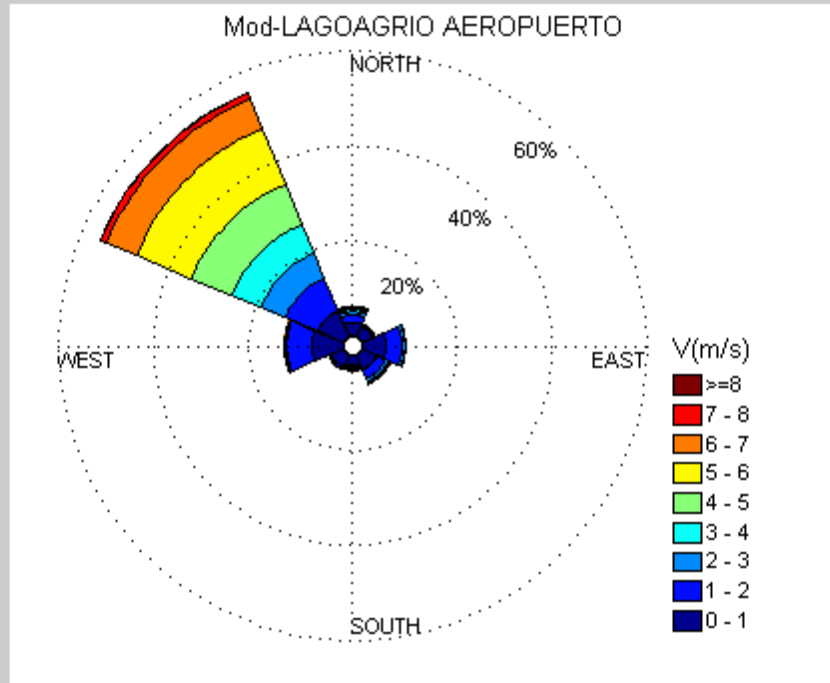


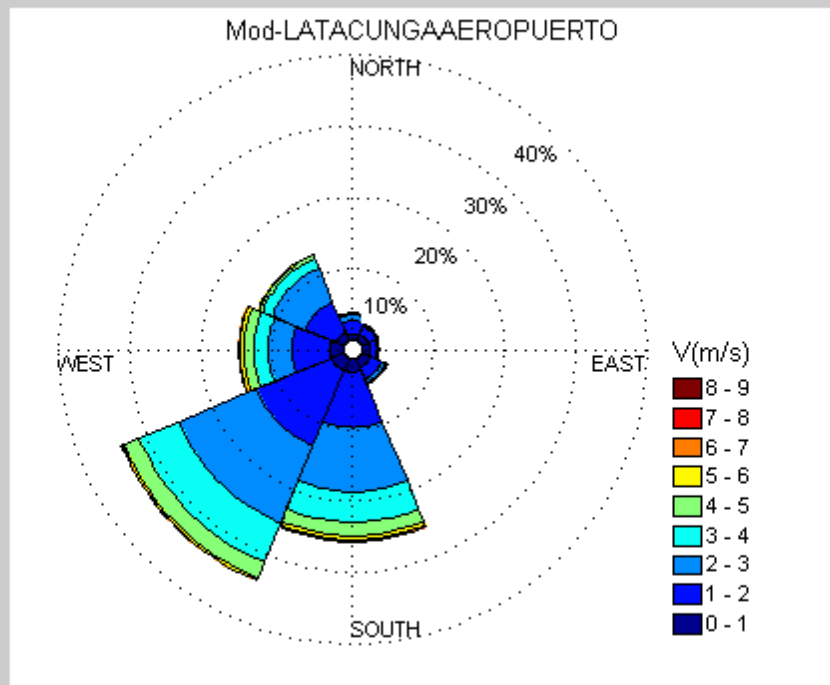
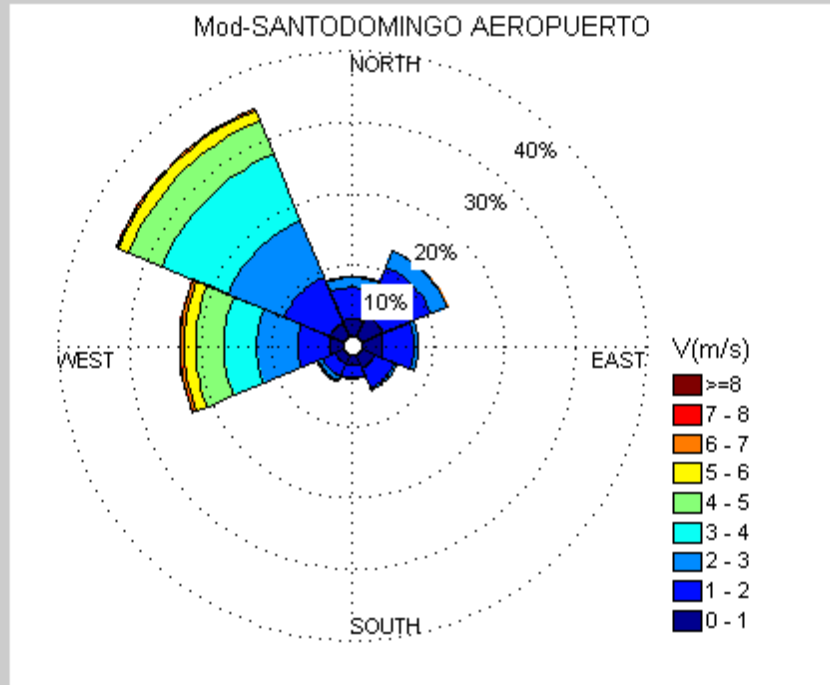
ANEXO 18



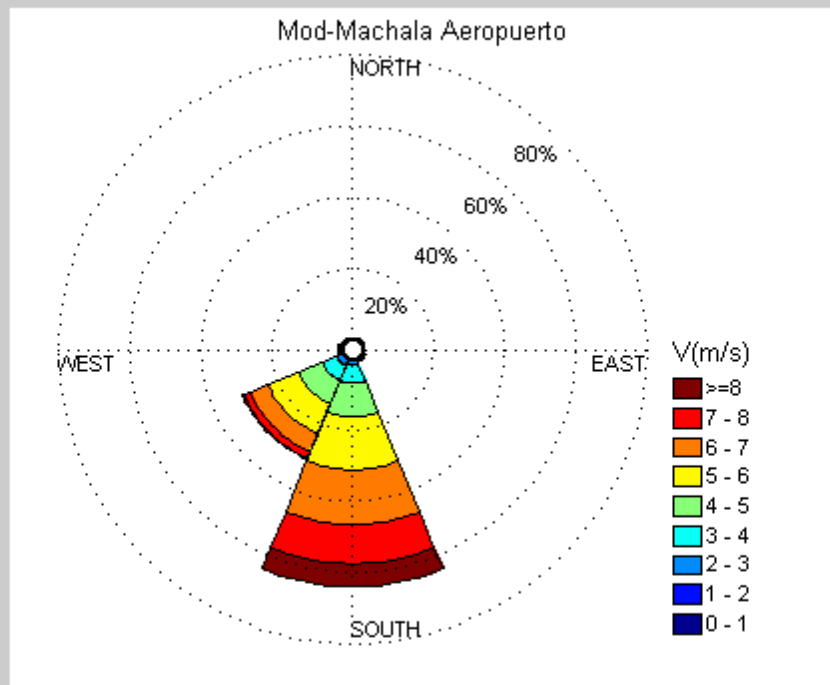
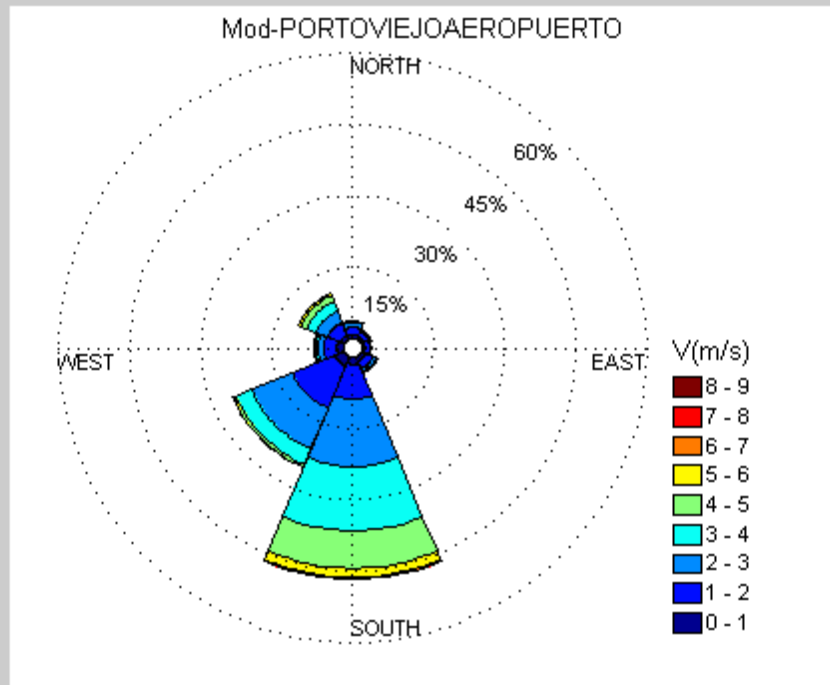


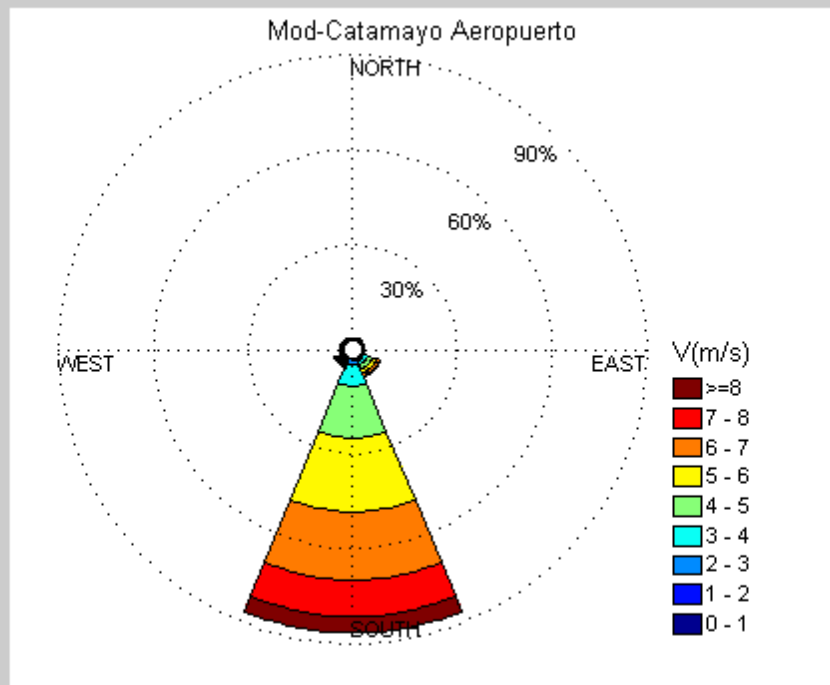
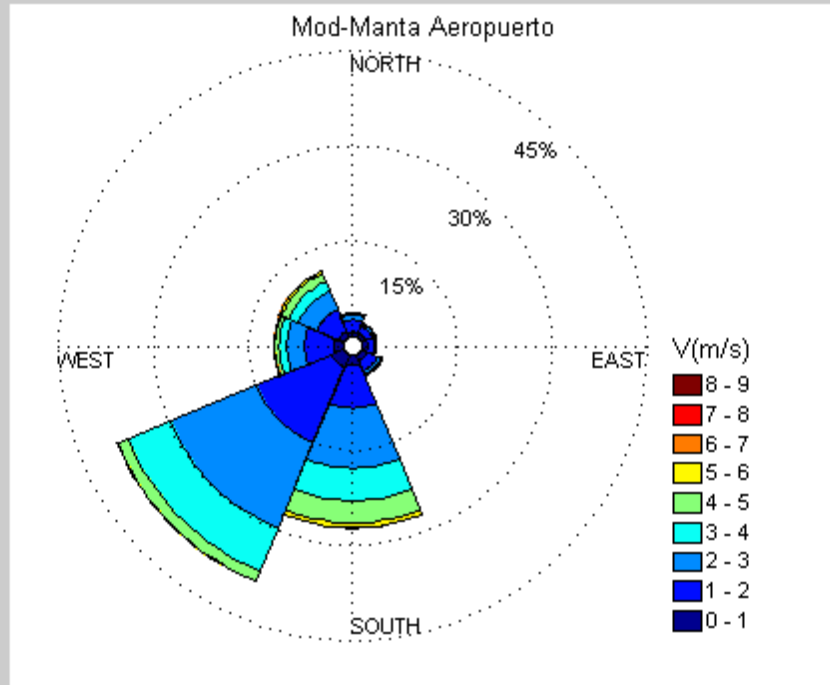
ANEXO 18



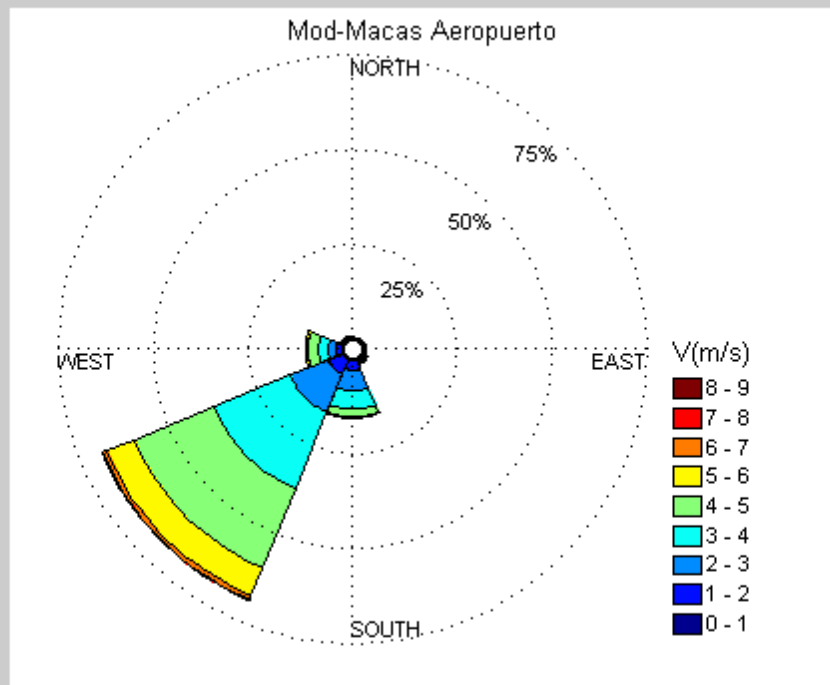
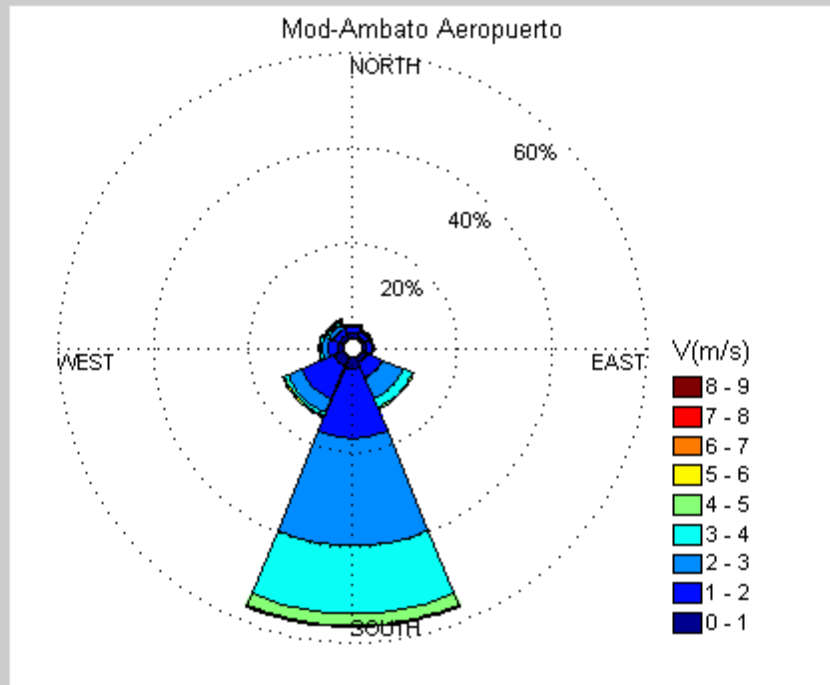


ANEXO 18

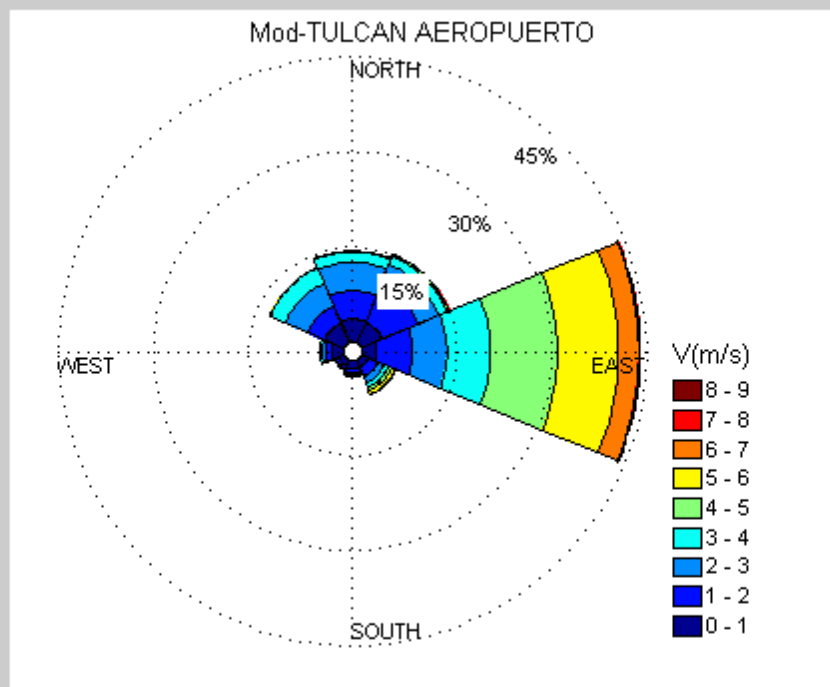
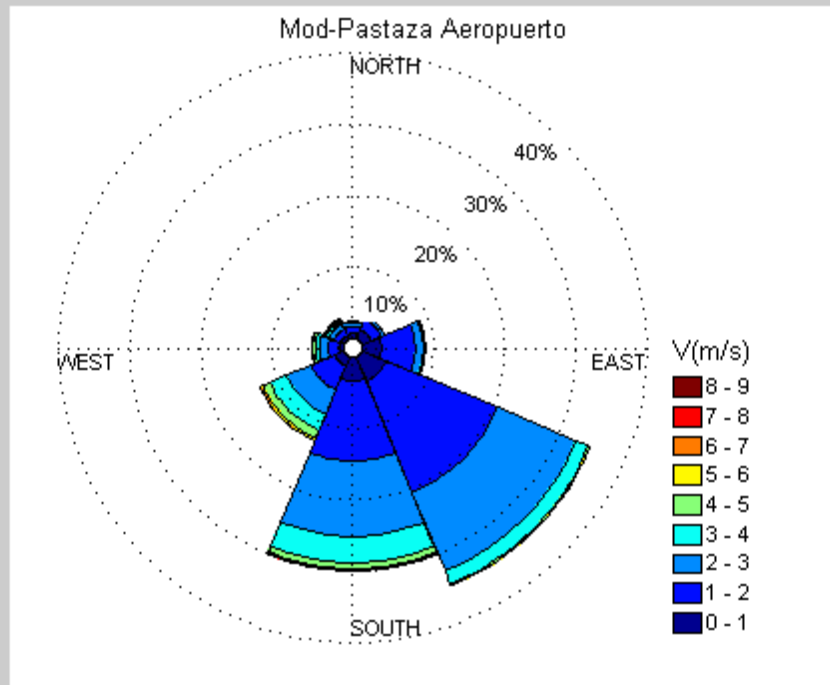


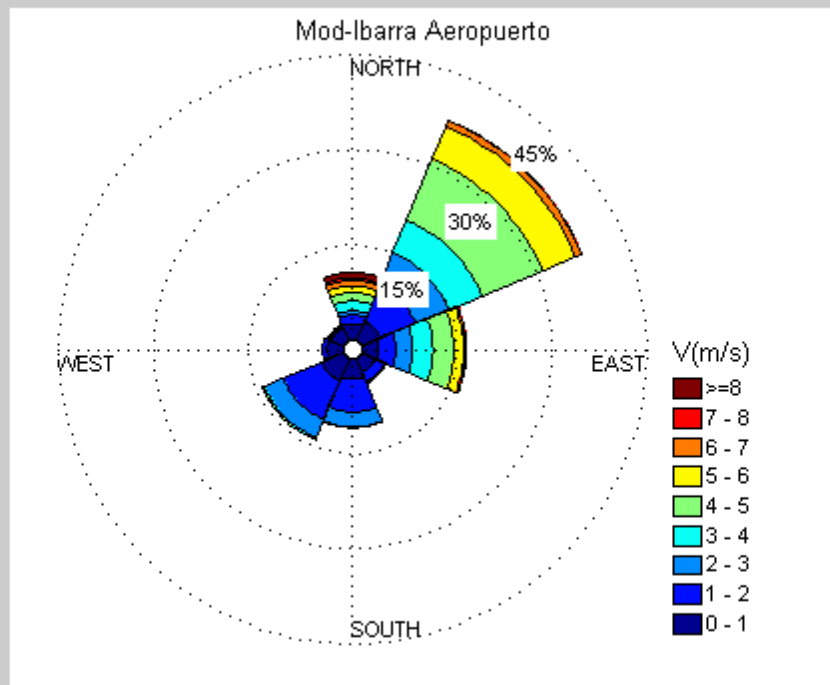
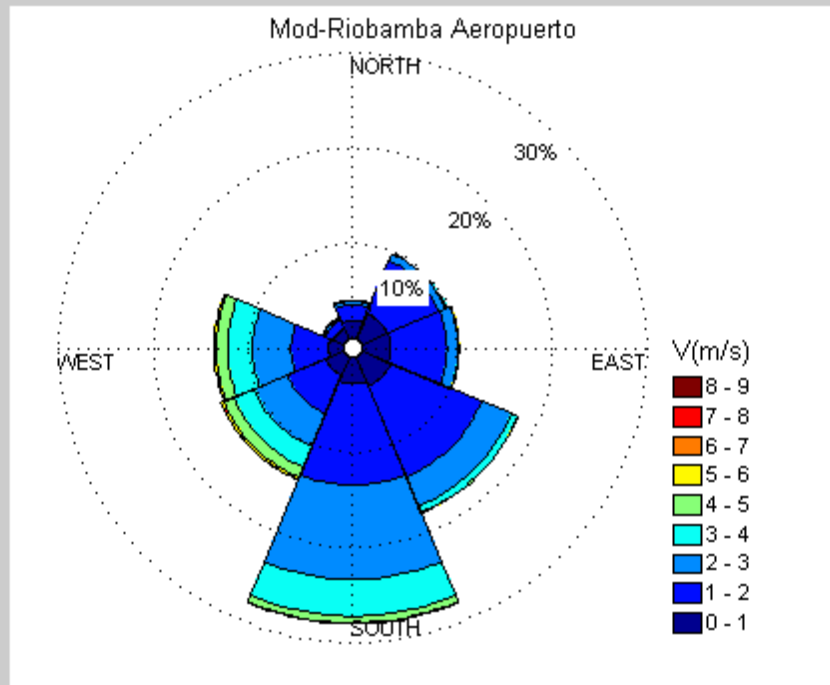


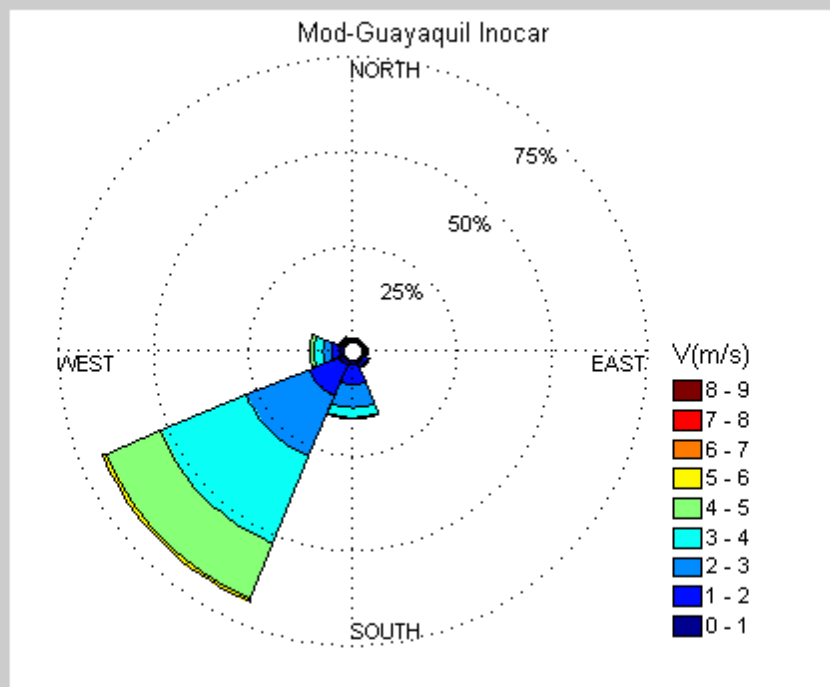
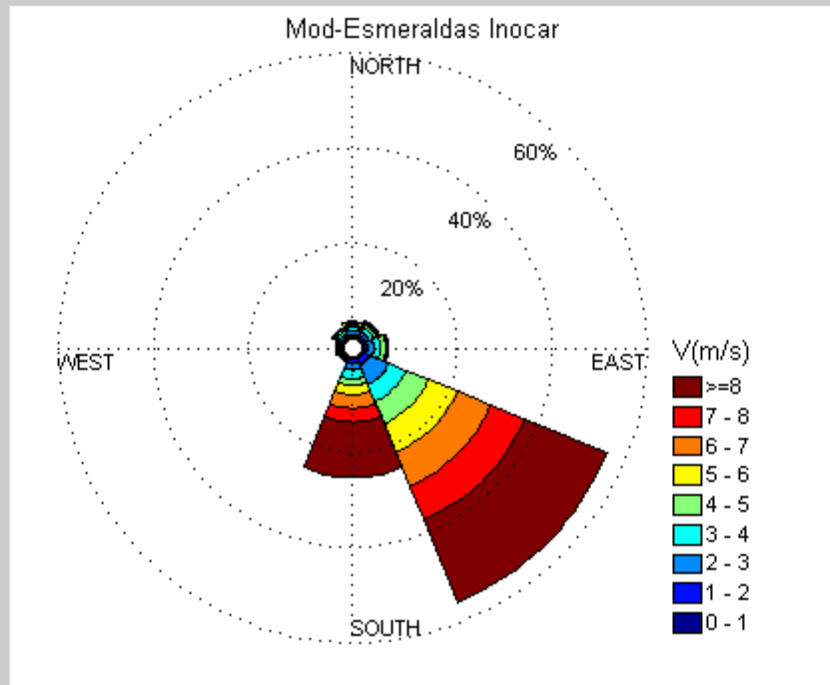
ANEXO 18

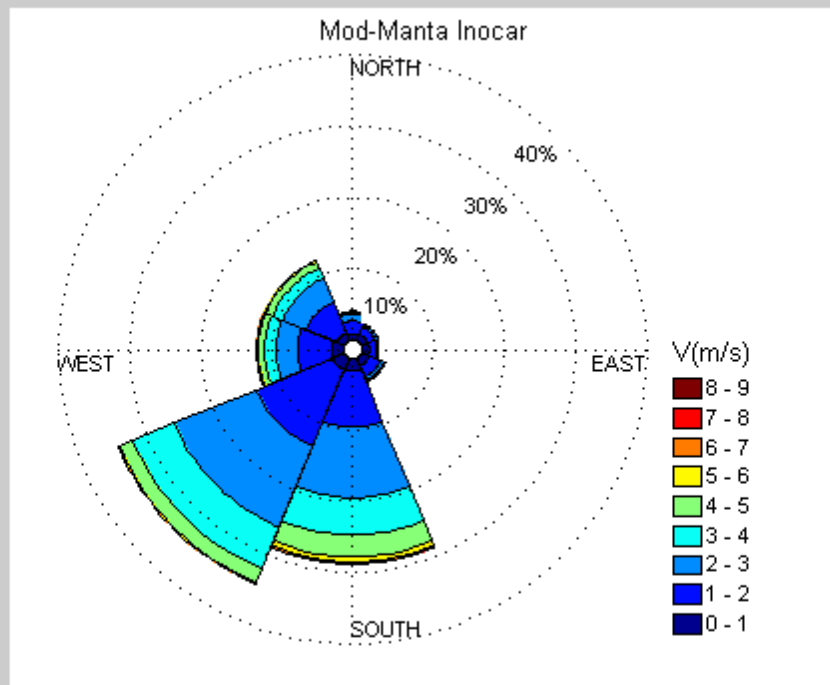
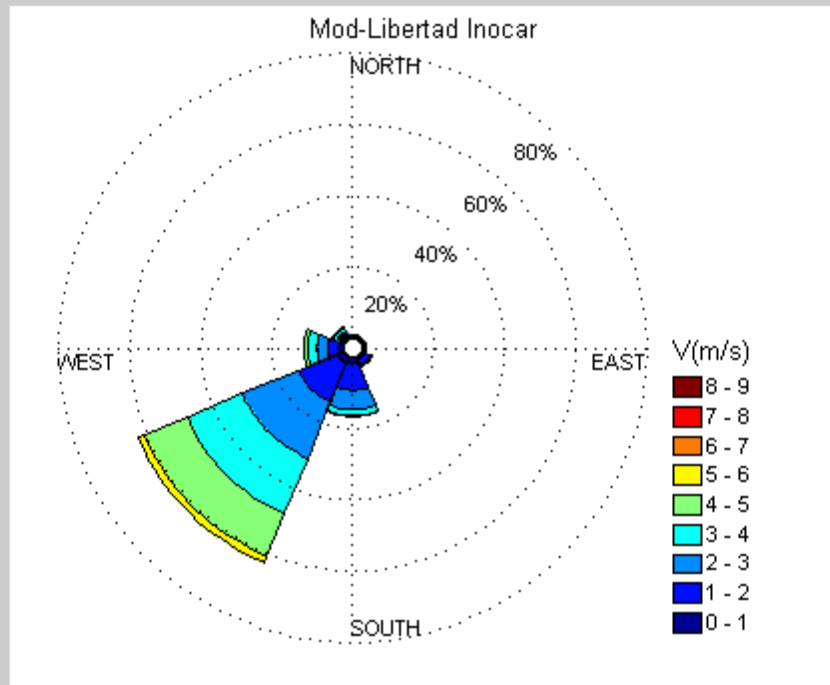


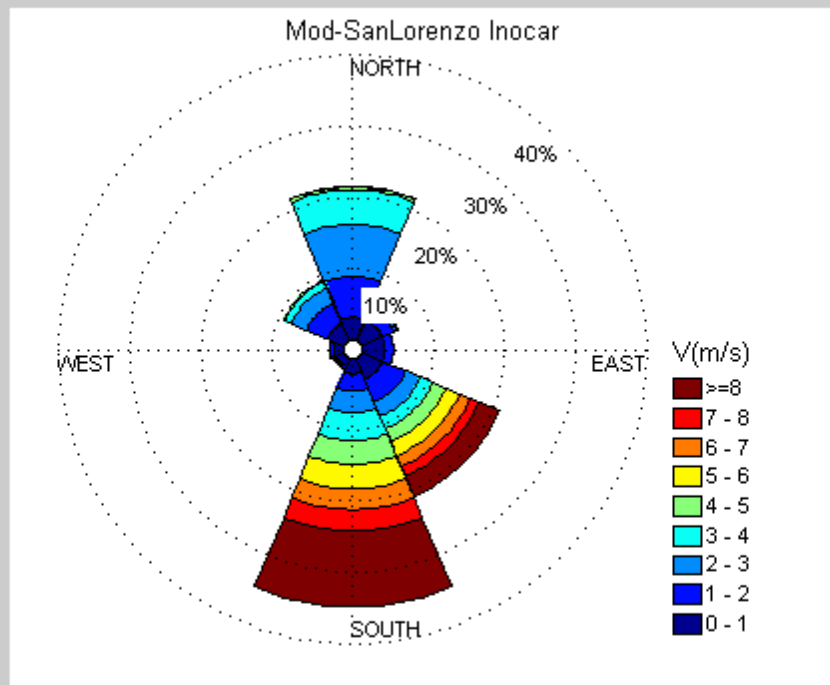
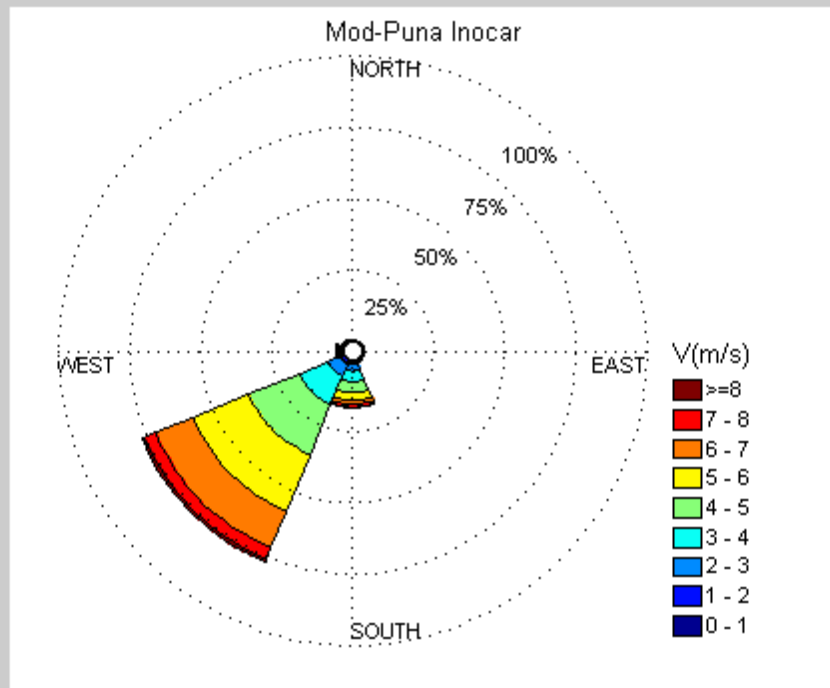
ANEXO 18

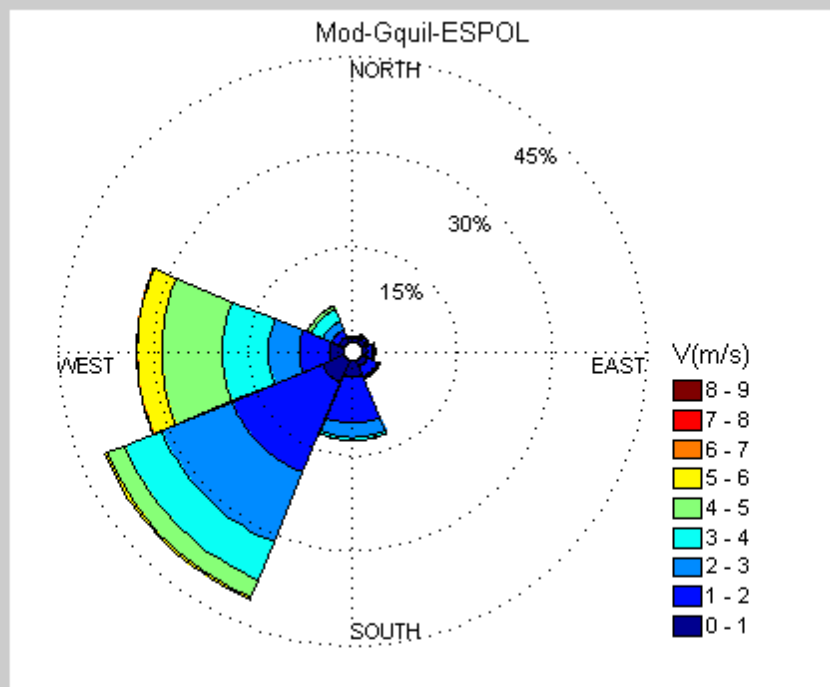
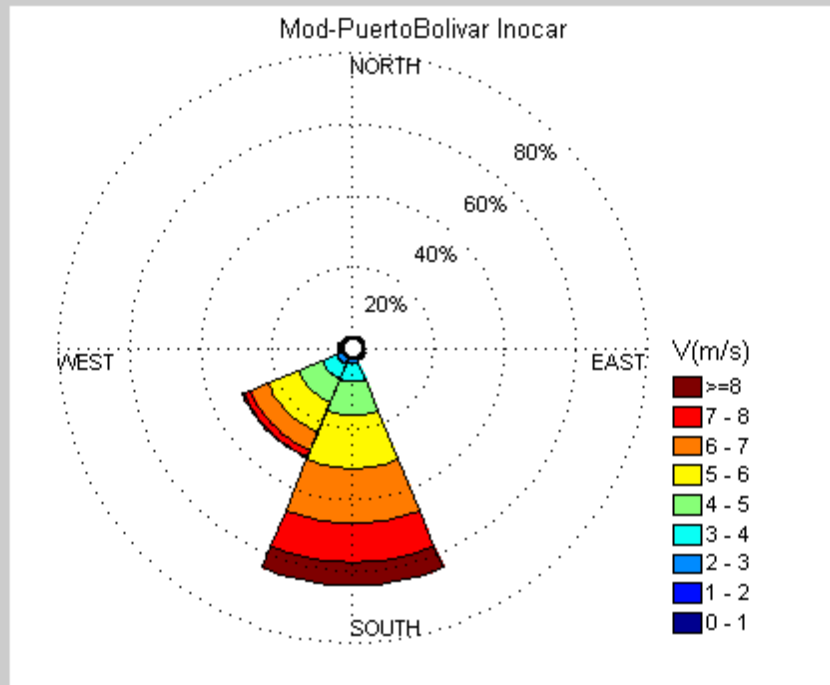


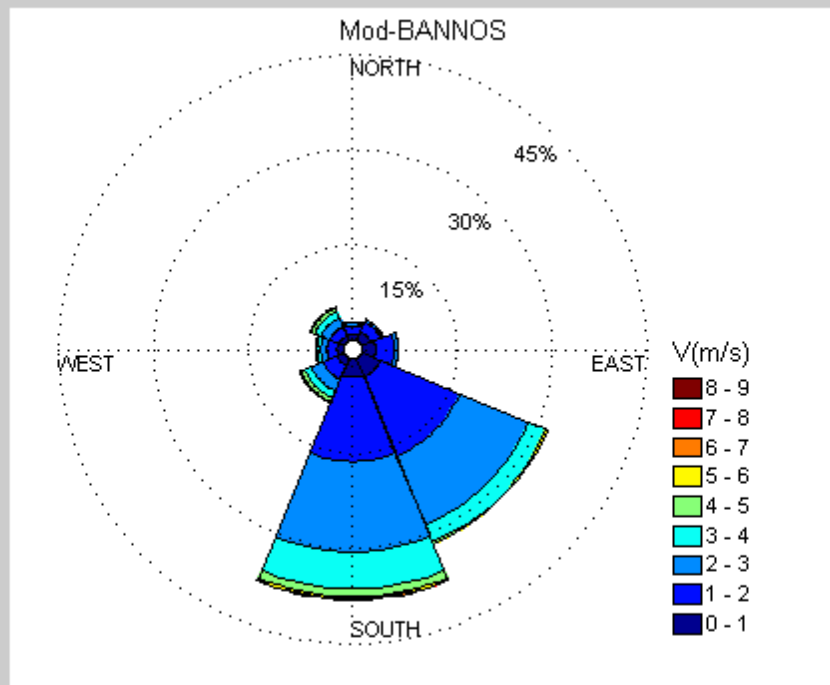
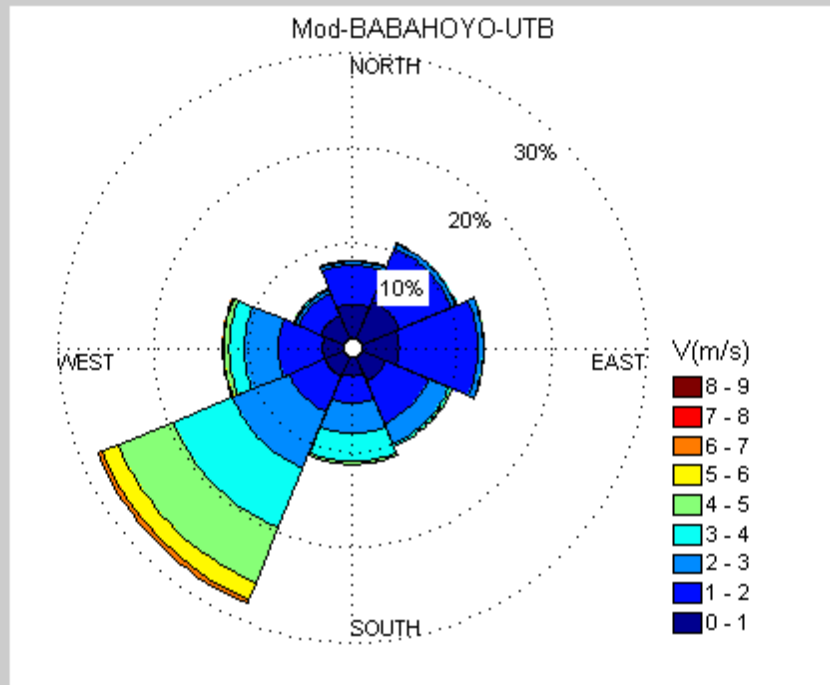


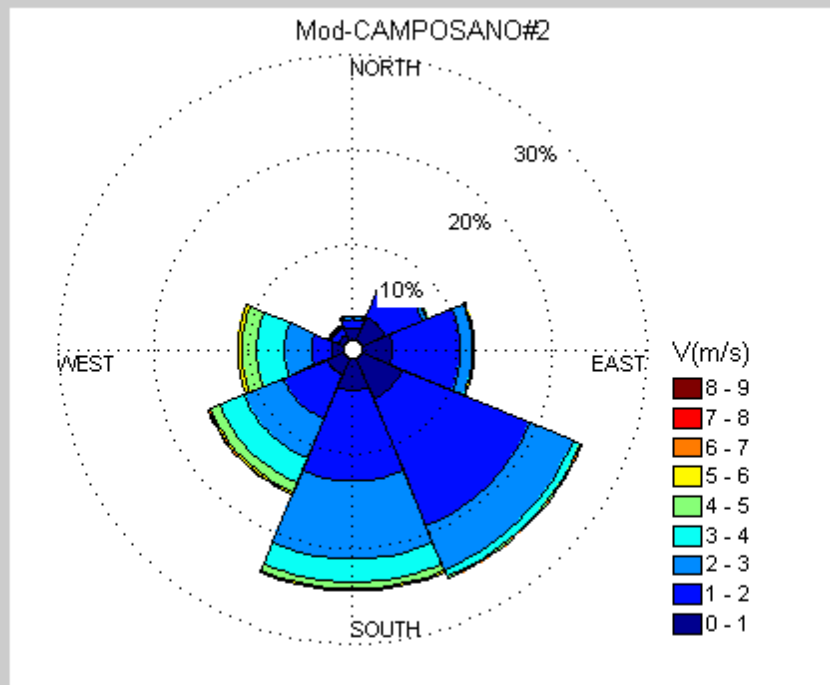
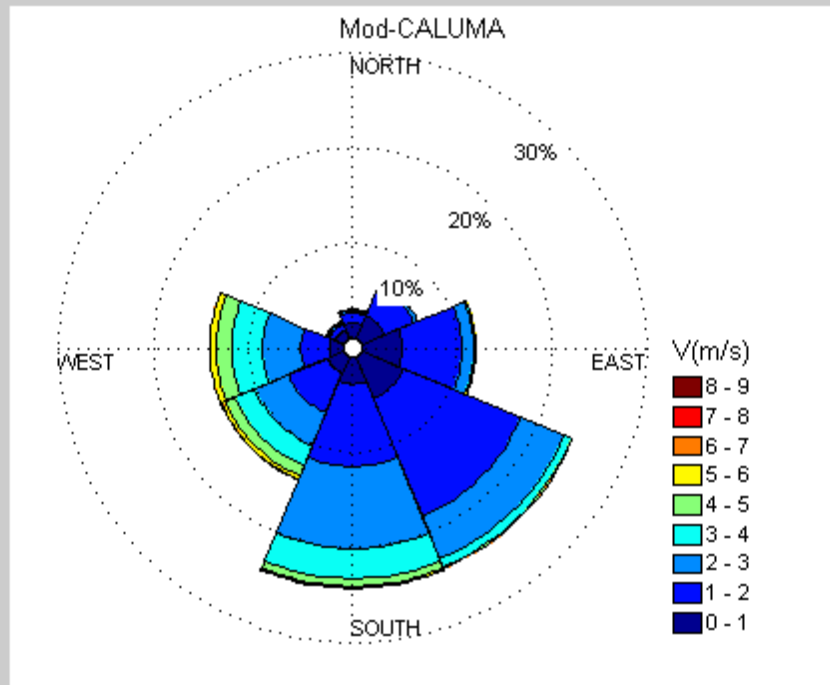


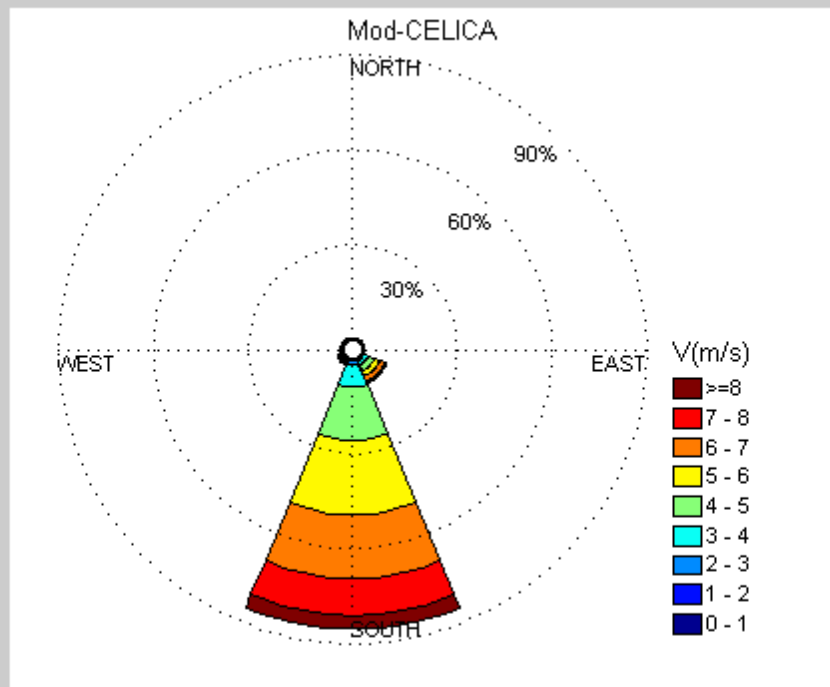
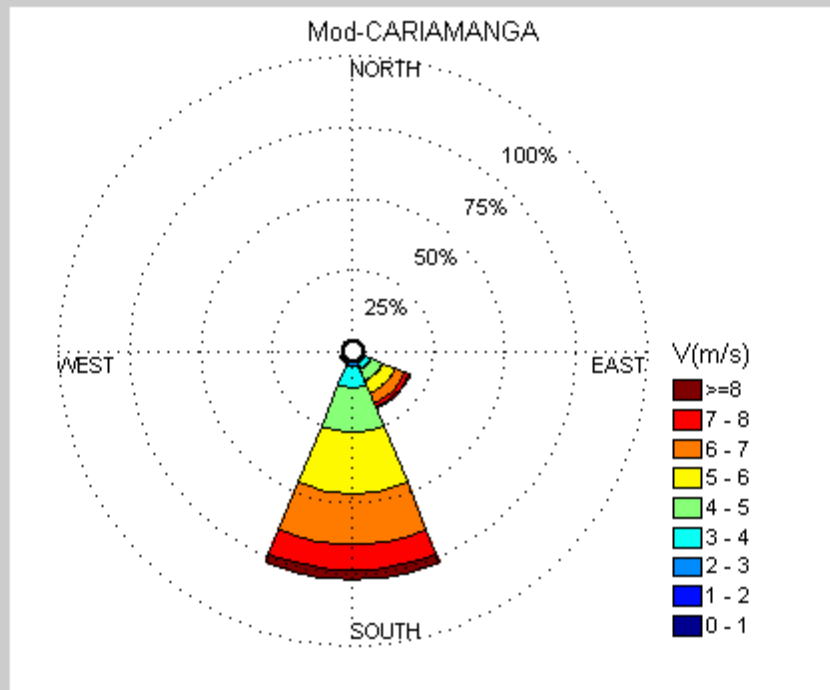


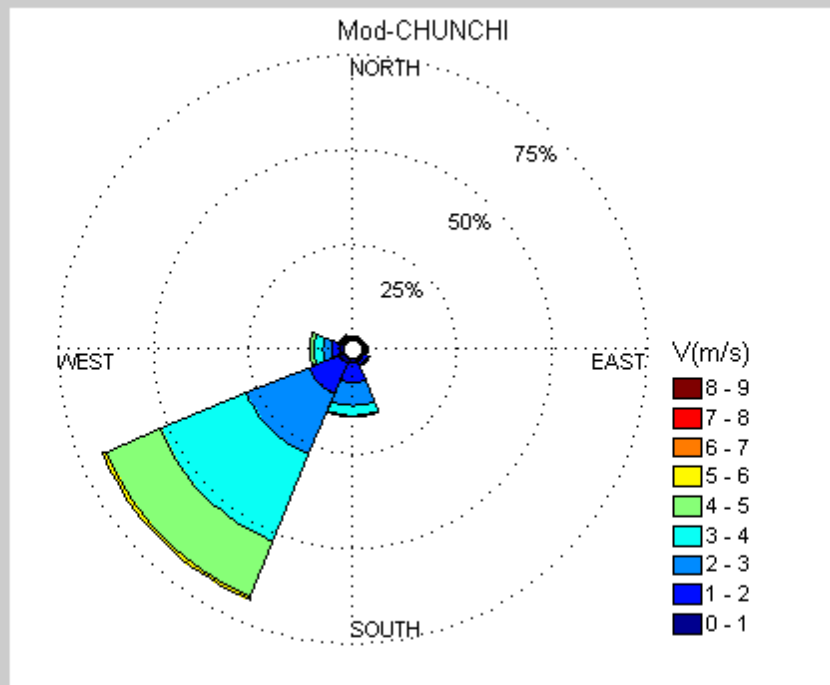
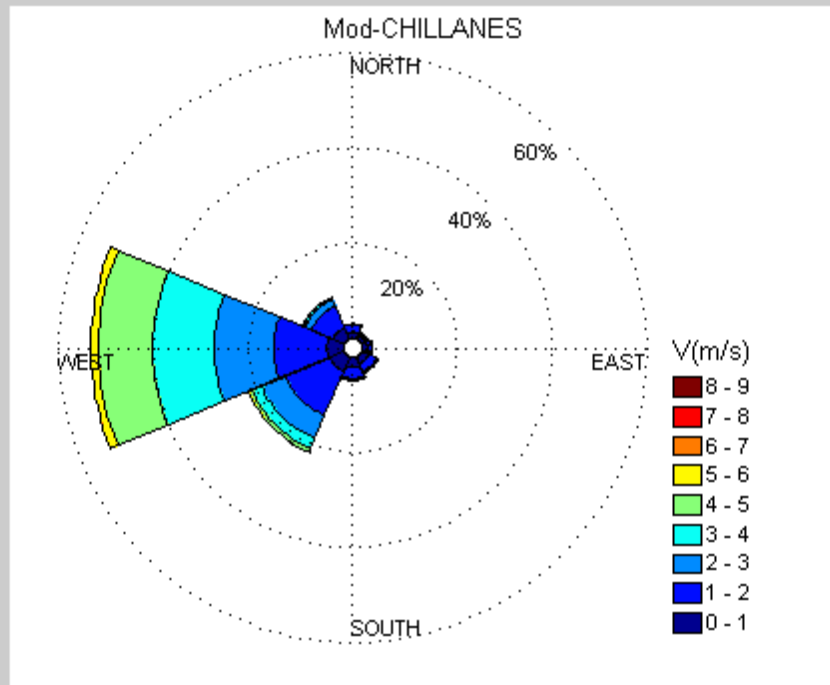


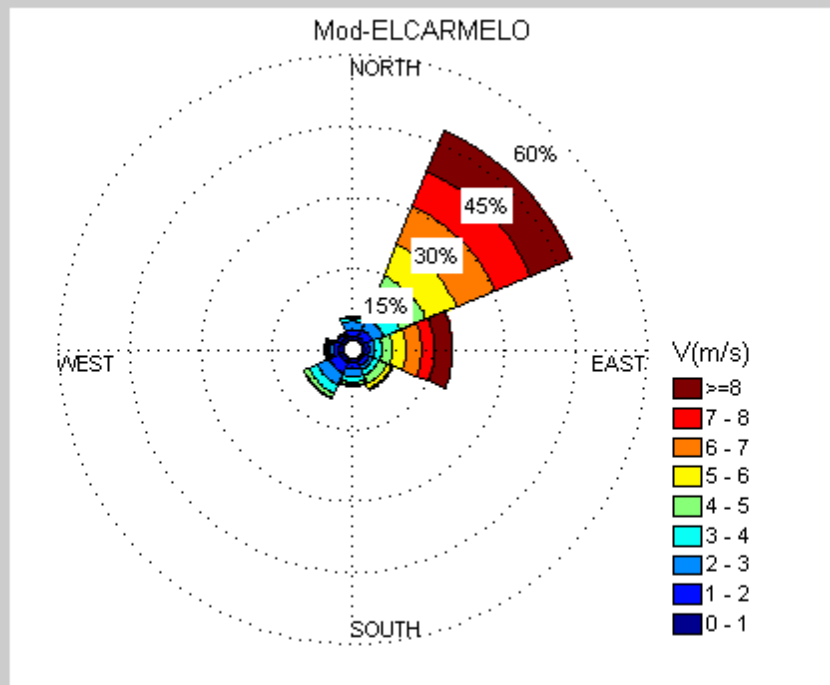
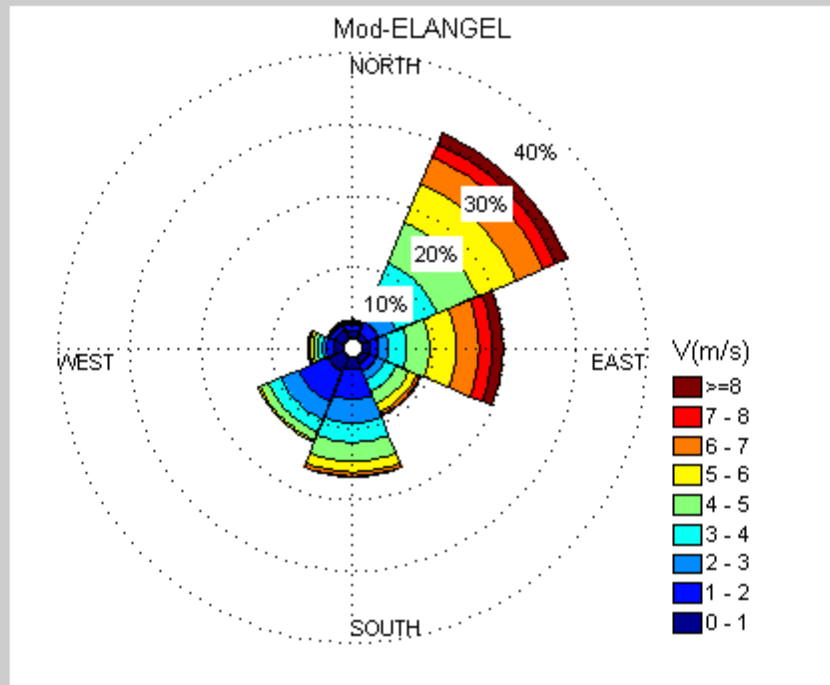




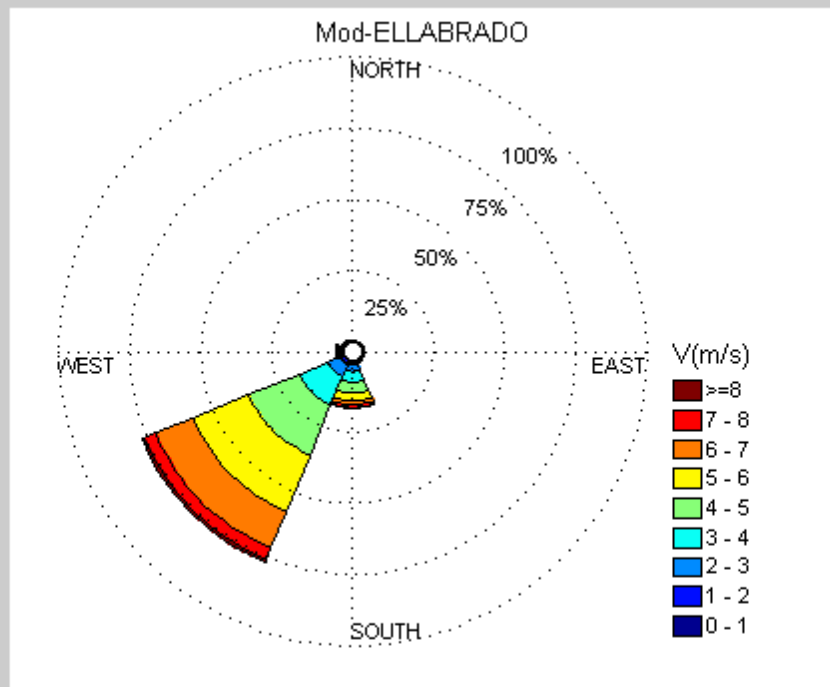
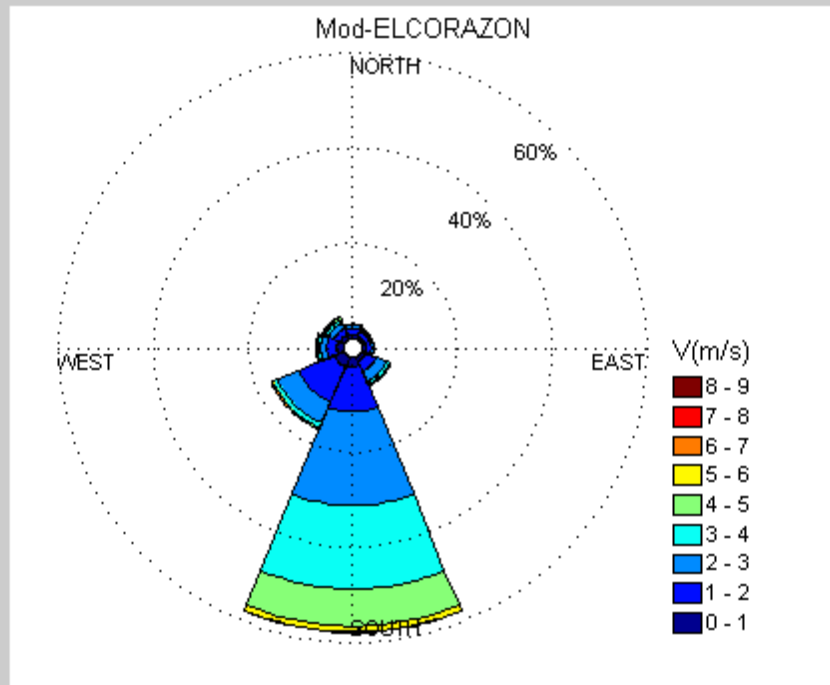


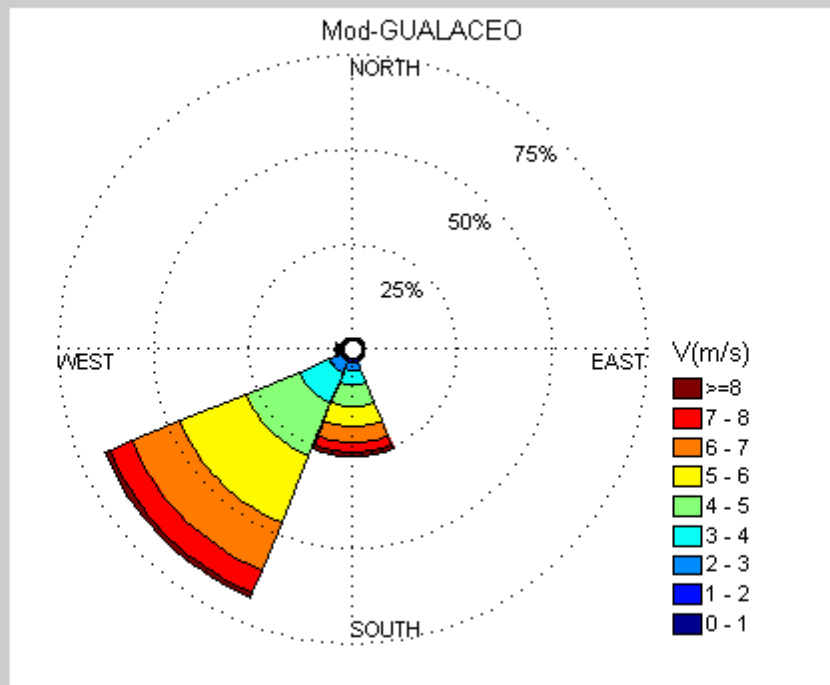
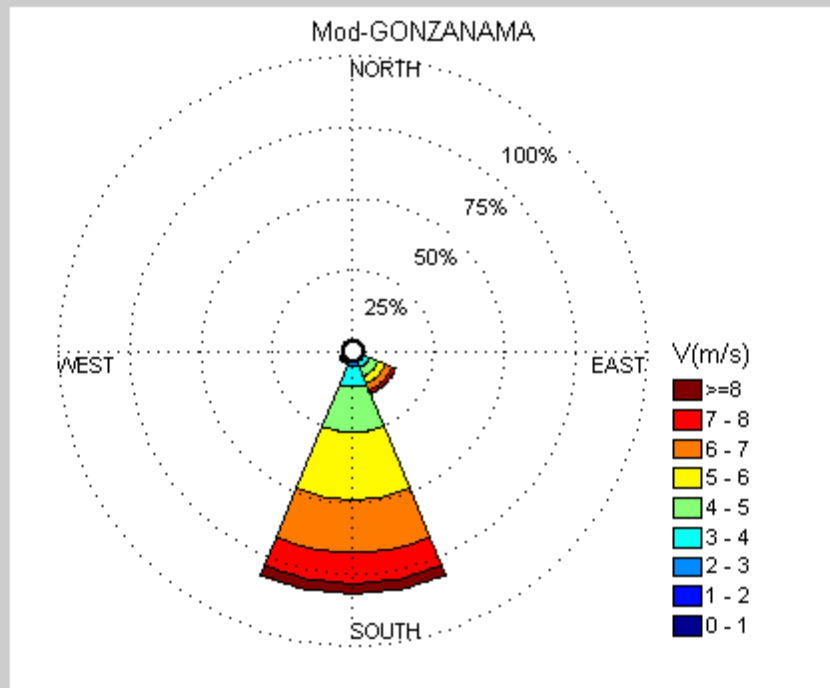


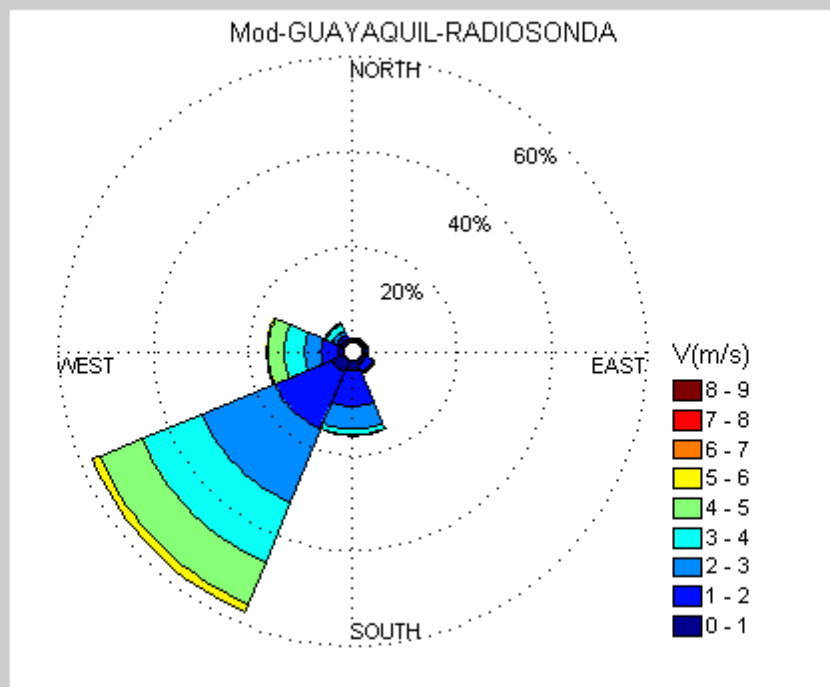
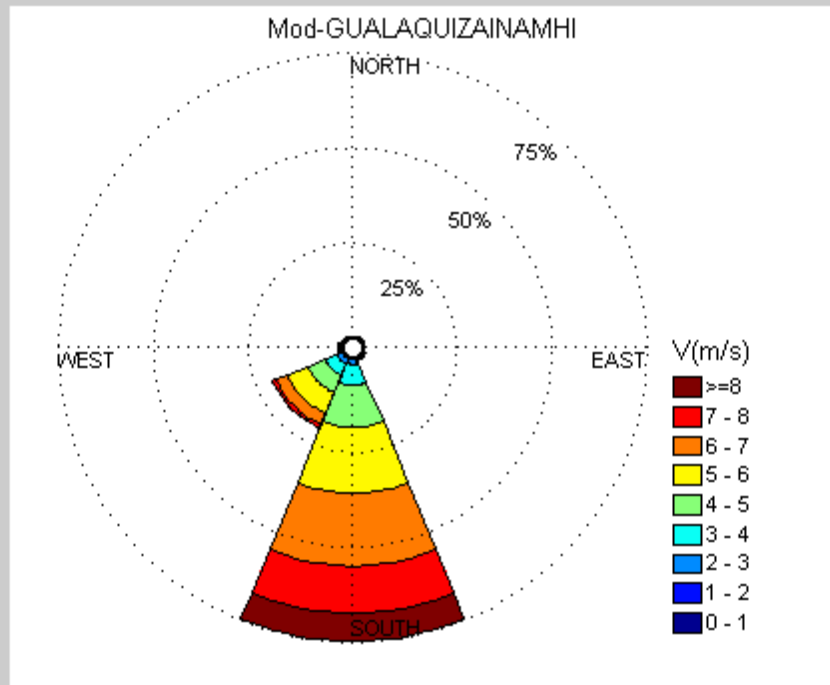


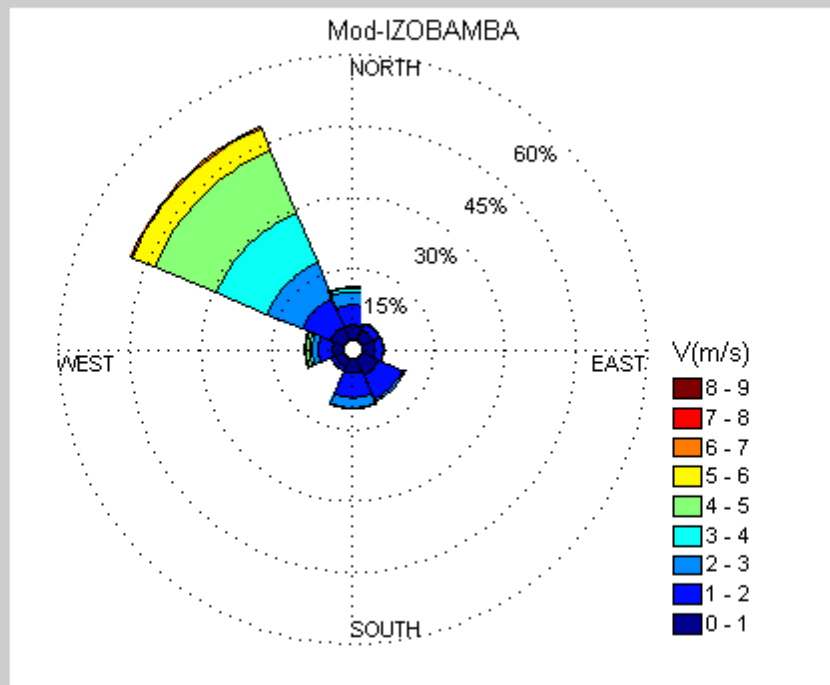
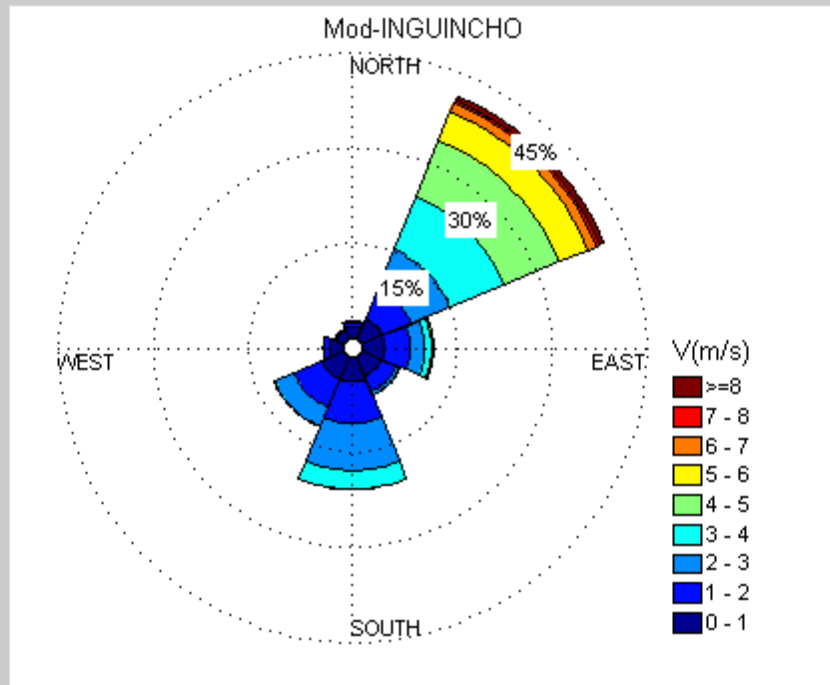


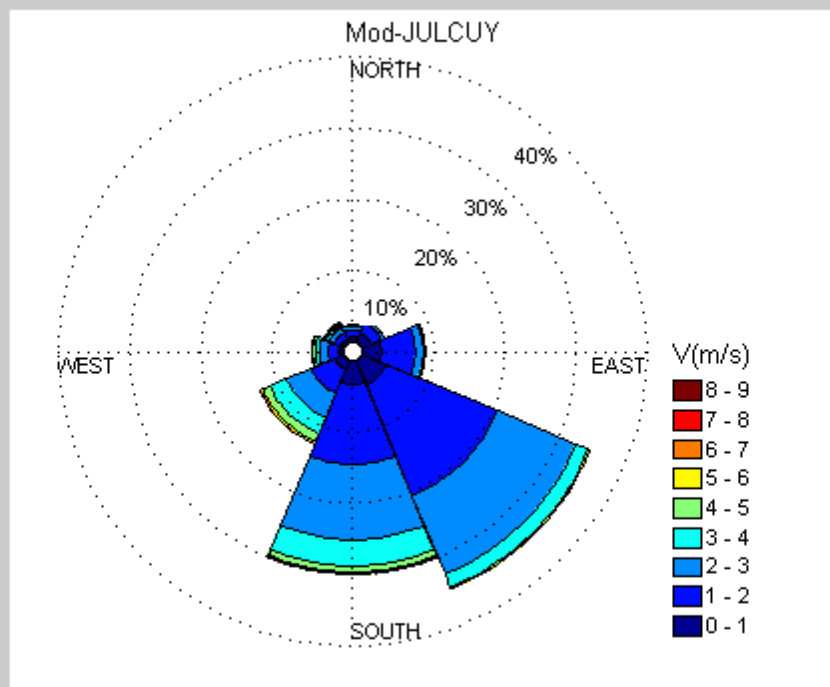
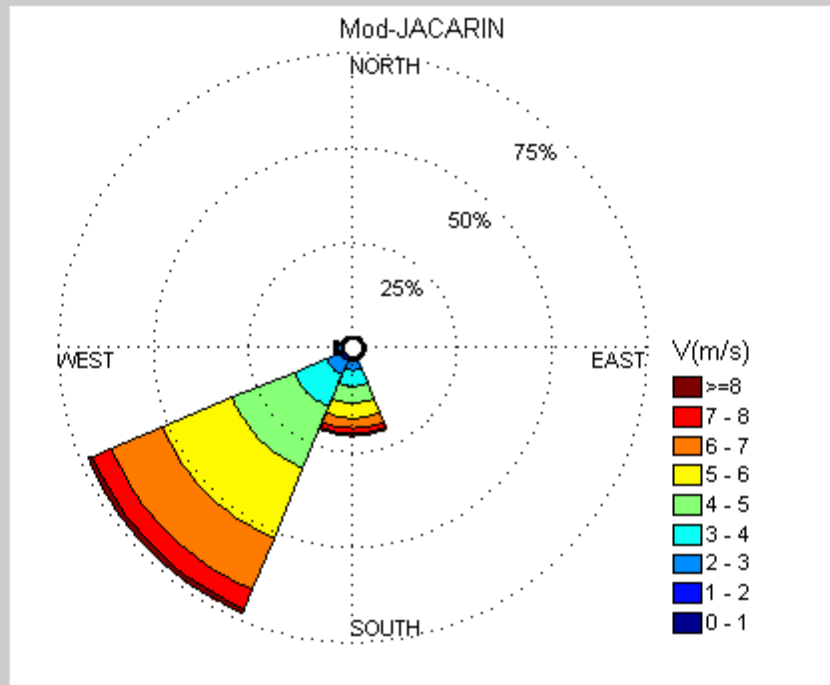
ANEXO 18

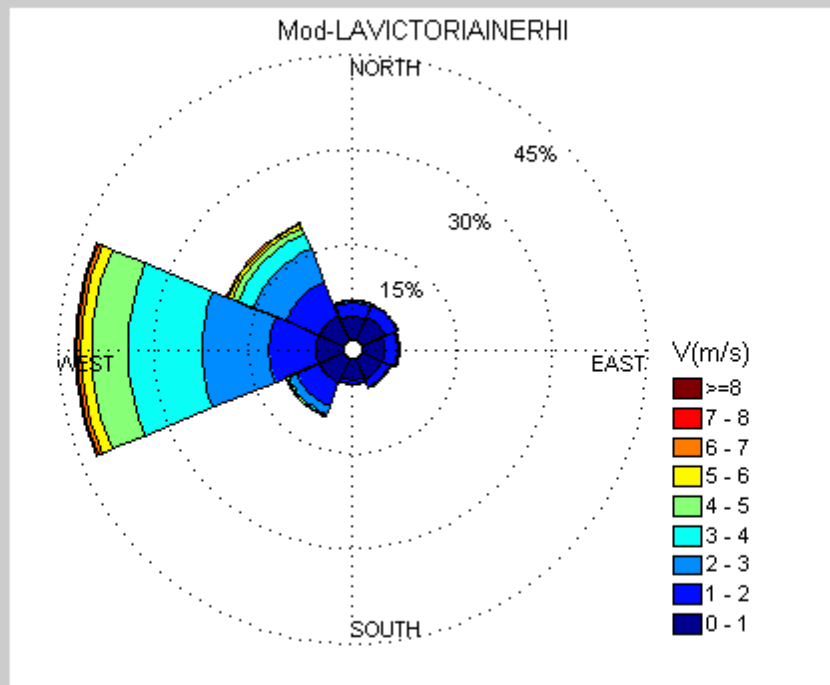
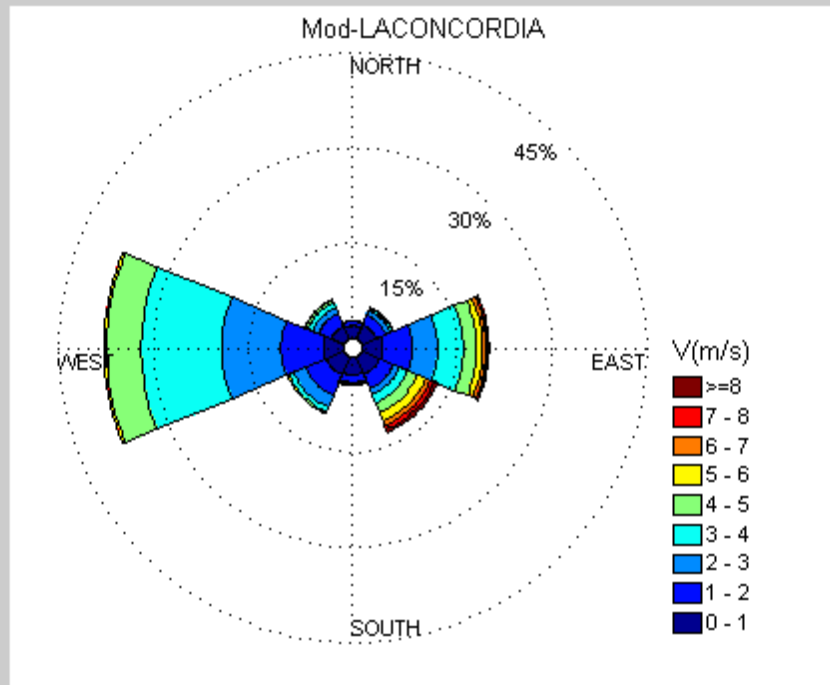


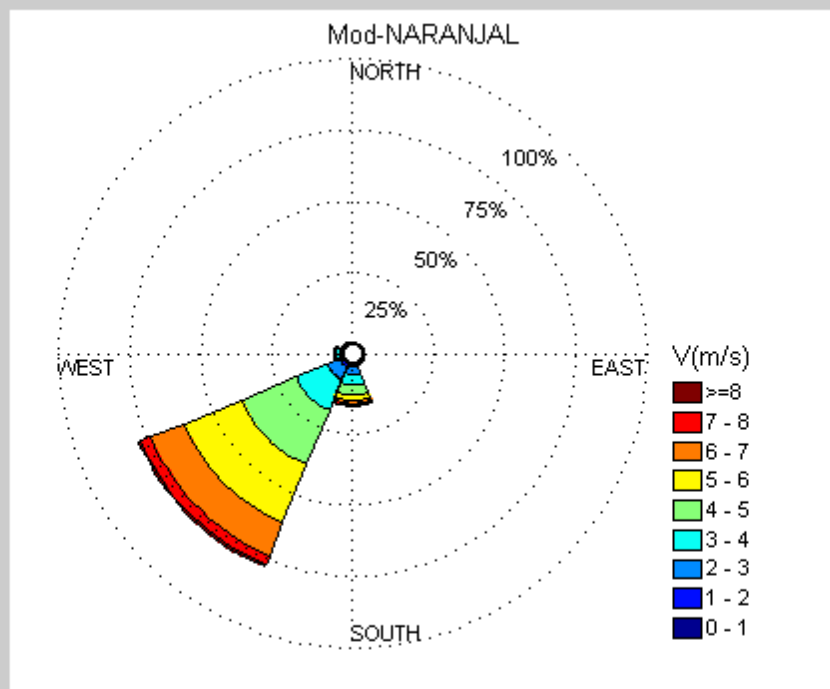
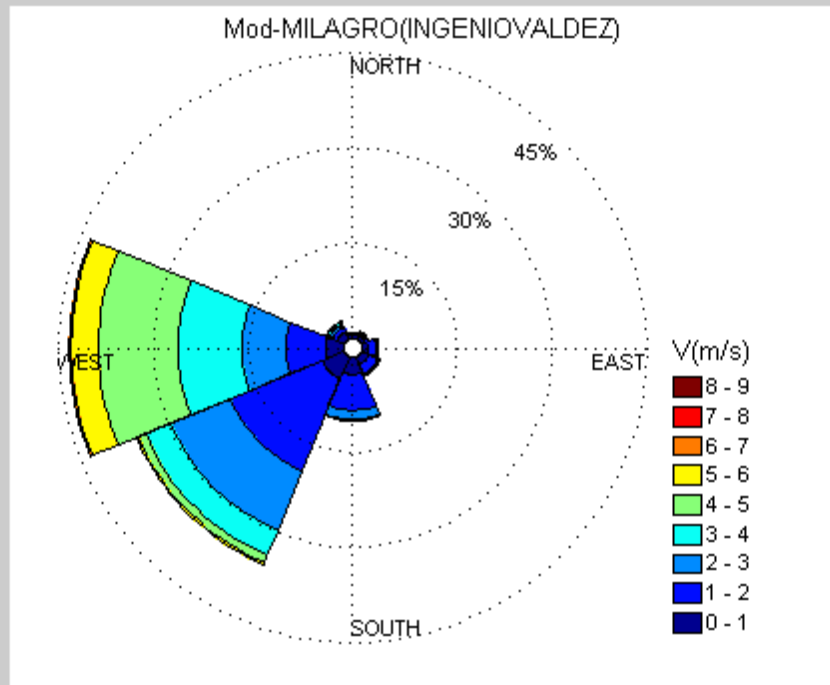


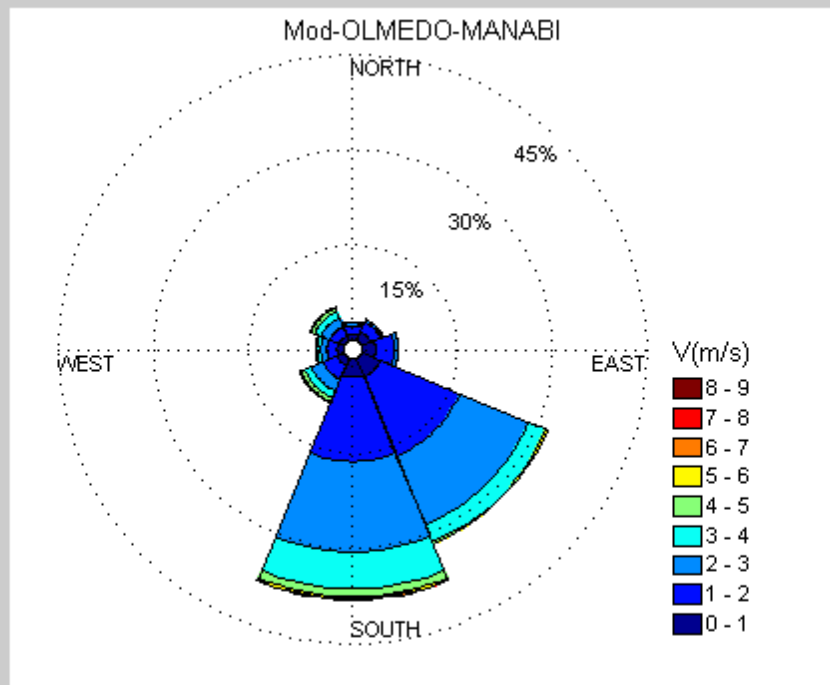
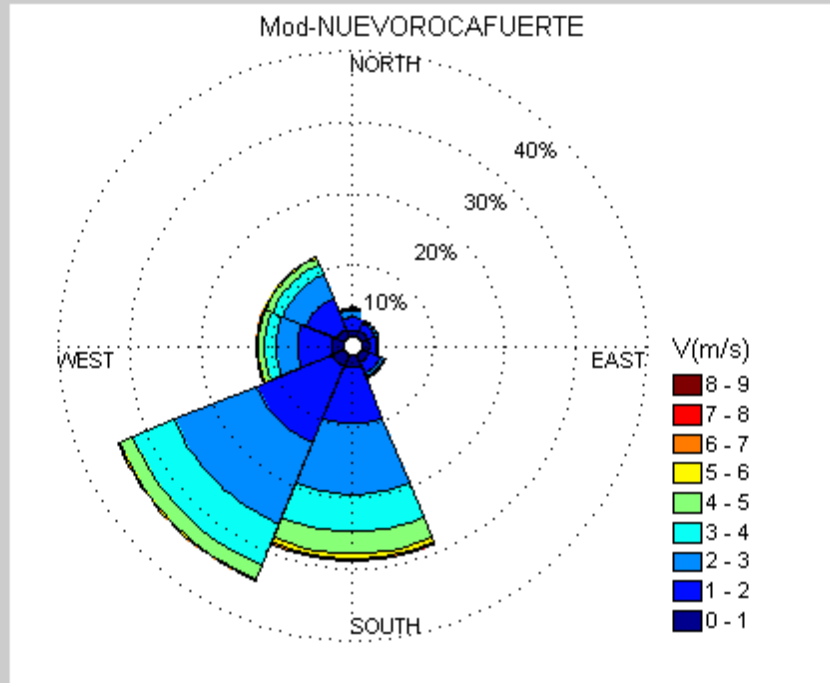


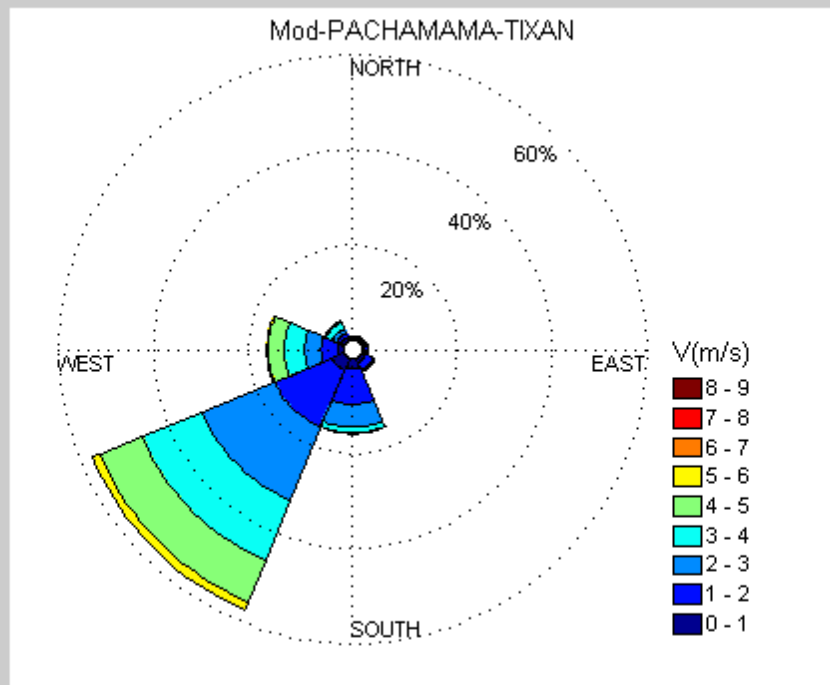
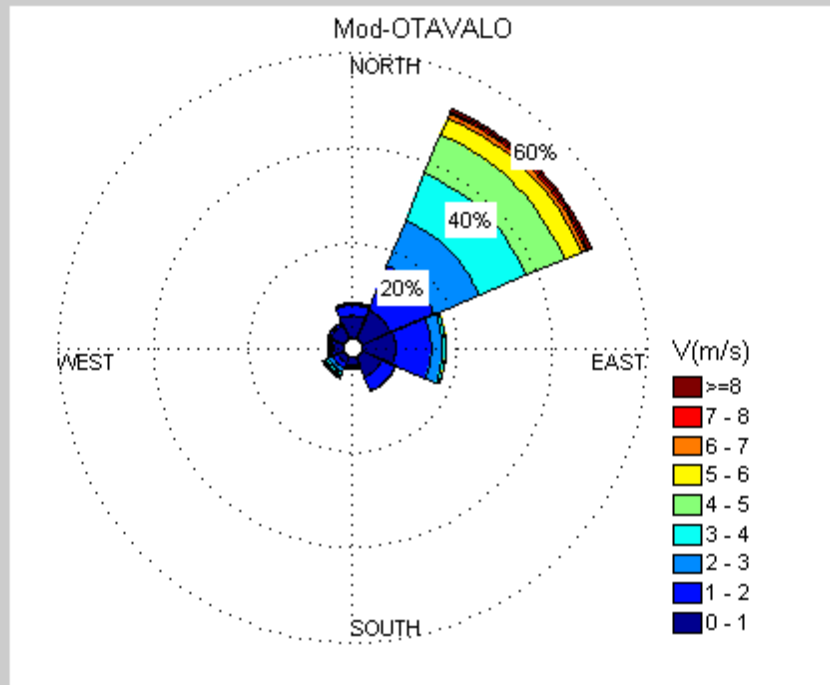


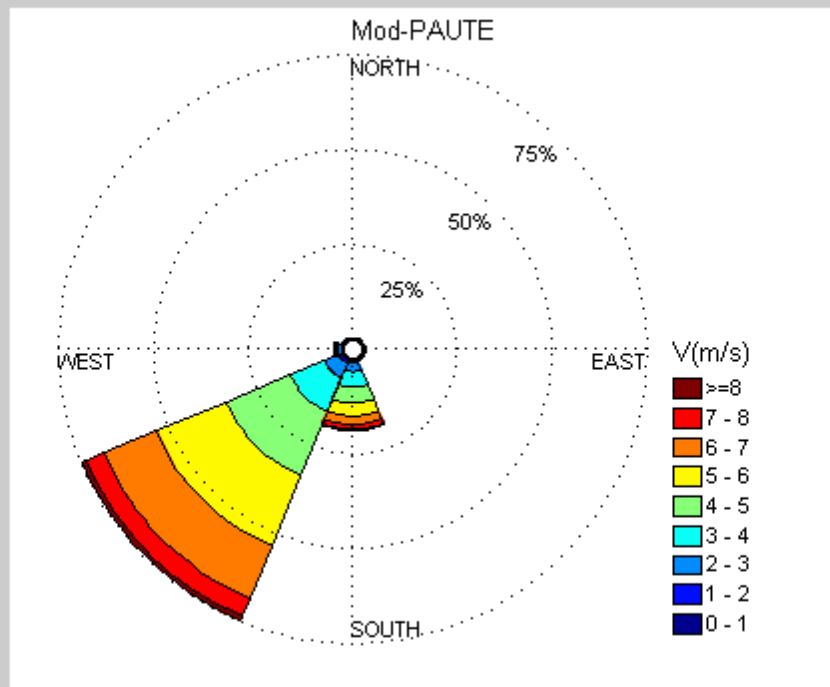
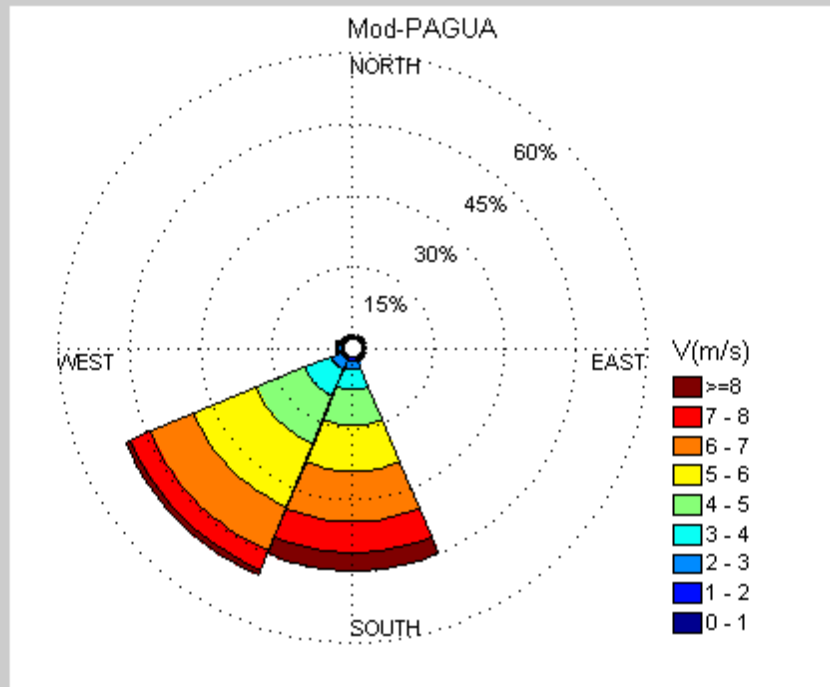


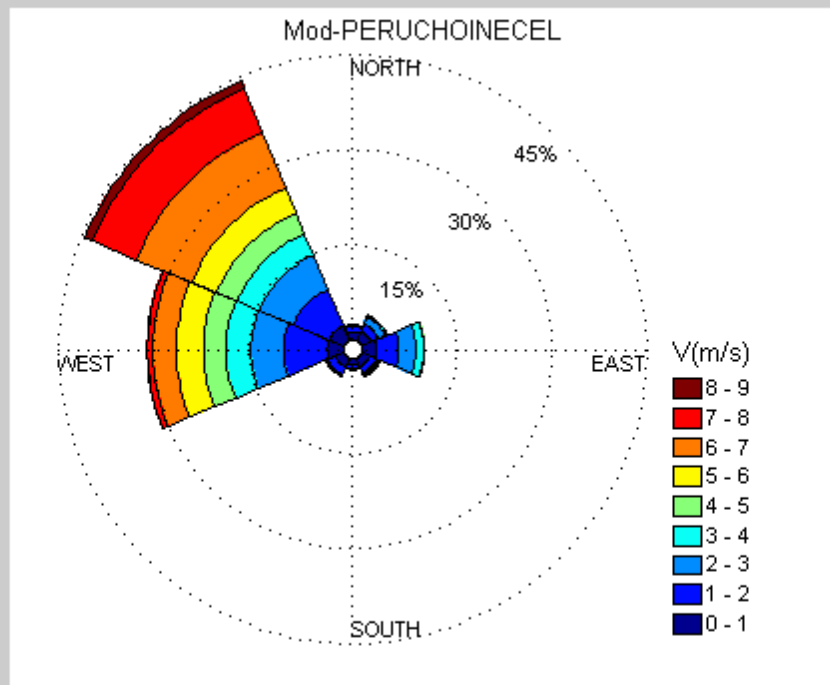
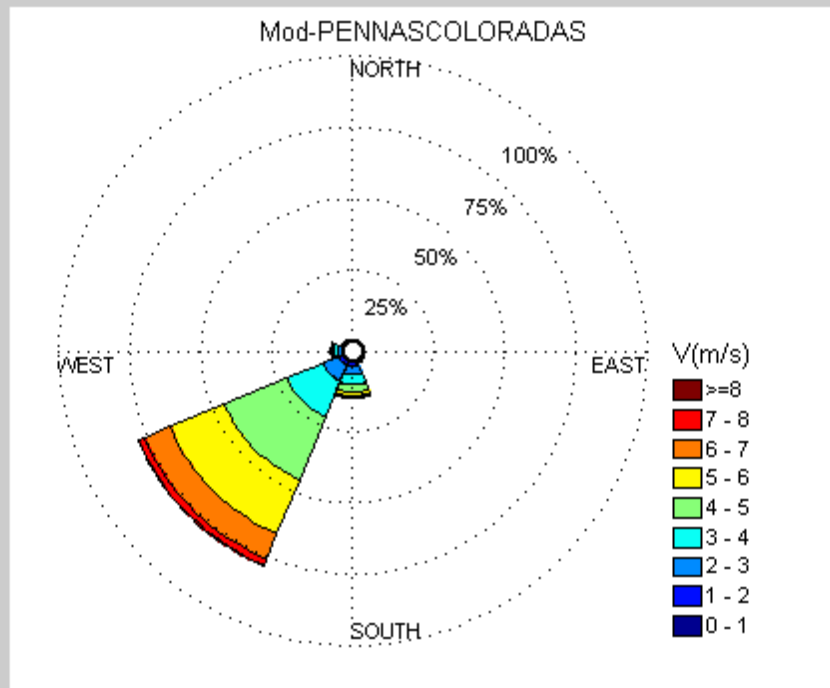


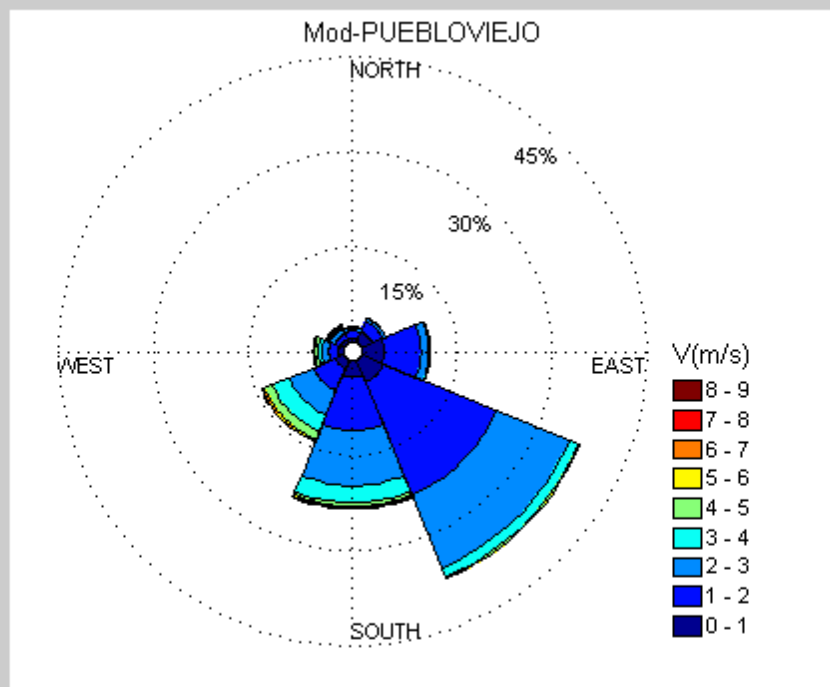
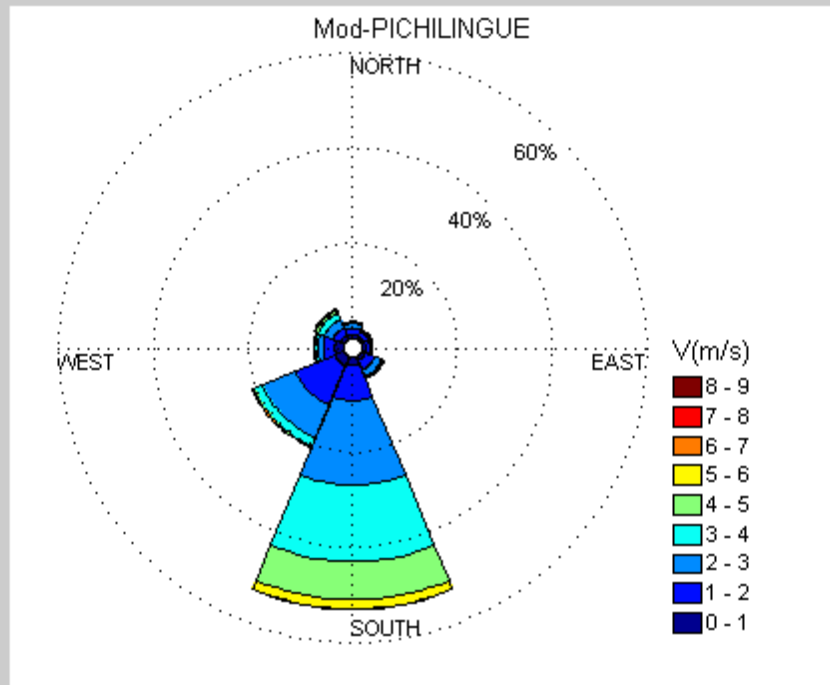




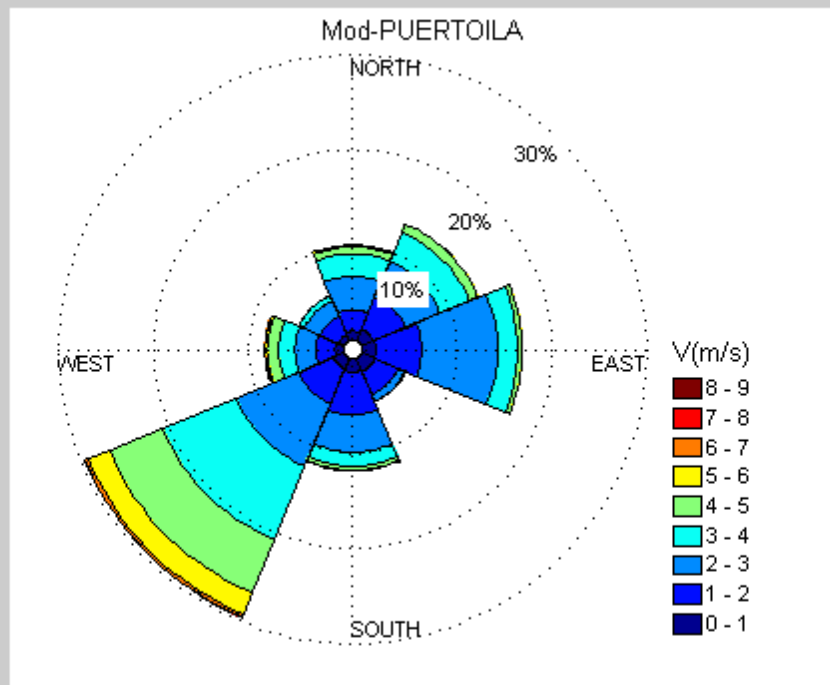
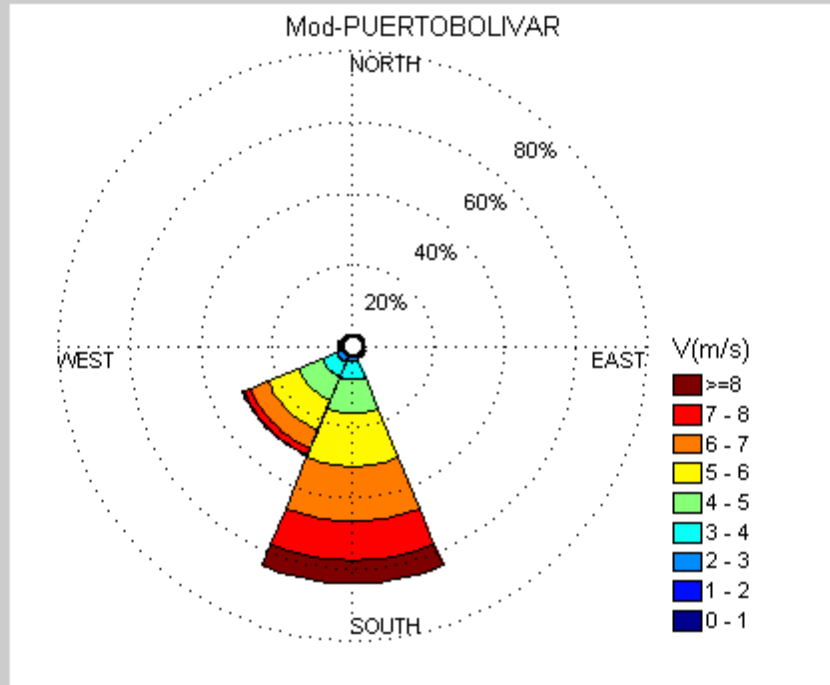


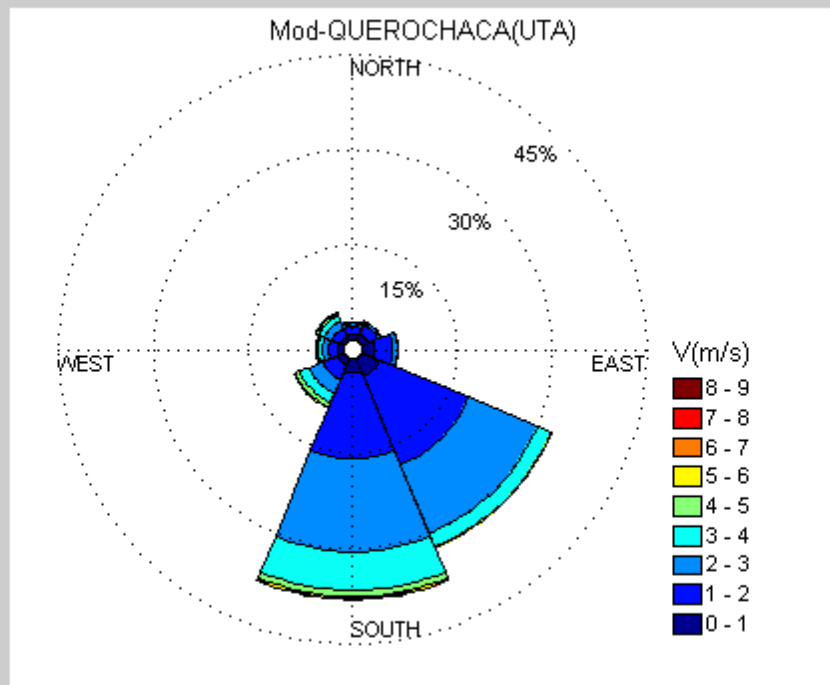
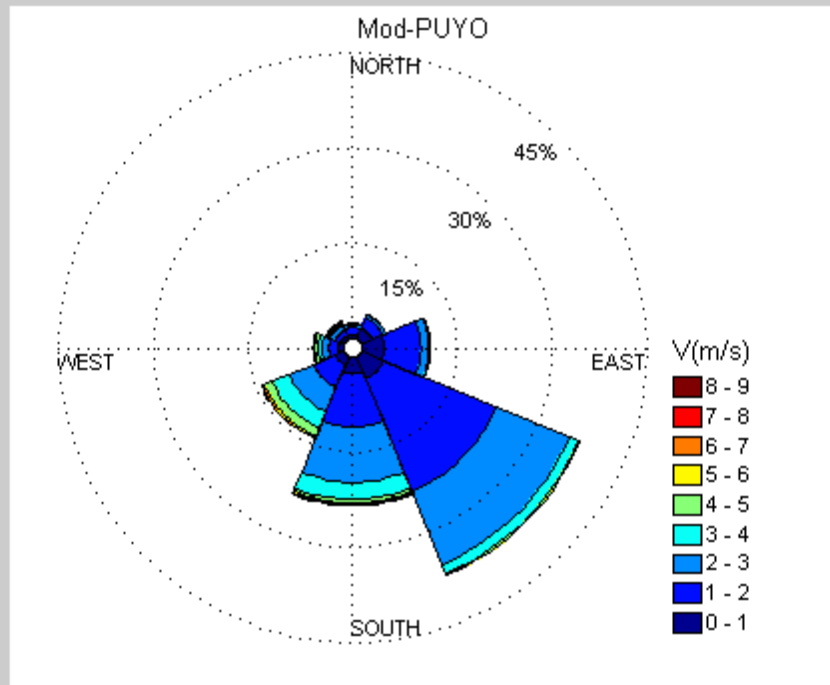


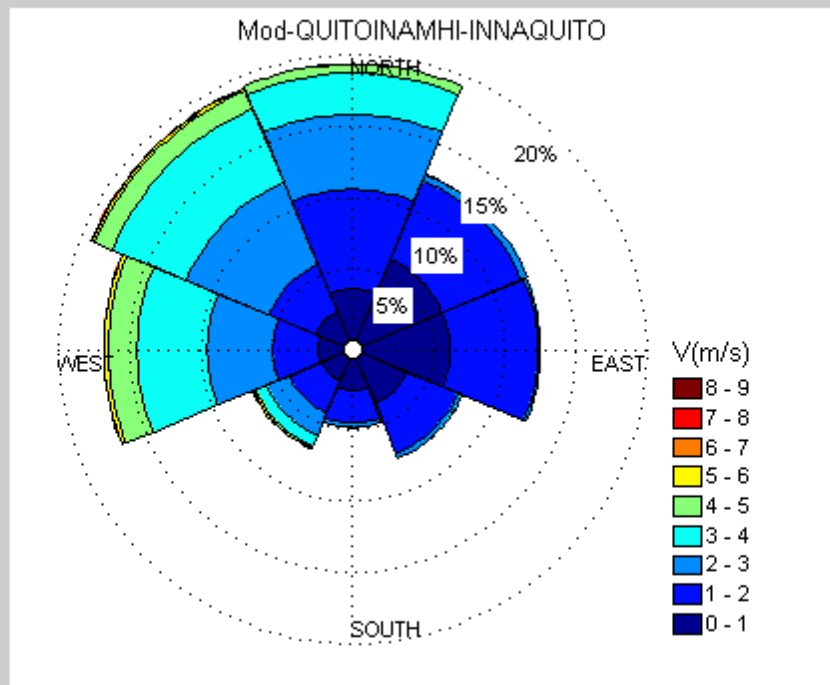
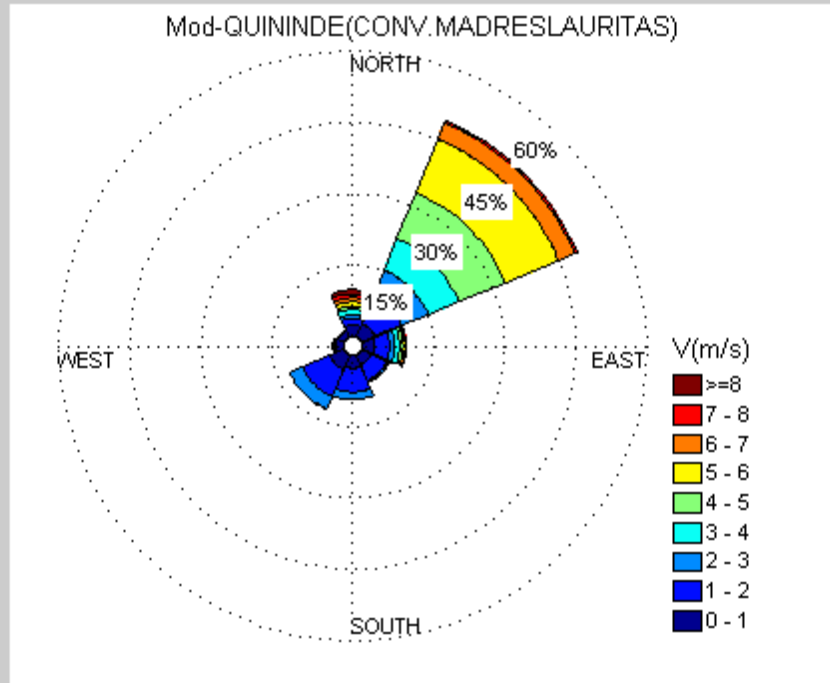


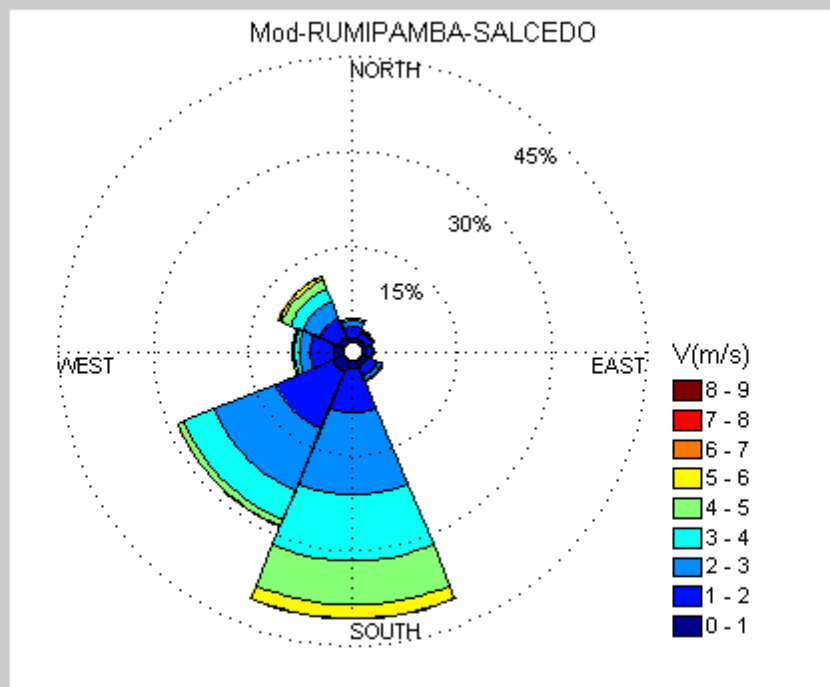
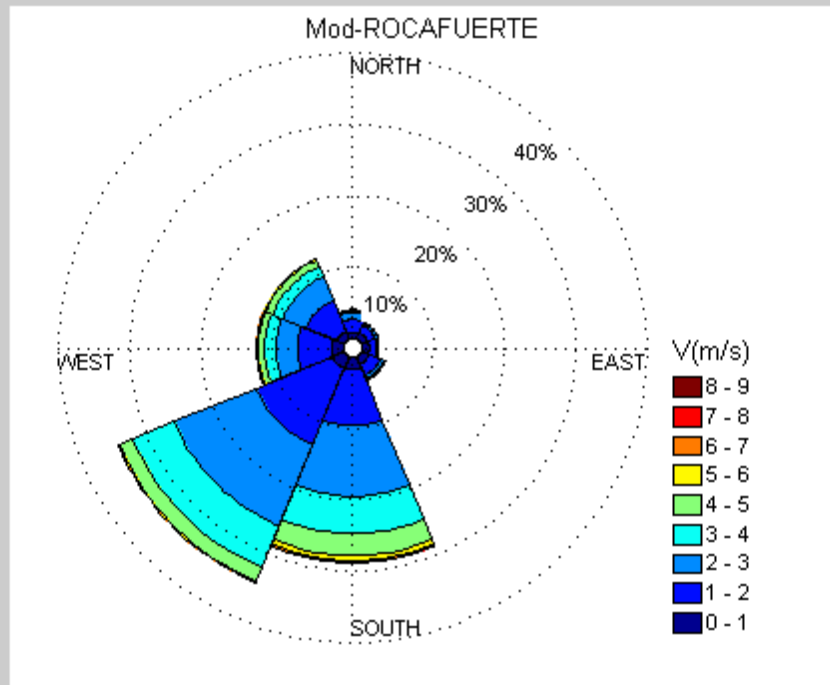


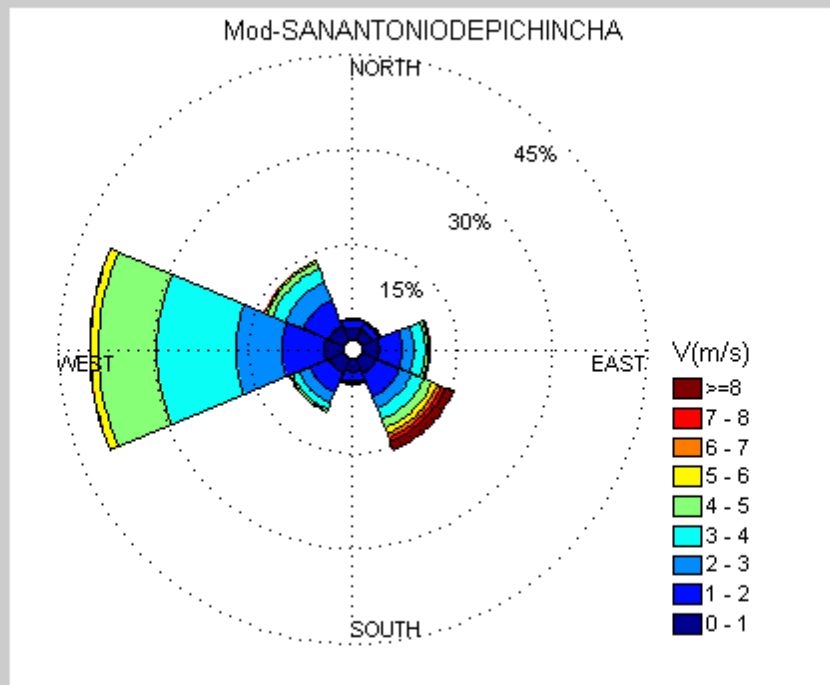
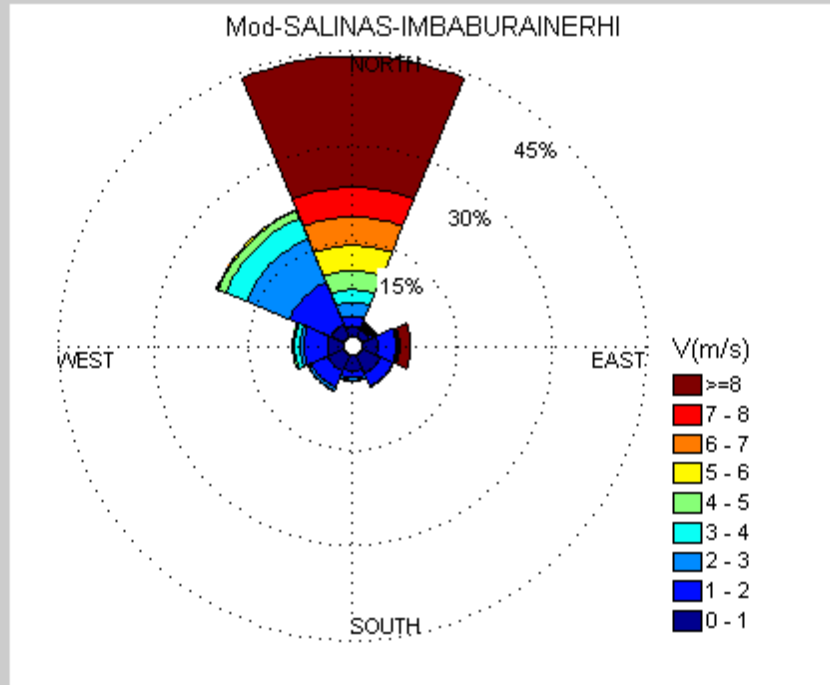
ANEXO 18

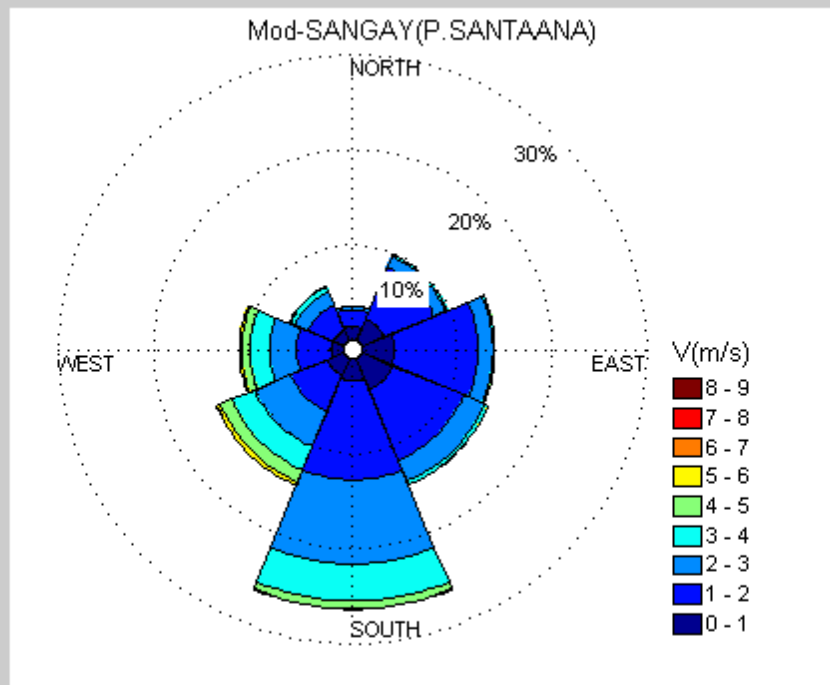
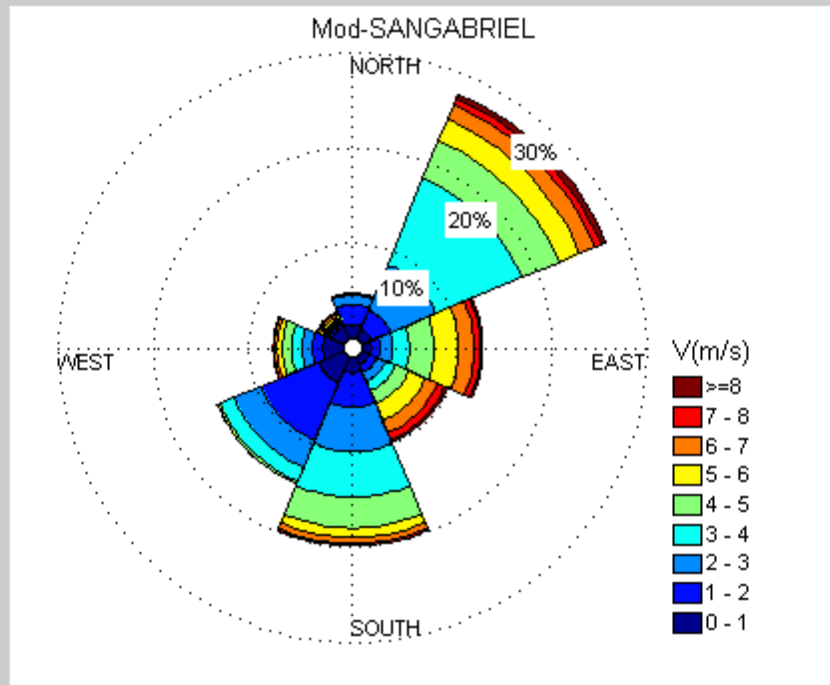


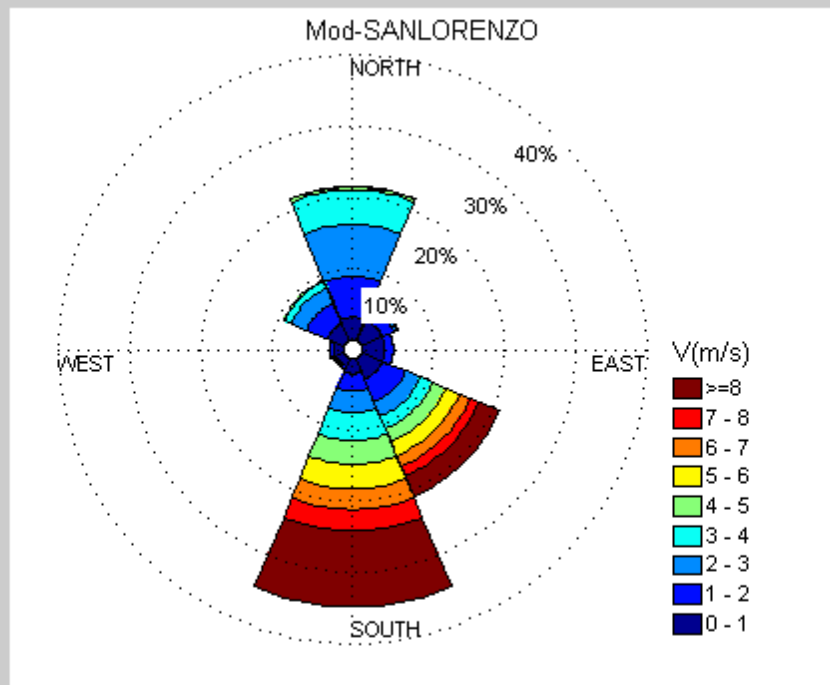
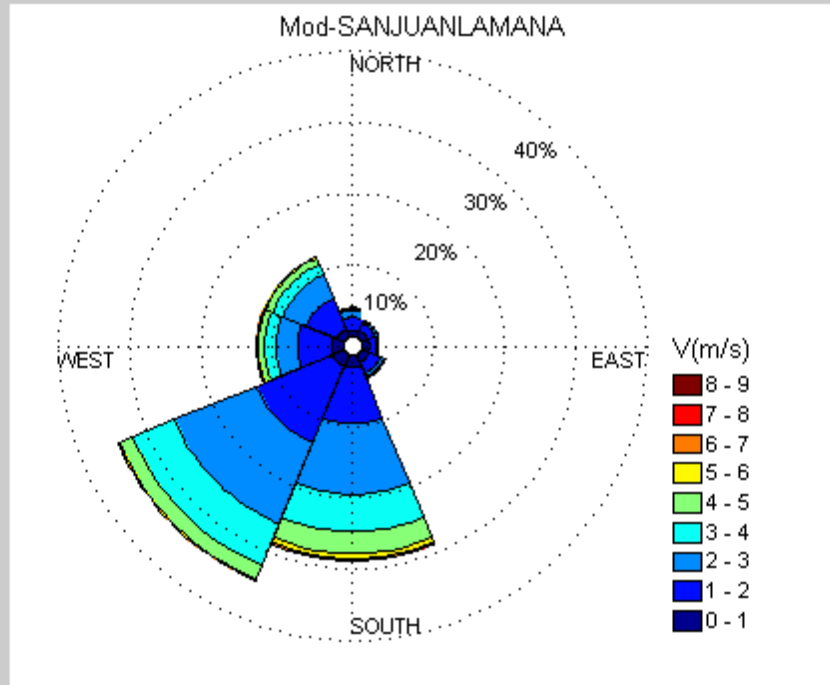


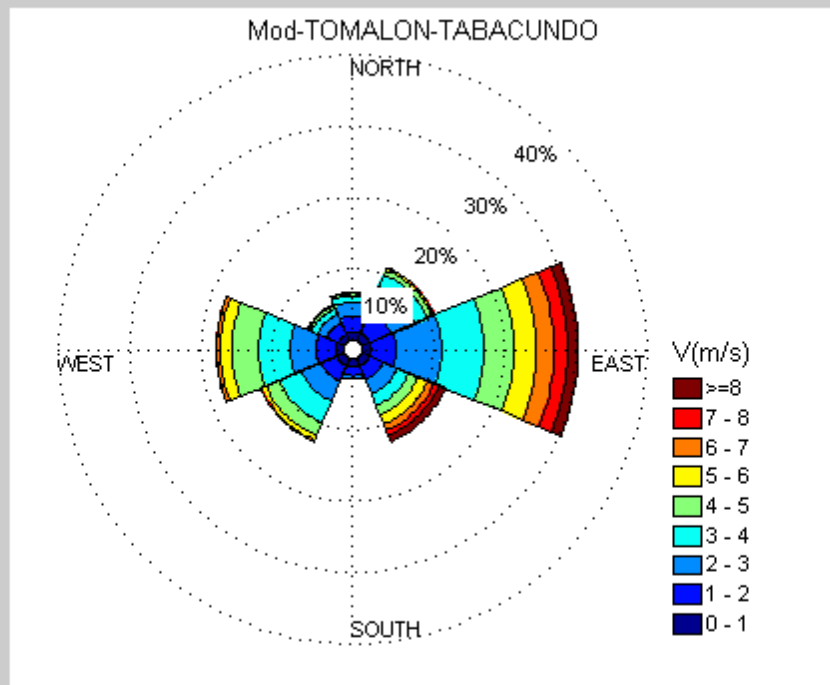
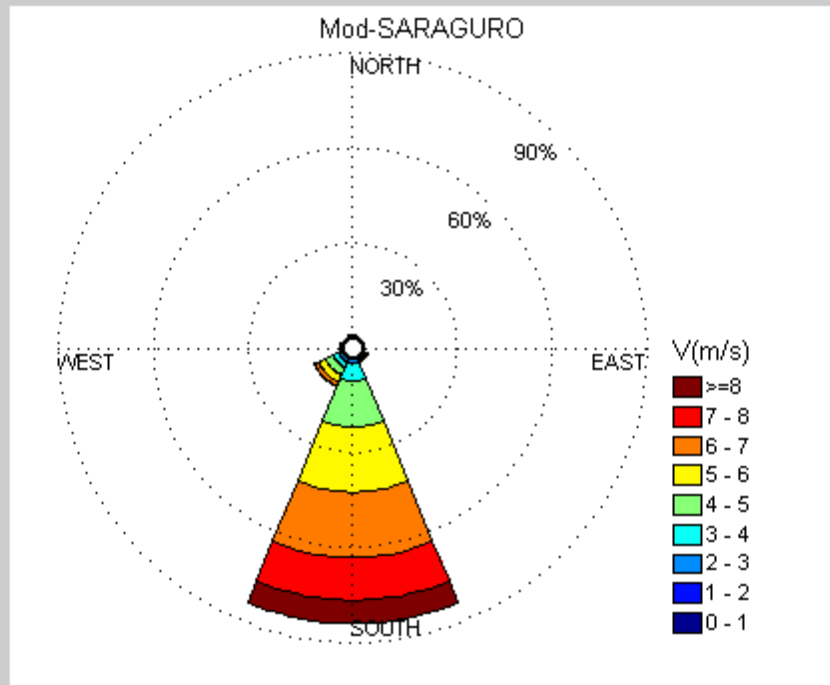




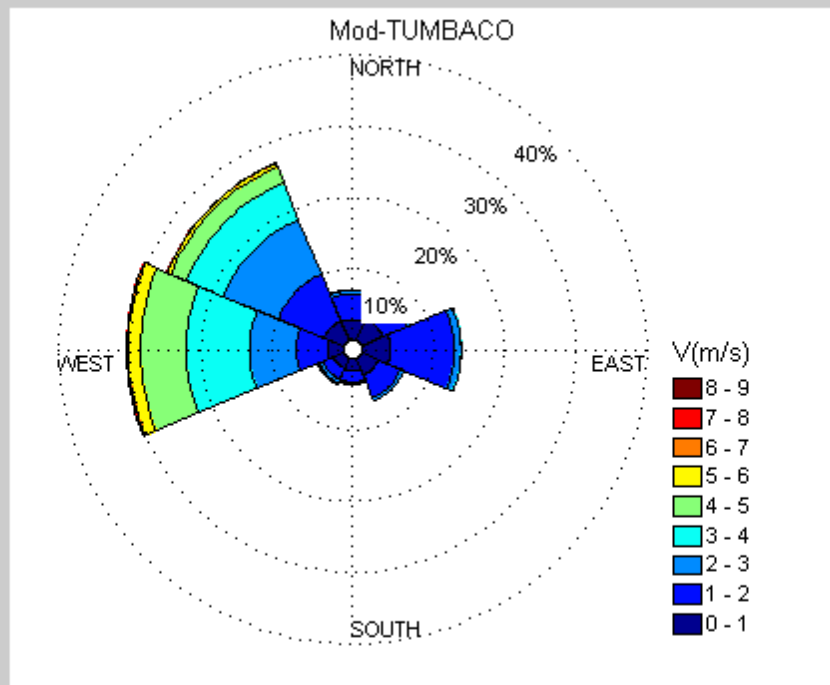
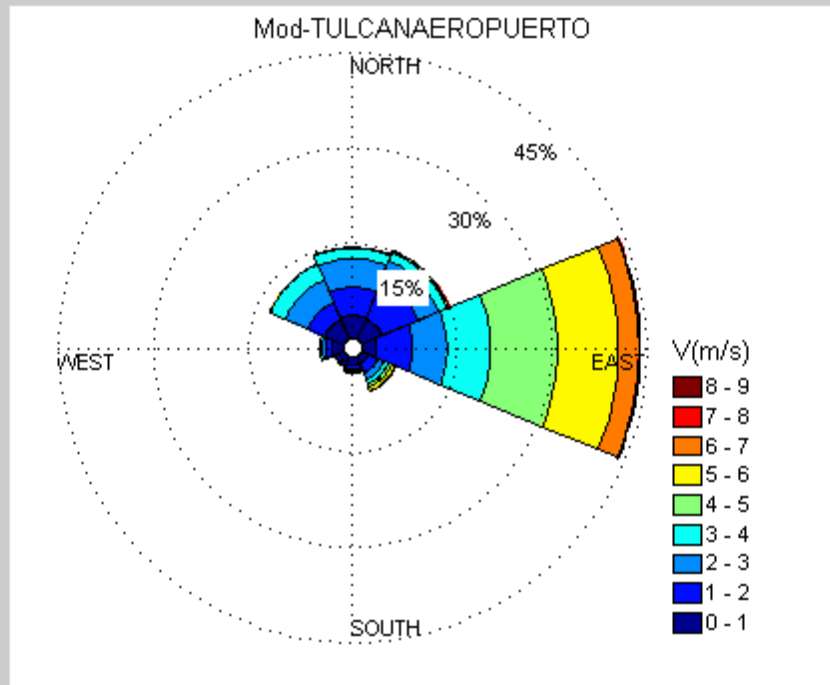


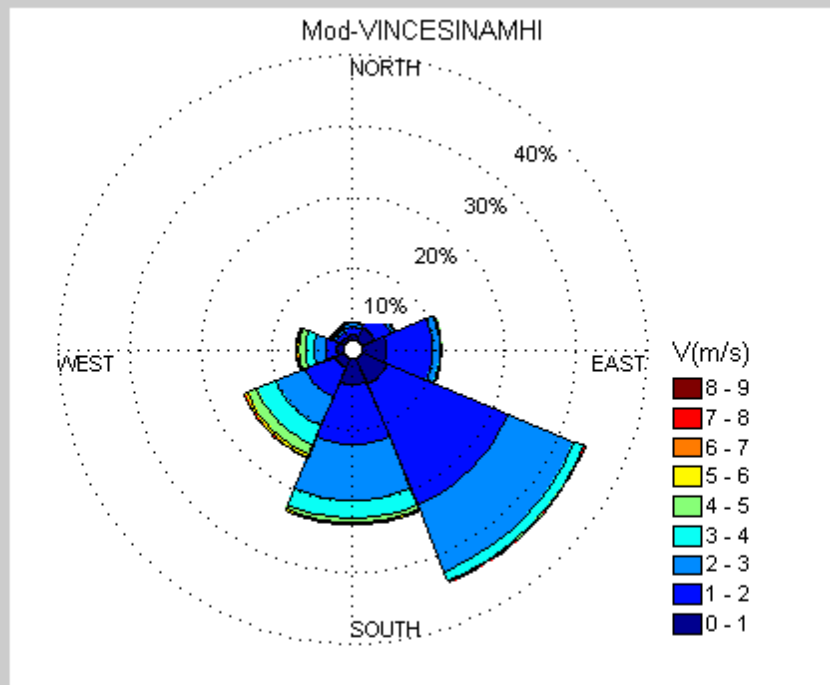
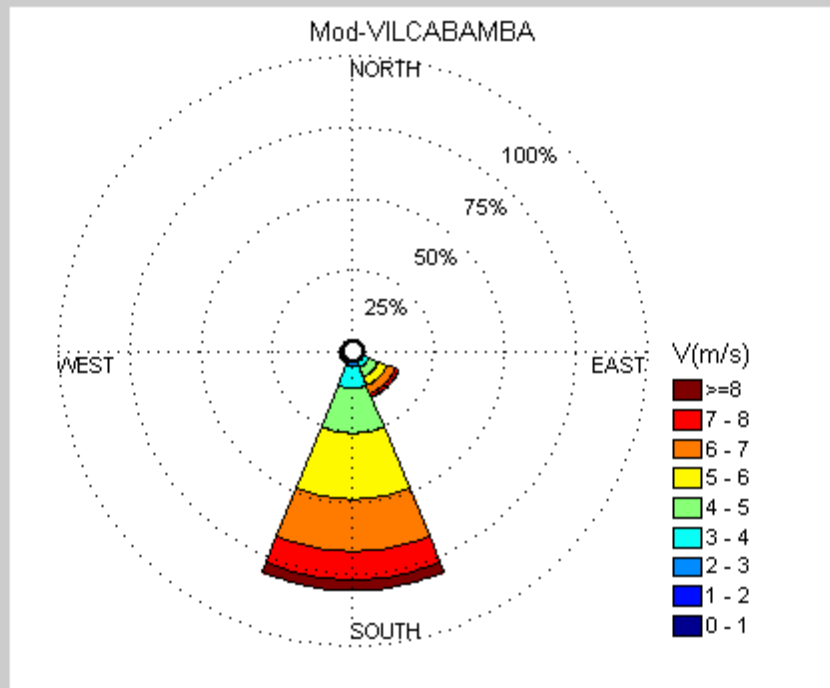


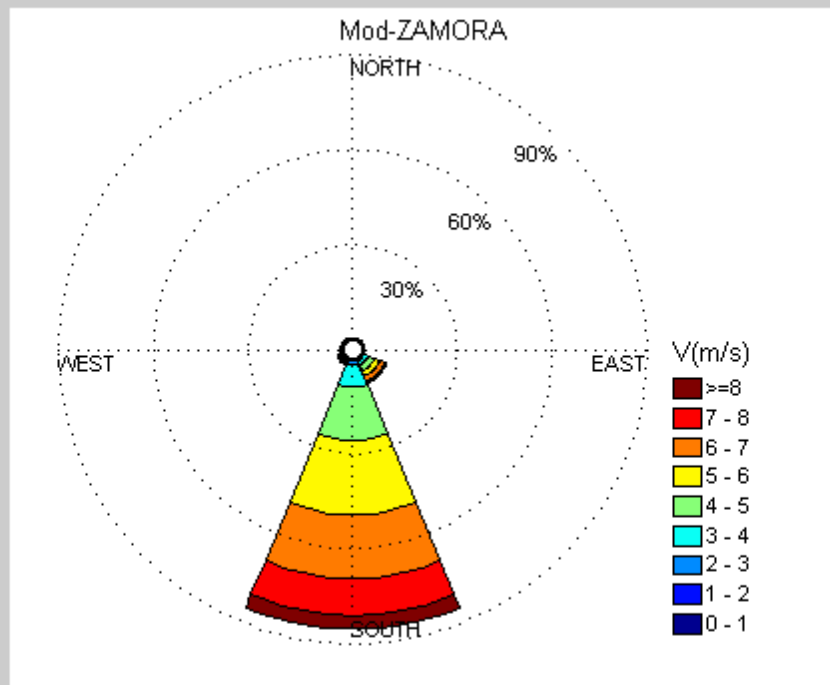
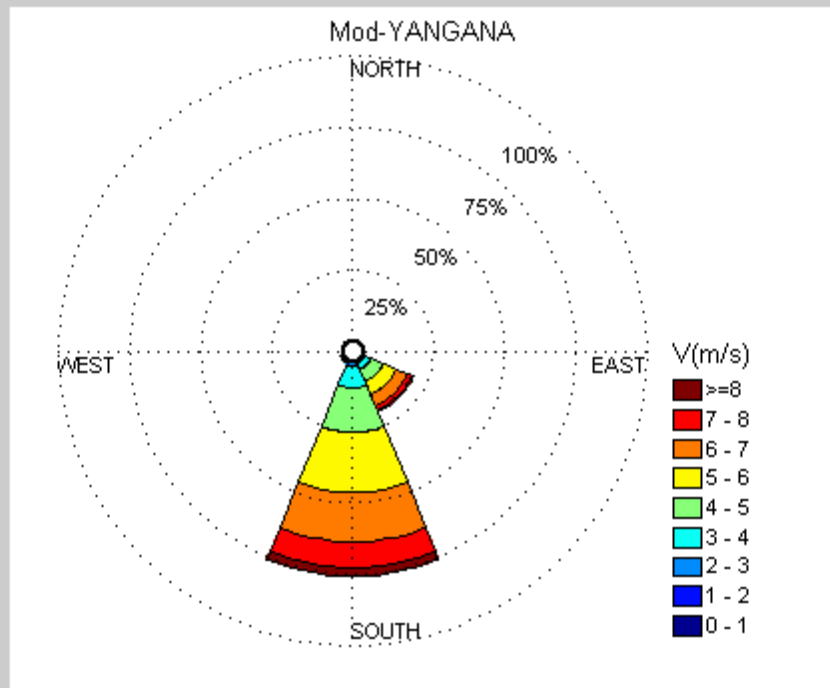


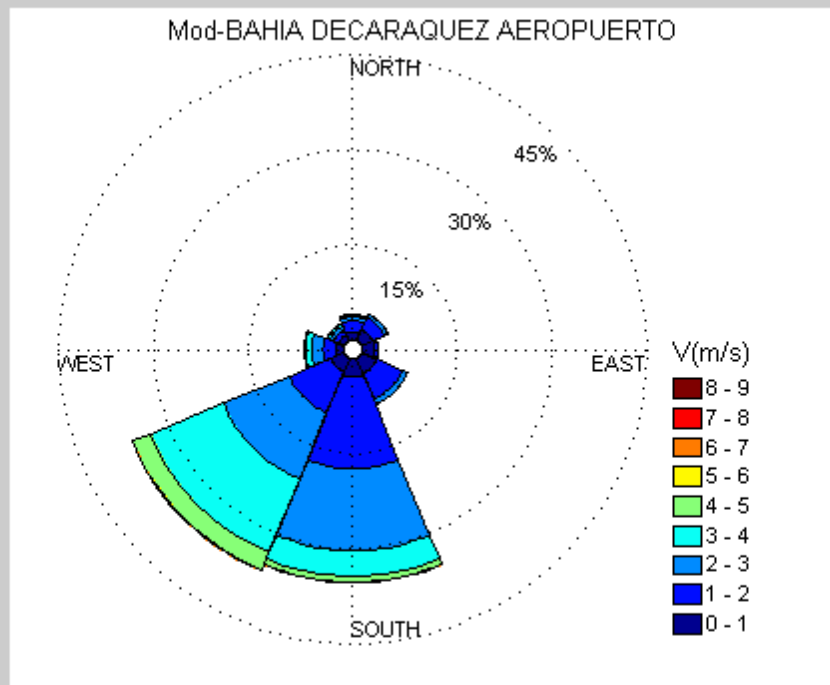
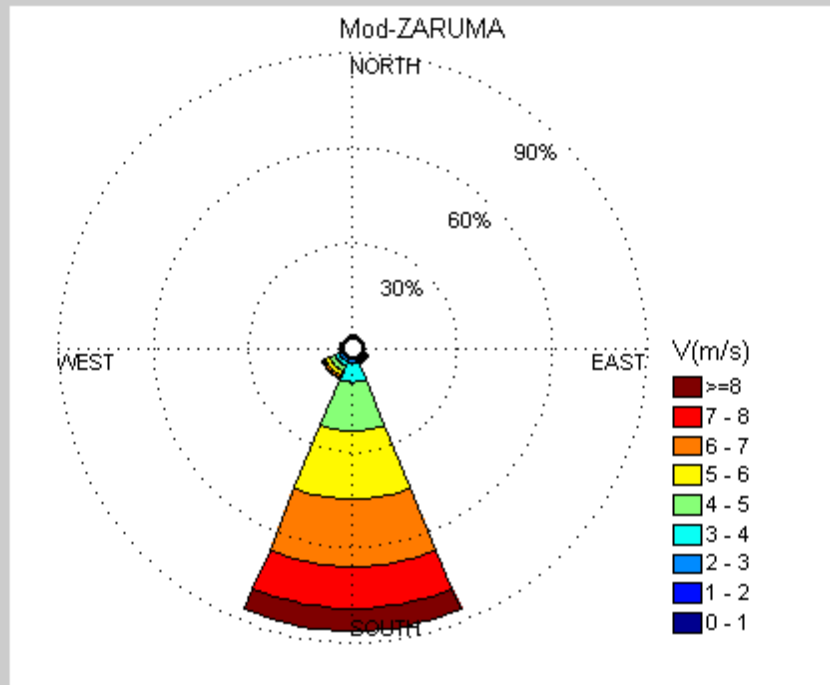


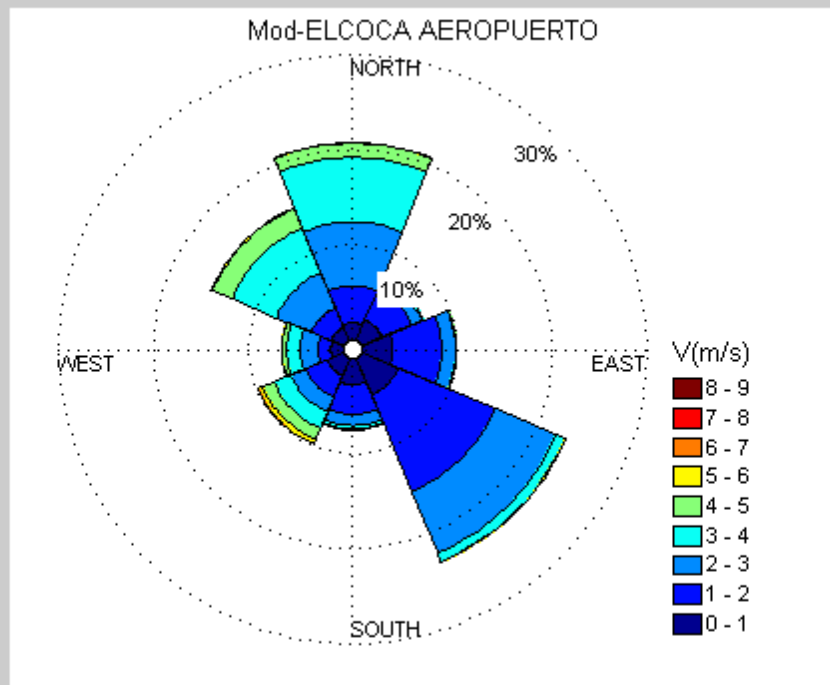
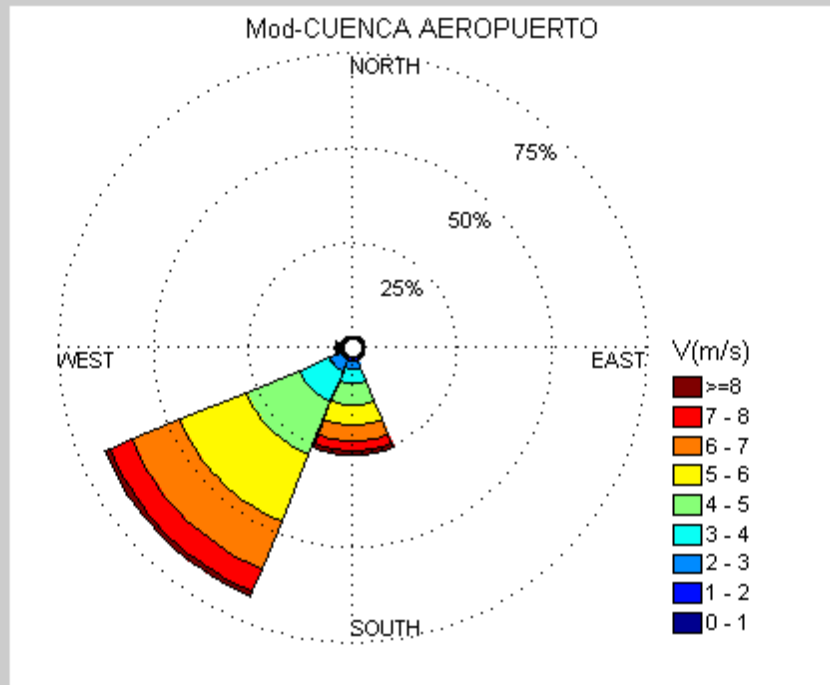
ANEXO 18

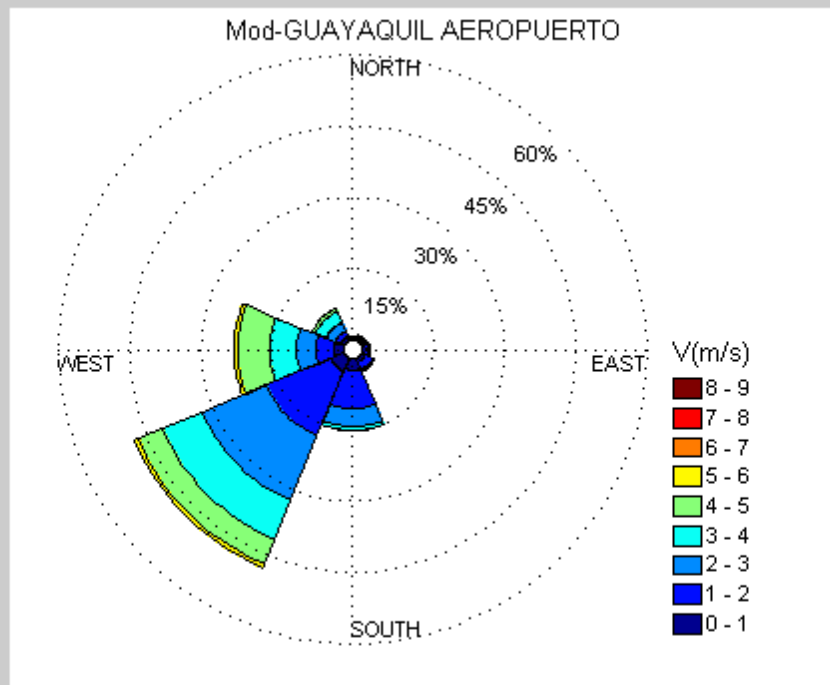
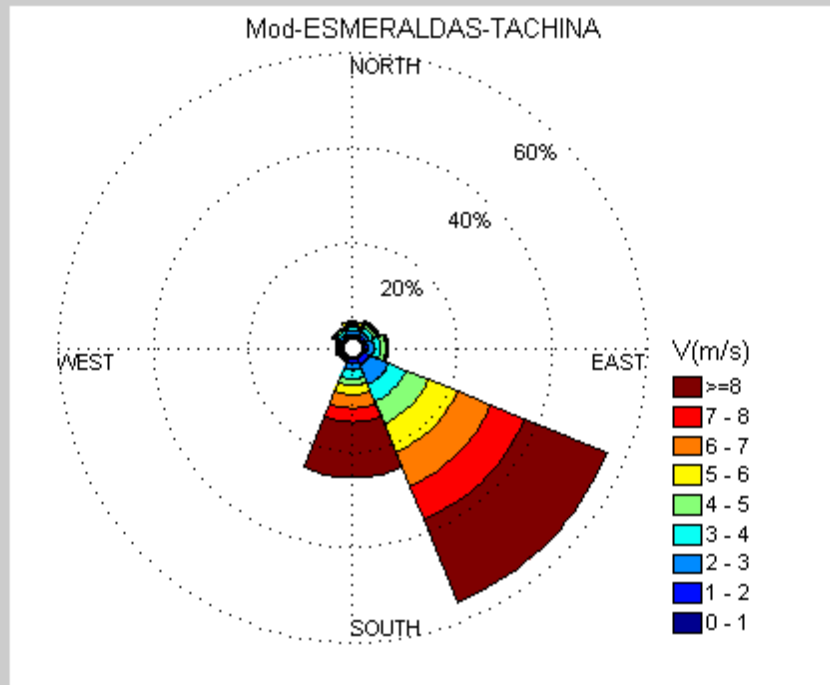


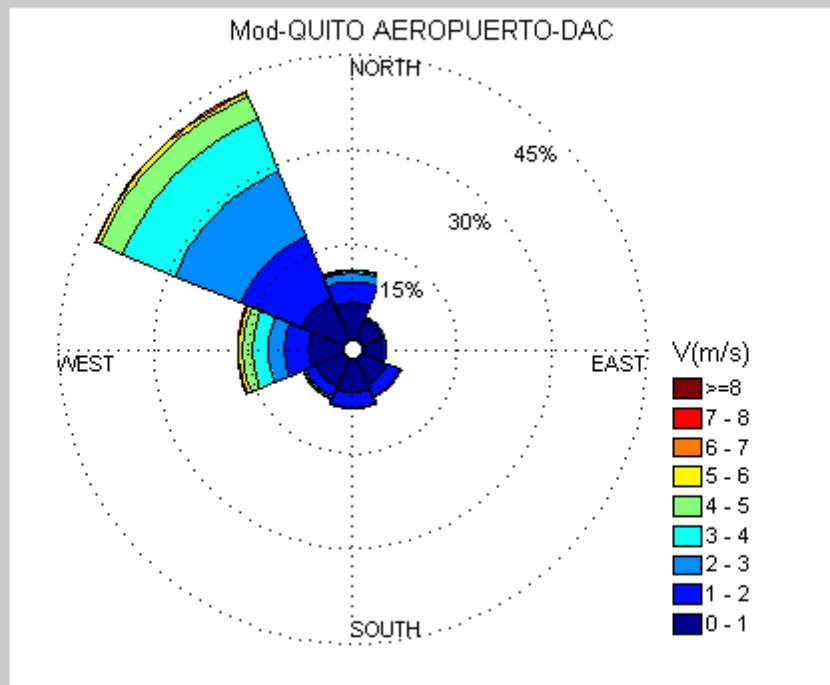
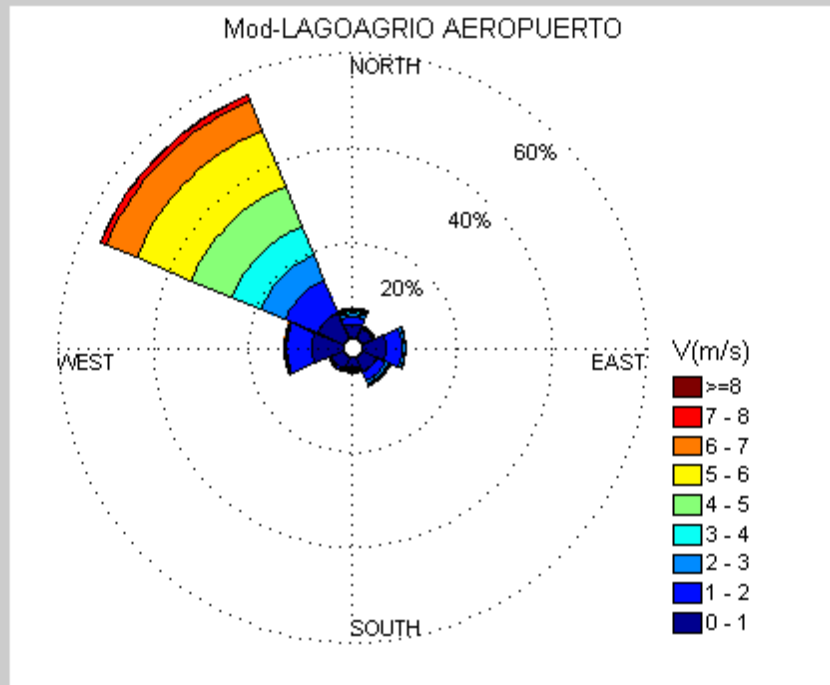


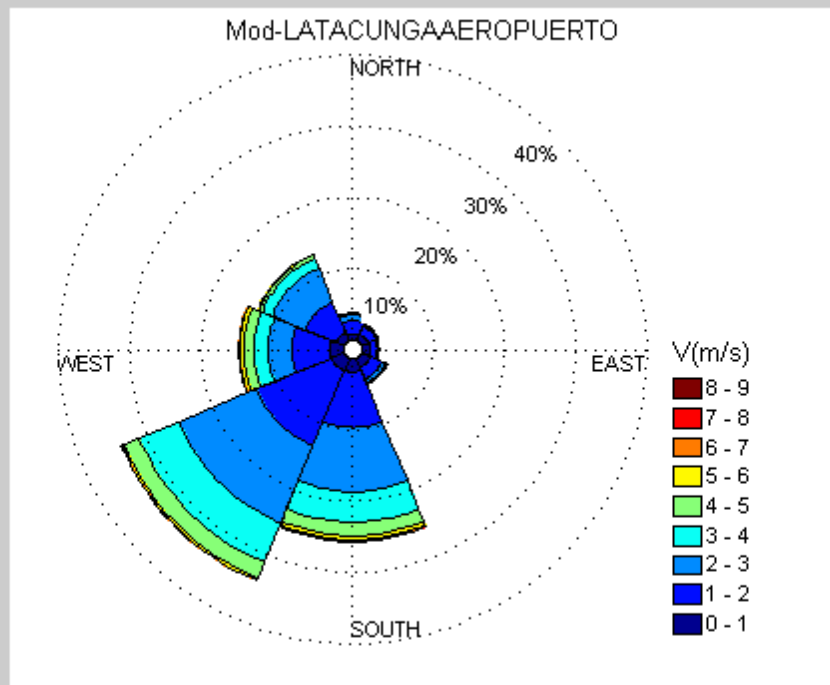
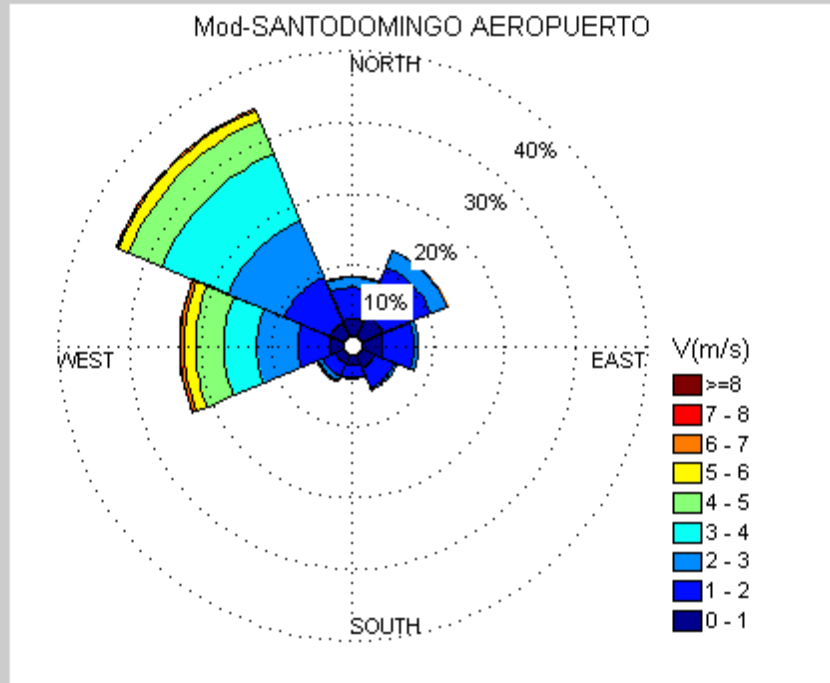




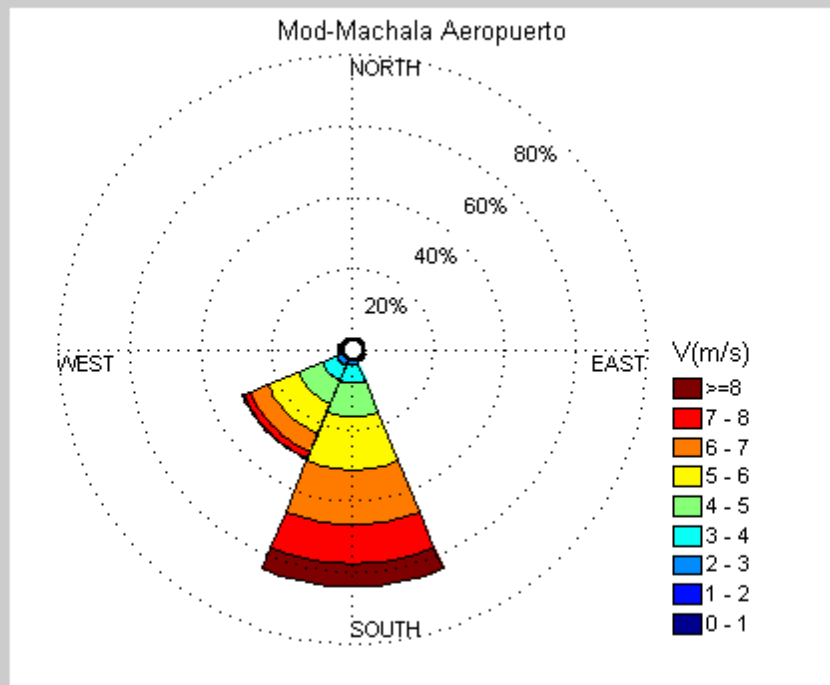
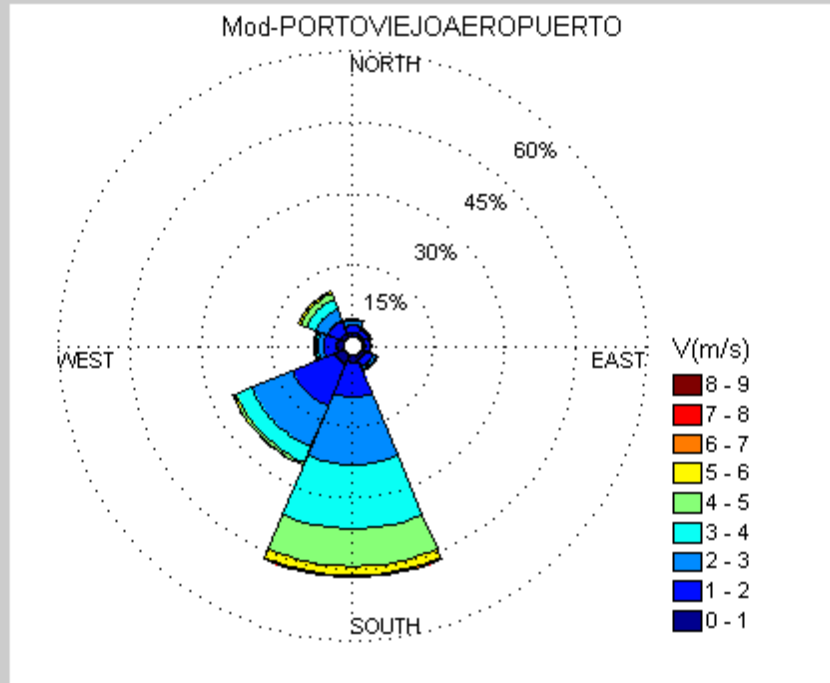


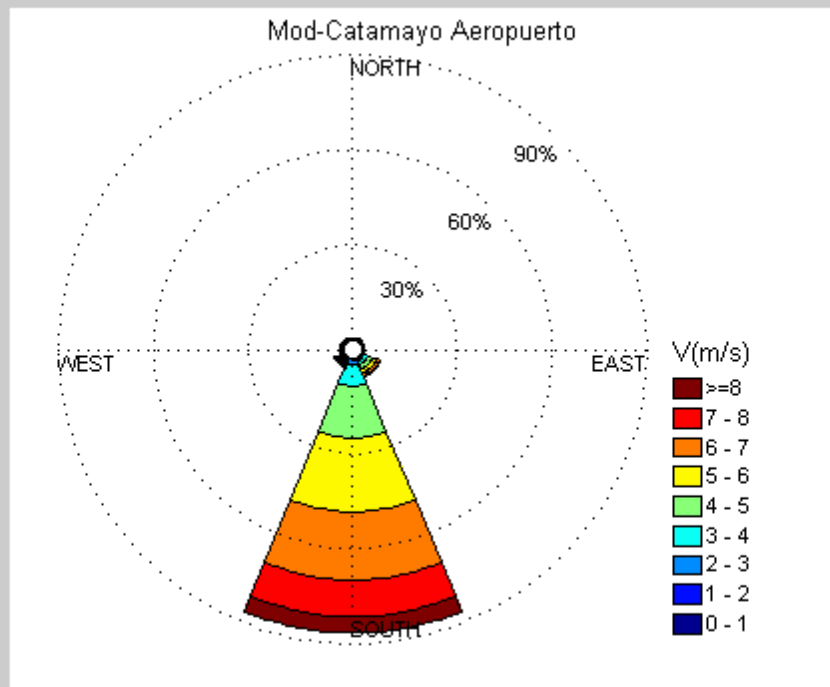
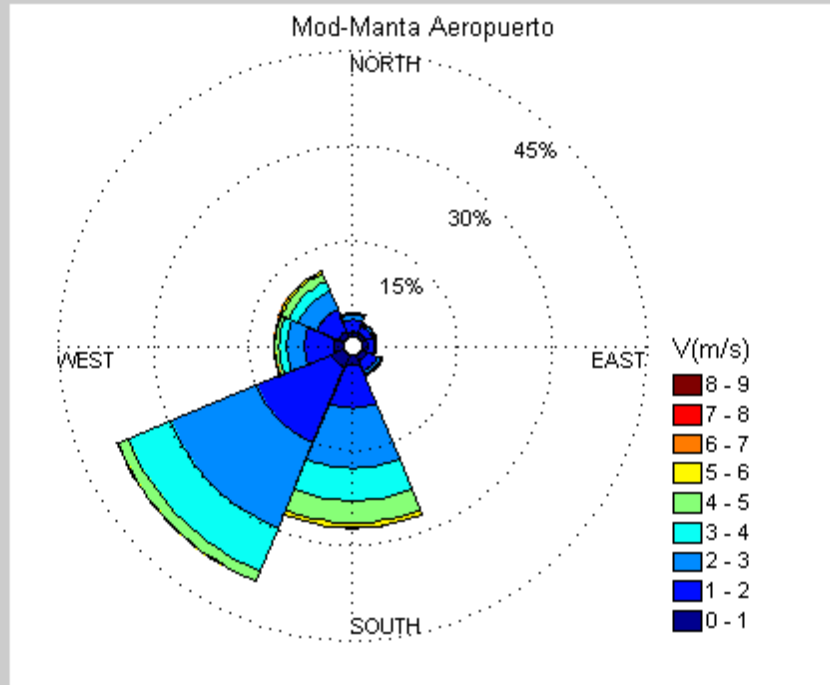




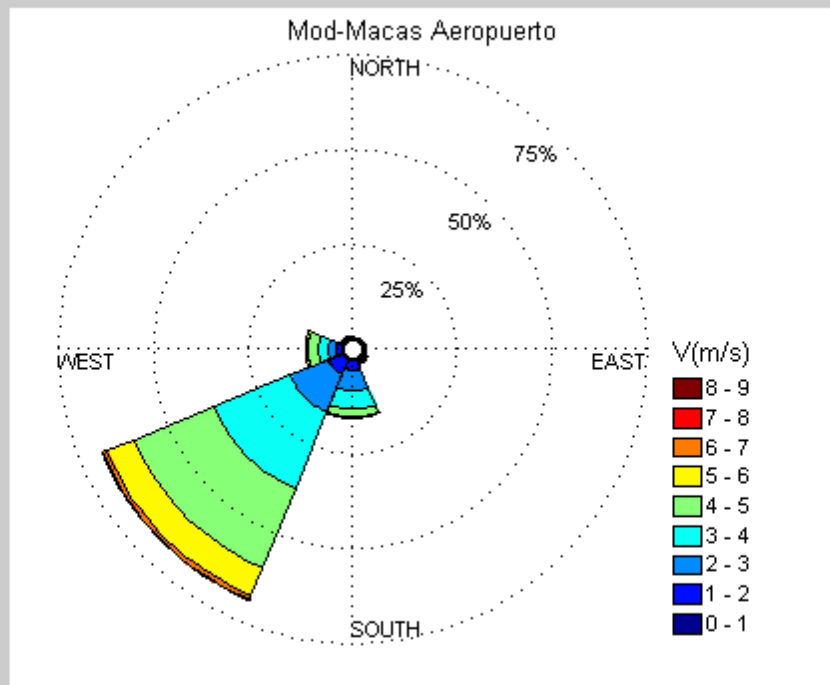
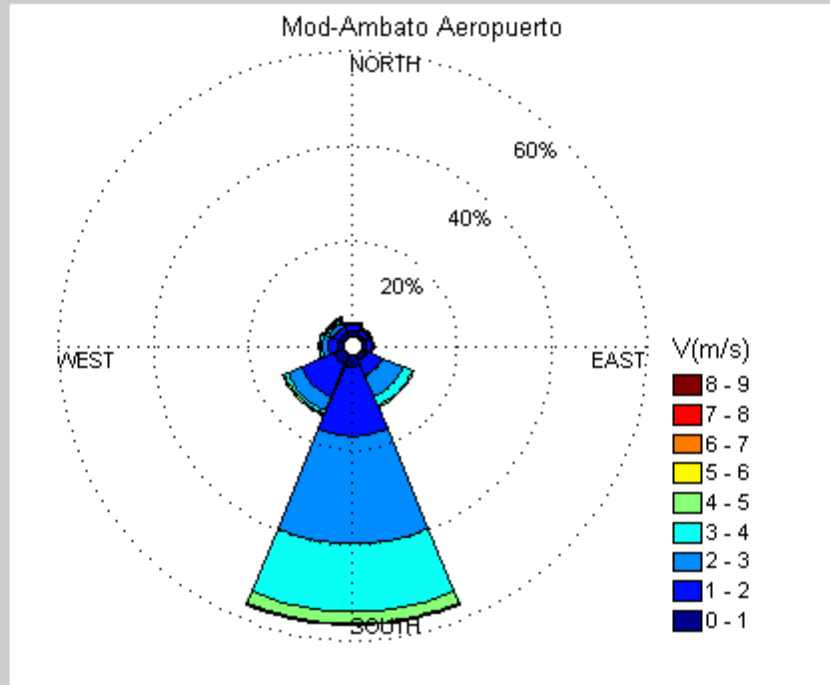


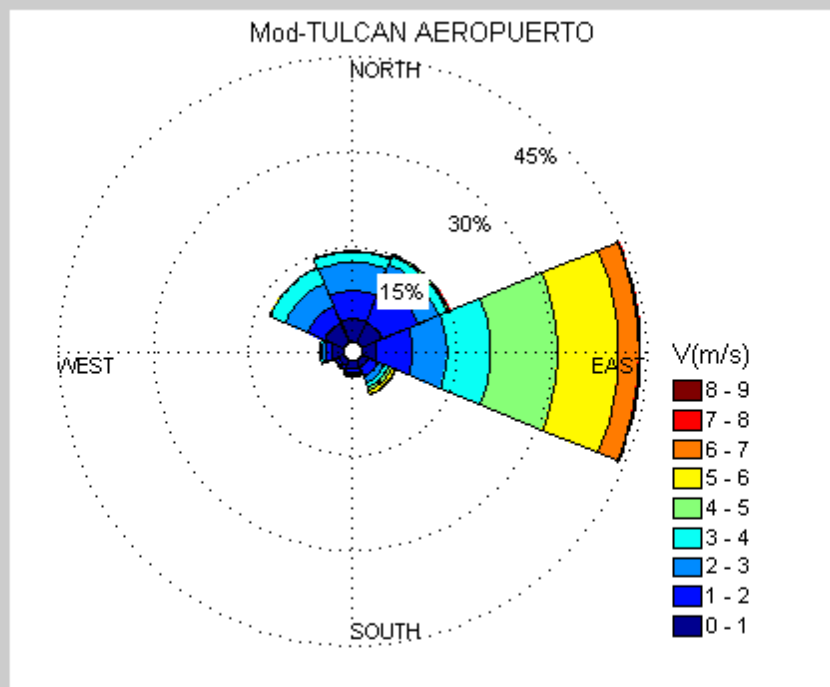
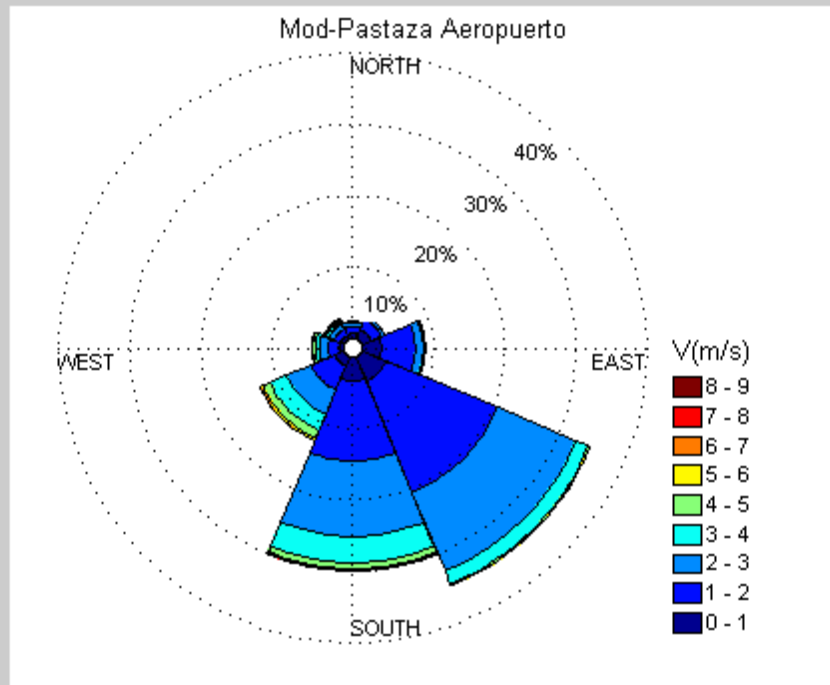
ANEXO 18

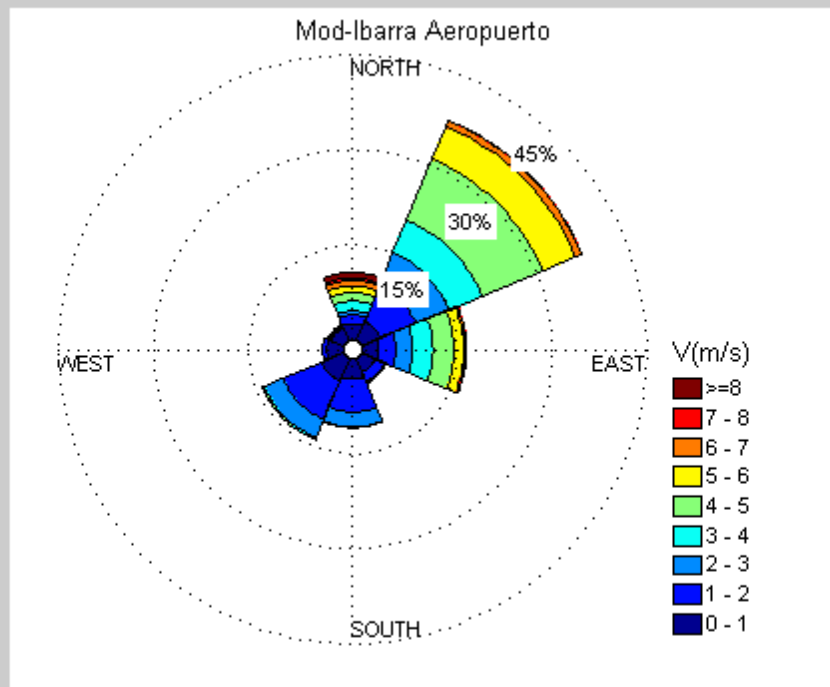
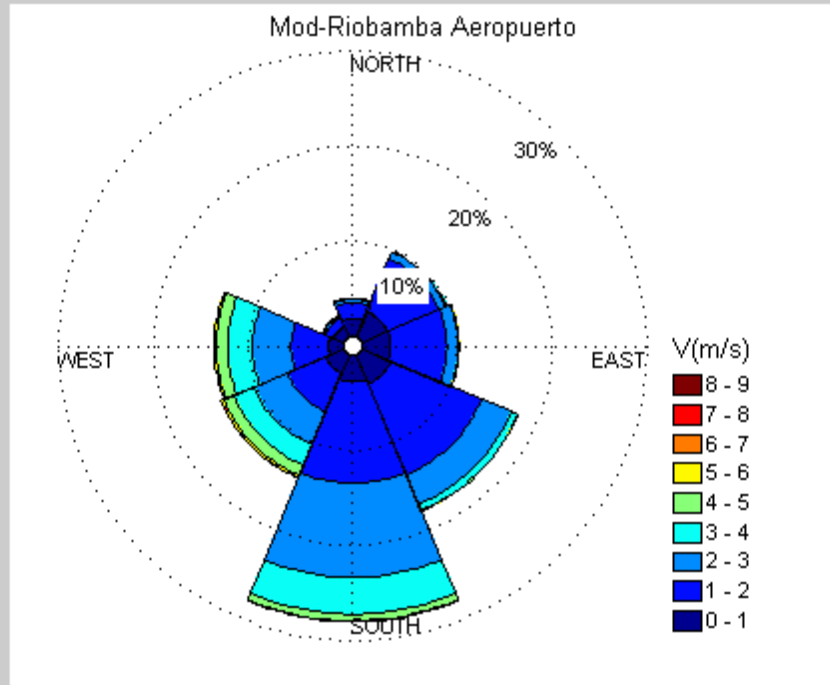


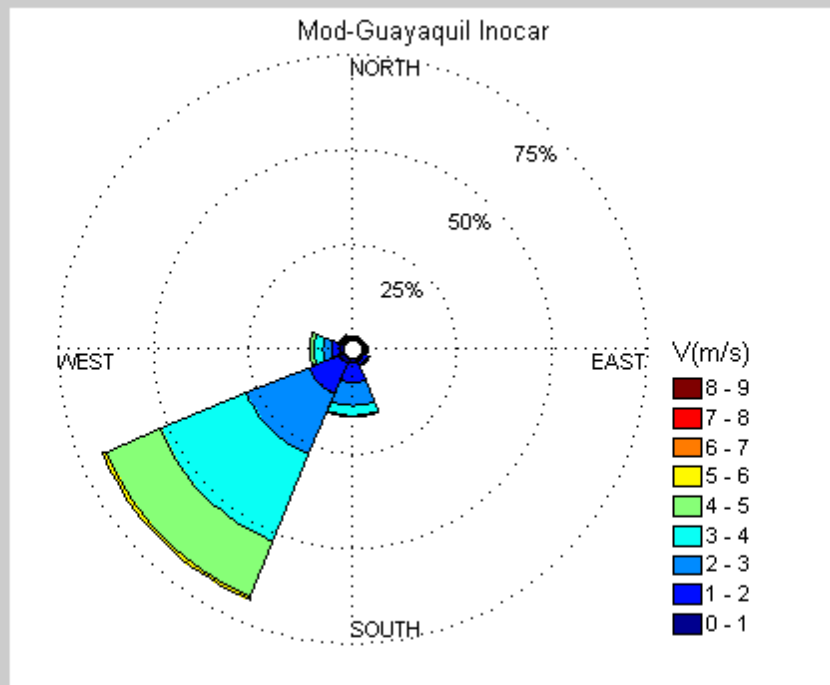
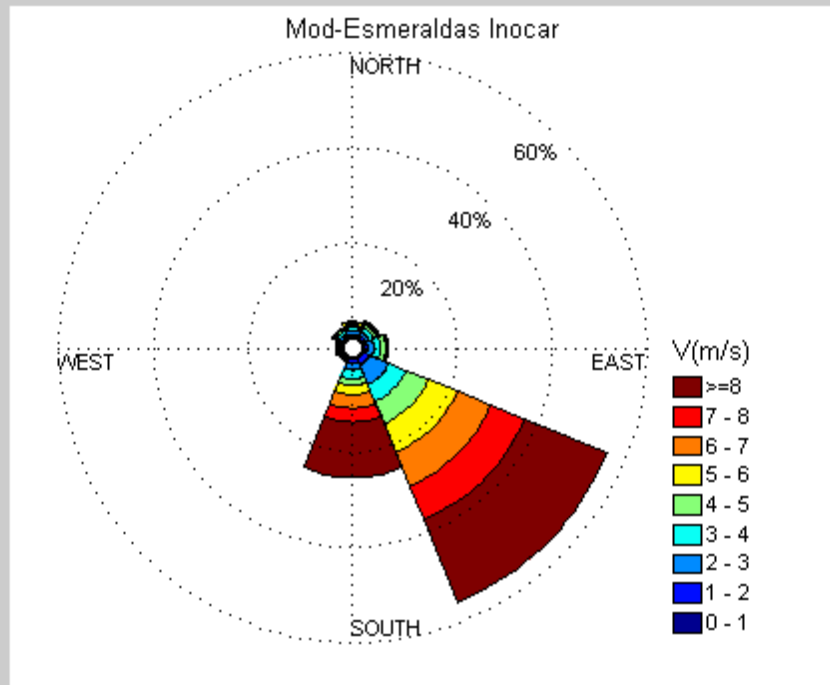


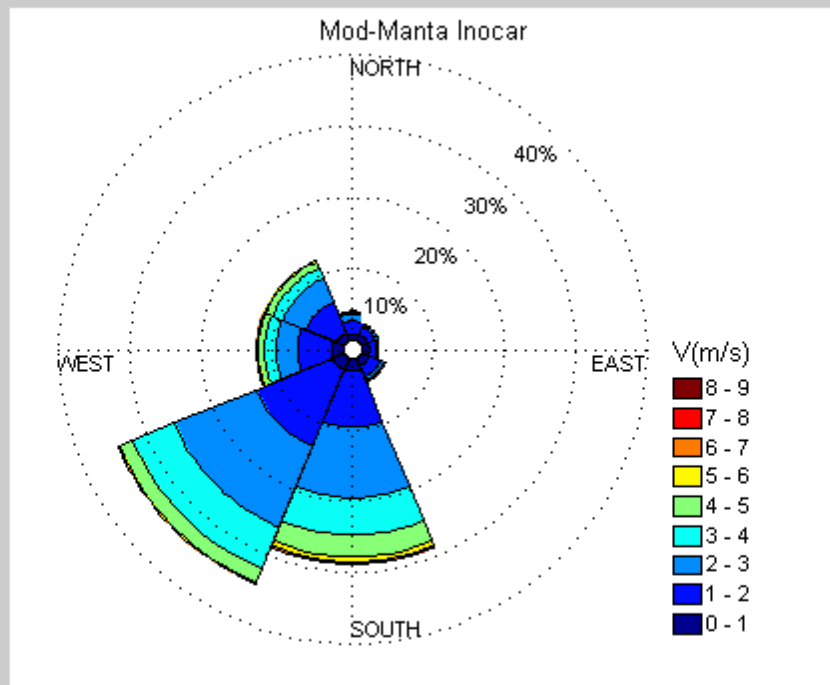
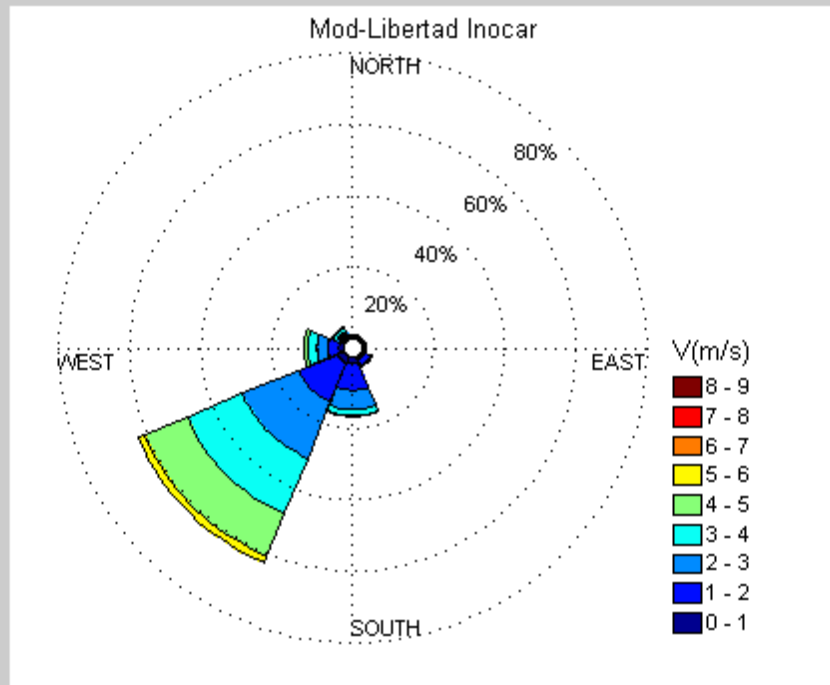
ANEXO 18

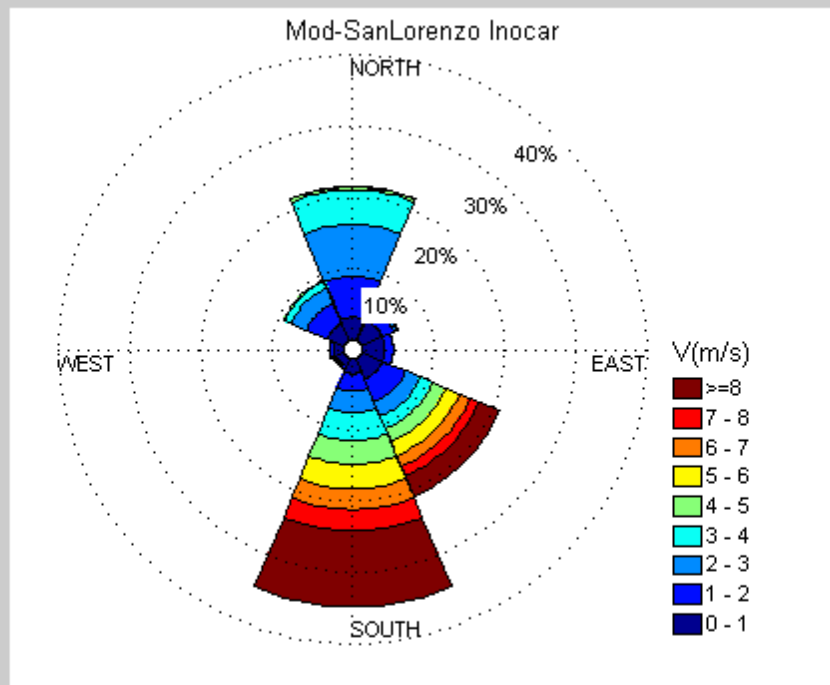
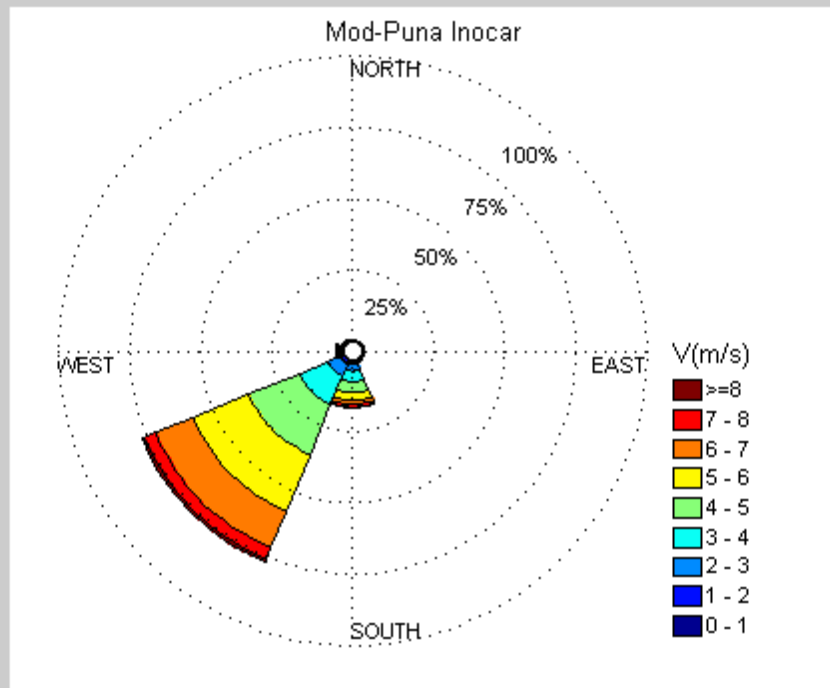


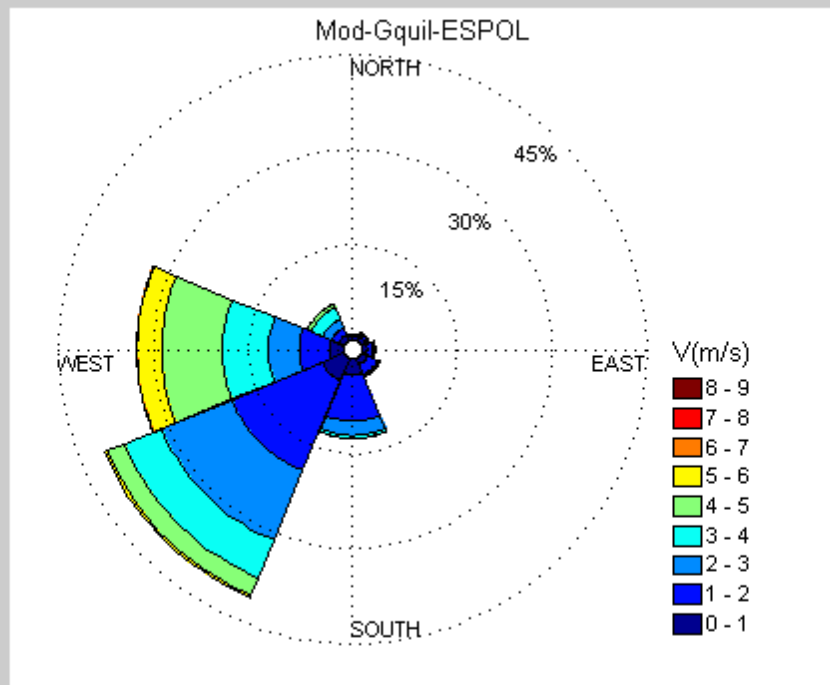
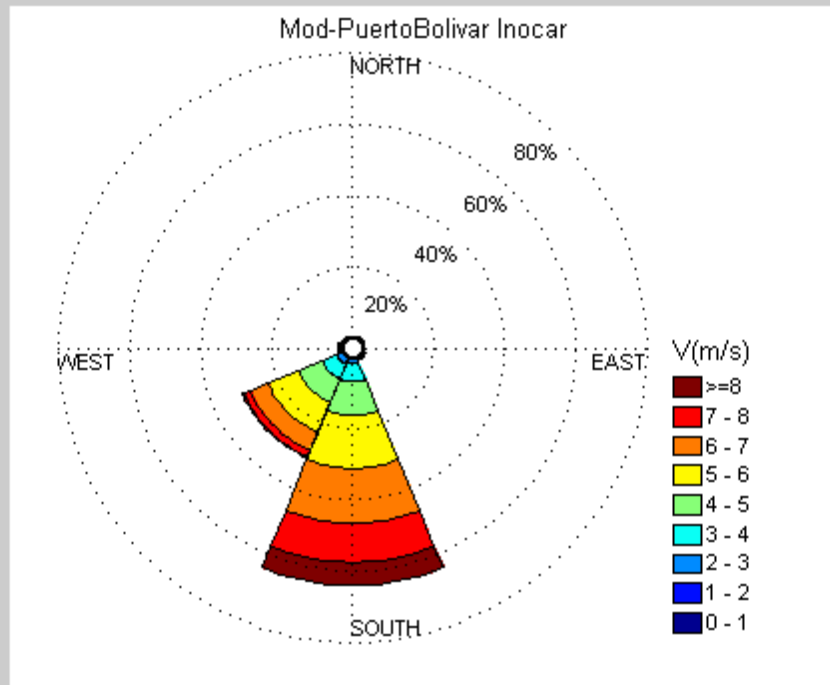


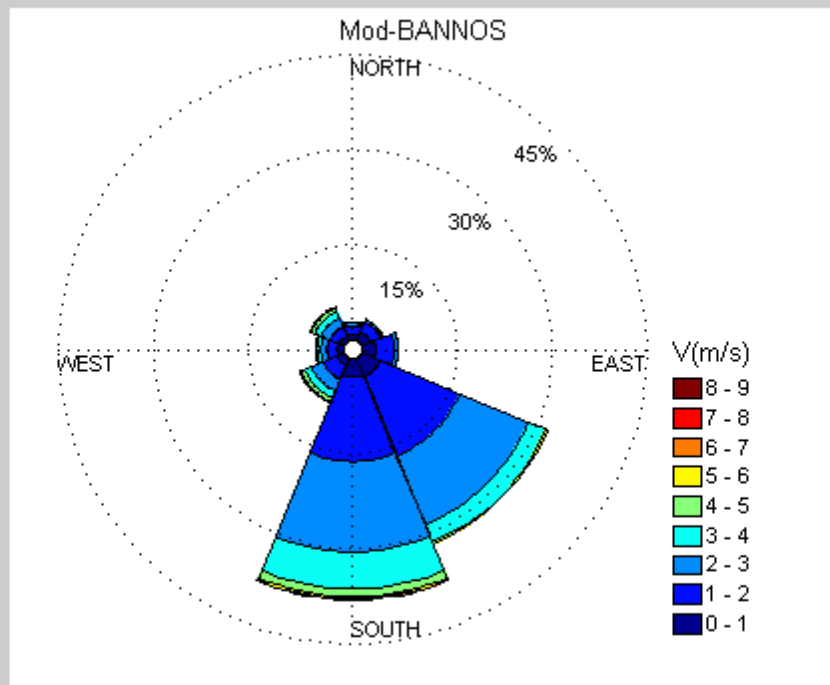
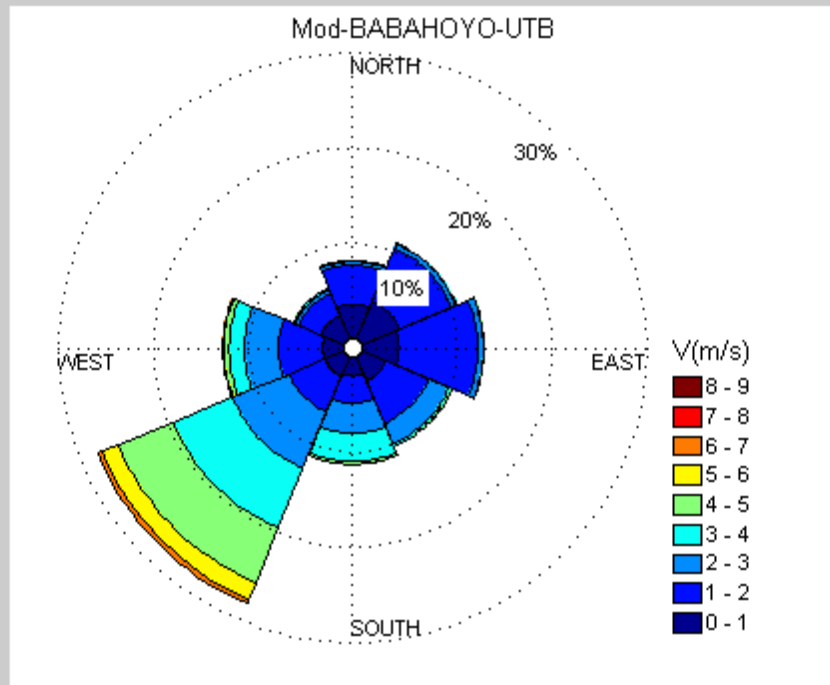


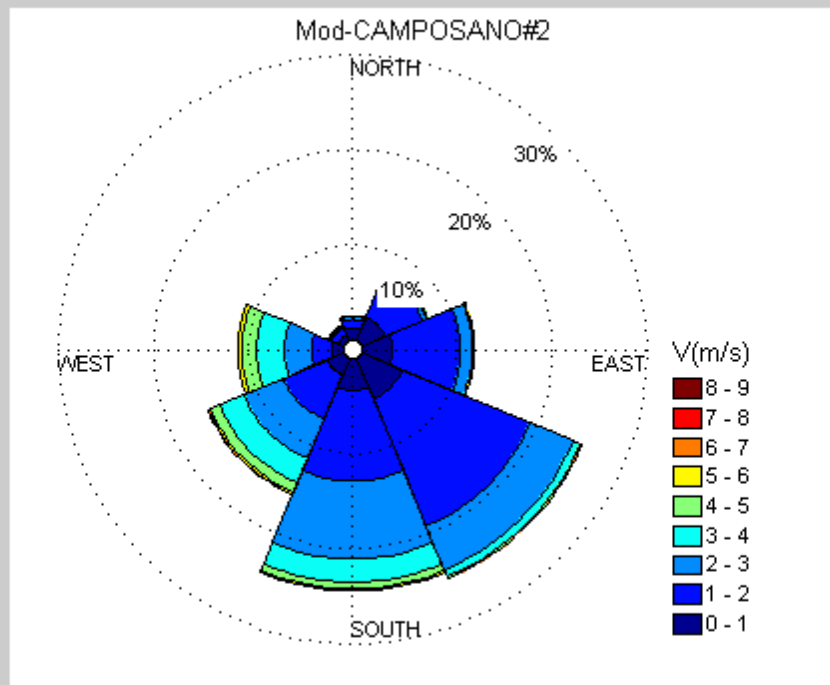
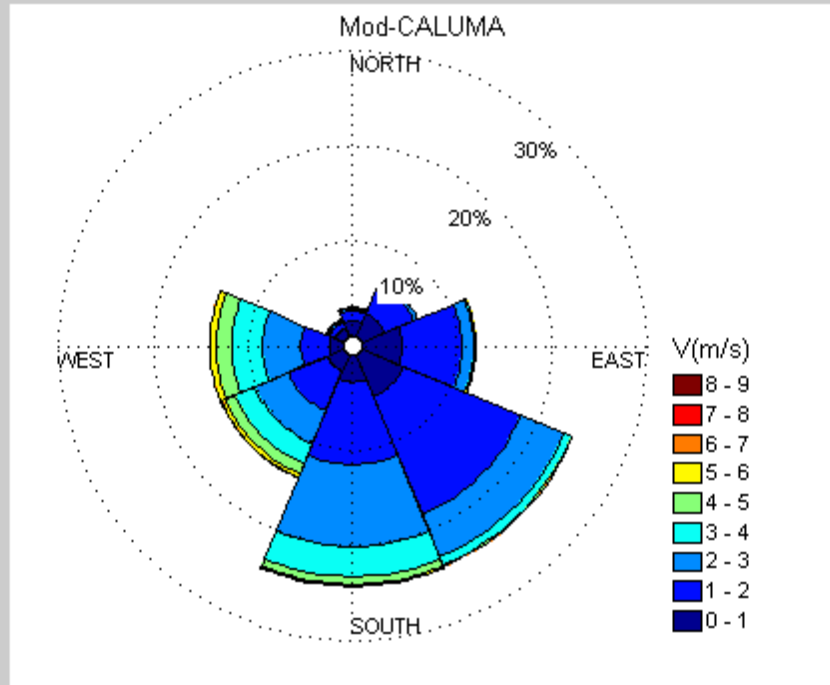


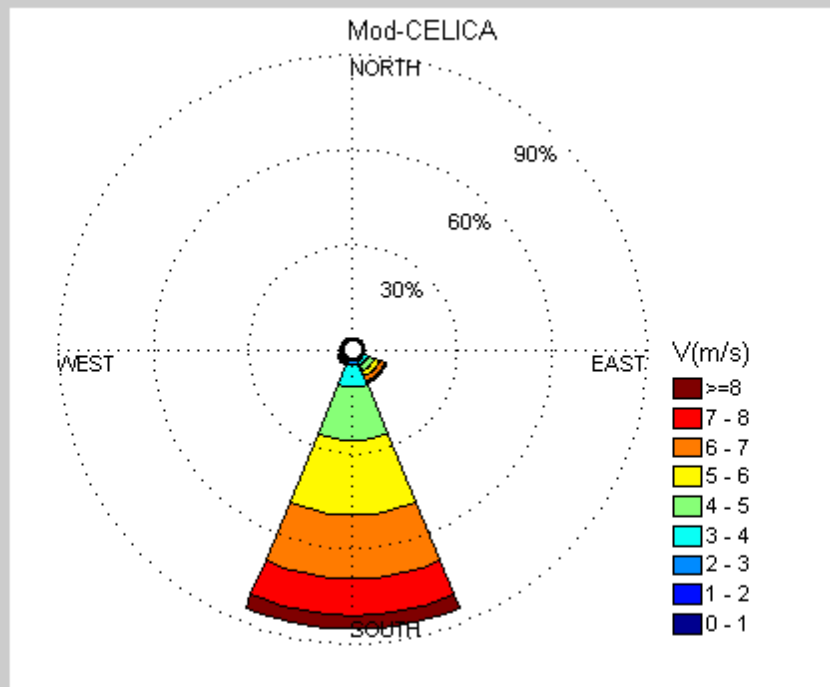
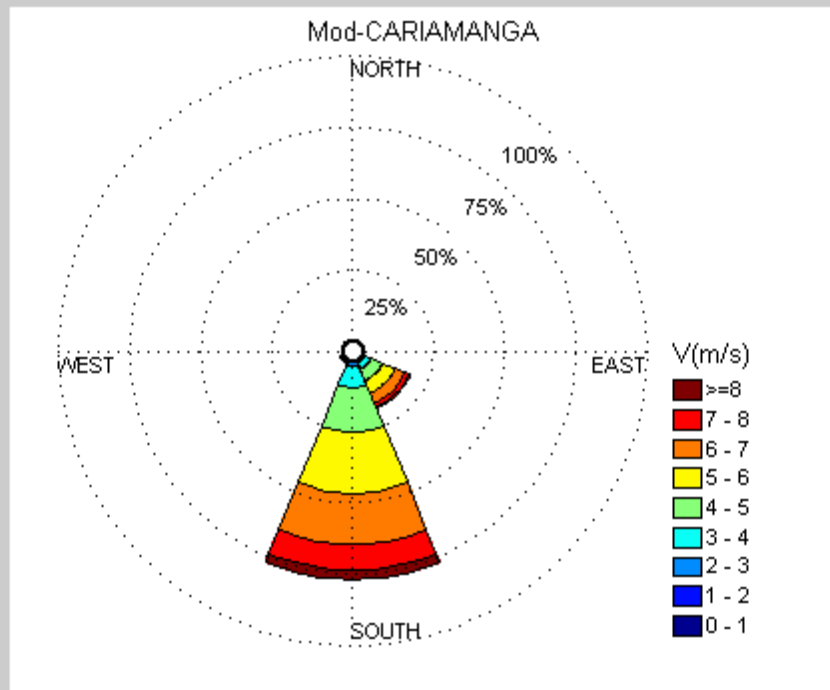


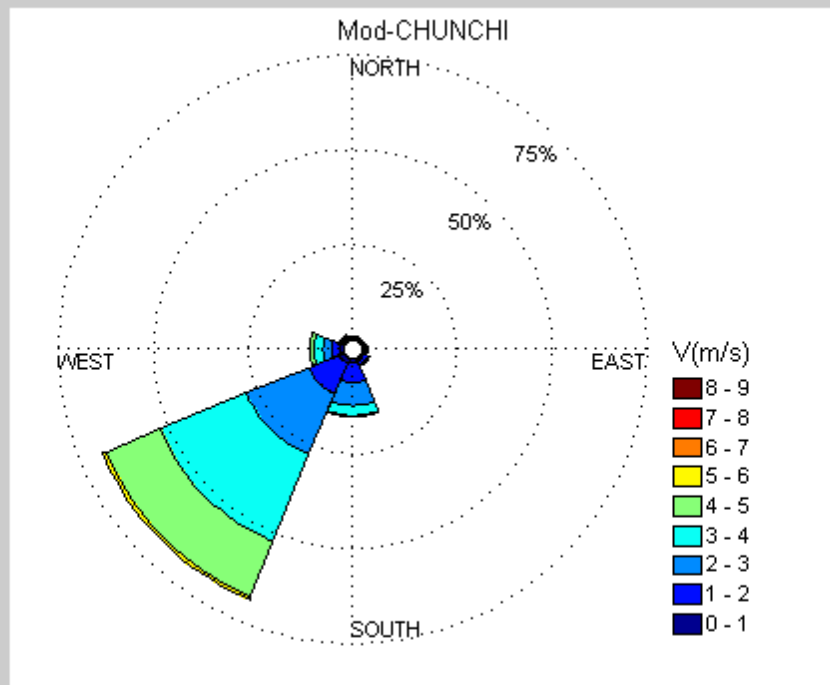
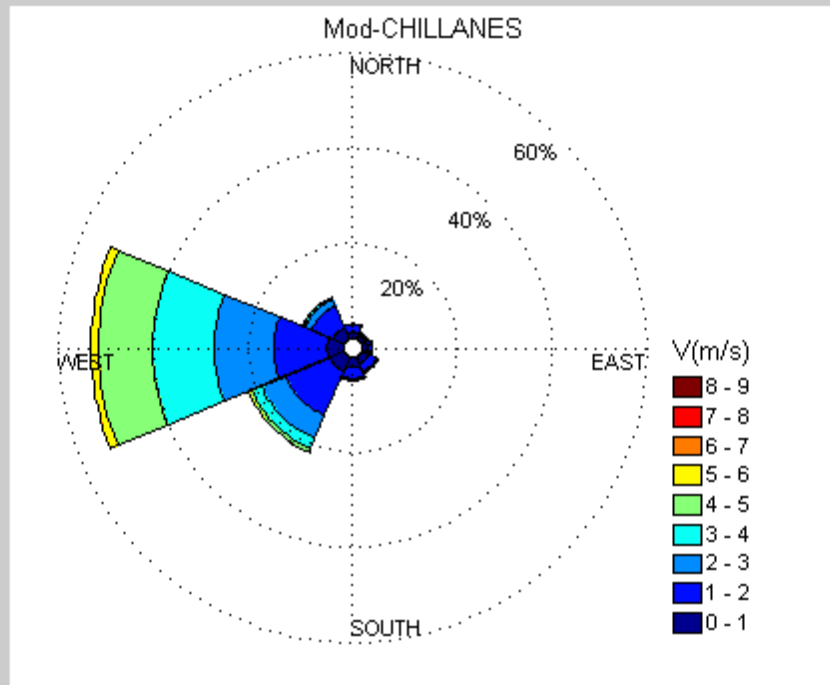


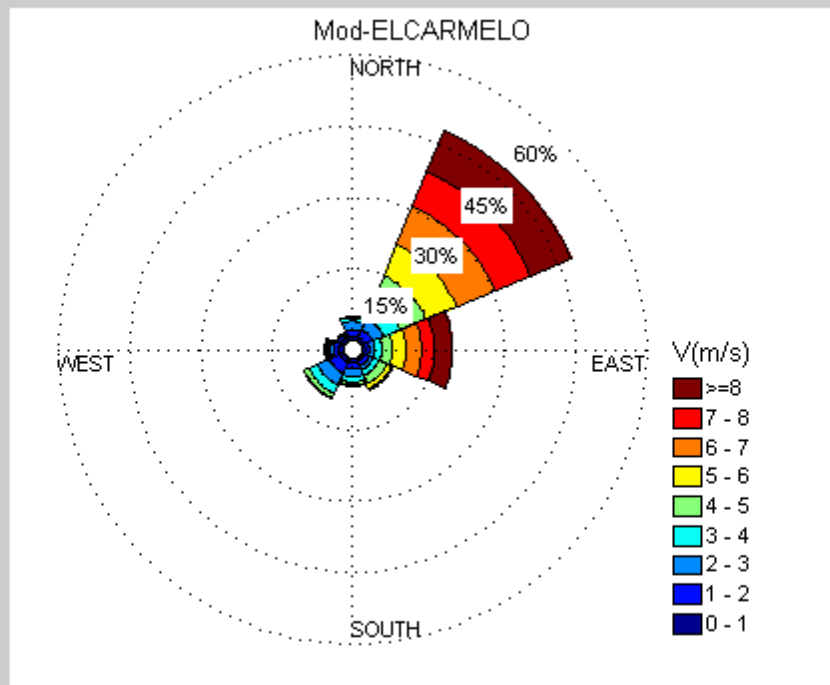
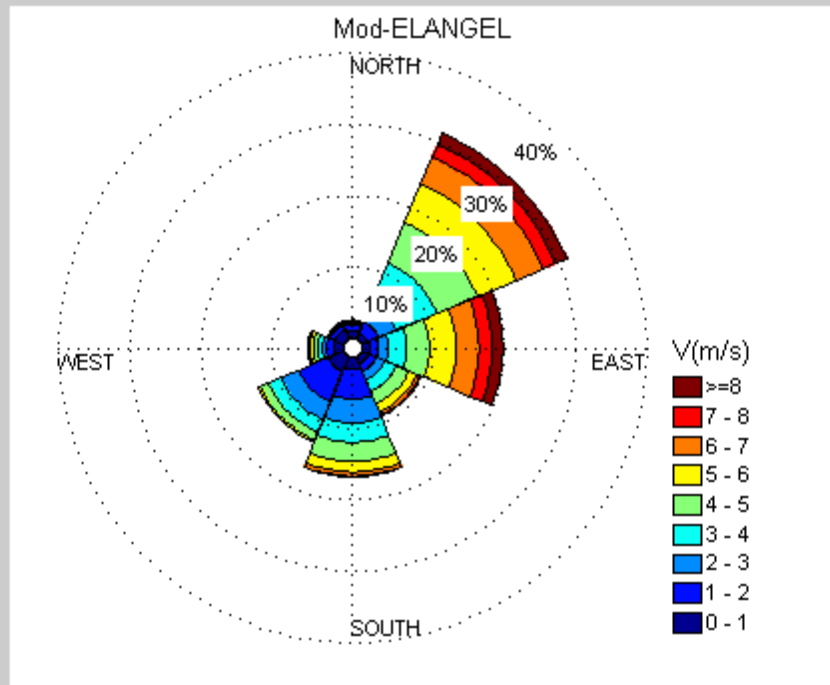


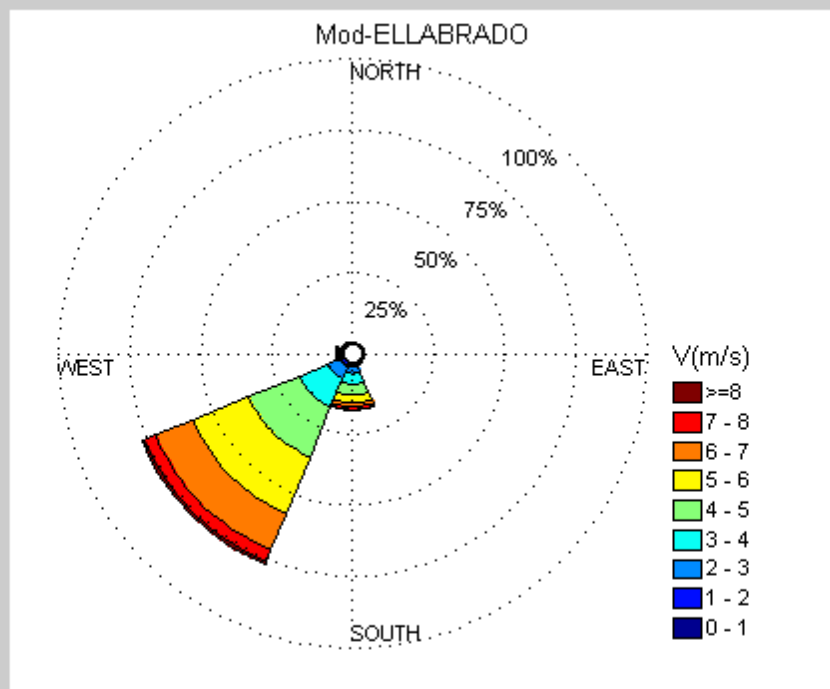
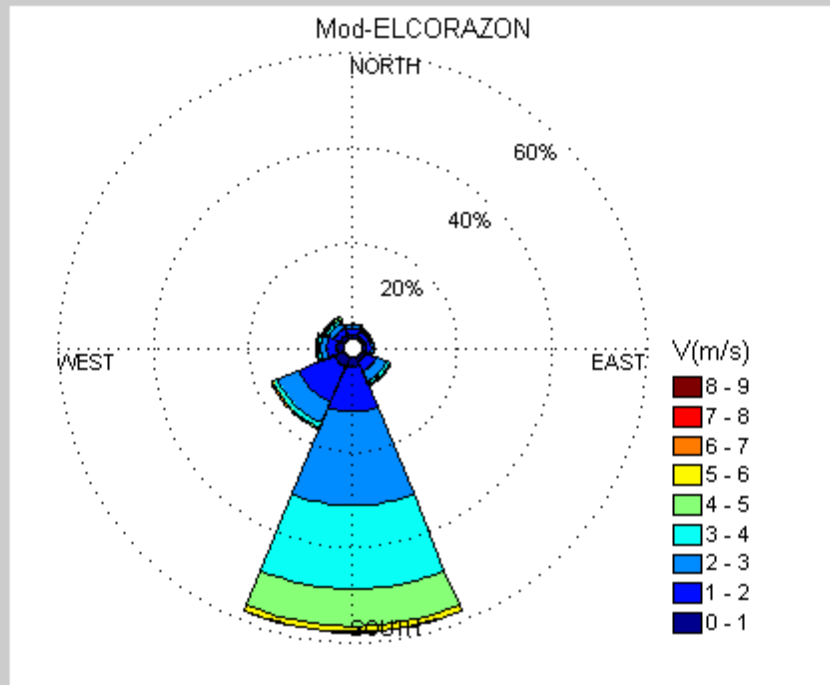


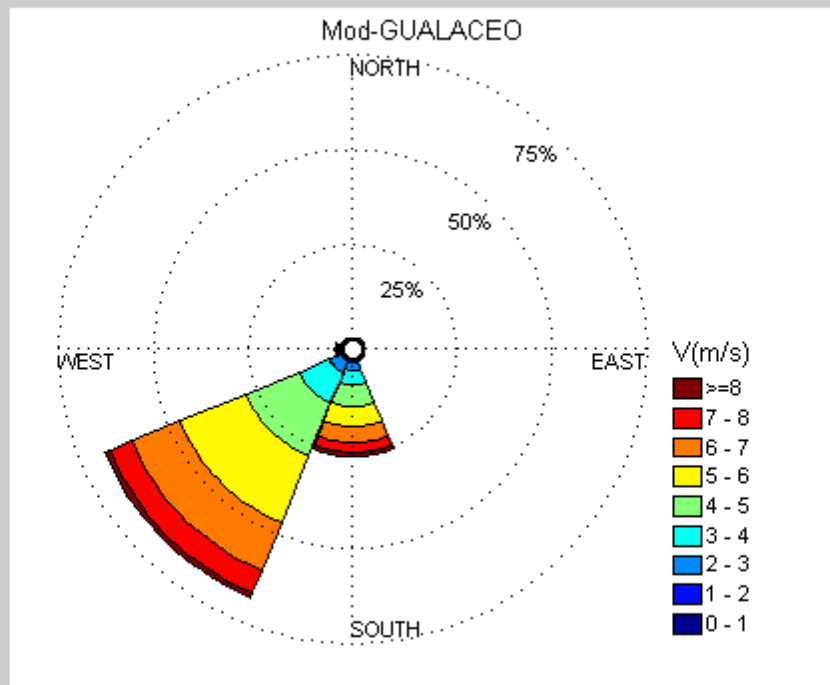
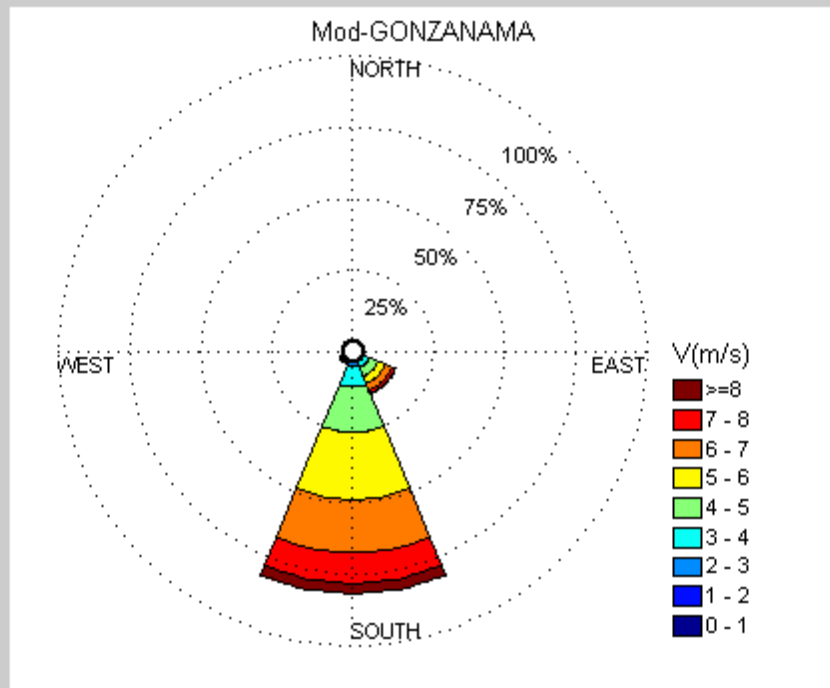


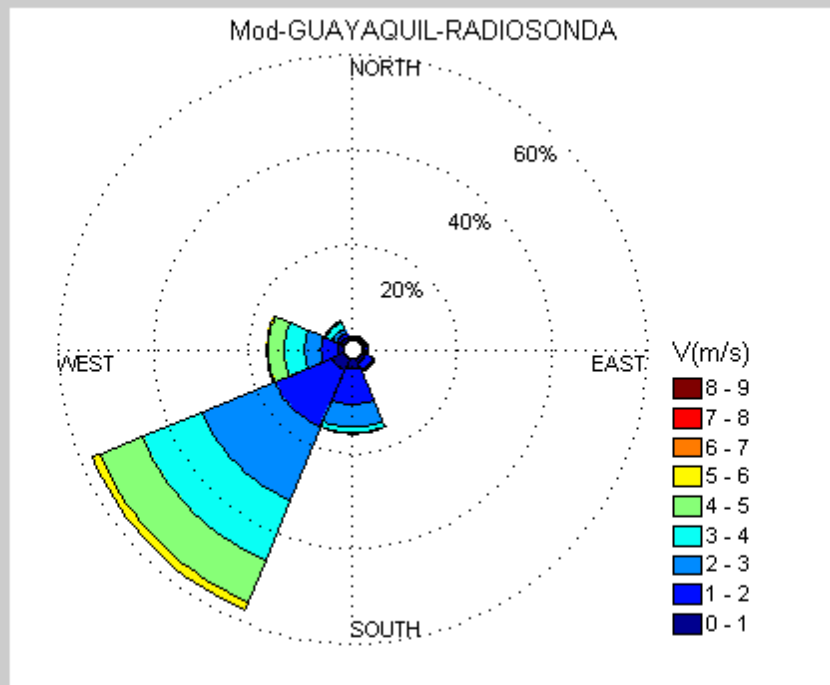
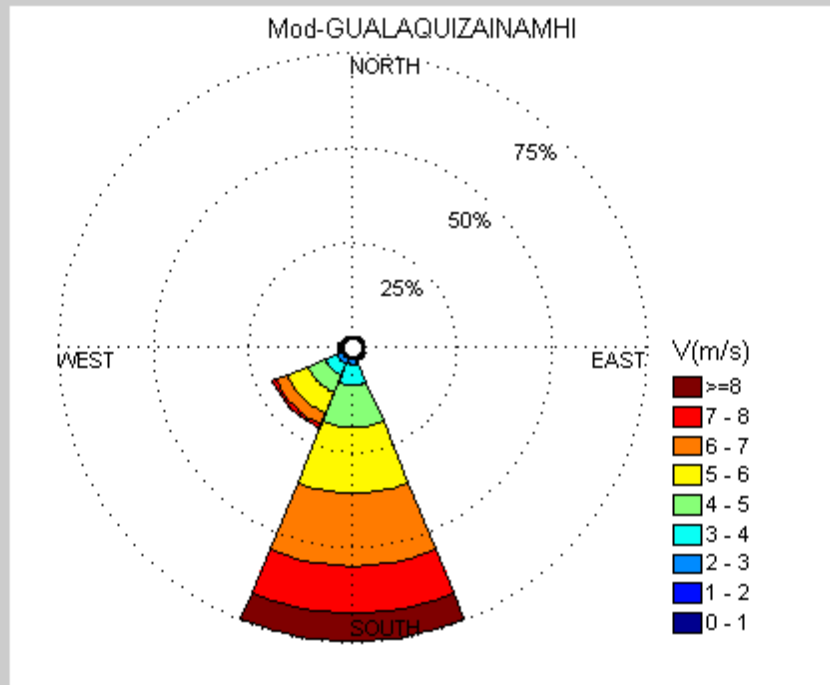


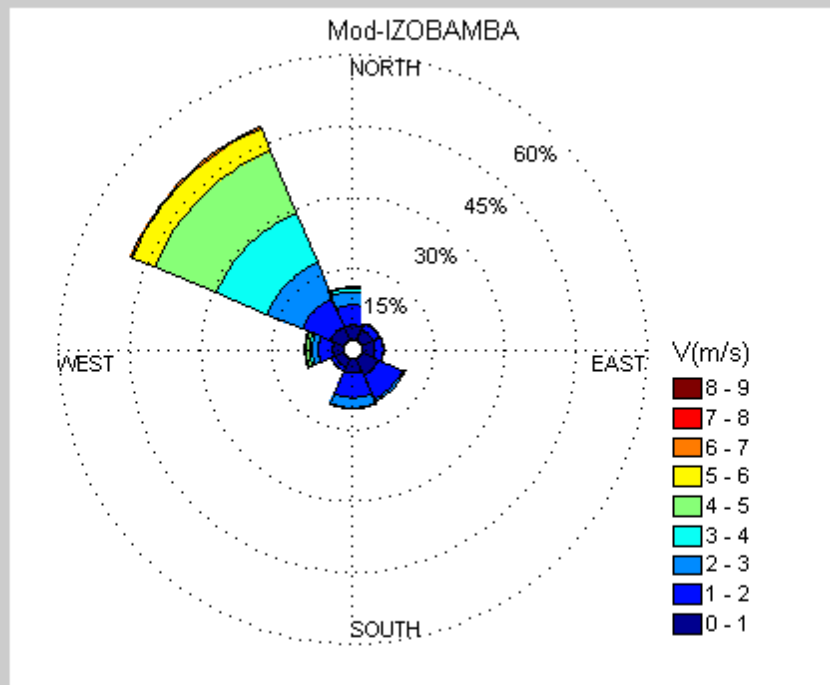
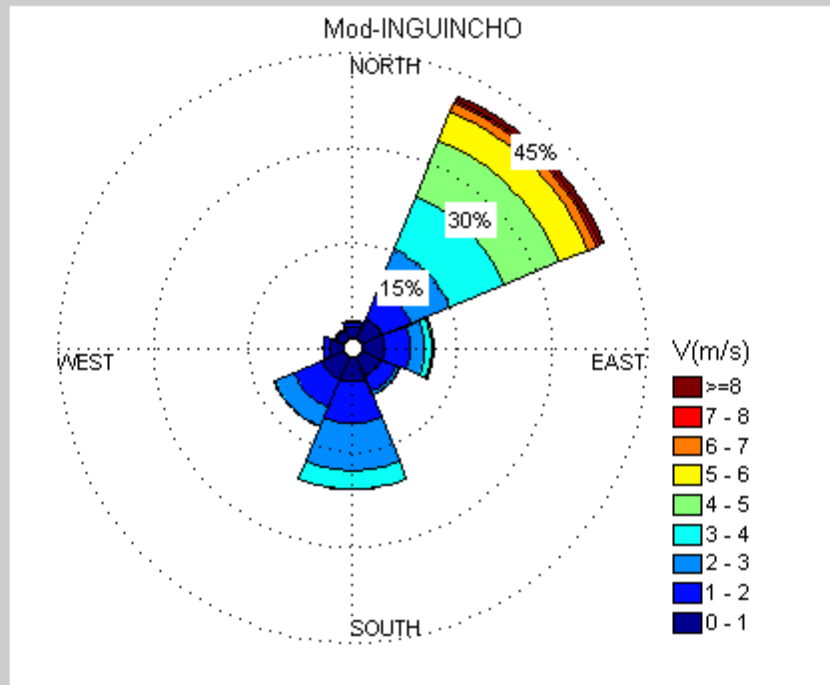


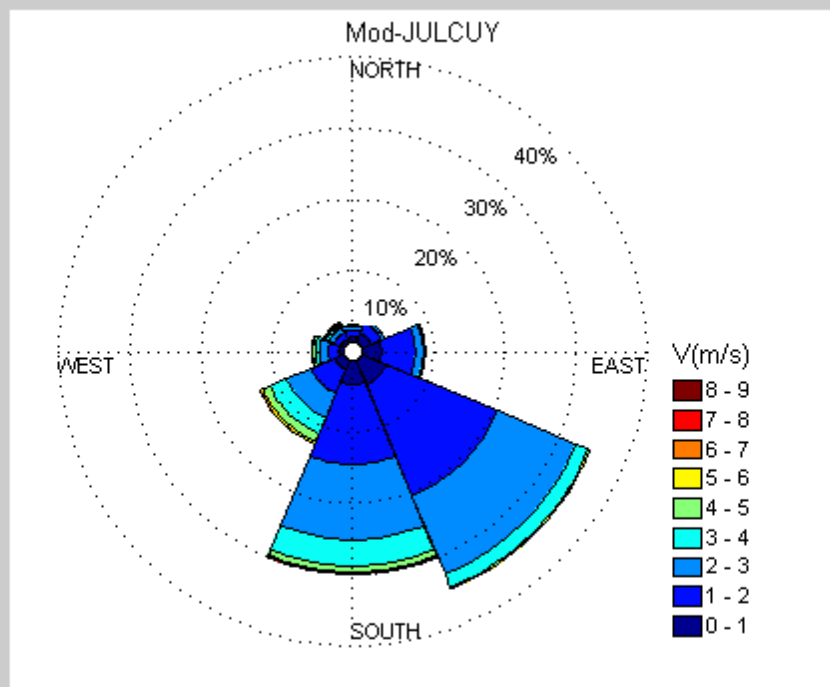
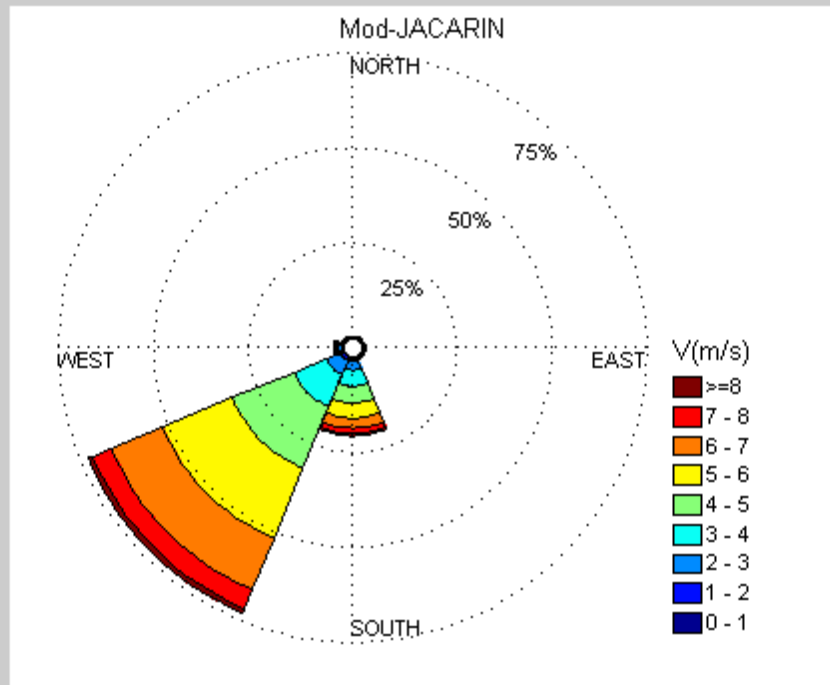


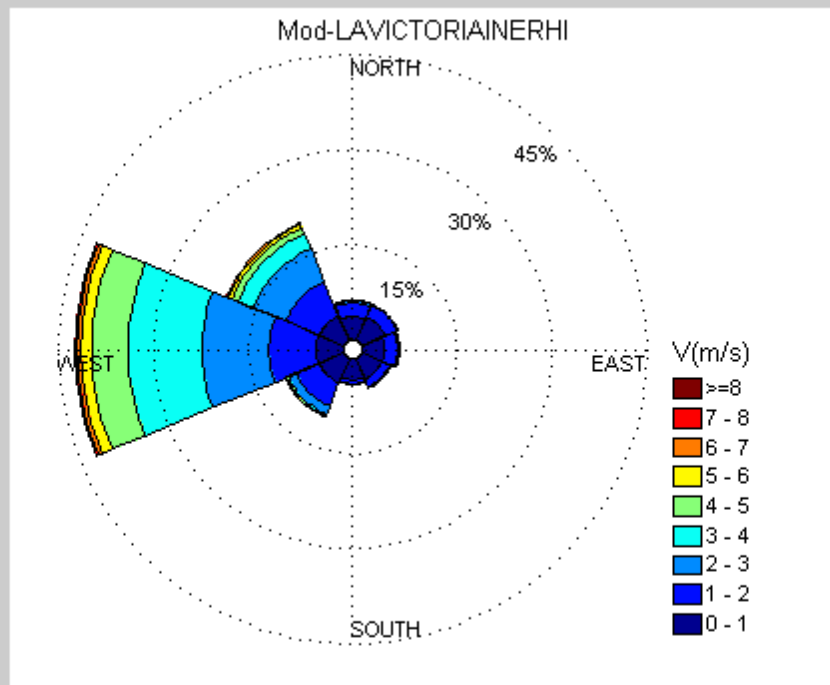
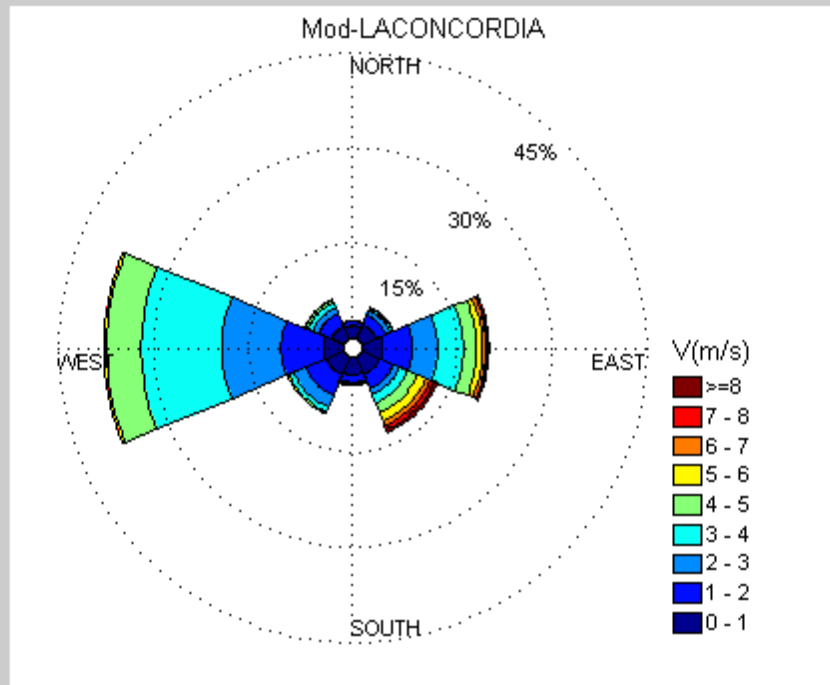


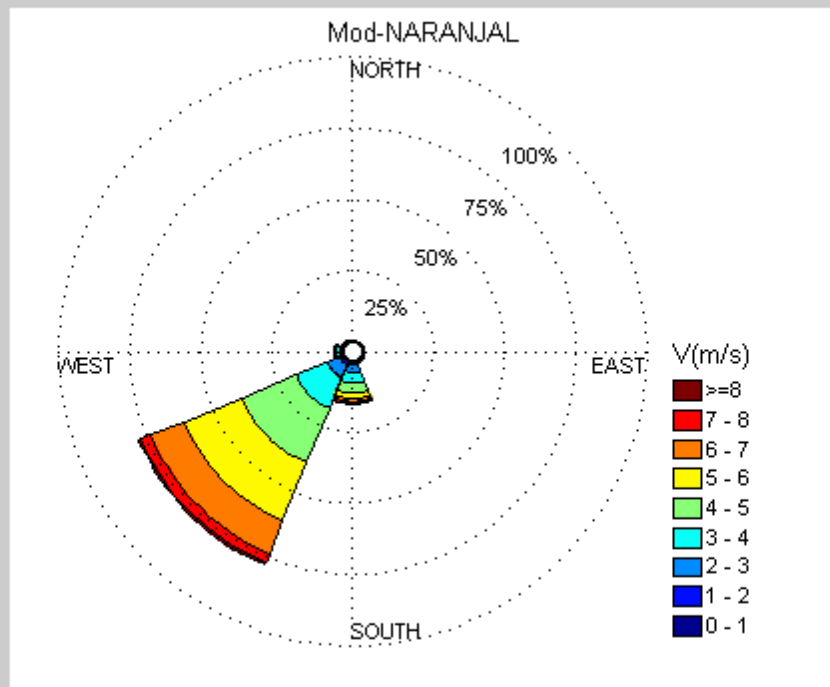
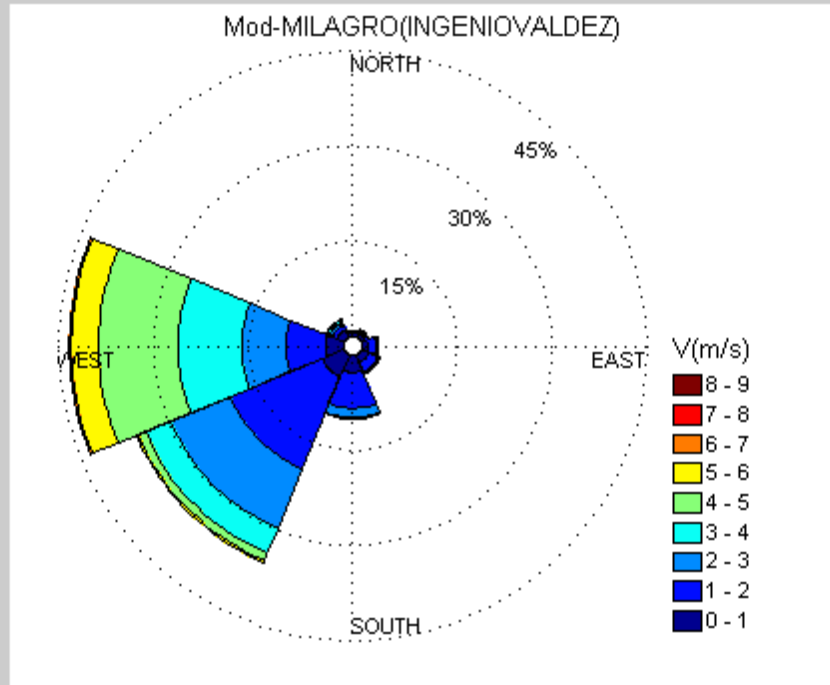


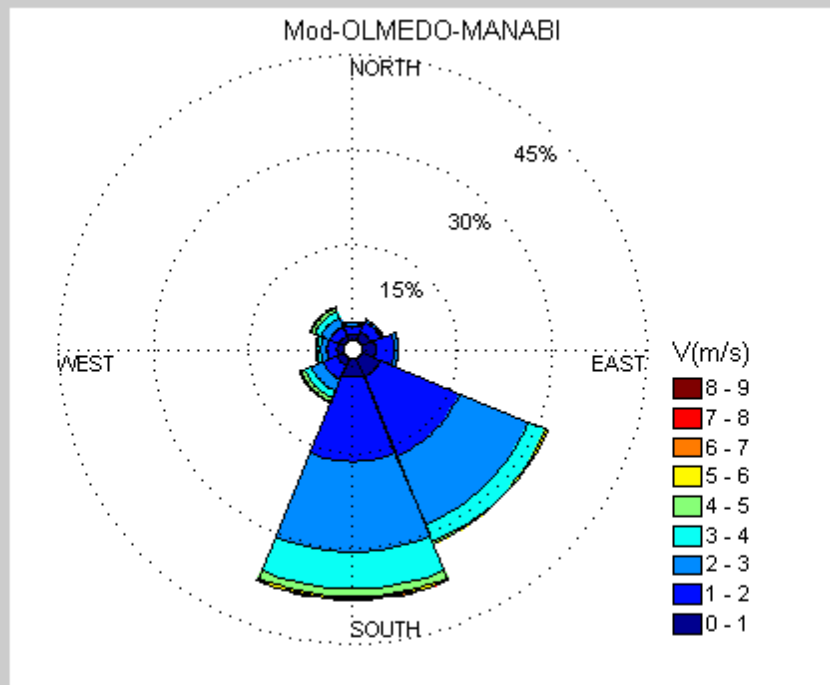
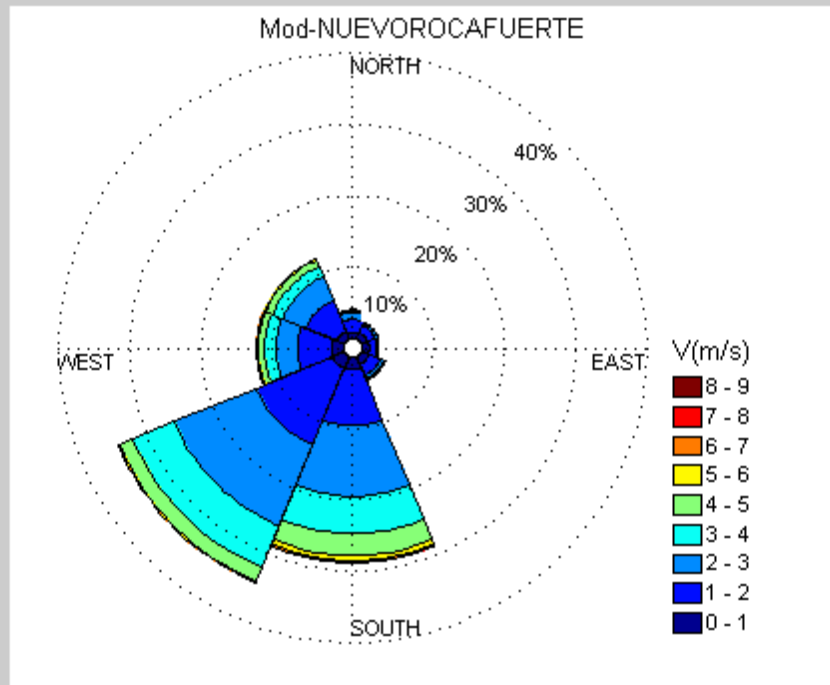


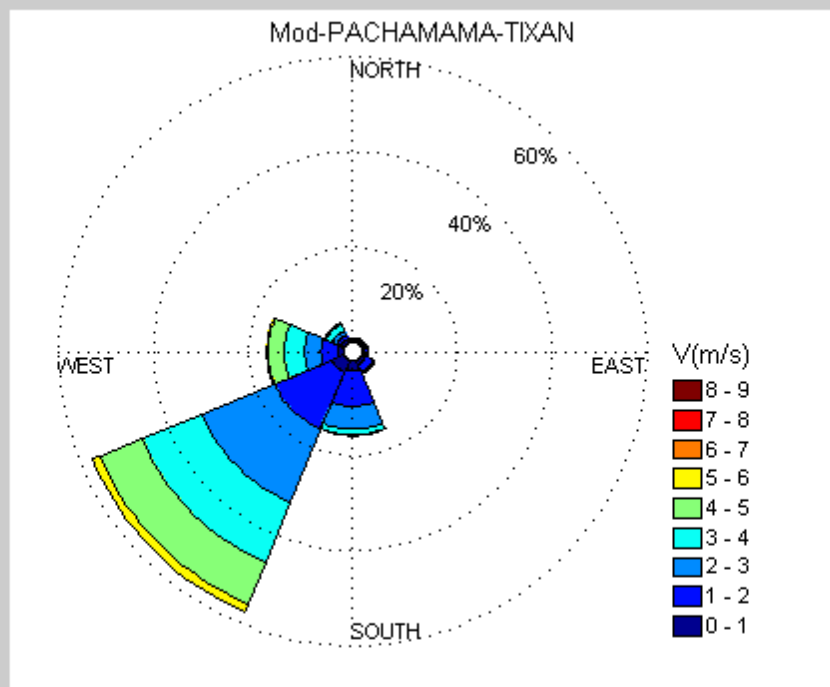
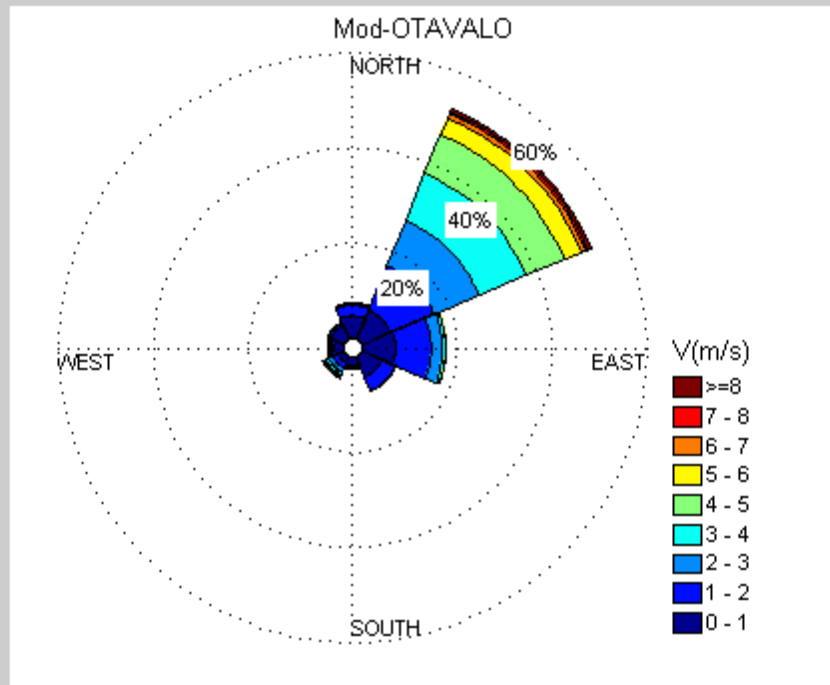


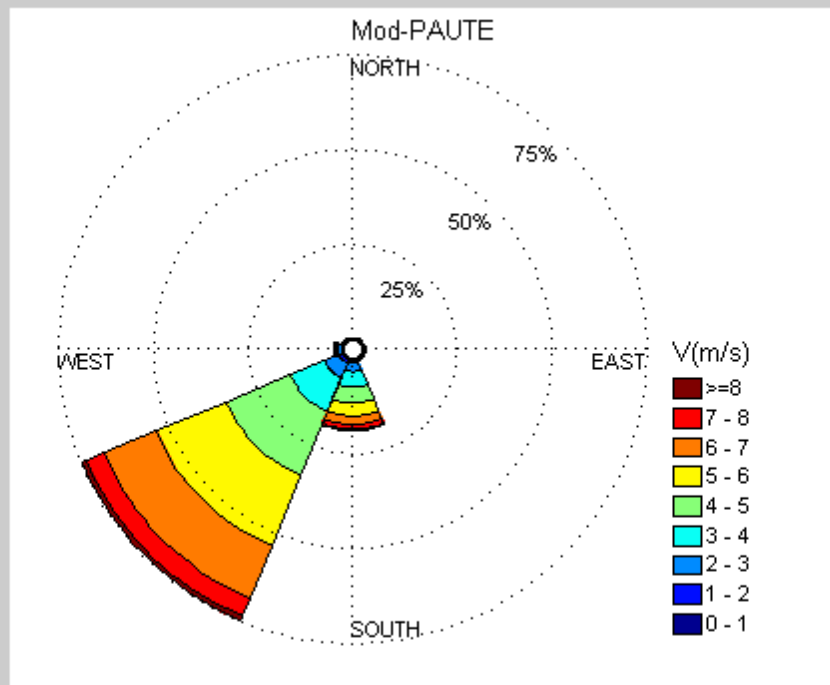
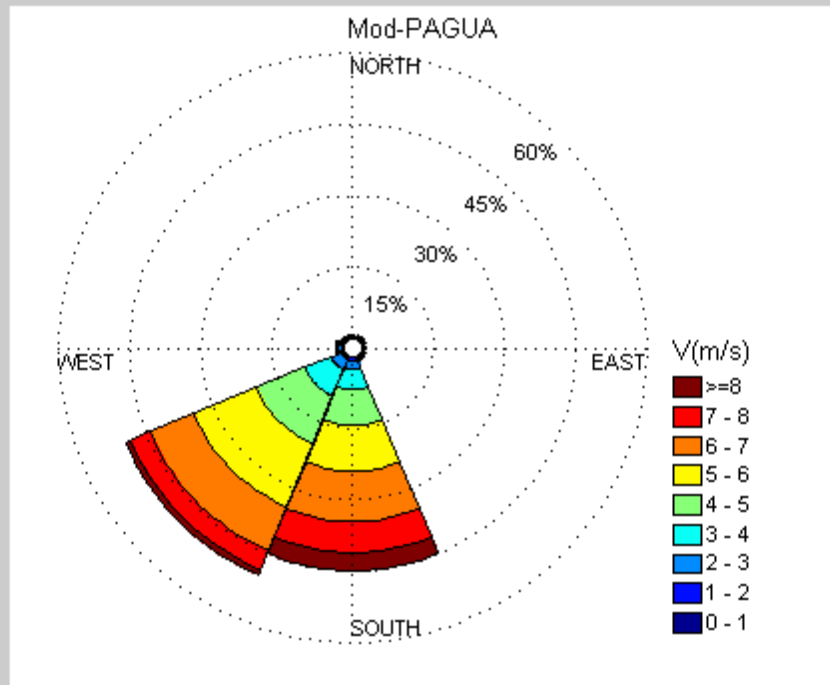


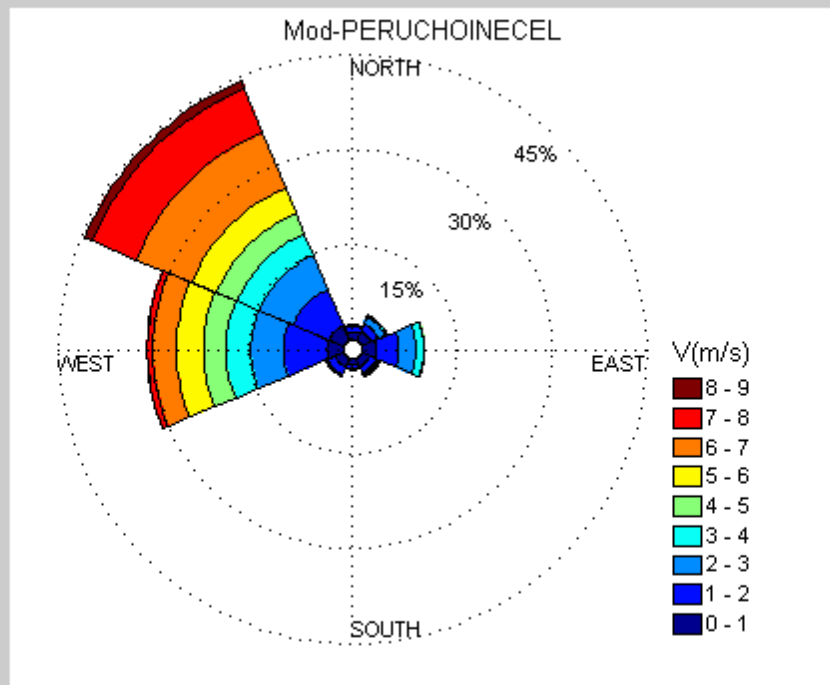
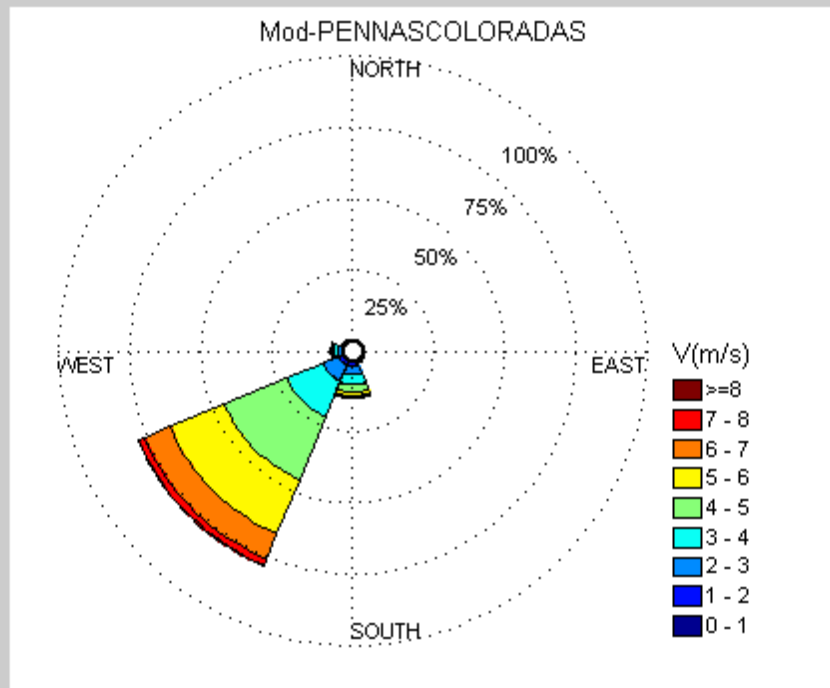


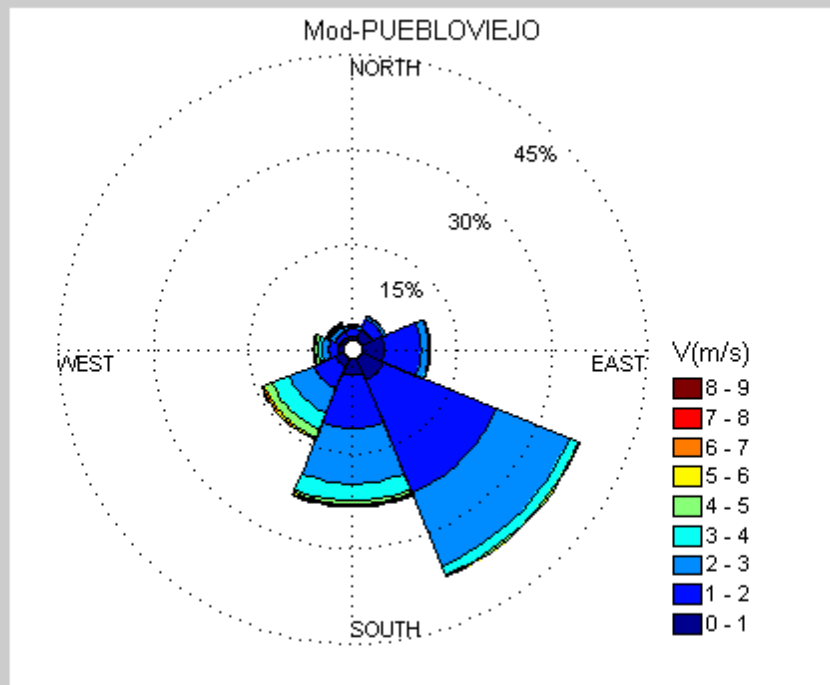
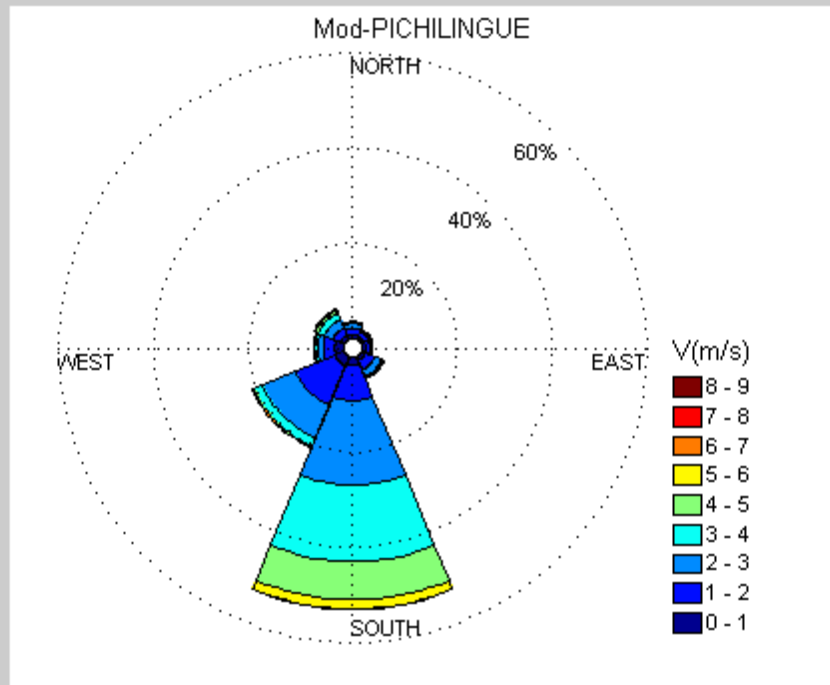


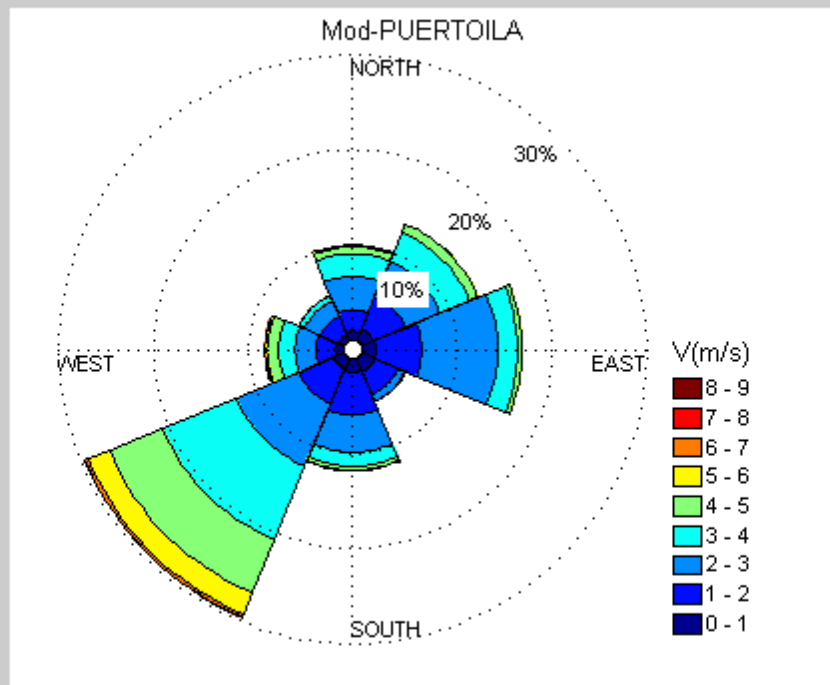
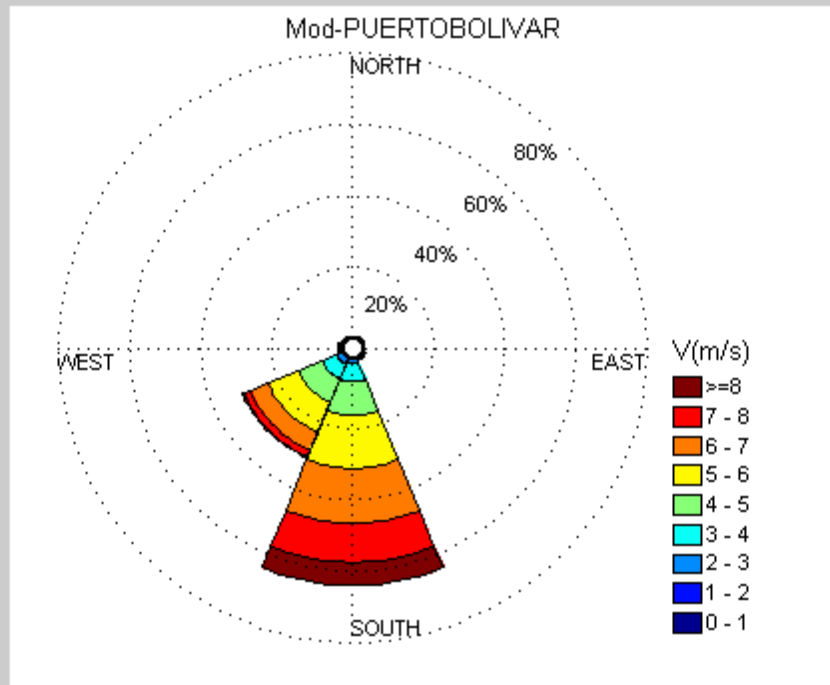




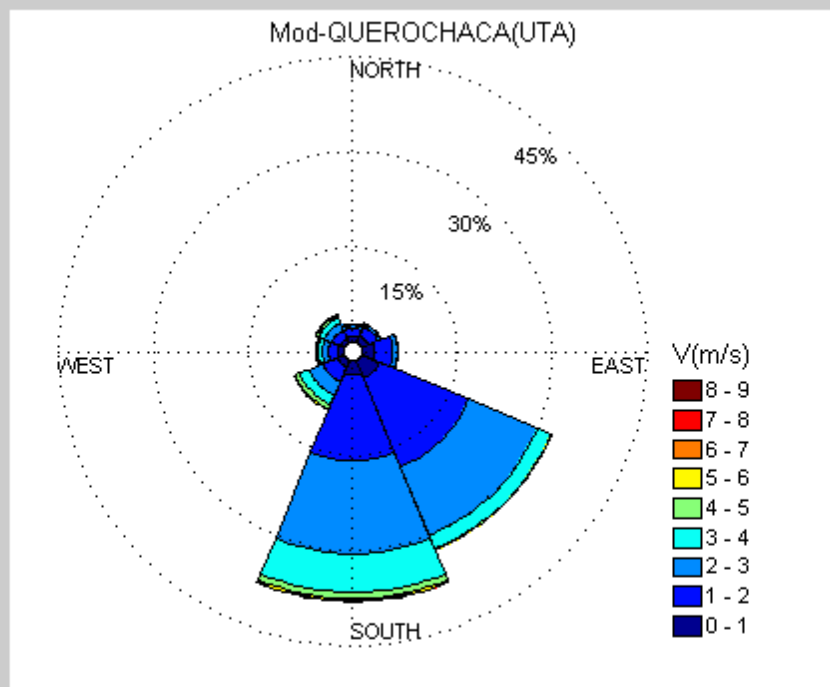
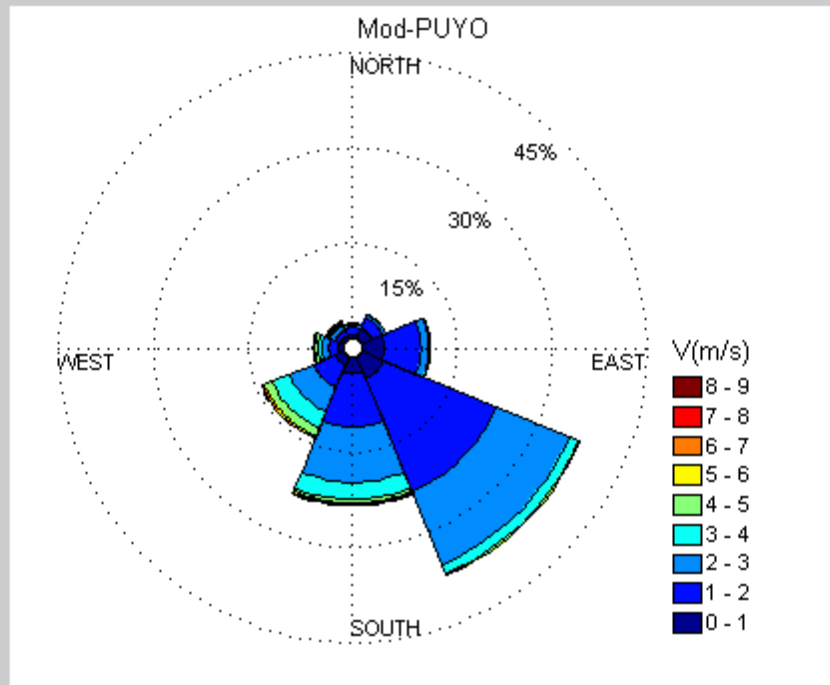


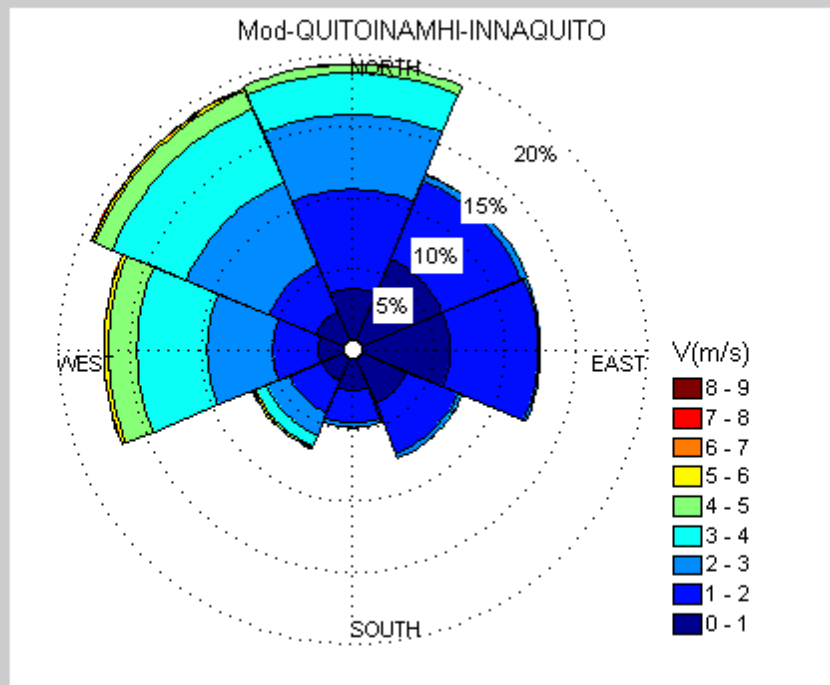
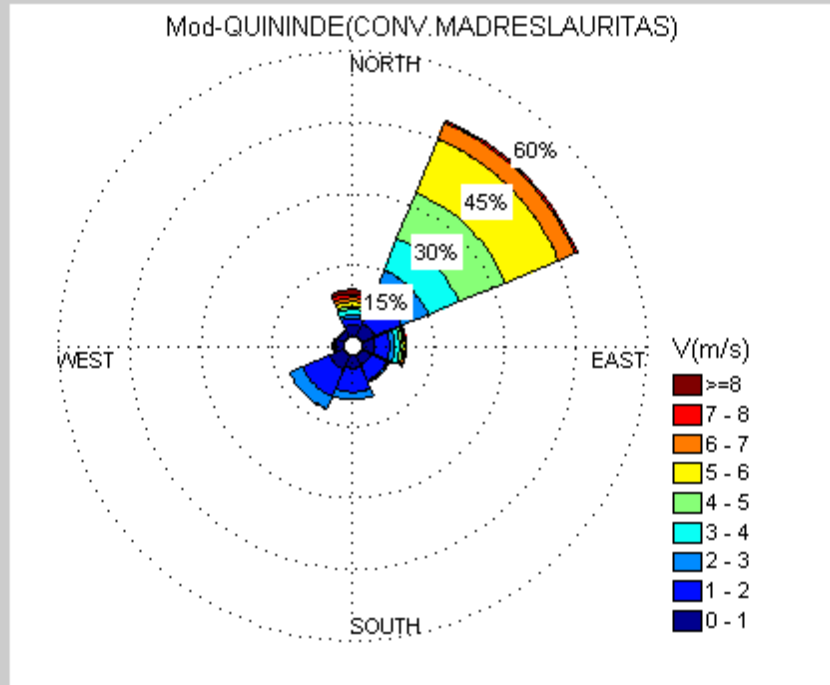


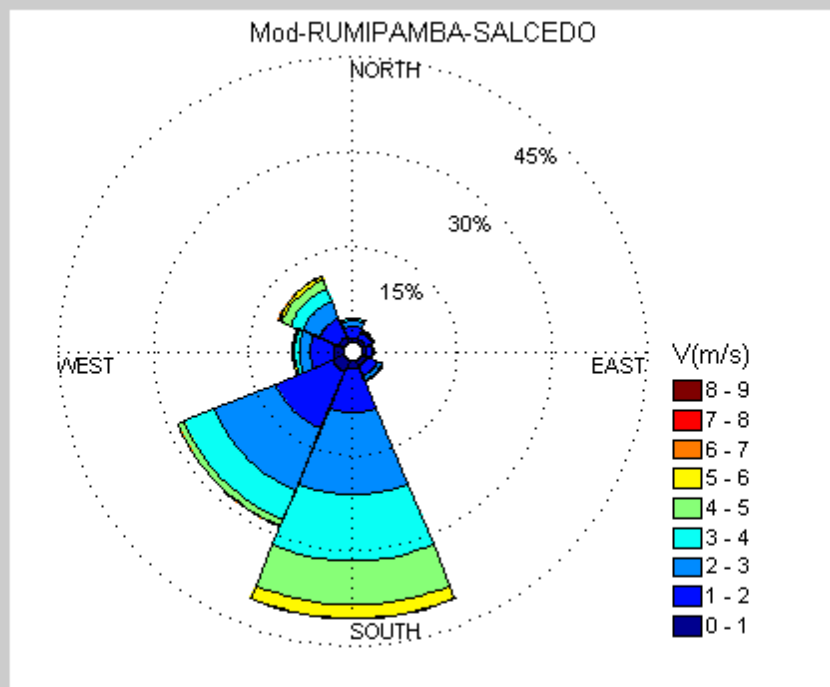
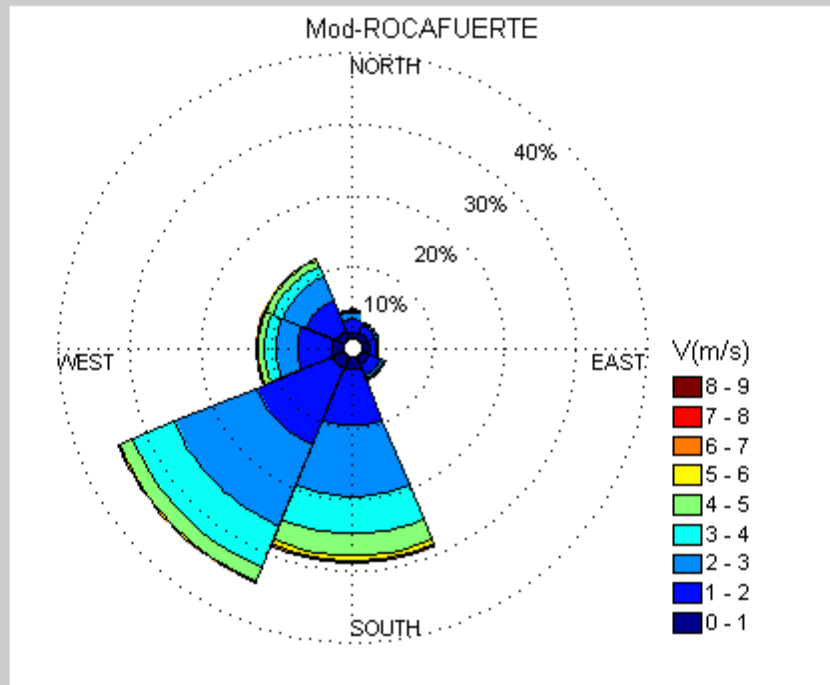


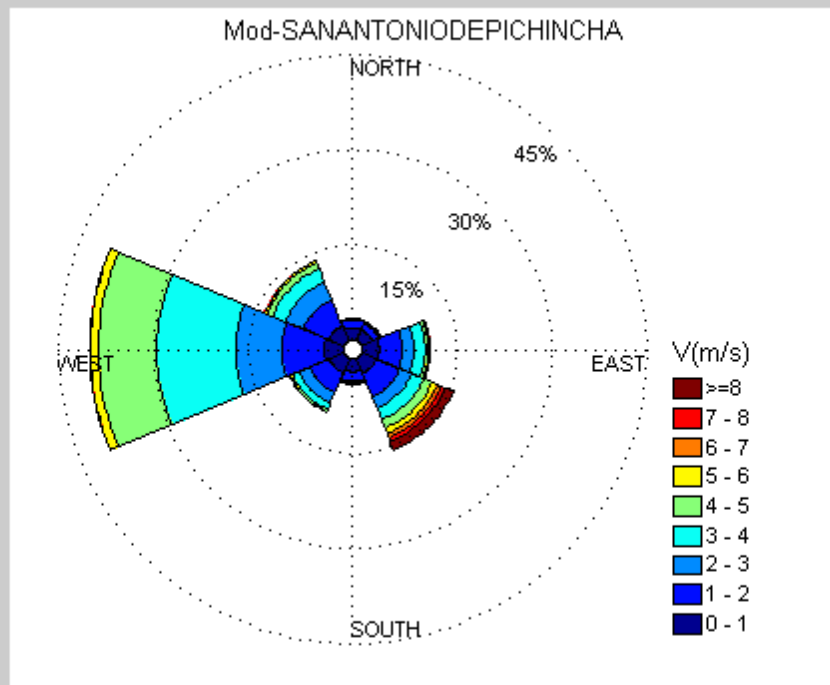
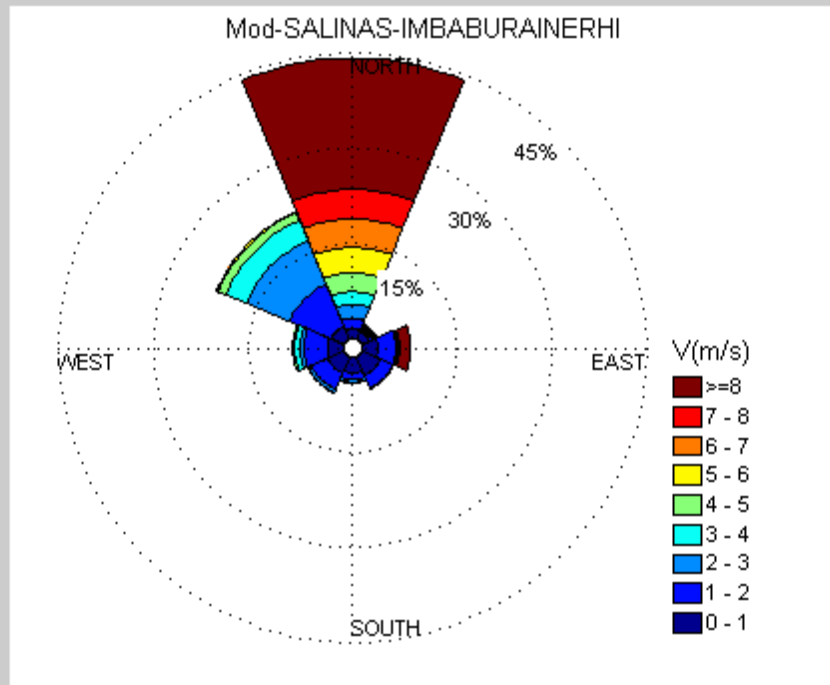


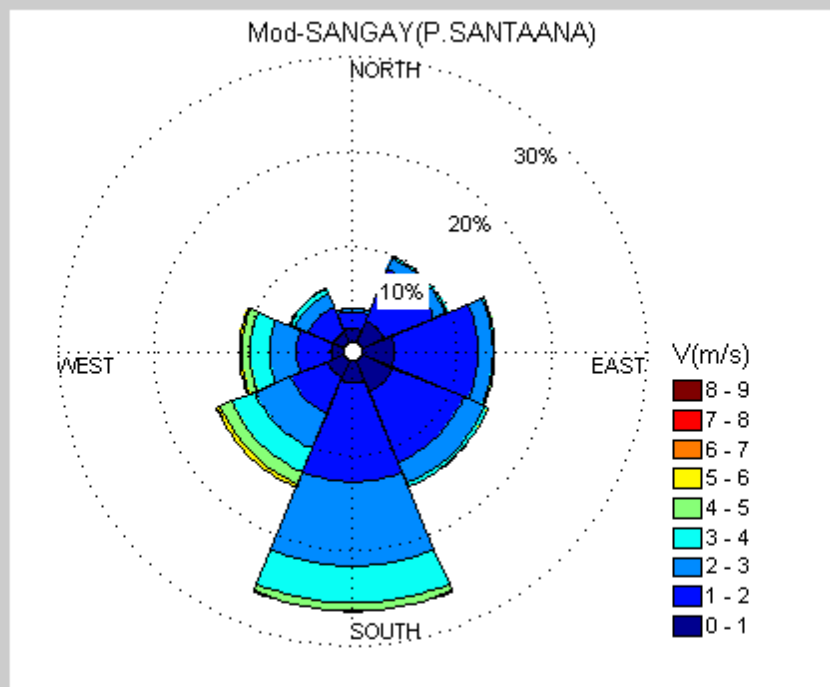
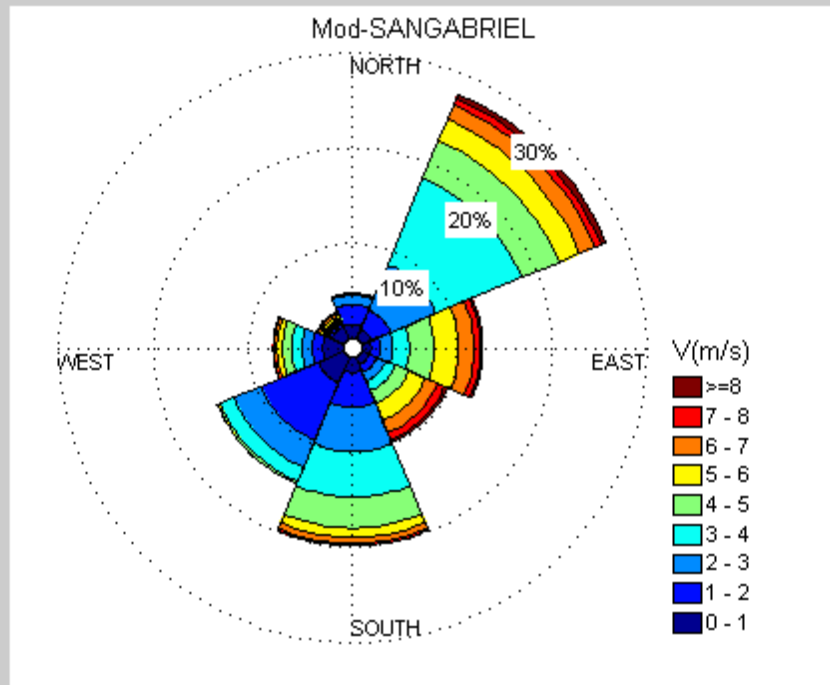
ANEXO 18

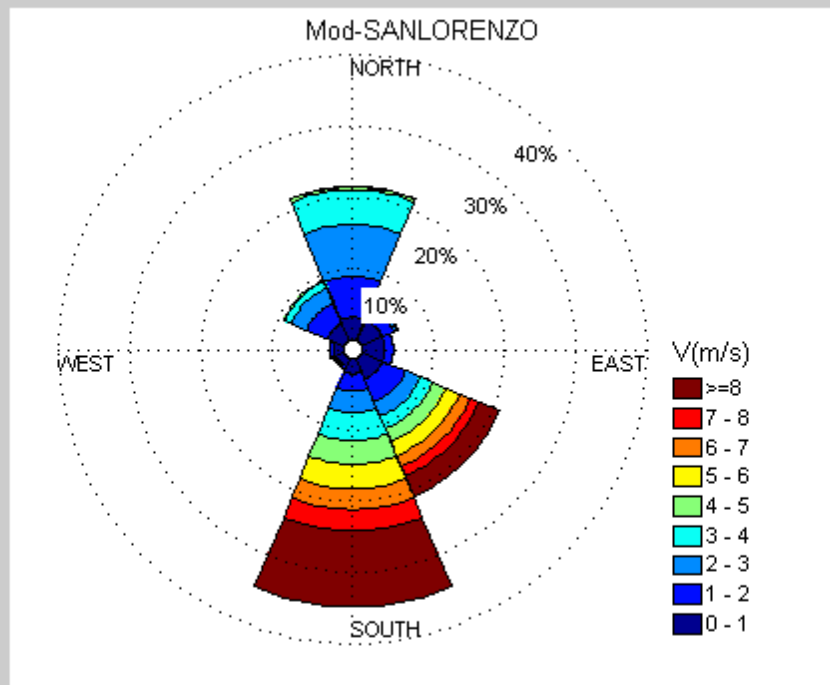
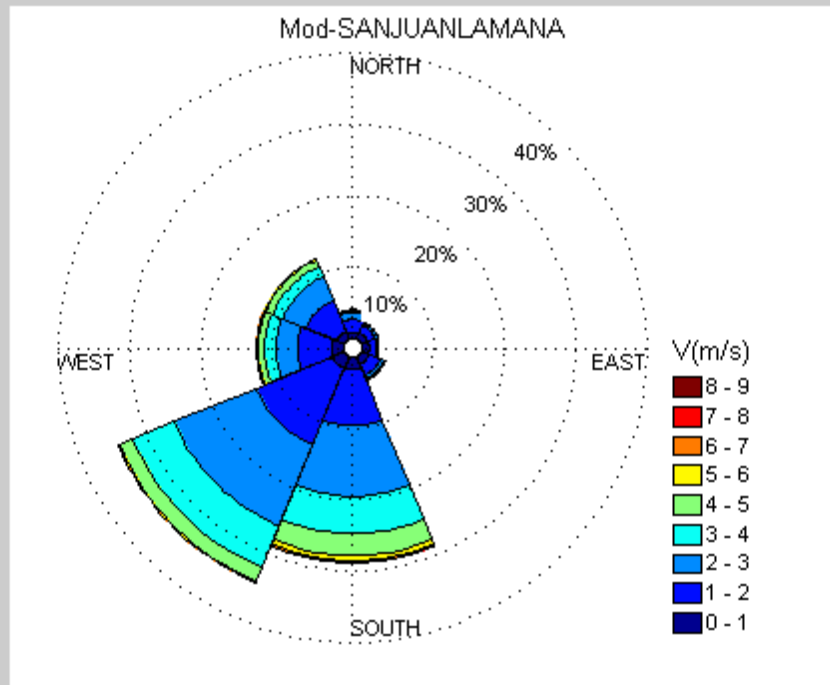


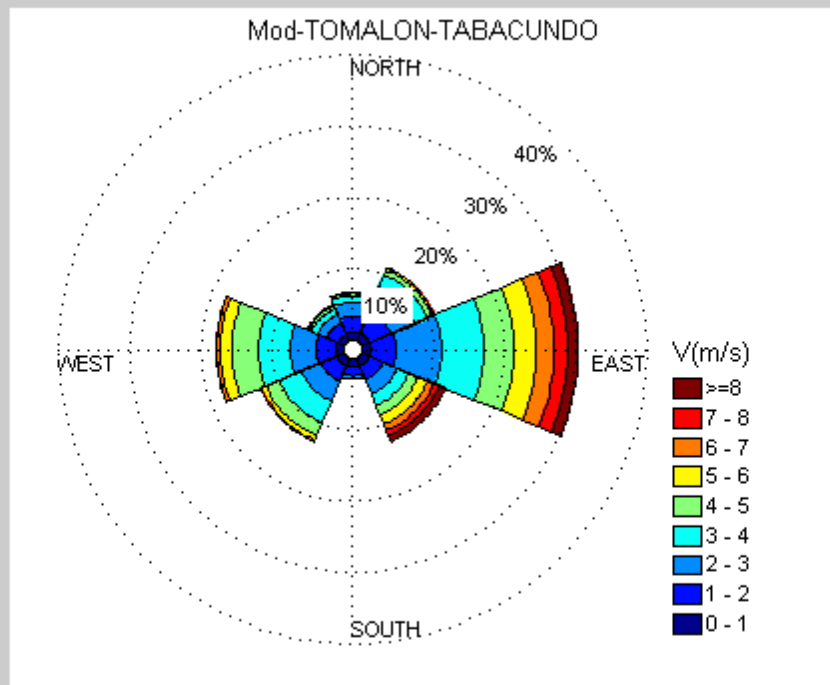
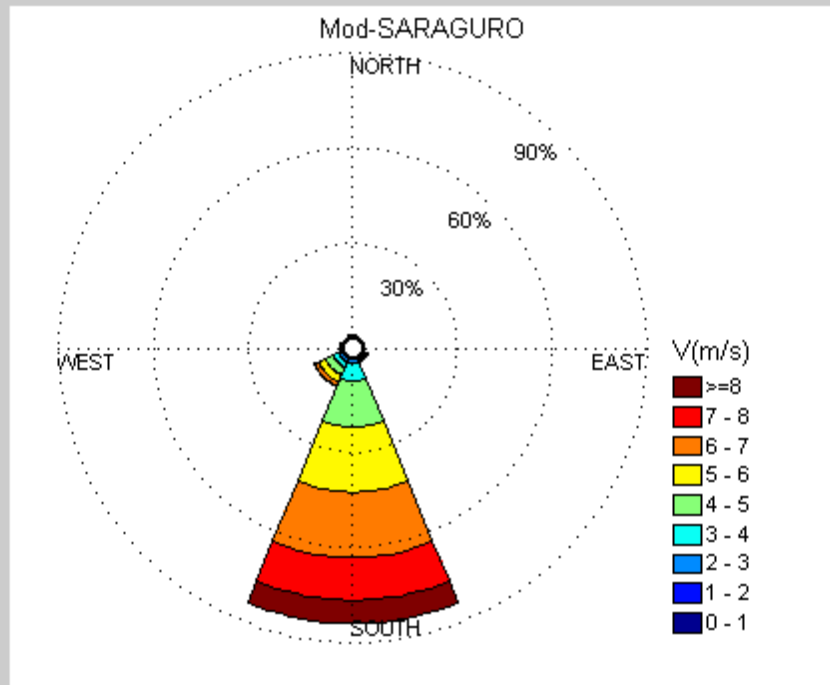




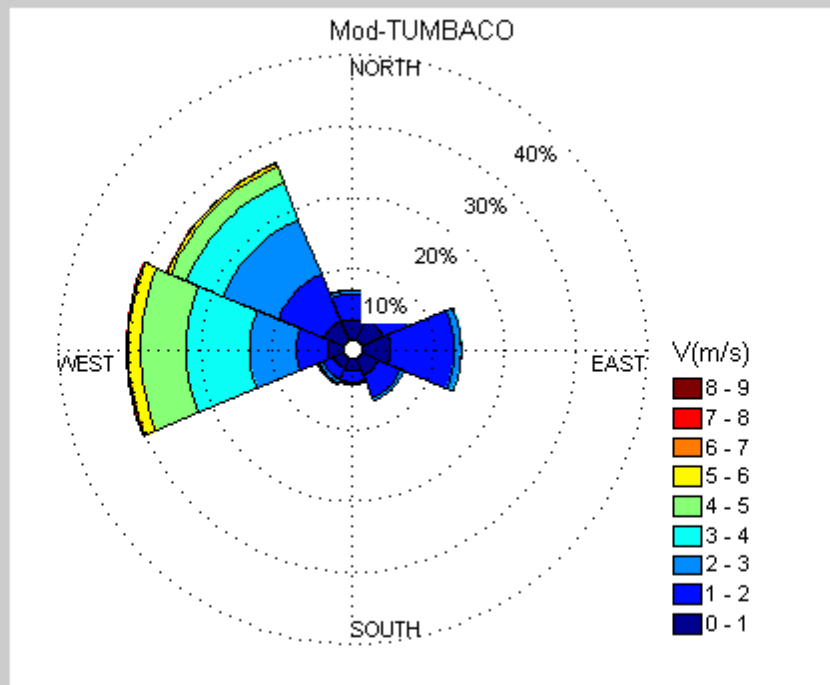
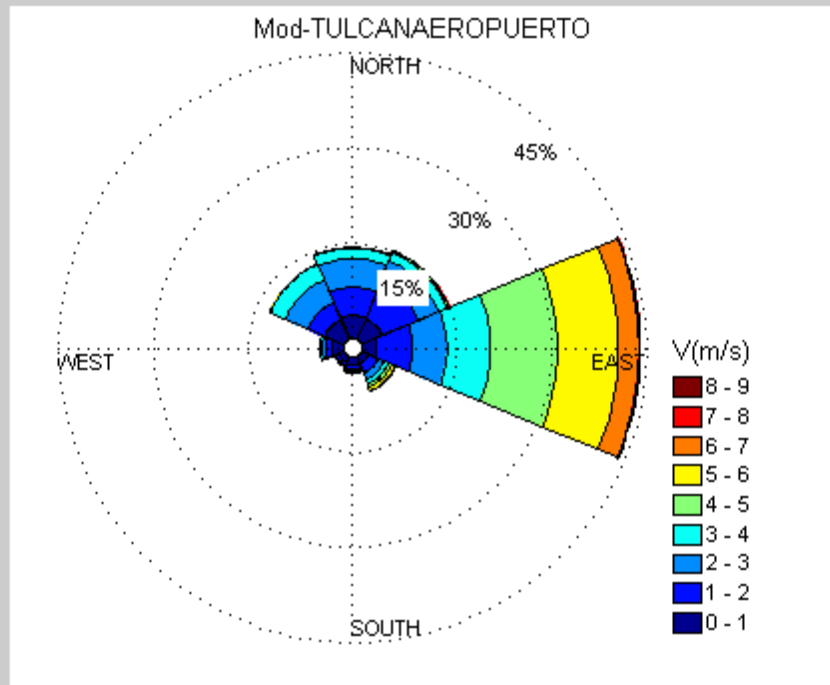


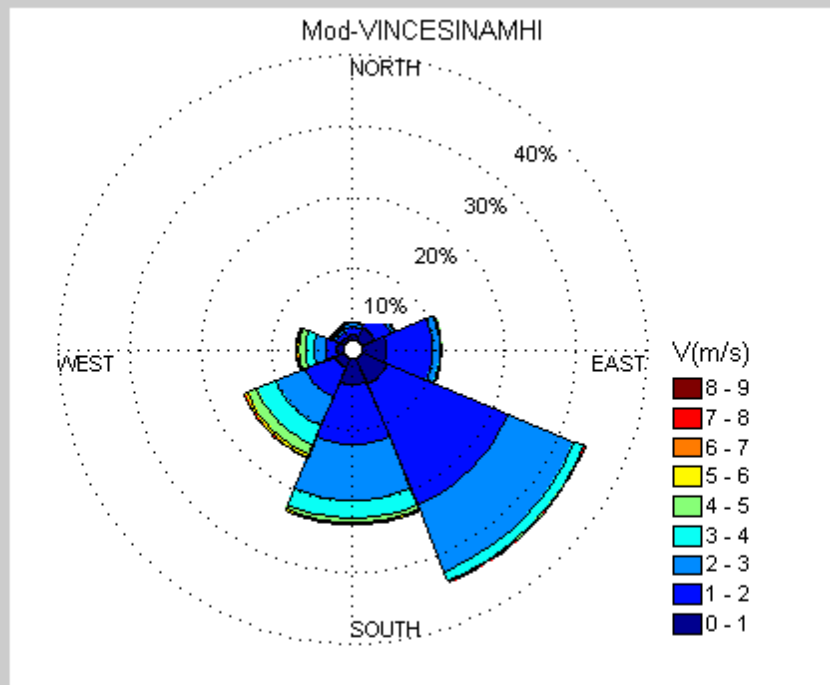
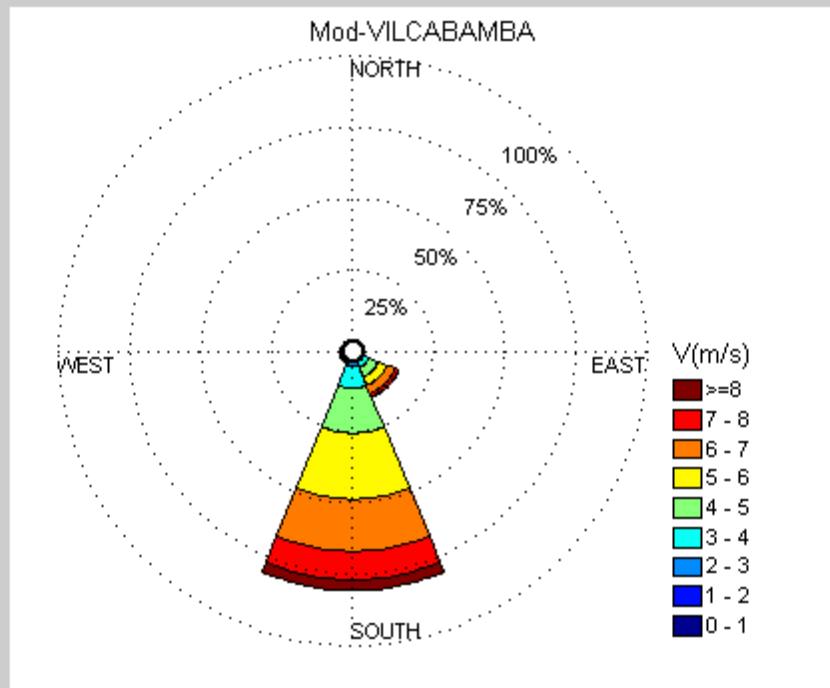


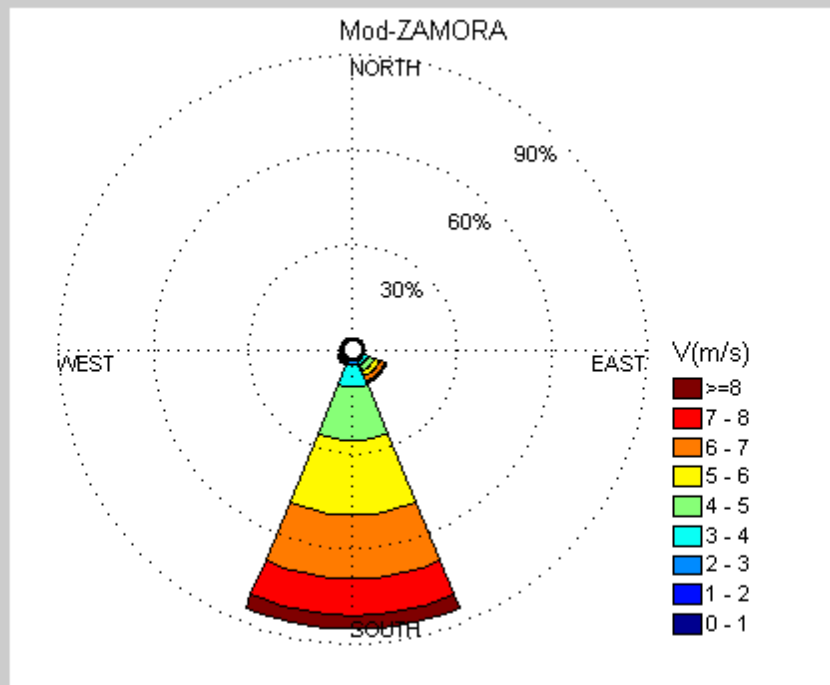
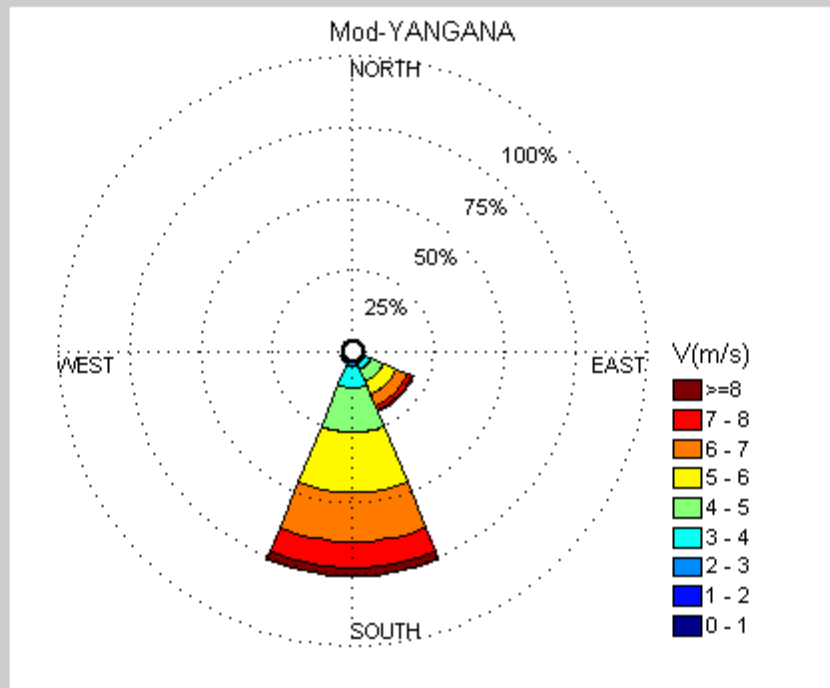


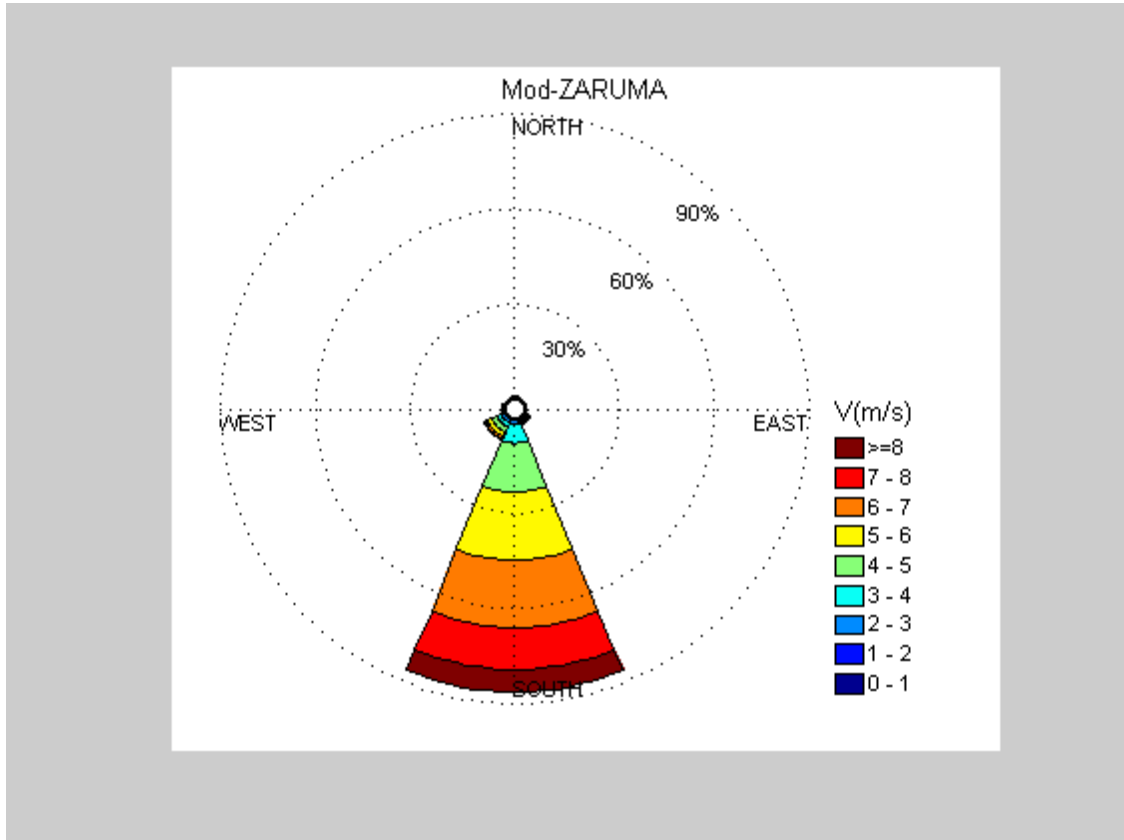


ANEXO 18









Published with MATLAB® 7.13

ANEXO 19

```
% Algoritmo para extraer de valores de Velocidad de las salidas del WRF
[stat,estruc] = fileattrib; %Obtener el Path de la carpeta Actual
PathCurrent = struc.Name

nivel=1;
[diasp,nada]=xlsread('Seleccion_Dias_mensual_Ecu.csv');
fecha=datenum([diasp]);
fecha=fecha-(datenum([0,0,0,12,0,0]));
diasN=datevec(fecha);
dim1=(size (diasN));
mesV={};
mesU={};
save (strcat(PathCurrent,'\informacion.mat'))
U_days=[];
V_days=[];
dias_mes={};
movildia=[];
mes=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
meses={'enero' 'febrero' 'marzo' 'abril' 'mayo' 'junio' 'julio' 'agosto'
'septiembre' 'octubre' 'noviembre' 'diciembre'};
kk=1;
i=54
while i<=dim1(1,1)
    i=i+1;
    if diasp(i,2)==mes(1,kk)
        dia=fecha(i);
        i
        for ij=1:4
            delta=[0.00,0.25,0.50,0.75];
            dia=fecha(i)+delta(1,ij);

            dias=datevec(dia)
            movildia=cat(1,movildia,dias);

            ij;
            ii=ij-1;

eval([strcat('Un=ncread(''F:\Ecuador_Wind_Mensual\WIND_MENSUAL_ECUADOR\wi
nd_component_d03_',num2str((dias(1))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(2)))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(3)))),'_',num2str(sprintf('%02d',(dias(4))
)),',','U');')])
eval([strcat('info=ncinfo(''F:\Ecuador_Wind_Mensual\WIND_MENSUAL_ECUADOR\
wind_component_d03_',num2str((dias(1))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(2)))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(3)))),'_',num2str(sprintf('%02d',(dias(4))
)),',','U');')])
time=info.Dimensions(1,4).Length;
U(:, :, :) = double(Un(:, :, nivel, :));

if time==1
    U_days=cat(3,U_days,U_day);
else
    U_day=U;
    U_days=cat(3,U_days,U_day);
end
```

ANEXO 19

```

eval([strcat('Vn=ncread('F:\Ecuador_Wind_Mensual\WIND_MENSUAL_ECUADOR\wi
nd_component_d03_',num2str((dias(1))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(2)))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(3)))),'_',num2str(sprintf('%02d',(dias(4))
)),''','V');']));
eval([strcat('info=ncinfo('F:\Ecuador_Wind_Mensual\WIND_MENSUAL_ECUADOR\
wind_component_d03_',num2str((dias(1))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(2)))),'-
',num2str(sprintf('%02d',(dias(3)))),'_',num2str(sprintf('%02d',(dias(4))
)),''','V');']));
time1=info.Dimensions(1,4).Length;
V(:, :, :)=double(Vn(:, :, nivel, :));

if time1==1
V_days=cat(3,V_days,V_day);
else
V_day=(V);
V_days=cat(3,V_days,V_day);
end

    end
else

    y=genvarname(char(meses{1, kk}));
    eval([y '={};']);
    eval([y '(:, :, 1)={V_days};']);
    eval([y '(:, :, 2)={U_days};']);
    U_days=[];
    V_days=[];

    eval([ strcat('save
(', ''', char(meses{1, kk}), 'UV.mat', ''', ', ', ''', char(meses{1, kk}), ''', '
', ''', '-v7.3', ''', ') ')]);
    limpia=cell2mat(strcat('clear', {' '}, char(meses{1, kk})));
    eval([limpia]);

    movildia=[];
    kk=kk+1;
    i=i-1

    end
end
disp('end')

```

ANEXO 19

```
%% Mapa Anual %%
ax=worldmap(latlim,lonlim)
setm(ax);
geoshow(POline, 'Color', 'black', 'linewidth', 2)
geoshow(PPpoint)
geoshow(double(LAT1), double(LON1), mean(mean_mensual_solar(:, :, :), 3),
'DisplayType', 'texturemap')
caxis ([2 8])
B=colorbar;
    set(B, 'Position', [0.932140890497168 0.196763966082588
0.027299304677623 0.653710247349823], 'FontSize', 8);
% Create textbox
annotation('textbox', ...
    [0.919502202643174 0.866984641860413 0.0474581497797352
0.0377358490566038], ...
    'String', {' KWH/m2d'}, ...
    'FontSize', 8, ...
    'FitBoxToText', 'off', ...
    'LineStyle', 'none');

%% Mapa Mensual %%
ax=[];
figure
for k1=1:1:12
subplot(3,4,k1, 'YTick', zeros(1,0), 'XTick', zeros(1,0), 'FontSize', 8)
ax=worldmap(latlim,lonlim)
setm(ax, 'FontSize', 6);
geoshow(POline, 'Color', 'black', 'linewidth', 2)
geoshow(PPpoint)
geoshow(double(LAT1), double(LON1), mean_mensual_solar(:, :, k1),
'DisplayType', 'texturemap')
caxis ([2 8])
title({strcat(' ', char(mes(1, k1)))});
end

B=colorbar;
    set(B, 'Position', [0.932140890497168 0.196763966082588
0.027299304677623 0.653710247349823], 'FontSize', 8);
annotation('textbox', ...
    [0.919502202643174 0.866984641860413 0.0474581497797352
0.0377358490566038], ...
    'String', {' KWH/m2d'}, ...
    'FontSize', 8, ...
    'FitBoxToText', 'off', ...
    'LineStyle', 'none');

%% Referencia Espacial %%
latct=double(LAT1);
lonct=double(LON1);
latlimt=[min(latct(1,:)) max(latct(1,:))]
lonlimt=[min(lonct(:,1)) max(lonct(:,1))]
R = georasterref('Latlim', latlimt, 'Lonlim', lonlimt, ...
    'RasterSize', [195 240], 'RasterInterpretation', 'cells')
```

ANEXO 19

```
%% Graficar puntos estaciones %%
figure
axesm('Mapprojection','mercator',...
      'MapLatLimit',latlim,'MapLonLimit',lonlim )
framem
displaym(POline)
displaym(PPpoint)
h = displaym(PPtext); trimcart(h)

geoshow(estaciones_ecu(:,2), estaciones_ecu(:,1), 'DisplayType',
        'Point','Marker','.',...
        'Color','black','MarkerEdgeColor','black');
textm(estaciones_ecu(:,2), estaciones_ecu(:,1)+0.1, estaciones1(:,1),
      'FontSize',4)

%% Extraer Datos de Puntos de las Estaciones

[datos_est name_est]=xlsread('Estacionesnew.xlsx');
dim_est=size(datos_est)
Puntos_matriz=[];
latct=double(LAT1);
lonct=double(LON1);
latlimt=[min(latct(1,:)) max(latct(1,:))]
lonlimt=[min(lonct(:,1)) max(lonct(:,1))]
Mean_Anual=mean(Ktmod_mensual_solar(:,:,:),3);
R = georasterref('Latlim', latlimt, 'Lonlim', lonlimt, ...
    'RasterSize', [195 240], 'RasterInterpretation', 'cells')
for i=1:dim_est(1,1)
    [row, col]=setpostn(Mean_Anual', R, datos_est(i,2),datos_est(i,1));
    Puntos_matriz(i,:)=[row, col];
    KT_geomod(i,:)=Ktmod_mensual_solar(col,row,:);
    Rad_geomod(i,:)=mean_mensual_solar(col,row,:);
    Ho_geomod(i,:)=Ho_mensual_solar(col,row,:);
    fc_geomod(i,:)=fc_modelo(col,row,:);
end
```

ANEXO 19

```
%% Gráficos de Resultados Modelo vs Estación %%
Estaciones=estaciones_ecu(:,5:16);
Modelo= Vel_Modelo(:,:);
estaciones=[];
[nada estaciones1]=xlsread('estaciones_ecu.xlsx');
filtro=nada(seleccion,:);
estaciones=estaciones1(seleccion,:);
dimfilter=size(estaciones);

Modelo_bueno=Modelo(seleccion,:);
Estaciones_bueno=Estaciones(seleccion,:);

for m=1:dimfilter(1,1)
    figure
    title({strcat(char(estaciones(m,1)))});
    hold on
    plot(Estaciones_bueno(m,1:12),'Marker','x','LineWidth',1,'MarkerSize',10)
    plot(Modelo_bueno(m,1:12),'r','LineWidth',1,'Marker','o','MarkerSize',7)
    xlim ([1 12])
    ylim([0 12])
    title({strcat('Velocidad m/s __',char(estaciones(m,1)))})
    xlabel ('month' ) , grid
    ylabel( 'm/s' ) , grid
    legend ('Estacion','Modelo')
    mean_anual_stations(m)=mean(Estaciones_bueno(m,1:12));
    mean_anual_WRF(m)=mean(Modelo_bueno(m,1:12));

    if (mod(m,2)==0)
        close all
    end
end
```

ANEXO 19

```
% WindRose Modelo Estaciones %%

modagrados=[]
Grados_Modelo=[]
Velocidad_Modelo=[]
for kk=1:12
    grados=[];
    kk
    eval([
strcat('load(','','','Grados_',char(meses{1,kk}),'.mat',' ','')')]
    eval([
strcat('load(','','','Vel_',char(meses{1,kk}),'.mat',' ','')')]
    dimgra=size(grados);
    dimvel=size(Vt10);
    Dim_datos(kk,1)=dimgra(1,3);
    Dim_datos(kk,2)=dimvel(1,3);
    Dim_datos
    tam_est=size(Puntos);
    Grados=[];
    Velocidad10=[];
for ij=1:tam_est(1,1)
    Grados(:,ij)=grados(Puntos_matriz(ij,1),Puntos_matriz(ij,1),:);
    Velocidad10(:,ij)=Vt10(Puntos_matriz(ij,1),Puntos_matriz(ij,1),:);

end
Grados_Modelo=cat(1,Grados_Modelo,Grados);
Velocidad_Modelo=cat(1,Velocidad_Modelo,Velocidad10);

limpia1=cell2mat(strcat('clear',{' '},'Vel_',char(meses{1,kk})));
eval([limpia1]);
limpia2=cell2mat(strcat('clear',{' '},'Grados_',char(meses{1,kk})));
eval([limpia2]);
clear grados Vt10
end

[nada,estaciones]=xlsread('ecu.xlsx');
dim=size(Puntos);
Vmin=0;
F_mod=[];
F_est=[];
for j=1:dim(1,1)
    p=j;
    h=1;
    Data_stations=[]
    ruta=strcat(char(estaciones(j,1)),'.xlsx');
[Data_stations]=xlsread(ruta);
dimst=size(Data_stations(:,:));
stations=[];
for il=1:(dimst(1,1))
    if Data_stations(il,2)>Vmin
        stations(h,1)=Data_stations(il,5);
        stations(h,2)=Data_stations(il,6);
        h=h+1;
    end
end
```

ANEXO 19

```
        end
    end

    h1=1;
    dimod=size(Velocidad_Modelo(:,p));
    point_mod=[];

    for i1=1:(dimod(1,1))
        if Velocidad_Modelo(i1,p)>Vmin
            point_mod(h1,1)=Velocidad_Modelo(i1,p);
            point_mod(h1,2)=Grados_Modelo(i1,p);
            h1=h1+1;
        end
    end

    tamano=get(0, 'ScreenSize');
    figure('position',[tamano(1) tamano(2) tamano(3) tamano(4)]);
    [handlesmod,frecuencias_modelo]=wind_rose((point_mod(:,2)),(point_mod(:,1)
)), 'parent', subplot(1,2,1), 'dtype', 'n', 16, 'di', 0:1:9, 'lablegend', 'V(m/s) '
, 'labtitle', (strcat('Mod-',char(estaciones(j,1))))))
    axis equal
    N_mod=sum(sum(frecuencias_modelo));
    F_mod(:,:,j)=frecuencias_modelo./N_mod;

    [handlesest,frecuencias_estacion]=wind_rose((stations(:,2)),(stations(:,1)
)), 'parent', subplot(1,2,2), 'dtype', 'n', 16, 'di', 0:1:9, 'lablegend', 'V(m/s) '
, 'labtitle', (strcat('Est-',char(estaciones(j,1))))))
    set(gcf, 'color', 'white')
    axis equal
    N_est=sum(sum(frecuencias_estacion));
    F_est(:,:,j)=frecuencias_estacion./N_est;
end
```

ANEXO 19

```
%% Estadística Descriptiva de los puntos del modelo

%BIAS
bias_anual=sum(((mean_anual_WRF(:)-
mean_anual_stations(:))))/length(mean_anual_stations);
%RMSE
rmse_anual=sqrt(sum((mean_anual_stations(:)-
mean_anual_WRF(:)).^2)/length(mean_anual_stations));
RMSE_anual=100*sqrt(sum(((mean_anual_stations(:)-
mean_anual_WRF(:))./mean_anual_stations(:)).^2)/length(mean_anual_station
s));
[R2anual, Panual]=corrcoef(mean_anual_stations(:),mean_anual_WRF(:));
MBE_anual=100*(sum(((mean_anual_WRF(:)-
mean_anual_stations(:))./mean_anual_stations(:)))/length(mean_anual_stati
ons));
MAE_anual=100*(sum(abs((mean_anual_stations(:)-
mean_anual_WRF(:))./mean_anual_stations(:)))/length(mean_anual_stations))
;
disp 'BIAS'
bias_anual
disp 'RMSE Annual'
rmse_anual
RMSE_anual
disp 'R2 Annual'
R2anual(1,2)

sesgo_anual=mean(kt_modelo_bueno(:,1:12),2)-
mean(fc_mensual_bueno(:,1:12),2);

tamano=get(0,'ScreenSize');
figure('position',[tamano(1) tamano(2) tamano(3) tamano(4)]);
plot(sesgo_anual,'or','MarkerSize',6)
grid
title('Annual Bias for stations', 'FontSize',15)
ylabel(' ')
set(gca,'xtick',[1:1:dimfilter(1,1)])
xlim ([1 dimfilter(1,1)])
xlabel('Stations')
%%
close all
%%
cla('reset')
clf('reset')
[c_anual(1,1) c_anual(2,1)]=normfit(sesgo_anual);

%% Sesgo BIAS y MBE Mensual
bias_mensual=[];
sesgo_mensual=[];
c_mensual=[];
est_mensual=[];
MBE_mensual=[];
xplot=[];
BIAS_Rad_mes=[];
Porcent_Error=[];
```

ANEXO 19

```

Porcent_Error_Modelo=[];
%%
for k1=1:12

for e=1:dimfilter(1,1)
BIAS_Rad_mes(e,k1)=kt_modelo_bueno(e,k1)-fc_mensual_bueno(e,k1);
Porcent_Error(e,k1)=100*abs(BIAS_Rad_mes(e,k1))/fc_mensual_bueno(e,k1);

Porcent_Error_Modelo(e,k1)=100*abs(BIAS_Rad_mes(e,k1))/kt_modelo_bueno(e,
k1);

end
end

for k1=1:12
sesgo_mensual(:,k1)=(kt_modelo_bueno(:,k1))-(fc_mensual_bueno(:,k1));
bias_mensual(1,k1)=sum(kt_modelo_bueno(:,k1)-
fc_mensual_bueno(:,k1))/(length(fc_mensual_bueno(:,k1)));
MBE_mensual(1,k1)=100*(1/(length(fc_mensual_bueno(:,k1))))*(sum((kt_mode
lo_bueno(:,k1))-(fc_mensual_bueno(:,k1)))/(fc_mensual_bueno(:,k1))));
MAE_mensual(1,k1)=100*(1/(length(fc_mensual_bueno(:,k1))))*(sum(abs((kt_m
odelo_bueno(:,k1))-(fc_mensual_bueno(:,k1)))/(fc_mensual_bueno(:,k1))));

estadistica_Sesgo(k1,:)=[mean(sesgo_mensual(:,k1))
std(sesgo_mensual(:,k1)) median(sesgo_mensual(:,k1)) ...
kurtosis(sesgo_mensual(:,k1)) skewness(sesgo_mensual(:,k1))];

[c_mensual(1,k1) c_mensual(2,k1)]=normfit(sesgo_mensual(:,k1));%

end
%%
tamano=get(0,'ScreenSize');
figure('position',[tamano(1) tamano(2) tamano(3) tamano(4)]);
for k1=1:12
subplot(3,4,k1, 'FontSize',4)
hold on
plot(sesgo_mensual(:,k1),'Marker','o','Markersize',2)
X=[0 dimfilter(1,1)];
Y=[2 2];
line(X,Y,'LineWidth',1,'color','r')
title(mes{1,k1},'FontSize',12)
ylim([0 4])
xlim([1 dimfilter(1,1)])
ylabel('m/s')
set(gca,'FontSize',6,'xtick',0:2:dimfilter(1,1))
title(mes{1,k1},'FontSize',12)
ylabel('m/s','FontSize',10)
xlabel('Stations','FontSize',10)
end
hold off
cla('reset')
clf('reset')
%%
for k1=1:12
% Historgrama de sesgo cC/U estación y función de distribución
xi=floor(min(sesgo_mensual(:,k1)));

```

ANEXO 19

```

xf=ceil(max(sesgo_mensual(:,k1)));
xplot=0.5;
center=[];
l=1;
delta=[];
point_mensual=[];
for f=xi-0.5:xplot:xf+0.5
    fi=normcdf((f-xplot/2),c_mensual(1,k1),c_mensual(2,k1));
    fil=normcdf((f+xplot/2),c_mensual(1,k1),c_mensual(2,k1));
    delta=fil-fi;
    point_mensual(l,1)=(delta);
    l=l+1;
end
subplot(3,4,k1, 'FontSize',5)
hold on

hb=hist(sesgo_mensual(:,k1),xi-0.5:xplot:xf+0.5);
center=xi-0.5:xplot:xf+0.5;
bar(center,hb/sum(hb), 'FaceColor', [0.81,0.81,0.81])
title(mes{1,k1}, 'FontSize', 8);
plot(xi-0.5:xplot:xf+0.5,point_mensual(:,1), 'r')
ylim([0 0.4])
xlim([-5 5])
hold off
end
hold on

annotation('textbox',...
    [0.486 0.959 0.0845 0.04214],...
    'String',{'SESGO MENSUAL'},...
    'FontSize',10,...
    'FitBoxToText','off',...
    'LineStyle','none');
hold off
close all

%% Coeficiente r y RMSE
rmse_mensual=[];
CoefR2=[];
for k2=1:12

[R,P]=corrcoef(kt_modelo_bueno(:,k2),fc_mensual_bueno(:,k2));
CoefR2totalMensual(k2)=R(1,2); %%correlation coefficients
hold on
subplot(3,4,k2, 'FontSize',6)
mt=['+' 'o' '*' 'x' 's' 'd' '^' 'v' '>' '<' 'p' 'h'];
mtr=mt(ceil(numel(mt).* rand));
Color=[rand(1,3)];
plot(kt_modelo_bueno(:,k2),fc_mensual_bueno(:,k2),mtr, 'MarkerEdgeColor',C
olor, 'MarkerFaceColor',Color, 'MarkerSize',4);
title(char(mes(k2)), 'FontSize',8)
xlabel('Vel. WRF Model', 'FontSize',6)
ylabel('Vel. Stations', 'FontSize',6)
xlim([0 12])
ylim([0 12])
caxis;

```

ANEXO 19

```
axis equal
end
hold off
%% Grafica de point r
tamano=get(0,'ScreenSize');
figure('position',[tamano(1) tamano(2) tamano(3) tamano(4)]);
for e=1:1:dimfilter(1,1)

    mt=[ 'o' 's' '*' 'h'];
    mtr=[ 'r' 'g' 'b' 'k' ];
        reg=cell2mat(estaciones(e,1));
        if 'S'==reg
            market= mt(1,1) ;
            color=mtr(1,1);
        elseif 'C'==reg
            market= mt(1,2) ;
            color=mtr(1,2);
        elseif 'O'==reg
            market= mt(1,3);
            color=mtr(1,3);
        elseif 'I'==reg
            market= mt(1,4) ;
            color=mtr(1,4);
        end
    hold on

    plot(kt_modelo_bueno(e,:),fc_mensual_bueno(e,1:12),market,'MarkerEdgeColor',color,'MarkerFaceColor',color,'MarkerSize',4);

    end

    hold off
    xlim([0 12])
    ylim([0 12])
    title('Coeficiente de Correlación Lineal','FontSize',16)
    xlabel('V .WRF Model','FontSize',14)
    ylabel('V. Stations','FontSize',14)

    set(gca,'FontSize',10);

    legend(estaciones(:,1))
    set(legend,'EdgeColor',[1 1 1],'Location','EastOutside','YColor',[1 1 1],'XColor',[1 1 1],'FontSize',5)
    axis equal

    for e=1:1:12
        rmse_mensual(e,1)=sqrt(sum(((fc_mensual_bueno(:,e)-
        kt_modelo_bueno(:,e)).^2))*(1/length(fc_mensual_bueno)));
        RMSE_mensual(e,1)=100*sqrt(sum(((fc_mensual_bueno(:,e)-
        kt_modelo_bueno(:,e))./fc_mensual_bueno(:,e)).^2)*(1/length(fc_mensual_bueno)));
    end
end
```

