

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA



**VALIDACION DE LAS SALIDAS DE PRONÓSTICO DE
PRECIPITACIÓN DEL MODELO MM5, PARA LOS PERIODOS
INTERANUALES LLUVIOSO Y POCO LLUVIOSO.**

Trabajo Especial de Grado presentado por
Héctor Martínez
ante la Facultad de Ciencias de la
Ilustre Universidad Central de Venezuela
como requisito parcial para optar al título
de: **Licenciado en Física**
Con la tutoría de: Dr. Boutros Embaid
Ing. Rafael Mudaray

Octubre-2017
Caracas-Venezuela

Escuela de Física

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA



**VALIDACION DE LAS SALIDAS DE PRONÓSTICO DE
PRECIPITACIÓN DEL MODELO MM5, PARA LOS PERIODOS
INTERANUALES LLUVIOSO Y POCO LLUVIOSO.**

Trabajo Especial de Grado presentado por
Héctor Martínez
ante la Facultad de Ciencias de la
Ilustre Universidad Central de Venezuela
como requisito parcial para optar al título
de: **Licenciado en Física**
Con la tutoría de: Dr. Boutros Embaid
Ing. Rafael Mudaray

Octubre-2017
Caracas-Venezuela



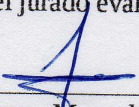
VEREDICTO

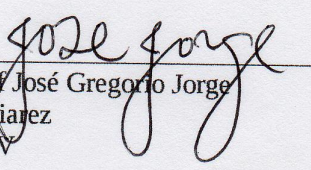
Quienes suscriben, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo Especial de Grado presentado por **Héctor Alonzo Martínez González**, Cédula de Identidad **V-19008825**, bajo el título **“Validación de las salidas de pronóstico de precipitación del modelo MM5 para los períodos interanuales lluvioso y poco lluvioso”**, a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al grado de **Licenciado en Física**, dejan constancia de lo siguiente:

1. Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del Jurado, éste fijó el día 14 de noviembre de 2017, a las 9:00 am, para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en la Sala de seminarios Guillermo Ruggeri de la Escuela de Física, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado; todo ello conforme a los artículos 20, 21, 22, 25, 26 y 28 de la Normativa de Trabajo Especial de Grado de la Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias de la UCV vigente.
2. Finalizada la defensa pública del trabajo, el jurado decidió declararlo aprobado por considerar que se ajusta a lo dispuesto y exigido en la Normativa de Trabajo Especial de Grado de la Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias de la UCV vigente en sus artículos 1, 5 y 6.

Se levanta la presente acta a los 14 días del mes de noviembre de 2017, dejándose también constancia de que, conforme a la normativa jurídica vigente, actuó como coordinador del jurado el tutor del Trabajo Especial de Grado Prof Boutros Pierre Embaid Embaid.

Firma del jurado evaluador


Prof Jhonny Manuel De Abreu
Dos Santos
UCV


Prof José Gregorio Jorge
Alvarez
UCV


Prof Boutros Pierre Embaid
Embaid
UCV



Dedicatoria

A Jesucristo. Me cuidó, me sustentó, su respaldo allanó mi senda hasta acá.
– Proverbios 3:5-6.

A mi madre, María Eugenia de Martínez. No se dio por vencida. Su apoyo me impulsó hasta éste punto en mi vida.

A mi padre, Cristobal Alonzo Martínez.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) por haber abierto sus puertas y facilitado los datos para la elaboración de ésta investigación, y en especial al Dr. Pedro Cárdenas, por haber facilitado el material bibliográfico y por el apoyo prestado durante mi estancia en el Insituto en la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

Se analizó la variabilidad espacio-temporal de la precipitación medida y pronosticada sobre el territorio de Venezuela, durante los 2 períodos interanuales, lluvioso (meses mayo - octubre) y poco lluvioso (meses noviembre-abril), correspondientes a un trienio de datos históricos, con el propósito de establecer bases cuantitativas para estimar la capacidad de pronóstico sobre el territorio del modelo MM5 de la Universidad de Pensilvania. Los datos se procesaron efectuando interpolaciones sobre los campos de valores medidos y pronosticados en lapsos específicos del trienio para la elaboración de proyecciones gráficas de distribución de lluvia sobre el territorio subtenidas con los algoritmos de interpolación del **Surfer v.11**. Por otro lado, se efectuaron promediados regionales asumiendo distribución Normal para las series usando los algoritmos de reestructuración y cálculo de estadígrafos del **SPSS v.15**. A partir de esto, se establecen dos tipos de análisis, uno de valores acumulados y otro de promedios diarios. Los resultados arrojan una tendencia general del modelo a pronosticar con mejor eficiencia los niveles bajos de lluvia. Por otro lado, arrojan pronósticos más acertados hacia el extremo nor-oriental del país. Finalmente se obtiene un ajuste lineal de los valores pronosticados frente a los valores reales en una de las regiones mejor pronosticadas, para estudiar la posibilidad de obtener un pronóstico de tipo probabilístico.

Algunas de las técnicas y resultados del presente trabajo ya están siendo usados actualmente en un proyecto de mejoramiento de los planeamientos de las misiones de captura del Satélite de observación remota - Miranda - VRSS-1 - (*Venezuelan Remote Sensing Satellite*), en la Unidad de Observación de la Tierra de la AGENCIA BOLIVARIANA PARA ACTIVIDADES ESPACIALES **ABAE**, y se espera que dichas mejoras sean heredadas en el planeamiento de las misiones del Satélite Sucre - VRSS-2 - próximo a ser lanzado en el mes de octubre del presente año.

Palabras Clave:

Modelo, Validación, Meteorología, Mesoescala, MM5, Precipitación, Medición, Pronóstico, Arakawa-Lamb-B, Sigma-Niveles, Diferencias Finitas, FORTRAN, Anidamiento (NESTDOWN), Hidrostaticidad, Asimilación, Land-Uses, Mapeo, Parametrizaciones, Cúmulos,

Contents

Lista de figuras	15
Lista de tablas	19
1 Planteamiento General	21
1.1 Introducción	21
1.2 El clima como objeto de interés	23
1.2.1 Pertinencia del estudio	24
1.2.2 Definición del problema	24
1.3 Objetivos y Alcance del Estudio	25
1.3.1 Objetivo General	25
1.3.2 Objetivos Específicos	25
1.3.3 Delimitación Territorial	25
2 Modelación numérica y dinámica climática	27
2.1 Antecedentes	27
2.1.1 Primeros pasos en la Historia	27
2.1.2 Implantación en Venezuela	30
2.2 Variables y ecuaciones de un modelo	30
2.2.1 Segunda ley de Newton	31
2.2.2 Ecuación de estado del gas ideal	34
2.2.3 Materia y Energía	35
2.2.4 <u>El sistema primitivo</u>	36
2.3 Conceptos primordiales	37
2.3.1 Aproximaciones Básicas de un modelo	37
2.3.2 Algunos conceptos importantes	39
3 Lluvia y Formación de Nubes	43
3.1 Generalidades	43
3.1.1 Definiciones	43
3.1.2 Unidades y escalas	44
3.1.3 Requisitos meteorológicos e hidrológicos	44

3.2	Métodos de medición	44
3.2.1	Instrumentos	44
3.2.2	Medidores de referencia e intercomparaciones	45
3.2.3	Documentación	46
3.2.4	Emplazamiento y exposición de los medidores	46
3.3	Algunos factores que inciden sobre el proceso de formación de nubes	47
3.3.1	Mecanismos físicos	47
3.3.2	Procesos básicos de formación	49
3.3.3	Tipos de nubes	51
4	Caracterización del MM5	53
4.1	Introducción	53
4.1.1	Portabilidad	56
4.1.2	Configuración horizontal y vertical	57
4.1.3	Anidamiento	60
4.1.4	Condiciones Límites Lateral	61
4.1.5	Dinámica no hidrostática versus dinámica hidrostática	62
4.1.6	Estado de referencia en el modelo no hidrostático	62
4.1.7	Asimilación de datos en cuatro dimensiones	63
4.1.8	Categorías de terreno, <i>Land-Use categories</i>	64
4.1.9	Proyecciones de mapa y factores de escala de mapa	64
4.1.10	Datos necesarios para ejecutar el modelo	65
4.2	Abordamiento de las ecuaciones	65
4.2.1	Propósito	65
4.2.2	Ecuaciones básicas de MM5	65
4.2.3	Sobre las ecuaciones:	67
4.2.4	Diferenciación espacial finita -	67
4.2.5	Diferencia finita temporal -	67
4.3	Opciones físicas en MM5	69
4.3.1	Parametrizaciones de cúmulo	69
5	Metodología de Trabajo y Resultados	71
5.1	Metodología de la validación	71
5.1.1	División en lapsos de estudio	71
5.1.2	Distribución geográfica de las estaciones de muestreo	73
5.1.3	Celdas de análisis	77
5.1.4	Método de análisis	81
5.2	Análisis de precipitación acumulada y promediada por día	85
5.2.1	Celdas de análisis	85
5.2.2	Tablas de Resumen	109
5.2.3	Resumen de Ajustes Lineales	112

5.3	Discusiones y conclusiones	115
5.3.1	Análisis de las Celdas	115
5.3.2	Análisis de las Estimaciones lineales	148
6	Conclusiones	151

List of Figures

1.1	fig: Delimitación Territorial del Estudio	26
2.1	Vilhelm Bjerknes – Considerado Padre de los modelos de predicción climática.	27
2.2	L.F.Richardson	28
2.3	J.G.Charney	28
2.4	Edward Lorenz – 1917-2008	29
3.1	Resumen clasificatorio de nubes por altura y forma	52
4.1	Diagrama de flujo del modelo MM5	54
4.2	Diagrama de flujo del modelo MM5 cuando usa 3DVAR	55
4.3	Representación esquemática de la estructura vertical del modelo. El ejemplo es para quince capas. Las líneas punteadas denotan niveles medios, mientras que las líneas completas denotan niveles completos.	58
4.4	Representación esquemática que muestra el escalonamiento horizontal Arakawa B-grid de puntos (l) y cruces (x) de rejilla. La rejilla interior es una malla escalonada con una resolución de 3:1 respecto a la externa.	59
4.5	Ejemplo de configuración de anidamiento. Los recuadros sombreados muestran tres diferentes niveles de anidamiento.	60
4.6	Esquema de salto temporal del MM5	68
5.1	Regiones de precipitación contempladas por el INAMEH	72
5.2	Distribución geográfica de la estaciones de muestreo	73
5.3	Acumulados del período - TRIENIO: COMPLETO	86
5.4	Acumulados medidos - TRIENIO: COMPLETO	86
5.5	Acumulados pronosticados - TRIENIO: COMPLETO	86
5.6	Promedios del período - TRIENIO: COMPLETO	87
5.7	Promedios medidos - TRIENIO: COMPLETO	87
5.8	Promedios pronosticados - TRIENIO: COMPLETO	87
5.9	Acumulados del período - TRIENIO: POCO LLUVIOSO	88
5.10	Acumulados medidos - TRIENIO: POCO LLUVIOSO	88
5.11	Acumulados pronosticados - TRIENIO: POCO LLUVIOSO	88

5.12	Promedios del período - TRIENIO: POCO LLUVIOSO	89
5.13	Promedios medidos - TRIENIO: POCO LLUVIOSO	89
5.14	Promedios pronosticados - TRIENIO: POCO LLUVIOSO	89
5.15	Acumulados del período - TRIENIO: LLUVIOSO	90
5.16	Acumulados medidos - TRIENIO: LLUVIOSO	90
5.17	Acumulados pronosticados - TRIENIO: LLUVIOSO	90
5.18	Promedios del período - TRIENIO: LLUVIOSO	91
5.19	Promedios medidos - TRIENIO: LLUVIOSO	91
5.20	Promedios pronosticados - TRIENIO: LLUVIOSO	91
5.21	Acumulados del período - 2012	92
5.22	Acumulados medidos - 2012	92
5.23	Acumulados pronosticados - 2012	92
5.24	Promedios del período - 2012	93
5.25	Promedios medidos - 2012	93
5.26	Promedios pronosticados - 2012	93
5.27	Acumulados del período - 2013	94
5.28	Acumulados medidos - 2013	94
5.29	Acumulados pronosticados - 2013	94
5.30	Promedios del período - 2013	95
5.31	Promedios medidos - 2013	95
5.32	Promedios pronosticados - 2013	95
5.33	Acumulados del período - 2014	96
5.34	Acumulados medidos - 2014	96
5.35	Acumulados pronosticados - 2014	96
5.36	Promedios del período - 2014	97
5.37	Promedios medidos - 2014	97
5.38	Promedios pronosticados - 2014	97
5.39	Acumulados del período - 2012:POCO LLUVIOSO	98
5.40	Acumulados medidos - 2012:POCO LLUVIOSO	98
5.41	Acumulados pronosticados - 2012:POCO LLUVIOSO	98
5.42	Promedios del período - 2012:POCO LLUVIOSO	99
5.43	Promedios medidos - 2012:POCO LLUVIOSO	99
5.44	Promedios pronosticados - 2012:POCO LLUVIOSO	99
5.45	Acumulados del período - 2013:POCO LLUVIOSO	100
5.46	Acumulados medidos - 2013:POCO LLUVIOSO	100
5.47	Acumulados pronosticados - 2013:POCO LLUVIOSO	100
5.48	Promedios del período - 2013:POCO LLUVIOSO	101
5.49	Promedios medidos - 2013:POCO LLUVIOSO	101
5.50	Promedios pronosticados - 2013:POCO LLUVIOSO	101
5.51	Acumulados del período - 2014:POCO LLUVIOSO	102
5.52	Acumulados medidos - 2014:POCO LLUVIOSO	102

5.53	Acumulados pronosticados - 2014:POCO LLUVIOSO	102
5.54	Promedios del período - 2014:POCO LLUVIOSO	103
5.55	Promedios medidos - 2014:POCO LLUVIOSO	103
5.56	Promedios pronosticados - 2014:POCO LLUVIOSO	103
5.57	Acumulados del período - 2012:LLUVIOSO	104
5.58	Acumulados medidos - 2012:LLUVIOSO	104
5.59	Acumulados pronosticados - 2012:LLUVIOSO	104
5.60	Promedios del período - 2012:LLUVIOSO	105
5.61	Promedios medidos - 2012:LLUVIOSO	105
5.62	Promedios pronosticados - 2012:LLUVIOSO	105
5.63	Acumulados del período - 2013:LLUVIOSO	106
5.64	Acumulados medidos - 2013:LLUVIOSO	106
5.65	Acumulados pronosticados - 2013:LLUVIOSO	106
5.66	Promedios del período - 2013:LLUVIOSO	107
5.67	Promedios medidos - 2013:LLUVIOSO	107
5.68	Promedios pronosticados - 2013:LLUVIOSO	107
5.69	Acumulados del período - 2014:LLUVIOSO	108
5.70	Acumulados medidos - 2014:LLUVIOSO	108
5.71	Acumulados pronosticados - 2014:LLUVIOSO	108
5.72	Promedios del período - 2014:LLUVIOSO	109
5.73	Promedios medidos - 2014:LLUVIOSO	109
5.74	Promedios pronosticados - 2014:LLUVIOSO	109
5.75	Llanos Oeste de Bolívar – 2013 - POCO LLUVIOSO	112

List of Tables

5.1	Coordenadas y códigos de muestreo	74
5.2	Regiones Sobrestimadas	110
5.3	Regiones con medición y pronostico coincidentemente por encima de la media	110
5.4	Regiones con medición y pronostico coincidentemente por debajo de la media	111
5.5	Mayores Contraste	111
5.6	Pendientes	113
5.7	Ordenadas en el origen	113
5.8	Pendientes - Errores	114
5.9	Ordenadas en el origen - Errores	114

Chapter 1

Planteamiento General

1.1 Introducción

En la actualidad, los diversos servicios meteorológicos a nivel nacional se plantean el uso de herramientas tecnológicas que permitan factiblemente el mejoramiento de los pronósticos del clima regional, y adaptadas a las condiciones generales del trópico, como lo son los modelos meteorológicos. Para esto se requieren estudios sistemáticos que arrojen luz sobre el comportamiento de los diferentes modelos ya en funcionamiento desde el año 2006 aproximadamente, frente a las mediciones de las diferentes variables climáticas. En este particular, una de las variables de mayor seguimiento histórico, y dificultad en la predicción de su evolución es la precipitación. Por las condiciones del trópico, el pronóstico de la lluvia está constantemente sujeto a variaciones del sistema climático regional atípicas en otras latitudes, lo que adiciona dificultad al problema del pronóstico de esta variable. Las estrategias generales estandarizadas a nivel mundial, enmarcan el alcance de los pronósticos en escalas de espacio y tiempo, lo que es un principio básico de funcionamiento de los modelos meteorológicos.

Los resultados de estos modelos en estas escalas de espacio y tiempo, deben estar sujetos a constante escrutinio para verificar la validez de los ajustes que predeterminan sus respuestas a partir de los datos que definen sus condiciones iniciales y la evolución de sus estados. En este sentido no basta con el examen diario de los pronósticos, sino que resulta necesario un estudio pormenorizado de observaciones sobre los resultados en marcos de tiempos más amplios, a fin de dejar de relieve el comportamiento general del modelo. En esto radica la pertinencia de estudios de ésta índole.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) cuenta en la actualidad con uno de los modelos meteorológicos mas conocidos y extendidos como lo es el MM5 (*modelo de mesoescala versión 5*) de la Universidad de Pensilvania, y el propósito general de este estudio es comparar sus salidas con las mediciones efectuadas durante el lapso

comprendido entre los años 2012 al 2014.

La metodología se ha basado fundamentalmente en 4 criterios generales:

1. La escogencia de un subconjunto del total de estaciones medidoras de lluvia, con base en su localización, atendiendo al hecho de que el territorio nacional ha sido previamente dividido en 13 regiones de precipitación, de las cuales se han escogido 11 para efectuar la validación.
2. La separación del tiempo de estudio en 12 lapsos, y la extracción de los promedios regionales directamente de los datos del conjunto de estaciones asociadas a cada región.
3. La ordenación de lo que se ha denominado celdas de análisis, que engloban información sobre cada lapso de estudio.
4. El análisis de dichas celdas con base en un conjunto específico de observaciones indirectas, que procuran suministrar bases cuantitativas para caracterizar el comportamiento general del modelo sobre el territorio, las regiones de precipitación del país con pronósticos más acertados y pronósticos más deficientes, y las regiones con pronósticos tradicionalmente contrastantes.

En este orden de ideas, el presente trabajo está separado en 4 capítulos:

El Planteamiento general del problema Contiene la definición, los objetivos, y la delimitación del estudio.

Modelación numérica y dinámica climática Contiene una exposición elemental de la historia y los conceptos básicos involucrados en el entendimiento de los modelos meteorológicos, con el fin de familiarizar al lector con la terminología.

Lluvia y Formación de nubes Contiene ciertas generalidades sobre lo que es la precipitación como variable climática, su medición, así como la caracterización del modelo MM5 con un breve *racconto* de las características de las parametrizaciones de cúmulo que maneja.

Metodología y Resultados Acá se presentan las celdas de análisis con la información de ordenada por regiones, proyecciones visuales de la distribución de lluvia vistas por las estaciones escogidas, y la sugerida por el modelo para cada lapso, y los resultados del trabajo, con las conclusiones inferidas.

Se espera que dichas conclusiones aporten un entendimiento claro acerca del comportamiento general del modelo sobre el territorio, y por región, a fin de efectuar los ajustes que se consideren pertinentes conforme a los resultados revelados por este trabajo, con el objetivo de acercar al máximo los pronósticos con la realidad.

1.2 El clima como objeto de interés

En la actualidad tras un número cada vez más cuantioso de investigaciones llevadas a cabo no solo por el sector científico, sino por sectores comerciales, resulta clara la tendencia del clima global a la inestabilidad referida a observaciones históricas, y a la producción de eventos extremos con repercusiones en vidas y materiales cada vez mayores.

En el sector comercial

En este particular, un estudio en 2014 de la aseguradora *Allianz Global Corporate & Specialty* [?] determinó que el impacto económico de 905 catástrofes naturales en el año 2012 había alcanzado los 125 mil millones €, mientras que el impacto producto de las variaciones habituales del clima triplicaba el monto anterior, llegando a los 406 mil millones de €. Por otra parte, también determinó un incremento del 400% en el costo de los siniestros producidos por eventos climáticos extremos durante los últimos 30 años, dejando de relieve un conjunto de hechos preocupantes relativos a algunos cambios sufridos por el sistema climático.

En los sectores político y de seguridad

En Venezuela, se pueden resaltar algunos de los eventos extremos de mayor repercusión como los deslaves producidos en la zona costera del país el 15 de diciembre de 1999 resultando especialmente afectado el estado Vargas, tragedia que hoy aparece a la fecha actual en *Libro Guinness de los records* con el mayor número de víctimas mortales por un alud de barro[?]. Por su parte, el impacto del fenómeno climático “El Niño” en Julio del 2009 el cual generó un descenso de la generación de energía hidroeléctrica en más del 50% en el embalse mas importante del país, El Guri, obligando al estado a una inversión forzosa de 5000 millones de \$ en generación termoeléctrica para cubrir el déficit, a la reducción de las jornadas laborales en el sector público por un lapso aproximado de 2 meses, y al estudio de la implementación de un proyecto de “Bombardeo de nubes” con Yoduro de Plata, para fomentar la precipitación sobre los embalses en estado de emergencia.

Objeto de interés para la ciencia

Con el surgimiento y el avance de los sistemas de cómputo avanzado, uno de los primeros en abordar el problema de la predicción de la dinámica atmosférica fue Edward Laurence en 1963 cuyas investigaciones determinaron una propiedad fundamental del clima, que dio luz a una nueva rama de la investigación en **sistemas caóticos**. En este particular, y con base en estos estudios, hoy se conoce que el caracter caótico del tiempo atmosférico tiene que ver con las **propiedades geométricas del grupo de evolución** del sistema climático terrestre el cual puede (según se sabe hoy) dotarse de la estructura de una **variedad Riemaniana** de dimensión infinita con **curvatura negativa**, lo que a *grosso modo* significa que las curvas

que definen la evolución de los estados del sistema climático, por cercanas que puedan partir conforme a las condiciones iniciales, acaban siempre e ineludiblemente por diverger, lo que en el fondo sugiere la imposibilidad práctica de predecir con total precisión el tiempo atmosférico a mediano y largo plazo. Como sistema caótico, el clima es sensible a pequeñas variaciones en las condiciones iniciales cuya determinación está limitada por el [principio de incertidumbre de Heisenberg](#). No por ello implica que no se pueda tener cierto control sobre el conocimiento de la evolución de dinámica climática. Por otro lado, estas consideraciones convierten a dicho sistema en un objeto de estudio teórico de claro interés para la ciencia moderna, aun con muchas aristas descubrir y entender.

1.2.1 Pertinencia del estudio

Es claro que los fenómenos climáticos generan *per se* un impacto considerable en varios niveles que repercuten ineludiblemente en la toma de decisiones políticas, económicas (tanto en el sector público como en el privado) y de seguridad, y constituye un objeto claro de interés para la ciencia, lo que instituye el conocimiento “preciso” acerca de la atmósfera y su dinámica, en un conocimiento de carácter estratégico. Esta a su vez constituye una razón para afinar la precisión de los pronósticos de eventos climáticos. En este contexto surgen dos de los métodos que procuran maximizar dicha precisión los cuales son: El pronóstico Físico estadístico y el Modelado Numérico del Clima.

El segundo procura la resolución de un sistema de ecuaciones extraídas de los ámbitos de la termodinámica y la mecánica de fluidos. En la actualidad existe una diversidad de modelos que abordan el problema de la predicción en diferentes escalas. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología cuenta hoy con uno de los más conocidos en el mercado de los modelos meteorológicos como lo es el MM5 (*modelo de mesoescala versión 5*) de la Universidad de Pensilvania. Con base en lo anterior, y debido a lo reciente del uso de estos modelos en el país,

La pertinencia de estudios de ésta índole, radica en la necesidad de establecer las bases de confiabilidad necesarias en uso de los modelos meteorológicos en el país, para el mejoramiento de los pronósticos de los diferentes servicios meteorológicos a nivel nacional.

1.2.2 Definición del problema

En el contexto de éste trabajo, establecer dichas bases de confiabilidad, o “Validar”; es extraer ciertas conclusiones a partir de un conjunto específico de observaciones efectuadas sobre los resultados del modelo en un lapso concreto, a fin de arrojar luces acerca del comportamiento del modelo en el pronóstico en particular de la precipitación sobre el territorio.

1.3 Objetivos y Alcance del Estudio

Para alcanzar esto, se ha establecido el siguiente conjunto de metas

1.3.1 Objetivo General

Cotejar las soluciones arrojadas por el modelo, subtenidas por la “asimilación de datos” recabados de las estaciones de medición distribuidas en superficie a lo largo y ancho del territorio nacional, aplicando un juego de parametrizaciones incorporadas en el modelo, y usadas por el INAMEH, con el propósito de establecer la validación de los pronósticos del modelo para un fenómeno en concreto:

Precipitación, durante los períodos lluvioso y poco lluvioso.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para efectuar la validación de sus salidas restringidas al territorio y las condiciones de Venezuela, se estableció el siguiente conjunto de metas:

1. Comparar los datos del MM5 con los datos observados usando métodos estadísticos.
2. Regionalizar para el territorio de Venezuela las diferencias entre valores reales y pronosticados.
3. Estimar la efectividad de pronóstico del modelo MM5 para los períodos interanuales escogidos.
4. Explorar la posibilidad de un pronóstico probabilístico usando las relaciones obtenidas entre las salidas del MM5 y los datos medidos en las estaciones de superficie.

1.3.3 Delimitación Territorial

A partir de los campos de valores medidos y pronosticados, asociados a las locaciones del conjunto de estaciones seleccionadas, se interpoló un conjunto de campos de isolíneas que dan cuenta de la distribución de la precipitación en cada lapso, los cuales han sugerido un delimitación espacial del estudio al siguiente sector:

	Mín	Máx
<i>Latitud Norte</i>	7°28'48"	12°12'00"
<i>Longitud Oeste</i>	−72°24'00"	−62°8'00"

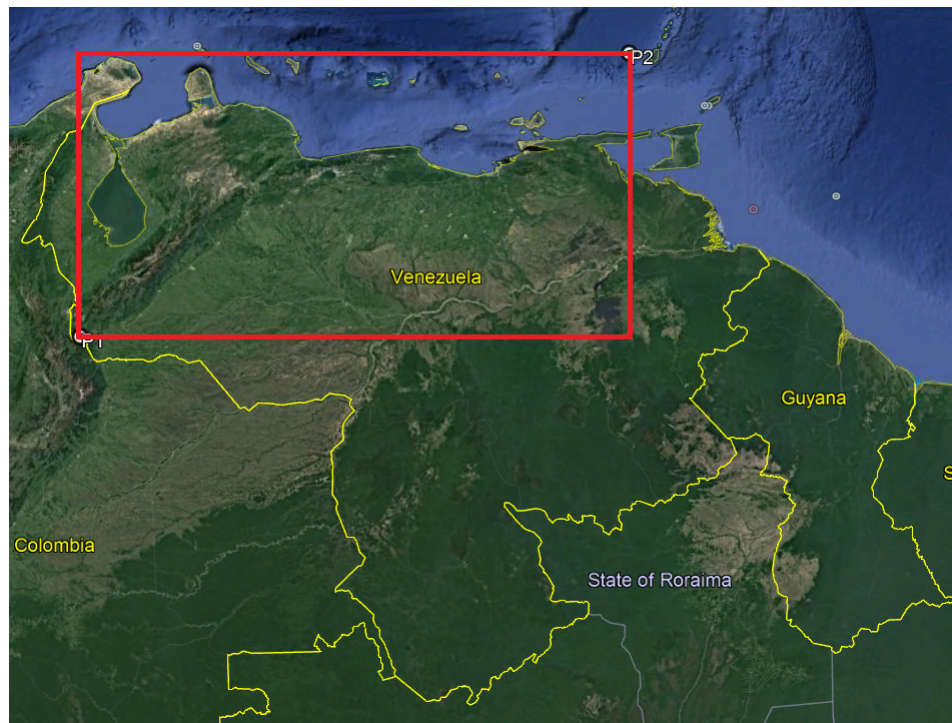


Figure 1.1: fig: Delimitación Territorial del Estudio

Chapter 2

Modelación numérica y dinámica climática

2.1 Antecedentes

2.1.1 Primeros pasos en la Historia

Vilhelm Bjerknes y L.F.Richardson

La idea de los modelos de predicción climática fué planteada por primera vez por el noruego Vilhelm Bjerknes en 1904.



Figure 2.1: **Vilhelm Bjerknes** – Considerado Padre de los modelos de predicción climática.

Sin embargo, el primer intento formalmente reconocido de predecir el clima a través del modelaje numérico se debe al británico L.F.Richardson en su libro *predicción del tiempo por métodos numéricos* publicado en 1922. Aquí, Richardson mostró como es posible expresar la ecuaciones diferenciales que gobiernan los movimientos atmosféricos como ecuaciones de diferencias algebraicas para los valores de varias variables de campo, en un número finito de puntos en el espacio que conforman una “malla” o “grilla”. Luego, por extrapolación de las tendencias calculadas en un corto incremento del tiempo, se podría

obtener una estimación de los campos en un corto período de tiempo en el futuro. Estos valores podrían ser usados para volver a calcular tendencias y así sucesivamente.



Figure 2.2: **L.F.Richardson**

En su libro, cuya publicación fue previa a la aparición de las computadoras, Richardson estimó que sería necesario un contingente de 64000 personas para controlar el clima global. En el marco de su obra, Richardson se propuso hacer un intento de predicción en dos puntos de una red cuyos resultados en cuanto a la medición de la presión, estaban 1 orden de magnitud por encima de lo observado. Tras el fallo, el tema de la predicción no fue abordado activamente hasta después de la II guerra mundial.

J.G.Charney

En 1948, ya con la aparición de las primeras computadoras, J.G.Charney mostró como las ecuaciones dinámicas se podrían simplificar introduciendo supuestos geostróficos e hidrostáticos, de modo que las oscilaciones sonoras y de gravedad fueran filtradas. Las ecuaciones resultantes del filtrado de Charney eran esencialmente las del modelo cuasi-geostrófico. Un caso especial de este modelo, el llamado modelo barotrópico equivalente, fue utilizado en 1950 para hacer la primera predicción numérica.



Figure 2.3: **J.G.Charney**

El primer modelo suministraba sólo predicciones del geopotencial y por tanto, del viento geostrófico a 500mb. Más tarde, modelos para varios niveles basados en la teoría

cuasigeostrófica, se utilizaron para diagnosticar movimientos verticales a gran escala en la predicción del tiempo y, como el movimiento vertical está correlacionado con la precipitación, esta información se pudo usar por los predictores como una ayuda en la predicción del tiempo local asociado con circulaciones a gran escala.

Con el desarrollo de computadoras más poderosas y modelos más sofisticados, el interés en la predicción numérica ha retornado a modelos que son bastante similares a la formulación de Richardson.

Edward Lorenz

En 1960 Edward Lorenz inicia un estudio con un ordenador que calculaba el tiempo con 12 ecuaciones. Un día, en 1961, Lorentz quiso ver unos datos de nuevo. Introdujo los números de nuevo en el ordenador, pero para ahorrar con el papel y tiempo, solo calculó con 3 números decimales en vez de 6. Le salieron resultados totalmente diferentes a los que había obtenido.

Según las ideas convencionales, los resultados habrían tenido que ser prácticamente los mismos habrían ejecutado el mismo programa, y e introducido datos de inicio “casi iguales” (“esas diferencias muy pequeñas no pueden tener efecto verdadero en los resultados finales”). Lorentz demostró que esa idea era falsa. Al efecto que tienen las diferencias pequeñas e iniciales, después se le dió el nombre del ‘efecto mariposa’.

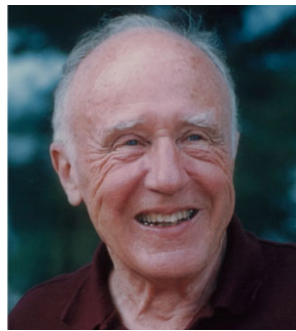


Figure 2.4: **Edward Lorenz – 1917-2008**

Tras esta sorpresa, Lorenz inicia una serie de estudios del fenómeno. Concluye lo siguiente:

1. Las soluciones son altamente sensibles a las condiciones iniciales (**efecto mariposa**)
2. Evolucionan alrededor de un **atractor extraño** que le confiere cierto orden a través de las estaciones.

En otras palabras,

el clima es un sistema caótico.

2.1.2 Implantación en Venezuela

En Venezuela el Modelaje Numérico del Clima, es un bastante reciente. Ha sido un área poco explotada, lo que ha derivado en esfuerzos de algunas instituciones gubernamentales y de investigación, por explorar el mercado mundial del modelaje meteorológico, e implementar modelos que puedan ser adaptados a las condiciones climáticas del país y que sirvan de herramientas de pronóstico, que a su vez cuenten con un amplio respaldo en información de soporte.

2006 El Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la UCV, responde a una convocatoria del FONACIT, con la propuesta de crear plataformas de Modelaje Numérico, para distribuir a diferentes instituciones dedicadas a la hidrometeorología en el país. Se elige el **MM5** para este fin.

Mismo año EDELCA (Electrificación del Caroní - vigente hasta julio del 2008 - Núcleo Chuao-Caracas) monta en su plataforma el modelo **WRF**, para manejar el pronóstico de la cuenca del río Caroní y el Embalse de Guri.

2007-2008 En el antiguo VENEHMET (actual INAMEH) se abre una línea de investigación en el área, con la implantación de una plataforma con el modelo **MM5**.

Se incorpora a esta plataforma el modelo brasileño **BRAMS**. Adicionalmente en el mismo período, inicia funciones el Centro de Modelado Científico CMC-LUZ en la Universidad del Zulia (LUZ)

En el INAMEH se están desarrollando tareas relacionadas a investigación de validación de estos modelos instalados en su plataforma tecnológica, y se está desarrollando un proyecto, donde se espera contar con un cluster de cómputo matemático con más de 700 nodos destinado a cálculo intensivo para modelos, y además un servidor de pruebas y desarrollo con tecnología GPU con más de 3000 GPU's.

2.2 Variables y ecuaciones de un modelo

Se busca modelar la evolución de un conjunto concreto de variables denominadas *variables de campo*, para un volumen de aire sujeto a determinadas condiciones. Tales variables son las siguientes:

	Magnitud	Variable	Unidades (S.I.)
1	Presión	P	$\frac{N}{m^2}$
2	Densidad	ρ	$\frac{Kg}{m^3}$
3	Temperatura	T	C°
4	Velocidad	$\vec{v}$	$\frac{m}{s}$

Estas variables se conjugan a través de un conjunto de ecuaciones que obedecen criterios físicos aplicables dentro del ámbito de la termodinámica y la mecánica de fluidos. Estas ecuaciones son las siguientes:

2.2.1 Segunda ley de Newton

Presión y densidad

Se entiende que las masas de aire se mueven desde zonas de una presión específica, a zonas de menor presión. En este sentido, no debe resultar descabellado establecer como primera causa de movimiento de cualquier diferencial de volumen atmosférico, a la fuerza producida por los gradientes de presión, la cual produce una aceleración que se expresa matemáticamente del siguiente modo:

$$\vec{a}_P = -\frac{1}{\rho} \nabla P \quad (2.1)$$

Es evidente que la dimensión de este término es de aceleración. En efecto:

$$[\vec{a}_P] = \frac{1}{\frac{Kg}{m^3}} \frac{1}{m} \frac{N}{m^2} = \frac{N}{Kg} = \frac{m}{s^2}$$

Aceleración Centrífuga y de Coriolis

La tierra es un sistema en movimiento per se. Respecto a cualquier observador considerado fijo relativo al sol o al fondo de estrellas, la tierra rota, se traslada y precesa. Aún eliminando la traslación, esto obliga a considerar la dinámica de un punto en movimiento respecto a ambos sistemas, que puede surgir al considerar la rotación y precesión terrestres.

Las coordenadas propias de estos movimientos se describen en el sistema de coordenadas esférico. Conviene resolver la dinámica allí:

$$\vec{r} = (R \sin \theta \cos \phi, R \sin \theta \sin \phi, R \cos \theta)$$

$$R > 0 \quad 0 < \theta < \pi \quad 0 < \phi < 2\pi$$

Es claro que constituye un sistema de coordenadas local, pero para el objetivo propuesto, será suficiente. Se definen los vectores unitarios del sistema esférico, a fin de poder interpolar con el sistema cartesiano:

$$\hat{R} = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$$

$$\hat{\theta} = (\cos \theta \cos \phi, \cos \theta \sin \phi, -\sin \theta)$$

$$\hat{\phi} = (-\sin \phi, \cos \phi, 0)$$

Se derivan estos vectores con el objeto de evaluar la dinámica propia de cualquier punto en movimiento visto desde tierra:

•

$$\begin{aligned} \dot{\vec{R}} &= \left(\dot{\theta} \cos \theta \cos \phi - \dot{\phi} \sin \theta \sin \phi, \dot{\theta} \cos \theta \sin \phi + \dot{\phi} \sin \theta \cos \phi, -\dot{\theta} \sin \theta \right) \\ &= \dot{\theta} (\cos \theta \cos \phi, \cos \theta \sin \phi, -\sin \theta) + \dot{\phi} \sin \theta (-\sin \phi, \cos \phi, 0) \\ &= \dot{\theta} \hat{\theta} + \dot{\phi} \sin \theta \hat{\phi} \end{aligned}$$

•

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\theta}} &= \left(-\dot{\theta} \sin \theta \cos \phi - \dot{\phi} \cos \theta \sin \phi, -\dot{\theta} \sin \theta \sin \phi + \dot{\phi} \cos \theta \cos \phi, -\dot{\theta} \cos \theta \right) \\ &= -\dot{\theta} (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta) + \dot{\phi} \cos \theta (-\sin \phi, \cos \phi, 0) \\ &= -\dot{\theta} \hat{R} + \dot{\phi} \cos \theta \hat{\phi} \end{aligned}$$

•

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\phi}} &= \left(-\dot{\phi} \cos \phi, -\dot{\phi} \sin \phi, 0 \right) = -\dot{\phi} (\cos \phi, \sin \phi, 0) \\ \sin^2 \theta \dot{\hat{\phi}} &= -\dot{\phi} \sin \theta (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta - \cos \theta) = -\dot{\phi} (\sin \theta \hat{R} - \sin \theta \cos \theta \hat{z}) \\ \cos^2 \theta \dot{\hat{\phi}} &= -\dot{\phi} \cos \theta (\cos \theta \cos \phi, \cos \theta \sin \phi, -\sin \theta + \sin \theta) = -\dot{\phi} (\cos \theta \hat{\theta} + \cos \theta \sin \theta \hat{z}) \\ \implies \dot{\hat{\phi}} &= -\dot{\phi} (\sin \theta \hat{R} + \cos \theta \hat{\theta}) \end{aligned}$$

Entonces, en coordenadas esféricas:

•

$$\vec{r} = R\hat{R}$$

•

$$\dot{\vec{r}} = \dot{R}\hat{R} + R\dot{\hat{R}} = \dot{R}\hat{R} + R(\dot{\theta}\hat{\theta} + \dot{\phi}\sin\theta\hat{\phi}) = \dot{R}\hat{R} + R\dot{\theta}\hat{\theta} + R\dot{\phi}\sin\theta\hat{\phi}$$

•

$$\begin{aligned}\ddot{\vec{r}} &= \ddot{R}\hat{R} + \dot{R}\dot{\hat{R}} + \dot{R}\dot{\theta}\hat{\theta} + R\ddot{\theta}\hat{\theta} + R\dot{\theta}\dot{\hat{\theta}} + \ddot{\phi}R\sin\theta\hat{\phi} + \dot{\phi}\dot{R}\sin\theta\hat{\phi} + \dot{\phi}R\dot{\theta}\cos\theta\hat{\phi} + \dot{\phi}R\sin\theta\dot{\hat{\phi}} \\ &= \ddot{R}\hat{R} + \dot{R}(\dot{\theta}\hat{\theta} + \dot{\phi}\sin\theta\hat{\phi}) + \dot{R}\dot{\theta}\hat{\theta} + R\ddot{\theta}\hat{\theta} + R\dot{\theta}(-\dot{\theta}\hat{R} + \dot{\phi}\cos\theta\hat{\phi}) \\ &\quad + \ddot{\phi}R\sin\theta\hat{\phi} + \dot{\phi}\dot{R}\sin\theta\hat{\phi} + \dot{\phi}R\dot{\theta}\cos\theta\hat{\phi} + \dot{\phi}R\sin\theta(-\dot{\phi}(\sin\theta\hat{R} + \cos\theta\hat{\theta})) \\ &= (\ddot{R} - R\dot{\theta}^2 - R\dot{\phi}^2\sin^2\theta)\hat{R} + (R\ddot{\theta} + 2\dot{R}\dot{\theta} - R\dot{\phi}^2\sin\theta\cos\theta)\hat{\theta} + \\ &\quad (R\ddot{\phi}\sin\theta + 2\dot{R}\dot{\phi}\sin\theta + 2R\dot{\phi}\dot{\theta}\cos\theta)\hat{\phi}\end{aligned}$$

Para determinar la dinámica que se busca, es necesario despreciar toda influencia causante de movimiento sobre la partícula, esto es:

$$\ddot{R} = 0 \quad \ddot{\theta} = 0 \quad \ddot{\phi} = 0$$

Por último, también es necesario despreciar el movimiento relativo entre la partícula y el eje terrestre, es decir $\dot{\theta} = 0$ entonces:

$$\ddot{\vec{r}} = -R(\dot{\phi}\sin\theta)^2\hat{R} - R\dot{\phi}^2\sin\theta\cos\theta\hat{\theta} + 2\dot{R}\dot{\phi}\sin\theta\hat{\phi}$$

De este resultado se infiere que, aún cuando una partícula no posea aceleración relativa a un sistema considerado fijo, respecto al cual la tierra simplemente rote, desde el punto de vista de un observador en tierra, la partícula si estará acelerada.

Definiendo:

$$|\vec{\Omega}| = \dot{\phi} \quad |\vec{v}_R| = \dot{R}$$

Entonces:

•

$$2\dot{R}\dot{\phi}\sin\theta = 2|\vec{v}_R||\vec{\Omega}|\sin\theta = 2|\vec{\Omega} \times \vec{v}_R|$$

Este término es denominado aceleración de Coriolis.

•

$$R(\dot{\phi}\sin\theta)^2 = (R\dot{\phi}\sin\theta)\dot{\phi}\sin\theta = |\vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r})| = \vec{a}_r$$

Este término es radial.

Gravedad

La fuerza de gravitación no puede desestimarse. En este sentido, es necesario que se interrelacione con las variables. Se denotará su aceleración del siguiente modo:

$$\vec{g} = \frac{GM}{r^2} \hat{r} \quad (2.2)$$

Si suponemos que la magnitud de la distancia de un volumen diferencial de aire sobre la superficie de la tierra se descompone en el radio de la tierra, denotado por una cantidad escalar a y una altura z adicional sobre la superficie, entonces:

$$r = a + z = a \left(1 + \frac{z}{a}\right)$$

de manera que:

$$\vec{g} = \gamma \vec{g}_0^*$$

con

$$\vec{g}_0^* \equiv \frac{GM}{a^2} \hat{r} \quad \gamma \equiv \frac{1}{1 + \frac{z}{a}}$$

Esta aceleración debe ser sumada con todas las componentes radiales a la que esté sujeta la partícula, es este caso, a la componente radial imputada por tierra a dicha partícula. Surge así, la denominada “gravedad”:

$$\vec{g}^* \equiv \vec{g} + \vec{a}_r$$

2.2.2 Ecuación de estado del gas ideal

Variables como la presión, a su vez vienen determinadas por la conjugación de otras variables hasta ahora no necesariamente consideradas. En este caso, la ecuación de estado del gas ideal puede ser usado como un modelo simplificado válido para modelar el comportamiento de la presión atmosférica:

$$P = R\rho T \quad (2.3)$$

La R en este caso no es el “radio” de las coordenadas polares, sino una constante cuyo valor es $R = 287 \frac{1}{Kg} \frac{J}{Ko}$. Esta ecuación equilibra la aparición de P y ρ introducida por la segunda ley de Newton, pero abre la necesidad de contemplar otra ecuación que equilibre la aparición de la T , dentro del modelo.

Por comodidad se introduce una variable dependiente de ρ dada por $\alpha = \frac{1}{\rho}$, quedando la segunda ley de la siguiente forma:

$$P\alpha = RT \quad (2.4)$$

2.2.3 Materia y Energía

Conservación de la masa

Otro principio que es necesario introducir en el modelo proviene de la mecánica de fluidos, el cual asume que la densidad de materia en la atmósfera, no varía en el tiempo. Esto es:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2.5)$$

A parte de la ρ , esta ecuación equilibra la aparición de la velocidad $\vec{v}$ como variable en la segunda ley de Newton. Sin embargo, aún quedan variables por equilibrar.

Primera Ley de la Termodinámica

A su vez, por complejo que pueda resultar el comportamiento de la atmósfera en su globalidad, se puede considerar un sistema termodinámico. De acuerdo a la primera ley de la termodinámica en su forma diferencial:

$$dU = \delta Q + \delta W \quad (2.6)$$

Considerando que de las 3 variables, solo Q pertenece a las variables de campo con las que se pretende construir el modelo, que son las consideradas pertinentes y medibles para determinación de los estados atmosféricos; es necesario replantear tanto U como W , a fin de que queden en términos de las variables de campo. Tradicionalmente se sabe que:

$$\delta W = -P d\alpha$$

En cuanto a la Energía interna, si se estima dependiente de la temperatura, entonces:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial T} dT$$

Al conjugar esto, la primera ley se puede escribir de esta manera:

$$\dot{Q} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \frac{dT}{dt} + P \frac{d\alpha}{dt}$$

Sin embargo, en este punto, conviene dejar todo, en términos directos de las variables de campo. Si se deriva la ecuación de estado de gases ideales:

$$P \frac{d\alpha}{dt} + \alpha \frac{dP}{dt} = R \frac{dT}{dt}$$

Sustituyendo esto en la primera ley:

$$\dot{Q} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} - R \right) \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dP}{dt}$$

El coeficiente de $\frac{dT}{dt}$ se denomina *capacidad calorífica*. Es una característica de las sustancias y está básicamente tabulado. La ecuación en sí tiene la forma de un diferencial exacto de una función escalar de T y P . Se entiende de esto que la capacidad calorífica se puede obtener (y de hecho se ha obtenido así) como una medida a presión constante. Se denota por C_P y se escribe como sigue:

$$\dot{Q} = C_P \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dP}{dt} \quad (2.7)$$

2.2.4 El sistema primitivo

Finalmente este conjunto de ecuaciones constituye un sistema acoplado denominado **sistema primitivo** expresado como sigue:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P - 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \Omega^2 \vec{R} + \vec{g}_0 + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{V} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.9)$$

$$P = R\rho T \quad (2.10)$$

$$\dot{Q} = c_P \frac{dT}{dt} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dt} \quad (2.11)$$

- $\vec{\Omega}$ Velocidad angular de rotación terrestre.
 - $\vec{R}$ Radiovector de ubicación de un diferencial de aire, referido al centro de la tierra.
 - $\vec{g}_0$ Aceleración de la fuerza de gravitación de Newton sobre cualquier partícula de aire.
 - μ Coeficiente de viscosidad del aire.
 - c_P Capacidad calorífica del aire a presión constante.
-

2.3 Conceptos primordiales

2.3.1 Aproximaciones Básicas de un modelo

Aproximación hidrostática

Una aproximación para la atmósfera en condiciones normales es la ausencia de movimientos en la vertical. En estas condiciones, las fuerzas experimentadas por un diferencial de una masa de aire deben compensarse, lo que se puede expresar anulando la aceleración en esa dirección. En este caso, la tercera componente de la aceleración puede ser substituida por la ecuación:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - g = 0 \quad (2.12)$$

Solo sistemas intensos a microescala como líneas turbonadas romperían las condiciones de equilibrio e invalidarían tal aproximación. Sin embargo, garantizar dichas condiciones de calma no es tan sencillo. En este caso conviene efectuar algunas definiciones que sirvan para establecer un soporte que ayude a delimitar la validez de esta aseveración en el marco del sistema global de ecuaciones primitivas.

Consideremos la presión como una variable cuyos valores se subtienden de una “perturbación” entorno a una función estandar definida a cada altura $p_0(z)$, así como una densidad estandar $\rho_0(z)$ correspondiente, de modo que:

$$-\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_0}{\partial z} \equiv g \quad (2.13)$$

$$P(x, y, z, t) \equiv p(x, y, z, t) = p_0(z) + p'(x, y, z, t) \quad (2.14)$$

$$\rho(x, y, z, t) = \rho_0(z) + \rho'(x, y, z, t) \quad (2.15)$$

En estos términos, podemos desarrollar la expresión:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g = -\frac{1}{(\rho_0 + \rho')} \frac{\partial}{\partial z} (p_0 + p') - g$$

Desarrollamos en serie de Taylor la subexpresión:

$$\frac{1}{(\rho' + \rho_0)} = \frac{1}{1 + \frac{\rho'}{\rho_0}} \frac{1}{\rho_0} \simeq \left[1 - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) + \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^2 - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^3 + \dots \right] \frac{1}{\rho_0}$$

de manera que:

$$\begin{aligned}
-\frac{1}{(\rho' + \rho_0)} \frac{\partial}{\partial z} (p' + p_0) - g &\simeq - \left[1 - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) + \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^2 - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^3 + \dots \right] \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial p_0}{\partial z} + \frac{\partial p'}{\partial z} \right) - g \\
&\simeq - \left[1 - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) + \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^2 - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^3 + \dots \right] \left[-g + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial z} \right] - g \\
&\simeq \underbrace{g - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial z} - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) g + \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial z} + \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^2 g}_{- \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^2 \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial z} + \dots} - g \\
&\simeq - \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) \left[\frac{1}{\rho'} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \right] + \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)^2 \left[\frac{1}{\rho'} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \right] - \dots
\end{aligned}$$

Es evidente que este es el desarrollo de Taylor de $\frac{1}{\rho}$ multiplicado por un factor. De esto se induce la siguiente equivalencia:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g = \left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right) \left[\frac{1}{\rho'} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \right] \frac{1}{\rho} \quad (2.16)$$

Al considerar órdenes de magnitud para movimientos a escala sinóptica:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial z} \sim 10^{-1} \frac{m}{s^2} \quad \frac{\rho' g}{\rho_0} \sim 10^{-1} \frac{m}{s^2}$$

Lo que pone de manifiesto que, con buena aproximación, el campo de perturbación de la presión está en equilibrio hidrostático con el campo de perturbación de la densidad. De manera que:

$$\frac{1}{\rho'} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \approx 0 \quad (2.17)$$

Esto refuerza al conjunto caracterizado por (??), (??) y (??) como una aproximación razonable.

Sigma-coordenadas

El seguimiento del terreno ($z \longleftrightarrow \sigma$). Se establece una biyección entre la coordenada z (asociada a las presiones (p_0) en base a la aproximación anterior) y una coordenadas normalizada denotada por σ y definida del siguiente modo:

$$\sigma \equiv \frac{p_0 - p_{\text{Top}}}{p_{\text{surf}} - p_{\text{Top}}} \quad 0 \leq \sigma \leq 1 \quad (2.18)$$

donde:

$$\begin{aligned} p_{\text{surf}} & \text{ Presión en superficie} \\ p_{\text{Top}} & \text{ Presión en tropopáusa} \end{aligned}$$

y además:

$$p^* \equiv p_{\text{surf}} - p_{\text{Top}} \quad (2.19)$$

Con esta transformación se consigue hacer un registro indirecto de la topografía, a través de la definición del campo escalar P_{Surf} , producto del proceso de asimilación de datos.

Transformación de coordenadas

Ahora bien, ante este cambio en la coordenada vertical, serán ciertas las siguientes expresiones:

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} \right)_{\sigma} = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{\sigma} \frac{\partial}{\partial z} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)_z = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{\sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} \frac{\partial}{\partial \sigma} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)_z$$

Usando (??) y (??):

$$\partial z = -\frac{\partial p_0}{\rho_0 g} = -\frac{p^* \partial \sigma + \sigma \partial p^*}{\rho_0 g} \implies \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_0 g} p^* \partial \sigma + \sigma \partial p^*$$

2.3.2 Algunos conceptos importantes

Parametrizaciones

Existen fenómenos que están por debajo de la “*resolución*” de la grilla, denominados **Fenómenos de sub-escala**, que constituyen información que el modelo no puede “registrar” por si solo. Esta es una limitación propia del método.

Para esto, suele introducirse una serie de expresiones teóricas que constituyen modelos auxiliares que describen estos fenómenos. Algunos son por ejemplo:

- La precipitación neta
- Los flujos superficiales entre suelo-atmósfera
- La hidrología del suelo
- La radiación
- La física de la humedad explícita
- La convección profunda
- La formación de cúmulos.

Ejemplo: Esquema de fuentes y sumideros

1. **Cloud liquid water** Q_l (Similar for ice)

$$\frac{\partial Q_l}{\partial t} = A(Q_l) + S_{CV}(Q_l) + S_{BL}(Q_l) + c - e' - G_P(Q_l)$$

2. **Cloud fraction** C

$$\frac{\partial C}{\partial t} = A(C) + S_{CV}(C) + S_{BL}(C) + c - e' - G_P(C)$$

3. **Rain** Q_r (Similar for snow)

$$\frac{\partial Q_r}{\partial t} = A(Q_r) + G_P(Q_l) + M - E$$

A Transport of Cloud (Advection + Sedimentation)

S_{CV} Detrainment from Convection

S_{BL} Source/Sink Boundary Layer Processes

c Source due to Condensation

e'/E Sink due to Evaporation

G_P Precipitation Sink

M Melting

A tales expresiones se les denomina **Parametrizaciones físicas**.

¿Qué es una parametrización en si?

Una parametrización es una aproximación de un término desconocido a partir de uno o más factores conocidos.

Lo que interesa no es el efecto detallado, sino el efecto neto de los procesos de subescala, el cual si puede incorporarse en la malla.

Por ejemplo, trabajar con una parametrización sencilla de la precipitación neta es más aconsejable que desarrollar complejas expresiones que tengan en cuenta la evolución de cada gota que conforma una nube y los cristales de hielo.

Las parametrizaciones acostumbran a realizar suposiciones, y se basan en relaciones empíricas que permiten evaluar procesos complejos eficientemente a partir de las variables resueltas con las ecuaciones físicas conocidas.

Asimilación y Anidamiento

Asimilación de datos

Las estaciones meteorológicas no están igualmente distribuidas por toda la superficie terrestre ni por toda la atmósfera.

La Asimilación de datos responde por la conversión de tales medidas, en valores que puedan ser **incorporados a la malla, siendo distribuidos de manera uniforme**.

Este proceso es crucial para la definición del estado inicial de los modelos.

Anidamiento

La precisión de las soluciones depende de la resolución de trabajo, pero por el momento es inviable computacionalmente trabajar con una gran resolución para grandes extensiones.

El **anidamiento** responde por esa limitación, y se define como la capacidad de un modelo de área limitada (LAM) de realizar un “Zoom” sobre ciertas regiones de trabajo.

La idea general es que se definen dominios menores de mayor resolución dentro de dominios padre.

Estos conceptos son importantes porque determinan el inicio y la fiabilidad de los modelos.

Chapter 3

Lluvia y Formación de Nubes

El siguiente capítulo constituye una síntesis que caracteriza la precipitación líquida y sus procesos de medición, con base en lo descrito en la *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*, Edición 2008 - Actualizada en 2010 (última versión a enero de 2015) en Español, de la OMM, y en las observaciones efectuadas sobre el territorio durante el período comprendido entre 1891 y 2006, archivadas por la Unidad de Procesamiento y Calidad de Datos del **Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología**

3.1 Generalidades

A continuación se describen los métodos conocidos para medir la precipitación en estaciones terrestres. No se examinan las mediciones con que se trata de definir la estructura y el carácter de la precipitación, o que requieren instrumentos especializados, pues no son observaciones meteorológicas normalizadas (como la distribución del tamaño de las gotas). Las mediciones por radar y por satélite, así como las mediciones en el mar, se tratarán en la parte II. En OMM (1992a; 1998) también puede encontrarse información sobre la medición de la precipitación que comprende, en particular, más detalles sobre mediciones de la capa de nieve. El problema general de la representatividad es particularmente grave en la medición de la precipitación. Las mediciones de la precipitación son especialmente sensibles a la exposición, al viento y a la topografía, y los metadatos que describen las circunstancias de las mediciones tienen especial importancia para los usuarios de los datos. Los análisis de los datos de precipitación son mucho más fáciles y más fiables si en las redes se utilizan los mismos pluviómetros y los mismos criterios de emplazamiento; debería tenerse muy en cuenta esta consideración a la hora de diseñar las redes.

3.1.1 Definiciones

La precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Dicho término comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la cencellada blanca, la escarcha y la precipitación

de la niebla. La cantidad total de precipitación que llega al suelo en determinado período se expresa en términos de profundidad vertical de agua (o equivalente en agua en el caso de formas sólidas) que cubriría una proyección horizontal de la superficie de la Tierra. La caída de nieve o nevada se expresa también como el espesor de nieve reciente que cubre una superficie horizontal plana (véase la sección 6.7).

3.1.2 Unidades y escalas

La unidad de precipitación es la profundidad lineal, normalmente en milímetros (volumen por unidad de área) o en kg m^2 (masa/área) para la precipitación líquida. Las cantidades diarias de precipitación deberían leerse con una resolución de 0,2 mm y de ser posible, con una resolución de 0,1 mm; las cantidades semanales o mensuales deberían leerse con una resolución de 1 mm (al menos). Las mediciones diarias de la precipitación deberían efectuarse a horas fijas comunes para toda la red (o redes) de interés. La precipitación inferior a 0,1 mm (0,2 mm en Estados Unidos de América) se denomina generalmente traza. La intensidad de la precipitación se expresa igualmente en medidas lineales por unidad de tiempo, normalmente milímetros por hora. Las mediciones de las nevadas se realizan en unidades de centímetros y decenas, con una resolución de 0,2 cm. La precipitación inferior a 0,2 cm se denomina generalmente traza. La capa de nieve en el suelo se mide habitualmente a diario en centímetros completos.

3.1.3 Requisitos meteorológicos e hidrológicos

En el anexo 1.D del capítulo 1 de la parte I se hace una declaración de carácter general sobre los requisitos de incertidumbre, rango y resolución para medir las precipitaciones, y se indica una incertidumbre alcanzable del 5 por ciento (con un nivel de confianza del 95 por ciento). Los períodos comunes de observación son cada hora, cada tres horas y a diario, para fines sinópticos, climatológicos e hidrológicos. En algunos casos se requiere una resolución temporal mucho mayor para medir intensidades de lluvia muy elevadas en períodos muy cortos. En algunas aplicaciones se utilizan pluviómetros totalizadores, con intervalos de observación de semanas o meses, o incluso de un año en montañas y desiertos.

3.2 Métodos de medición

3.2.1 Instrumentos

El medidor de precipitación (o pluviómetro cuando solo se tienen que medir precipitaciones líquidas) es el instrumento más frecuentemente utilizado para medir la precipitación. Generalmente se usa un recipiente abierto de lados verticales, en forma de cilindro recto, y con un embudo, si su principal finalidad es medir la lluvia. Se emplean varios tamaños

y formas de la boca y altura del medidor, según los países, por lo que las mediciones no son estrictamente comparables (OMM, 1989a [?]). Se mide el volumen o el peso de la captación, este último en particular para la precipitación sólida. La boca del medidor puede encontrarse en alguna de las varias alturas establecidas sobre el suelo o al mismo nivel del terreno circundante. La boca ha de estar situada por encima del espesor máximo previsto de la capa de nieve, y a una altura suficiente para evitar verse alcanzada por posibles salpicaduras desde el suelo. Para la medición de la precipitación sólida, la boca se encuentra sobre el suelo, rodeada de una protección artificial. La elevación más común en más de 100 países varía entre 0,5 m y 1,5 m (OMM, 1989a [?]). La medición de la precipitación es muy sensible a la exposición, y en particular al viento. La sección 6.2 trata de la exposición, mientras que en la sección 6.4 se examinan con cierta amplitud los errores a los que son propensos los pluviómetros, así como las correcciones que pueden aplicarse. En este capítulo se describen asimismo otras técnicas especiales para medir diferentes tipos de precipitación (rocío, hielo, etc.) y la capa de nieve. Algunas técnicas nuevas que se están introduciendo en el uso operativo no se describen en este texto, por ejemplo, el pluviómetro óptico, que utiliza la dispersión óptica. Los informes de conferencias periódicas, como los cursos internacionales sobre medición de la precipitación (Slovak Hydrometeorological Institute and Swiss Federal Institute of Technology, 1993; OMM, 1989b [?]) y los organizados por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación constituyen fuentes útiles de información sobre los nuevos métodos que se están preparando. Los puntos de medición de las precipitaciones son la fuente fundamental de datos para análisis zonales. Sin embargo, incluso la mejor medición de la precipitación en determinado punto sólo es representativa de una zona limitada, cuyo tamaño depende de la extensión del período de acumulación, de la homogeneidad fisiográfica de la región, de la topografía local y de los procesos que intervienen en la producción de precipitaciones. Los radares, y más recientemente los satélites, se utilizan para definir y cuantificar la distribución espacial de la precipitación. Las técnicas correspondientes se describen en la parte II del trabajo de grado. En principio, cabe esperar una integración adecuada de las tres fuentes de datos de precipitación zonal en las redes nacionales de precipitaciones (medidores automáticos, radar y satélite) para proporcionar estimaciones zonales de la precipitación lo suficientemente precisas a nivel operativo para una amplia gama de usuarios de datos de precipitaciones. Pueden utilizarse como detectores meteorológicos instrumentos que detectan la precipitación e identifican su tipo, en lugar de medirla, a los que se hace referencia en el capítulo 14 de la parte I de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, Edición 2008 - Actualizada en 2010 [?].

3.2.2 Medidores de referencia e intercomparaciones

Como medidores de referencia se utilizan varios tipos de aparatos. La principal característica de su diseño permite reducir o controlar el efecto del viento sobre la captación, que es la razón fundamental del comportamiento diferente de los medidores de

precipitación. También se eligen para reducir los otros errores de que se trata en la sección 6.4. Los medidores a nivel del suelo se utilizan como pluviómetros de referencia para medir la precipitación líquida. Al no haber errores inducidos por el viento, generalmente muestran una mayor precipitación que cualquier pluviómetro elevado. El pluviómetro se coloca en un hoyo, situando la boca al nivel del terreno, y a suficiente distancia del borde más próximo del hoyo para evitar salpicaduras. El hoyo debería estar cubierto por una fuerte red de plástico o de metal contra las salpicaduras, con una abertura central para la boca del pluviómetro. Es imprescindible prever un sistema que permita vaciar el agua del hoyo. En OMM (1984) se exponen diversas formas de colocar el pluviómetro en el hoyo. El medidor de referencia para la precipitación sólida es conocido como referencia de intercomparación de doble cerca. El pluviómetro de Tretyakov, que tiene una forma peculiar de protección para desviar el viento, está rodeado por una doble barrera vertical octogonal. Se presentan diseños y una descripción en Goodison, Sevruk y Klemm (1989), en OMM (1985), y en el informe final de la OMM sobre la intercomparación de pluviómetros de precipitación sólida.

3.2.3 Documentación

La medición de la precipitación es particularmente sensible a la exposición del medidor, por lo que los metadatos sobre las mediciones han de registrarse meticulosamente para establecer un historial completo de la estación y así poder utilizarse en la realización de estudios climáticos o de otro tipo y para garantizar la calidad. La modificación de las técnicas de observación de la precipitación, sobre todo el uso de un tipo de medidor de precipitación diferente y el cambio de emplazamiento o de altura de instalación, puede originar faltas de homogeneidad temporal en las series cronológicas de la precipitación. La utilización de tipos de medidores y de emplazamientos diferentes da lugar a heterogeneidades espaciales. Ello se debe a errores sistemáticos de la medición de las precipitaciones, principalmente a causa del viento. Puesto que las técnicas de ajuste basadas en parámetros estadísticos pueden eliminar las heterogeneidades con respecto a las mediciones de los pluviómetros más cercanos, la corrección de los errores debidos al viento que aparecen en las mediciones de precipitación puede ser una forma de eliminar el sesgo de los valores obtenidos por cualquier tipo de medidor.

3.2.4 Emplazamiento y exposición de los medidores

En todo método para medir la precipitación debería tratarse de obtener una muestra representativa de la verdadera cantidad caída sobre la zona que se piensa representar con la medición, ya sea a escala sinóptica, mesoescala o microescala. Por tanto, la elección del emplazamiento, y el error sistemático de medición, son importantes. La ubicación de las estaciones de precipitación en la zona de interés es importante porque el número y el emplazamiento de los medidores determinan el grado en que las mediciones representan

la cantidad real de precipitación que cae en la zona. En OMM (2008) [?] figura una introducción a la literatura sobre el cálculo de la precipitación zonal y las correcciones de topografía. Los efectos inducidos por el lugar de ubicación sobre el campo de viento en los alrededores pueden motivar excesos o deficiencias locales de la precipitación caída. En general, la distancia de cualquier objeto respecto del medidor no debería ser inferior al doble de su altura por encima de la boca del medidor. Para cada lugar debería estimarse el ángulo vertical medio de los obstáculos así como trazar un plano de la ubicación. Habría que evitar las laderas o los techos de los edificios. Los lugares elegidos para medir la nieve y/o la capa de nieve deberían estar situados, en la medida de lo posible, en puntos protegidos del viento. Los mejores emplazamientos suelen ser con frecuencia los claros de los bosques o de los huertos, entre los árboles, matorrales o arbustos, o en otros sitios en donde haya obstáculos que actúen como eficaces barreras contra el viento de todas las direcciones. No obstante, es preferible reducir los efectos del viento, y del lugar sobre el mismo, utilizando un pluviómetro al nivel del suelo para captar la precipitación líquida, o bien forzando el flujo de aire para que sea horizontal por encima de la boca del medidor, aplicando las siguientes técnicas que se enumeran por orden decreciente de eficacia:

- a. En zonas con vegetación densa y homogénea, la altura de la vegetación debería mantenerse al mismo nivel que la boca del pluviómetro mediante una poda regular;
- b. En otras zonas, mediante la simulación del efecto citado en (a), empleando estructuras de protección adecuadas;
- c. Utilizando paravientos alrededor del pluviómetro.

La superficie que rodea al pluviómetro puede estar cubierta de hierba corta, grava o guijarros, pero en todos los casos deberían evitarse las superficies duras y llanas como las de hormigón para impedir las excesivas salpicaduras en el interior del pluviómetro.

3.3 Algunos factores que inciden sobre el proceso de formación de nubes

3.3.1 Mecanismos físicos

Enfriamiento adiabático

El mecanismo básico de formación de las nubes gira en torno a dos factores fundamentales: la temperatura y de forma muy especial de la *presión*. Si tenemos una masa de aire, cualquier trabajo que se ejerza sobre dicha masa se hace a expensas de la energía interna, la cual depende directamente de la temperatura como demostrara J.P.Joule en 1842, de modo que si la comprimimos veremos que se produce un incremento de la temperatura, por el contrario, si disminuimos la presión de una masa de aire comprobaremos como el

aire se enfría. Es lo que se denomina *proceso adiabático*, es decir; es un proceso donde no hay intercambio de calor con el entorno, Esto lo entendemos mejor con las ecuaciones involucradas:

$$dU = \underbrace{\delta Q}_0 + \delta W = C_V dT = -PdV \quad PV = nRT$$

de modo que, con $n = 1$:

$$\frac{dT}{T} = - \left(\frac{R}{C_V} \right) \frac{dV}{V} \implies \frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{V_i}{V_f} \right)^{\gamma-1} \quad \gamma \equiv \frac{R}{C_V} + 1$$

De esto se pueden concluir las siguientes relaciones:

$$TV^{\gamma-1} = cte \quad (3.1)$$

$$PV^{\gamma} = cte \quad (3.2)$$

$$\frac{P}{T} = cte \quad (3.3)$$

Existen dos tipos de proceso adiabático:

1. El proceso adiabático seco.
2. El proceso adiabático húmedo.

El proceso adiabático seco. Dada una masa de aire sometida a presión y que no ha alcanzado el punto de saturación, a medida que dicha masa de aire asciende la presión disminuye y por tanto la temperatura (ecuación ??); de la misma forma, si una masa de aire se encuentra en una zona de baja presión y pasa a una zona de alta presión, esta masa sufrirá un incremento de temperatura, a este proceso se conoce proceso adiabático seco que. Como media, se da una variación constante de $10^0 C/Km$.

El proceso adiabático húmedo. Este proceso, a diferencia del seco, no tiene una tasa constante sino variable. Partamos de una masa de aire cálida que va ascendiendo y enfriándose hasta alcanzar el punto de rocío donde se produce la condensación. Cuando se produce la condensación se libera calor de la masa de aire, se trata del **calor latente**. Cabría preguntarse cual de los dos procesos tiene mayor peso. En este punto, es el proceso de enfriamiento el dominante ya que la masa de aire se sigue enfriando a medida que asciende con una tasa superior frente al calor latente liberado. A este proceso se le conoce como gradiente adiabático húmedo, y sigue una relación media de $5^0 C/Km$.

Las nubes están formadas por gotas de agua (aprox. $5000\mu m$) que bien pueden estar en estado líquido o si el nivel de enfriamiento alcanzado se sitúa por debajo de 0^0 , puede ser sólido, en forma de pequeños cristales de hielo.

En resumen, todos estos procesos implican enfriamiento del aire. El aire caliente puede contener mayores cantidades de vapor de agua que el aire fresco. Aquí, cuando el aire se enfría no puede sostener todo el vapor de agua que podía sostener cuando estaba caliente. Este vapor de agua adicional comienza a condensarse en forma de gotitas de agua líquida.

Higroscopicidad

Otro de los factores de formación de nubocidad se debe a la calidad del aire. Generalmente, el vapor de agua necesita una cierta clase de partícula, como polvo o polen, sobre la cual poder condensarse. Estas partículas se llaman **núcleos de condensación** y al nivel de impurezas contenidas en el aire en forma de pequeñas partículas suspendidas entorno a las cuales se puede condensar el vapor de agua, se le denomina, **higroscopicidad del aire**. Eventualmente, bastante vapor de agua se condensará sobre estos núcleos de condensación y formarán una nube. Las gotitas de agua en la nube caerán a la Tierra en forma de lluvia o nieve (y otras formas de precipitación). Este es el factor fundamental que permite la formación de neblinas, calimas y nieblas.

3.3.2 Procesos básicos de formación

Convección

Algunas nubes se forman debido al calentamiento de una superficie, sea una masa de agua, una porción amplia de terreno plano o una combinación de ambos. Primero, el Sol calienta la superficie, que luego calienta el aire. Este aire caliente es más ligero y menos denso que el aire circundante, de manera que comienza a subir. Cuando este aire sube, se expande a medida que encuentra presiones más bajas que existen a niveles más altos de la atmósfera. El aire frío que está subiendo ya no puede sostener todo el vapor de agua que podía cuando estaba caliente. Este vapor de agua adicional comienza a condensarse en forma de gotitas de agua líquida. A medida que la burbuja de aire sube más y más, esta continúa expandiéndose y enfriándose, y el vapor de agua sigue condensándose. Eventualmente, el aire sube tanto en la atmósfera que alcanza la misma temperatura que el aire circundante. Esto se llama temperatura de equilibrio. Cuando llega a la temperatura de equilibrio, la burbuja de aire deja de subir y habiéndose condensado bastante humedad se forma la nube. Los tipos de nubes que se forman de este proceso de calentamiento de la superficie son: cumulonimbos, cúmulos, mammatus, y estratocúmulos.

En contraste con el calentamiento de la superficie, el enfriamiento de la superficie de la Tierra conlleva al desarrollo de la niebla y de las nubes estrato.

Orografía

Algunas nubes se forman cuando el aire se encuentra con una cordillera de montañas u otro tipo de terreno similar. Cuando esto pasa, el aire subirá y se enfriará. El aire más frío

ya no puede sostener todo el vapor de agua que podía sostenerse cuando estaba caliente. Este vapor de agua adicional comienza a condensarse en forma de gotitas de agua líquida y se forma una nube. Los tipos de nubes que se forman a causa de encuentros con montañas son nubes estrato y nubes lenticulares. El lado de la montaña donde se origina el viento se llama lado de barlovento. La cara de la montaña en donde el viento cesa se llama lado de sotavento.

Otra manera como las montañas originan la formación de nubes es cuando el aire sube porque la montaña está más caliente que el aire circundante, lo que hace que el aire se eleve. Una vez que el aire asciende, continua el mismo proceso en la formación de nubes que se acaba de describir. Los tipos de nubes que se forman en este caso son: cumulonimbus, cúmulo y mammatus.

Convergencia de masas de aire

Algunas nubes se forman cuando el aire en la superficie de la Tierra es forzado a subir. Hay tres procesos que llevan al aire a converger y lo obligan a ascender. Primero, en un sistema de baja presión el viento se mueve hacia el centro desde todas direcciones porque el aire se mueve de alta a baja presión. Cuando este aire llega al centro, el aire no tiene a donde ir sino hacia arriba.

Los siguientes tipos de nubes se pueden producir ante la convergencia del aire de la superficie: Nubes altocúmulo, altostrato, cirrocumulo, estratocumulo, or estrato.

Choques de frentes

Los frentes de estados del tiempo pueden hacer que se formen nubes. Los frentes ocurren cuando dos masas grandes de aire chocan sobre la superficie de la Tierra. Los frentes cálidos producen nubes cuando el aire caliente se sobrepone al aire frío deslizándose sobre él. Gran cantidad de diferentes tipos de nubes son producidos de esta manera: altocúmulos, altoestratos, cirrocúmulos, cirroestratos, cirros, cumulonimbos, mammatos, nimboestratos, estratos, y estratocúmulos.

Los frentes fríos ocurren cuando aire frío y pesado desplaza aire caliente más ligero, y lo empuja hacia arriba. Las nubes cúmulos son los tipos mas comunes de nubes producidas por frentes fríos. Generalmente crecen en forma de nubes cumulonimbos, las cuales producen tempestades. Los frentes fríos también pueden producir nubes nimboestratos, estratocúmulos, y estratos.

3.3.3 Tipos de nubes

La clasificación de las nubes, se realiza atendiendo a dos aspectos:

Altitud. Existen cuatro familias cuya clasificación se realiza en base a la altitud: bajas, medias, altas y en función del desarrollo vertical.

Forma. Hay dos clases en función de la forma: estratiformes (crecimiento horizontal), cúmulos (se trata de nubes que tienen forma globosa).

A continuación un breve resumen clasificatorio cortesía de la webside Windows to Universe - https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/clouds/cloud_types.html&lang=sp:

ALTAS – Desde 5000m hasta 13000m respecto al suelo



CIRROS

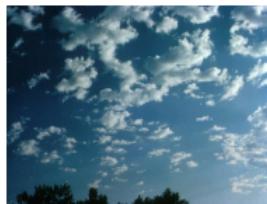


CIRROCUMULOS



CIRROSTRATOS

MEDIAS – Desde 2000m hasta 7000m respecto al suelo



ALTOCUMULOS

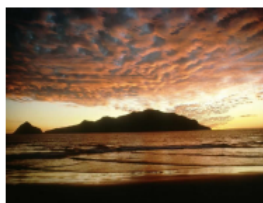


ALTOSTRATOS

BAJAS – Desde superficie hasta 2000m



ESTRATOS



ESTRATOCUMULOS



NIMBOSTRATOS

VERTICALES – Desde superficie hasta 13000m



CUMULOS



CUMULONIMBUS

Figure 3.1: Resumen clasificatorio de nubes por altura y forma

Chapter 4

Caracterización del MM5

4.1 Introducción

El modelo de mesoescala de quinta generación MM5 - NCAR / Pensilvania - es el último de una serie que se desarrolló a partir de un modelo de mesoescala utilizado por Anthes en Penn State a principios de los años 70, documentado posteriormente por Anthes y Warner (1978). Desde entonces ha sufrido muchos cambios diseñados para ampliar sus aplicaciones. Estas incluyen (i) Capacidad de multianidamiento (ii) dinámica no hidrostática (iii) una capacidad de asimilación de datos en cuatro dimensiones, (iv) un mayor número de opciones físicas, y (v) portabilidad a un mayor rango de plataformas por la inclusión de sistemas OpenMP y MPI (*Interfaz de Paso de Mensajes*). El propósito de esta introducción es familiarizar al usuario con algunos conceptos utilizados en el modelo MM5.

Los flujogramas del modelo completo se representan en los diagramas esquemáticos de las figuras ?? y ?. Se pretende mostrar el orden de los programas, el flujo de los datos, y describir brevemente sus funciones primarias. La Fig. ?? muestra el diagrama de flujo cuando se utiliza el análisis objetivo (LITTLE_R / RAWINS), mientras que la Fig. ?? representa el flujo cuando se utiliza el análisis variacional tridimensional (3DVAR).

Los datos meteorológicos terrestres e isobáricos se interpolan horizontalmente (programas TERRAIN y REGRID) desde una grilla de puntos de intersección de latitudes y longitudes, a un dominio continuo mesoescalar rectangular, presentando esto luego en proyección Mercator, Cónica Conforme de Lambert o Polar Estereográfica. Puesto que la interpolación de los datos meteorológicos pueden no proporcionar necesariamente mucho detalle a mesoescala, los datos interpolados pueden ser mejorados (programa LITTLE_R / RAWINS) con observaciones de la red estándar de estaciones superficiales y de radiosondeo usando escaneo sucesivo de Cressman o un método Multicuadrado [?].

El programa INTERPF realiza entonces la interpolación vertical desde los niveles de

presión a la coordenada σ del modelo MM5. Alternativamente, el programa 3DVAR puede usarse para insertar datos en los σ -niveles del modelo. Después de una integración, el programa INTERPB puede utilizarse para interpolar los datos de niveles σ de retorno a niveles de presión, mientras que el programa NESTDOWN puede usarse para interpolar datos de nivel de modelo a una grilla más fina para preparar una nueva integración de modelo. Los programas gráficos (RIP y GRAPH) pueden usarse para visualizar los datos de salida del modelo tanto en la presión como en niveles σ .

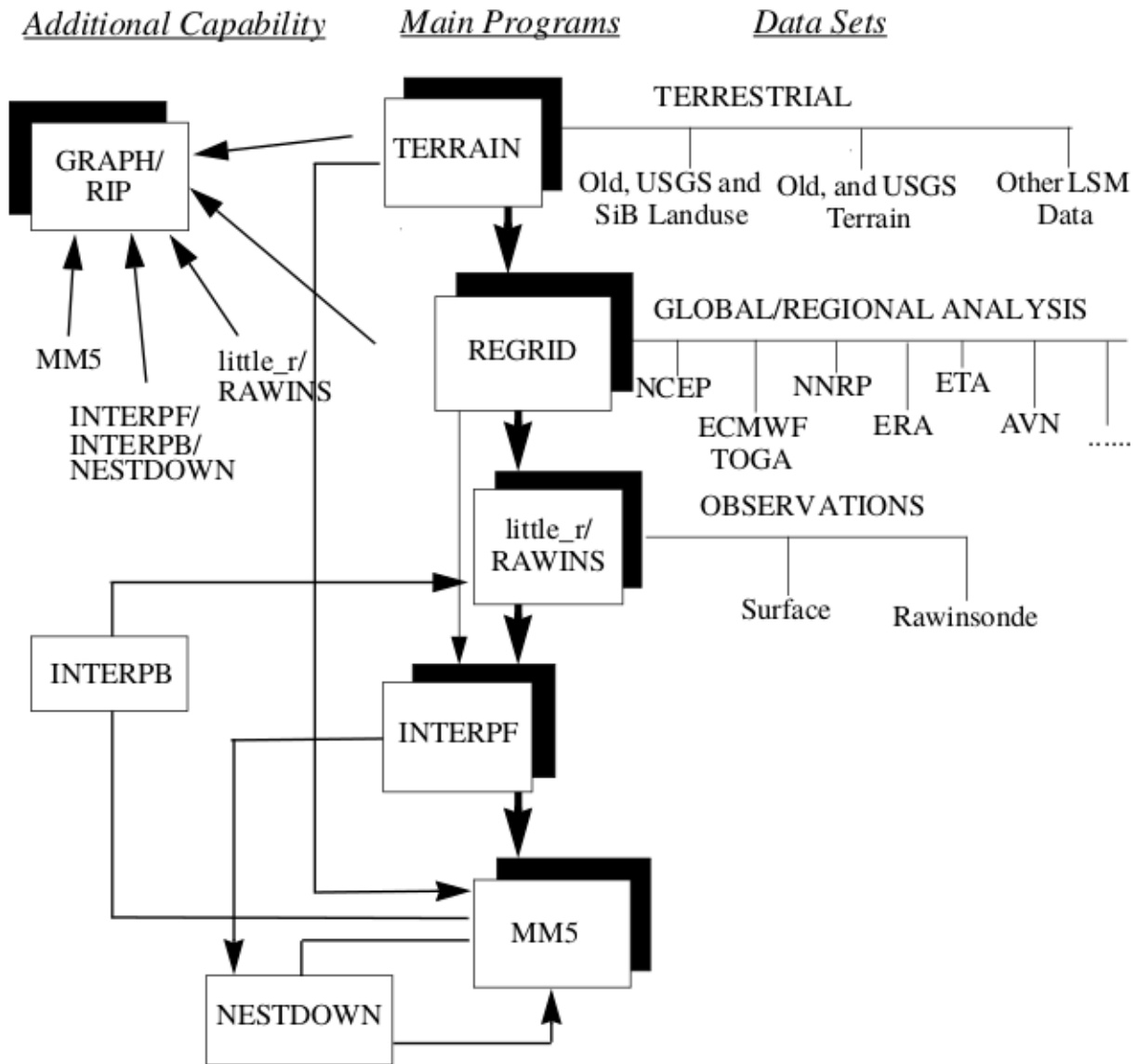


Figure 4.1: Diagrama de flujo del modelo MM5

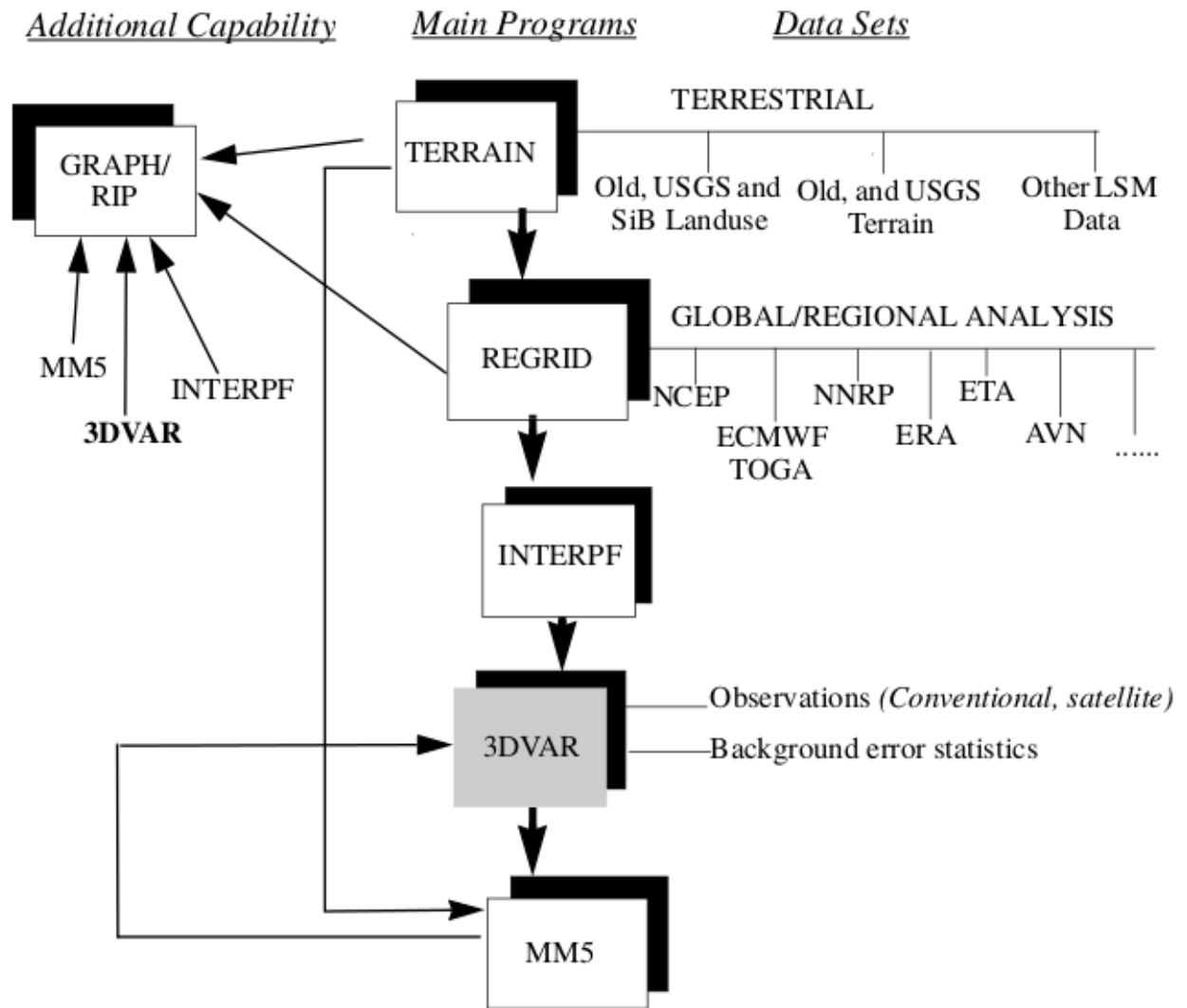


Figure 4.2: Diagrama de flujo del modelo MM5 cuando usa 3DVAR.

4.1.1 Portabilidad

Los programas del sistema de modelado MM5, TERRENO, REGRID, LITTLE_R / RAWINS, INTERPF, NESTDOWN, INTERPB, RIP / GRAPH y MM5, se pueden ejecutar en estaciones de trabajo Unix, PC con Linux, Cray e IBM. Ejecución de programas MM5 en un PC Linux requiere fundamentalmente compiladores Intel Fortran y C. Las principales razones de estas opciones son: 1) que soporta punteros Cray que se utilizan en varios programas, incluyendo el modelo MM5; y 2) tienen compiladores de Fortran 90. Los programas del sistema de modelado MM5 son en su mayoría programas Fortran que requieren compilación en su computadora local. Algunos programas (Fortran 77) necesitan ser recompilados cada vez que cambie la configuración del modelo. Otros programas (Fortran 90) solo necesitan ser compilados una vez. Un usuario debe tratar de conocer su computadora y el compilador. Resulta necesario saber cuánta memoria útil tiene en el equipo y qué versión del compilador tiene. Esta información puede resultar útil si encuentra problemas al compilar y ejecutar los programas del sistema de modelado e informar de los problemas al mesouser. Si está pensando en comprar una computadora, obtenga al menos 0,5 a 1 Gb de memoria y unos pocos Gb de disco. Como la mayoría de los programas de preprocesador MM5 se están migrando a Fortran 90, también necesitará un compilador f90 para compilar los programas. En la tabla siguiente se muestra los lenguajes y compiladores necesarios para compilarlos:

Nombre del Programa	Lenguaje	Compilador requerido
TERRAIN	Fortran 77	f77 (or f90)
REGRID	Fortran 90	f90
LITTLE_R	Fortran 90	f90
RAWINS	Fortran 77	f77 (or f90)
INTERPF	Fortran 90	f90
MM5	Fortran 77	f77 (or f90)
NESTDOWN	Fortran 90	f90
INTERPB	Fortran 90	f90
RIP/GRAPH	Fortran 77	f77 (or f90)

Los programas MM5 no requieren de los gráficos NCAR para ejecutarse. Es una cuestión de conveniencia tenerlo, ya que algunos programas lo usan para ayudarlo a configurar dominios y preparar datos. Algunos de los programas de virtualización que vienen con el sistema MM5 (programas RIP y GRAPH) se basan en NCAR Graphics. NCAR Graphics es un software con licencia, pero parte de él se ha convertido en libre y esta es la parte que requiere el sistema de modelado MM5.

4.1.2 Configuración horizontal y vertical

Es útil introducir primero la configuración de rejilla del modelo. El modelo normalmente obtiene y analiza sus datos sobre superficies de presión, pero estas han de ser interpoladas a la coordenada vertical del modelo antes de ser introducidas en el mismo. El que la coordenada vertical siga al terreno (véase la Fig. ??), lo que significa que los niveles inferiores de la rejilla reproducen el relieve mientras la superficie superior es plana. Los niveles intermedios se aplanan progresivamente a medida que la presión disminuye hacia la presión superior elegida. Se utiliza una cantidad adimensional σ para definir los niveles del modelo,

$$\sigma = \frac{p_0 - p_t}{p_{s0} - p_t} \quad (4.1)$$

donde p_0 es la presión de referencia, p_t es una presión superior constante especificada, y p_{s0} es la presión en superficie. Se puede ver a su vez a partir de la ecuación (??) y la Fig. ?? que σ es cero en la parte superior y uno en la superficie, y cada nivel del modelo está definido por un valor de σ . La resolución vertical del modelo se define por un continuo de valores entre cero y uno que no necesariamente tienen que estar equiespaciados. Comúnmente la resolución en la capa límite es mucho más fina que las anteriores, y el número de niveles puede variar de diez a cuarenta, aunque no hay límite en principio.

Para cada nivel hay una distribución horizontal de valores adicionales a los valores de presión. Para esta distribución, el sistema utiliza una grilla del tipo Arakawa-Lamb B que asigna magnitudes de componentes de velocidad y escalares tanto en las esquinas como en el centro de las cuadrículas. Esto se muestra en la Fig. ??, donde se puede ver que los escalares (T, q etc.) están definidos en el centro del cuadrado de rejilla, mientras que las componentes de velocidad hacia el este (u) y hacia el norte (v) están colocados en las esquinas. Los centros de los cuadrados de rejilla se representan por cruces, y las esquinas simplemente por puntos. Cuando los datos se introducen en el modelo de los preprocesadores hacen las interpolaciones necesarias para asegurar la coherencia con la red.

Estas grillas de valores escalares y componentes horizontales son ubicadas en el centro de cada nivel vertical del modelo, denominadas niveles medios y representadas por las líneas discontinuas en la Fig. ?. Las componentes verticales de la velocidad se ubican a el tope de cada nivel (líneas continuas). En la definición de los niveles σ son los niveles completos los que se enumeran, incluyendo los niveles 0 y 1. El número de capas de modelo es por lo tanto siempre menor que el número de niveles σ completos. Observe también las direcciones I, J y K en el modelo. La diferenciación finita en el modelo es, por supuesto, crucialmente dependiente de la resolución general de la grilla dondequiera que se requieran gradientes o promedios.

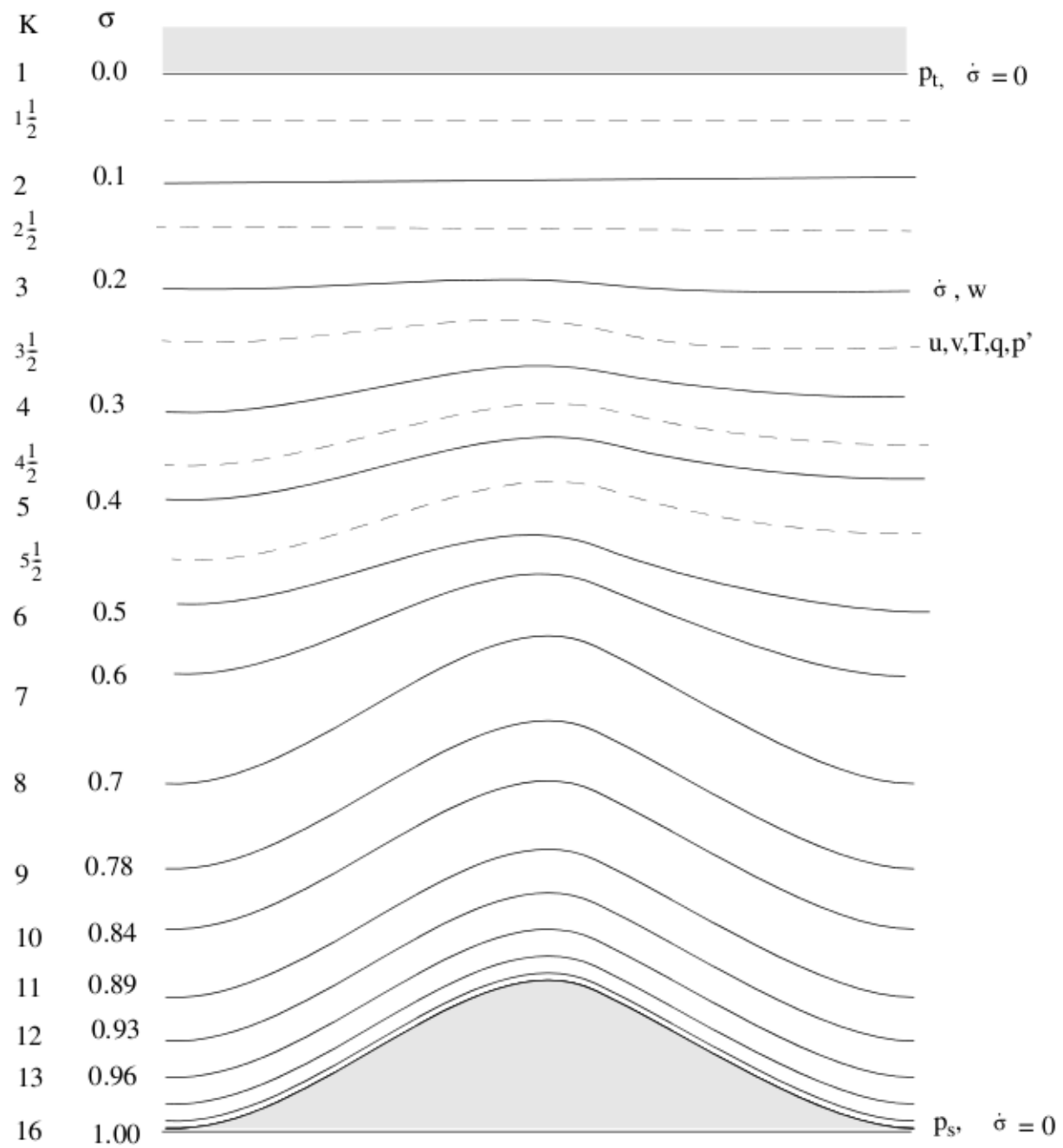


Figure 4.3: Representación esquemática de la estructura vertical del modelo. El ejemplo es para quince capas. Las líneas punteadas denotan niveles medios, mientras que las líneas completas denotan niveles completos.

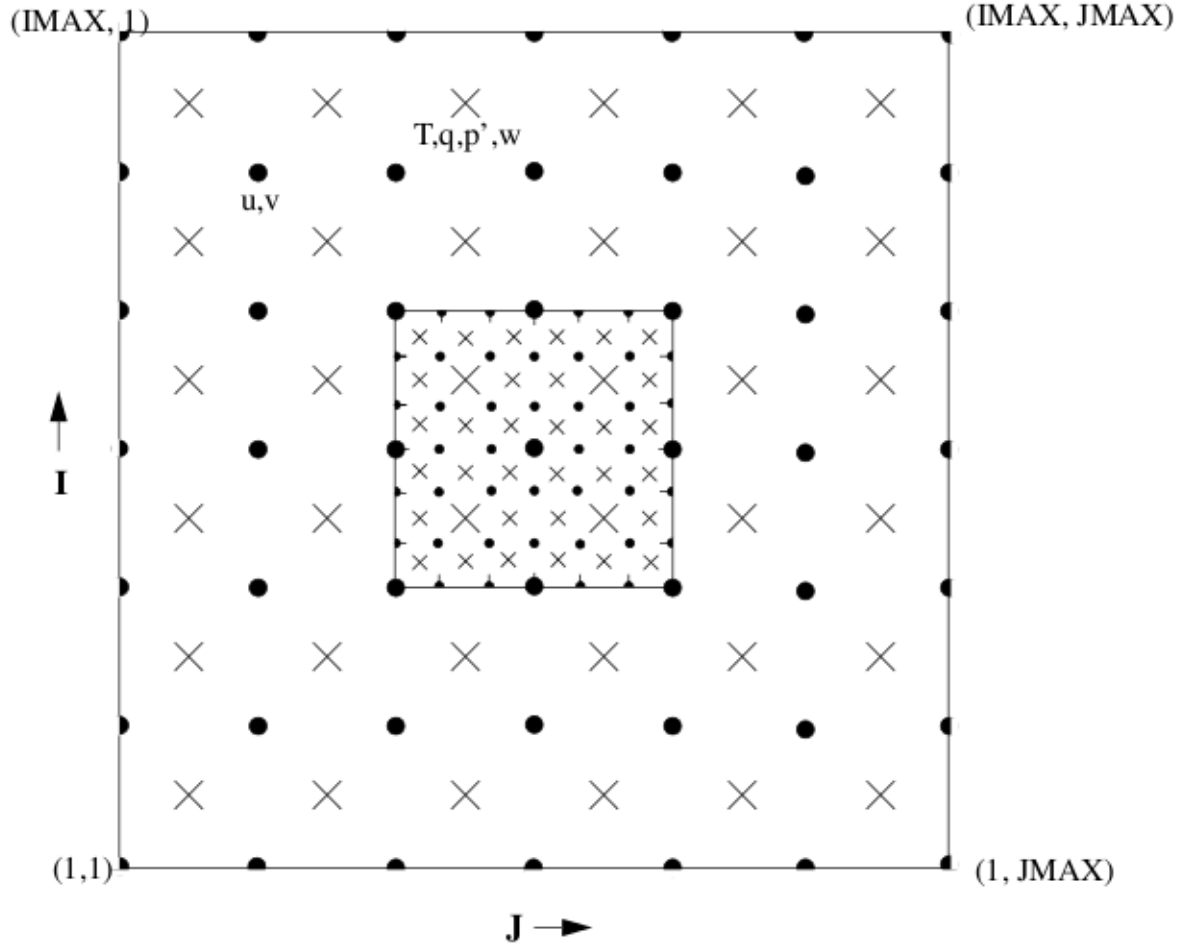


Figure 4.4: Representación esquemática que muestra el escalonamiento horizontal Arakawa B-grid de puntos (l) y cruces (x) de rejilla. La rejilla interior es una malla escalonada con una resolución de 3:1 respecto a la externa.

4.1.3 Anidamiento

El MM5 contiene una capacidad de anidamiento múltiple pudiendo ejecutar simultáneamente hasta nueve dominios completamente interactivos entre sí. En la Fig. ?? se muestra una posible configuración. La relación de anidamiento es siempre 3:1 para la “Interacción bidireccional”. Para las interacciones de este tipo, la entrada a los nidos internos desde la malla gruesa viene a través de sus límites, mientras que la retroalimentación a la malla más gruesa se produce desde el interior del nido.

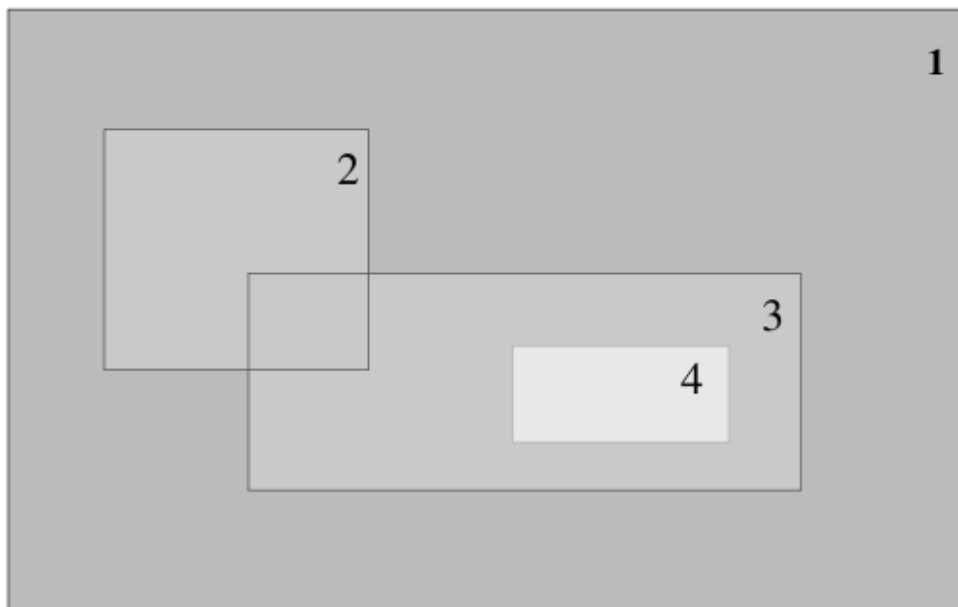


Figure 4.5: Ejemplo de configuración de anidamiento. Los recuadros sombrados muestran tres diferentes niveles de anidamiento.

Puede observarse que se permiten múltiples nidos en un nivel dado de anidamiento (por ejemplo, dominios 2 y 3 en la Fig. ??), y también se les permite superponerse. El dominio 4 está en el tercer nivel, lo que significa que su tamaño de red y paso de tiempo es nueve veces menor al del dominio 1. Cada subdominio tiene un “dominio Padre” en el que está completamente embebido, de modo que para los dominios 2 y 3 el El dominio Padre es 1 y para el 4 es el 3. Los nidos se pueden encender y apagar en cualquier momento de la simulación, observando que cada vez que un nido Padre es terminado todos sus nidos descendientes también se apagan. El movimiento de un dominio también es posible durante una simulación, siempre que no sea un dominio Paterno para un nido activo y siempre que no sea la malla más gruesa.

Hay tres maneras de hacer la anidación bidireccional (basada en un interruptor llamado IOVERW). Estos son

Nest interpolation (IOVERW = 0). El nido se inicializa interpolando campos de malla gruesa. La topografía, las costas de terreno sólo conservan la resolución de malla gruesa. Esta opción podría usarse con nidos en movimiento. No requiere archivos de entrada adicionales.

Nest analysis input (IOVERW = 1). Esto requiere que se prepare un archivo de entrada del modelo para el nido además de la malla gruesa. Esto permite la inclusión de topografía de alta resolución y análisis iniciales en el nido. Normalmente, tal nido tendría que arrancar al mismo tiempo que comienza la malla gruesa.

Nest terrain input (IOVERW = 2). Esta nueva opción requiere sólo un archivo de entrada de terreno / tierra, y los campos meteorológicos se interpolan desde la malla gruesa y se ajustan verticalmente al nuevo terreno. Dicho nido puede iniciarse en cualquier momento de la simulación, pero habrá un período durante el cual el modelo se adaptará a la nueva topografía.

El anidamiento de una vía también es posible en MM5. Aquí el modelo primero se ejecuta para crear una salida que se interpola usando cualquier relación (no restringida a 3:1), y un archivo de límite también se crea una vez que se especifica la ubicación de un nido. Normalmente, el archivo de límites puede ser de hora en hora (dependiendo de la frecuencia de salida del dominio grueso), y estos datos se interpolan en el tiempo para suministrarlos al nido. Por lo tanto, la anidación unidireccional difiere de la anidación bidireccional al no tener retroalimentación y una resolución temporal más gruesa en los límites. El nido unidireccional también se puede inicializar con datos de resolución mejorada y terreno. Es importante que el terreno sea consistente con la malla más gruesa en la zona límite, y el preprocesador TERRAIN debe ejecutarse con ambos dominios para asegurar esto.

4.1.4 Condiciones Límites Lateral

Para ejecutar cualquier modelo regional de predicción numérica del tiempo se requieren condiciones de borde laterales. En MM5 los cuatro límites han de especificar los vientos horizontales, la temperatura, la presión y los campos de humedad, y pueden tener campos microfísicos especificados (como nubes) si están disponibles. Por lo tanto, antes de ejecutar una simulación, los valores límites deben ajustarse además de los valores iniciales para estos campos.

Los valores límites vienen de proyecciones, o una simulación anterior de malla más gruesa (nido unidireccional), o del pronóstico de otro modelo (pronóstico en tiempo real). Para los pronósticos en tiempo real, los límites laterales dependerán en última instancia de un pronóstico de modelo global. En estudios de casos pasados, los análisis que proporcionan las condiciones de contorno pueden ser mejorados por el análisis de observación

(`little_r` o Rawins) de la misma manera que las condiciones iniciales. Cuando se utilizan análisis de capas superiores de la atmósfera, los valores de frontera sólo pueden estar disponibles cada 12 horas, mientras que para condiciones de frontera generadas por el modelo pueden estar a una frecuencia más alta, como 6 horas o incluso 1 hora.

4.1.5 Dinámica no hidrostática versus dinámica hidrostática

Históricamente, el Modelo de Mesoescala Penn State / NCAR ha sido hidrostático porque los tamaños de cuadrícula horizontal típicos en modelos de mesoescala son comparables o superiores a la profundidad vertical de las zonas de interés. Por lo tanto, la aproximación hidrostática se mantiene y la presión está completamente determinada por la masa del aire superpuesto. Sin embargo, cuando la escala de la zona resueltas en el modelo tiene relaciones de aspecto más cercanas a la unidad, o cuando la escala horizontal es más corta que la escala vertical, no se puede descuidar la dinámica no hidrostática. MM5 Versión 3 sólo soporta el solucionador no hidrostático.

El único término adicional en la dinámica no hidrostática es la aceleración vertical que contribuye al gradiente de presión vertical de modo que el equilibrio hidrostático ya no es exacto. Las perturbaciones de presión de un estado de referencia (descrito en la siguiente sección) junto con el momento vertical se convierten en variables predictoras extra-tridimensionales que tienen que ser inicializadas.

4.1.6 Estado de referencia en el modelo no hidrostático

El estado de referencia es un perfil de temperatura idealizado en equilibrio hidrostático. Se especifica mediante la ecuación

$$T_0 = T_{s0} + A \ln \left(\frac{p_0}{p_{00}} \right) \quad (4.2)$$

$T_0(p_0)$ es especificada por 3 constantes: p_{00} es la presión a nivel del mar aproximada a 10^5Pa , T_{s0} es la temperatura de referencia a p_{00} , y A es una rata de descenso usualmente dada por $50K$, entre dos temperaturas, p_{00} y $p_{00}/e = 36.788 \text{Pa}$. Estas constantes son escogidas en el programa INTERPB. Por lo general, sólo T_{s0} debe seleccionarse sobre la base de un sondeo típico en el dominio. El perfil de referencia representa una línea recta en un diagrama termodinámico de T -log p . La exactitud del ajuste no es importante, y típicamente T_{s0} es llevado a los 10 K más cercanos (por ejemplo, 270, 280, 290, 300 en estado polar, invierno de media latitud, verano de media latitud y condiciones tropicales, respectivamente). Sin embargo, un ajuste más preciso reduce el error de fuerza de gradiente de presión asociado con las superficies de coordenadas inclinadas sobre el terreno,

por lo que se debe seleccionar T_{s0} en comparación con el perfil troposférico inferior.

Por lo tanto, la presión superficial de referencia depende enteramente de la altura del terreno. Esto puede derivarse de (??) usando la relación hidrostática,

$$Z = -\frac{RA}{2g} \left(\ln \frac{p_0}{p_{00}} \right)^2 - \frac{RT_{s0}}{g} \left(\ln \frac{p_0}{p_{00}} \right) \quad (4.3)$$

Y esta cuadrática se puede resolver para p_0 (superficie) dada Z , la elevación del terreno. Una vez hecho esto, las alturas de los niveles del modelo σ se encuentran de

$$p_0 = p_{s0}\sigma + p_{\text{top}} \quad (4.4)$$

donde

$$p_{s0} = p(\text{Superficie}) - p_{\text{top}} \quad (4.5)$$

Y luego (??) se usa para encontrar Z de p_0 .

Se puede ver que como el estado de referencia es independiente del tiempo, la altura de un punto de rejilla dado es constante.

Desde la versión 3.1, el estado de referencia puede incluir una capa isotérmica en la parte superior para aproximarse mejor a la estratosfera. Esto se define por una sola temperatura adicional que actúa como un límite inferior para la temperatura de estado base. El uso de este modo aumenta la altura del modelo.

4.1.7 Asimilación de datos en cuatro dimensiones

En situaciones donde los datos deben ser introducidos en el modelo durante un período de tiempo extendido, la asimilación de datos en cuatro dimensiones o (FDDA por su siglas en inglés) es la opción que permite que esto se haga. Esencialmente FDDA permite que el modelo se ejecute con términos que “empujan” o fuerzan las soluciones a ser coherentes con las observaciones o un análisis previo. El beneficio de esto es que después de un período de “empuje” el modelo se ha ajustado hasta cierto punto a todos los datos durante ese intervalo de tiempo mientras que también permanece cerca de un equilibrio dinámico. Esto tiene ventajas sobre la simple inicialización con un análisis en un sólo tiempo sinóptico, porque la adición de datos durante un período aumenta efectivamente la resolución de los datos. Las observaciones en una estación son llevadas hacia abajo por el modelo y pueden ayudar a llenar vacíos de datos en tiempos posteriores.

Los dos usos principales para FDDA son la inicialización dinámica y los conjuntos de datos de cuatro dimensiones. La inicialización dinámica es donde se utiliza FDDA

durante un período previo al pronóstico para optimizar las condiciones iniciales para un pronóstico en tiempo real. Se ha demostrado que los datos añadidos son beneficiosos para los pronósticos en comparación con una inicialización estática de un análisis en el momento inicial. La segunda aplicación, conjuntos de datos cuantitativos, es un método para producir análisis dinámicamente balanceados que tienen una variedad de usos. El modelo mantiene una continuidad realista en el flujo y los balances geostróficos y térmicos-vientos, mientras que el empuje asimila los datos durante un período prolongado.

4.1.8 Categorías de terreno, *Land-Use categories*

El modelo tiene la opción de tres series de categorizaciones de terreno que se asignan junto con la elevación en el programa TERRAIN a partir de datos archivados. Éstos tienen 13, 16, o 24 categorías (tipo de vegetación, desierto, urbano, agua, hielo, etc.). Cada celda del modelo se asigna a una de las categorías, y esto determina las propiedades superficiales tales como albedo, coeficiente de rugosidad de la superficie, emisividad de onda larga, capacidad calorífica y disponibilidad de humedad. Además, si un conjunto de datos de cubierta de nieve está disponible, las propiedades de superficie pueden ser modificadas en consecuencia. Los valores de la tabla también son variables de acuerdo con la temporada de verano o invierno (para el hemisferio norte). Obsérvese que los valores son climatológicos y pueden no ser óptimos para un caso particular, especialmente la disponibilidad de humedad.

Una opción de uso del suelo más simple distingue sólo entre tierra y agua, y le da al usuario el control sobre los valores de las propiedades de superficie para estas categorías.

4.1.9 Proyecciones de mapa y factores de escala de mapa

El modelo tiene una selección de varias proyecciones de mapa. La proyección Cónica Conforme de Lambert es adecuada para latitudes medias, la Polar Estereográfica para altas latitudes y la Mercator para latitudes bajas. Las direcciones x e y del modelo no corresponden a la dirección oeste-este o a la norte-sur con excepción de la proyección Mercator, y por lo tanto el viento observado generalmente debe transformarse y adaptarse a la cuadrícula del modelo, y los componentes del modelo u y v deben ser girados antes de la comparación con las observaciones. Estas transformaciones se contabilizan en los preprocesadores del modelo que proporcionan datos sobre la rejilla del modelo y los posprocesadores.

El factor de escala de mapa m se define por:

$$m = (\text{distancia sobre rejilla})/(\text{distancia real sobre tierra})$$

Y su valor es generalmente cercano a uno variando con la latitud. Las proyecciones en el modelo conservan la forma de pequeñas áreas, de modo que $dx = dy$ en todas partes, pero la longitud de la rejilla varía a través del dominio para permitir una representación de una superficie esférica sobre una superficie plana. **Los factores de escala de mapa deben tenerse en cuenta en las ecuaciones de los modelos siempre que se utilicen gradientes horizontales.**

4.1.10 Datos necesarios para ejecutar el modelo

Dado que el modelo MM5 está diseñado principalmente para estudios / simulaciones de datos reales, requiere que se ejecuten los siguientes conjuntos de datos:

1. Topografía y categoría del suelo;
2. Datos atmosféricos en cuadrícula que tienen al menos estas variables: presión del nivel del mar, viento, temperatura, humedad relativa y altura geopotencial; y estos niveles de presión: superficie, 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 mb;
3. Datos de observación que contienen sondeos e informes de superficie.

Mesouser proporciona un conjunto básico de datos de topografía, uso del suelo y vegetación que tienen cobertura global pero resolución variable. La Sección de Apoyo a los Datos de la División de Informática Científica de NCAR tiene un extenso archivo de datos atmosféricos, desde análisis de grids hasta observaciones. Mas información sobre cómo obtener datos de NCAR, ir a la dirección URL: <http://www.scd.ucar.edu/dss/index.html>.

4.2 Abordamiento de las ecuaciones

4.2.1 Propósito

Esta es la parte numérica de predicción del tiempo del modelo. El MM5 puede utilizarse para un amplio espectro de estudios teóricos y en tiempo real, incluyendo aplicaciones tanto de simulación predictiva como de asimilación de datos en cuatro dimensiones a monzones, huracanes y ciclones. En las escalas meso-beta y meso-gamma más pequeñas (2-200 km), el MM5 puede utilizarse para estudios que involucran sistemas convectivos de mesoescala, frentes, brisas tierra-mar, circulaciones de valle de montaña, etc.

4.2.2 Ecuaciones básicas de MM5

En términos de coordenadas del terreno (x, y, σ), estas son las ecuaciones para las variables básicas del modelo no hidrostático, excluyendo la humedad.

Presión

$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot \vec{V} = -\vec{V} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left(\frac{\dot{Q}}{c_P} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right) \quad (4.6)$$

Momento (componente x)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\vec{V} \cdot \nabla u + v \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) - e w \cos \alpha - \frac{u w}{r_{\text{earth}}} + D_u \quad (4.7)$$

Momento (componente y)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\vec{V} \cdot \nabla v + u \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) + e w \sin \alpha - \frac{v w}{r_{\text{earth}}} + D_v \quad (4.8)$$

Momento (componente z)

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{g}{\gamma} \frac{p'}{p} - \frac{g}{p^*} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} = -\vec{V} \cdot \nabla w + g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T} - \frac{g R_d}{c_P} \frac{p'}{p} + e (u \cos \alpha - v \sin \alpha) + \frac{u^2 + v^2}{r_{\text{earth}}} + D_w \quad (4.9)$$

Termodinámica

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \nabla T + \frac{1}{\rho c_P} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + \vec{V} \cdot p' - \rho_0 g w \right) + \frac{Q}{c_P} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \quad (4.10)$$

Términos de Advección los cuales pueden ser expandidos como sigue:

$$\vec{V} \cdot \nabla A \equiv m u \frac{\partial A}{\partial x} + m v \frac{\partial A}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial A}{\partial z} \quad (4.11)$$

donde:

$$\dot{\sigma} = -\frac{\rho_0 g}{p^*} w - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} u - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} v \quad (4.12)$$

Términos de divergencia los cuales pueden ser expandidos como sigue:

$$\nabla \cdot \vec{V} = m^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u}{m} \right) - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + m^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v}{m} \right) - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{\rho_0 g}{p^*} \frac{\partial w}{\partial \sigma} \quad (4.13)$$

4.2.3 Sobre las ecuaciones:

- Las ecuaciones (??-??) incluyen términos (eu y ew) que representan la componente generalmente olvidado de la fuerza de Coriolis, donde $e = 2\Omega \cos \lambda$, $\alpha = \phi - \phi_c$, λ es la latitud, ϕ es la longitud, ϕ_c es la longitud central
- Los términos $u \frac{\partial m}{\partial y}$, $v \frac{\partial m}{\partial x}$ y r_{earth} representan efectos de curvatura donde m es el factor de escala de mapa.
- También existen ecuaciones de pronóstico para vapor de agua y variables microfísicas tales como nubes y precipitaciones (si se usan). Estos incluyen la advección y varios términos fuente / sumidero.

4.2.4 Diferenciación espacial finita -

Las ecuaciones anteriores son finitas diferenciadas en la configuración de rejillas (Araka- wa B) antes mencionada. Las diferencias finitas centradas en el segundo orden representan los gradientes excepto el término de lluvia que utiliza un esquema de primer orden ascendente para la definición positiva. A menudo se requiere un promedio horizontal para determinar el gradiente en la posición correcta. Las interpolaciones verticales permiten el tamaño vertical variable de la rejilla.

4.2.5 Diferencia finita temporal -

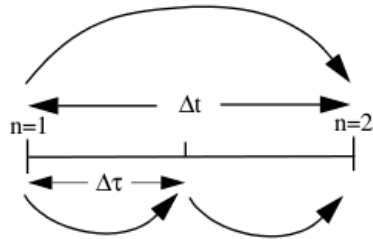
Para estas ecuaciones se utiliza un esquema de salto de tiempo de segundo orden, pero algunos términos se manejan usando un esquema de división de tiempo. Tenga en cuenta que las ecuaciones (??-??) contienen términos adicionales a la izquierda del mismo signo. Esto designa los llamados términos rápidos que son responsables de las ondas sonoras que tienen que ser calculadas en un paso de tiempo más corto. En el esquema de salto, las tendencias en el tiempo n se utilizan para pasar las variables del tiempo $n-1$ a $n+1$. Esto se utiliza para la mayoría de los términos del miembro derecho (advección, coriolis, flotabilidad). Un paso adelante se utiliza para difusión y microfísica donde las tendencias se calculan en el tiempo $n-1$ y se usan para escalar las variables de $n-1$ a $n+1$. Algunas opciones de radiación y cúmulo usan una tendencia constante durante períodos de muchos saltos de tiempo del modelo y solo se recalculan cada 30 minutos aproximadamente.

Sin embargo, para ciertos términos el salto temporal del modelo es demasiado largo para garantizar la estabilidad de las soluciones y estos tienen que predecirse con un paso más corto. Ejemplos de esto son los términos de onda sonora mostrados en las ecuaciones. Cuando se divide el salto temporal, ciertas variables y tendencias se actualizan con más frecuencia. Para las ondas sonoras u, v, w y p' , es necesario actualizar cada paso corto usando los términos de tendencia a la izquierda de (??-??) mientras que los términos de

la derecha se mantienen fijos. Para las ondas sonoras, usualmente hay cuatro de estos pasos entre $n-1$ y $n+1$, después de lo cual u, v, w y p' son actualizados.

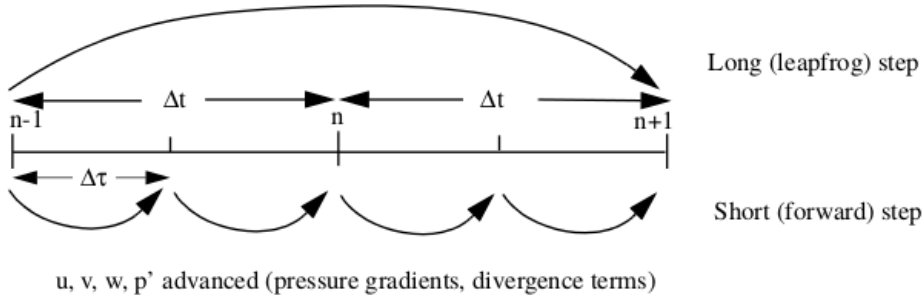
Ciertos procesos se tratan implícitamente para la estabilidad numérica. Un esquema de tiempo implícito es aquel en el que las tendencias de las variables dependen no sólo de los valores presentes y pasados, sino también de los valores futuros. Estos esquemas son a menudo numéricamente estables para todos los salto temporales, pero por lo general requieren una la inversión de una matriz para implementarlos.

First time step:



Time step n:

T, qv, qc, etc., advection, physics, boundary, coriolis, diffusion terms



Time step n+1:

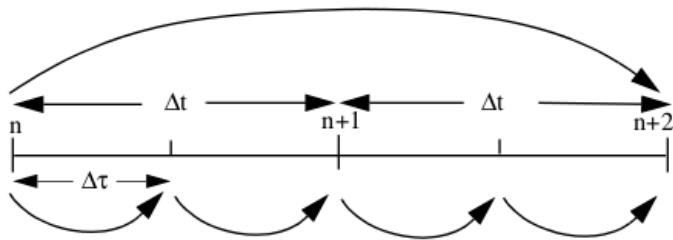


Figure 4.6: Esquema de salto temporal del MM5

4.3 Opciones físicas en MM5

4.3.1 Parametrizaciones de cúmulo

A continuación se enumeran a modo de información las parametrizaciones incorporadas al programa que modelan la formación de nubes, sus limitaciones y usos, como se especifican en la guía del usuario [?].

Anthes-Kuo -

Basado en la convergencia de la humedad, aplicable principalmente a tamaños de rejilla mayores $> 30km$. Tiende a producir mucha precipitación convectiva, precipitación a menor escala resuelta. Posee un perfil de calentamiento especificado, humedad dependiente de la humedad relativa.

Grell -

Basado en la tasa de desestabilización o cuasi-equilibrio, esquema simple de nube única con corrientes ascendentes y descendentes y movimiento de compensación que determina el perfil de calentamiento / humedecimiento. Útil para tamaños de la rejilla más pequeños (10-30 kilómetros), tiende para permitir precipitación convectiva.

Arakawa-Schubert -

Esquema de multi-nube parecido al esquema Grell. Permite corrientes ascendentes y descendentes. Adecuado para tamaños de cuadrícula más grandes $> 30km$ posiblemente consume más recursos en comparación con otros esquemas.

Fritsch-Chappell -

Adecuado para escalas de 20-30 km debido a la suposición de una sola nube y subsidencia local. Este esquema predice tanto las propiedades de corrientes ascendentes como de corrientes descendentes y también disminuye las nubes y las precipitaciones.

Kain-Fritsch -

Similar a Fritsch-Chappell, pero utilizando un sofisticado esquema de mezcla de nubes para determinar el arrastre / conducción, y la eliminación de toda la energía flotante disponible. Este esquema predice tanto las propiedades de corrientes ascendentes como de corrientes descendentes y también disminuye las nubes y las precipitaciones.

Betts-Miller -

Este esquema es adecuado para $> 30km$, pero no hay corriente descendente explícita, por lo que puede no ser adecuado para la convección severa.

Kain-Fritsch 2 -

Una nueva versión de Kain-Fritsch que incluye convección superficial. Esto es similar a uno que se está ejecutando en modo de prueba en el modelo Eta.

Shallow Cumulus - (ISHALLO = 1)

Maneja las nubes que no precipitan. Asume fuerte arrastre y pequeño radio, sin corrientes descendentes y nubes uniformes. Basado en esquemas de Grell y de Arakawa-Schubert.

Chapter 5

Metodología de Trabajo y Resultados

5.1 Metodología de la validación

Para efectuar la validación se contó con un trienio de datos históricos de precipitación diaria comprendidos entre los años 2012 y 2014, provenientes de 99 estaciones distribuidas sobre el territorio nacional, suministrados por el **Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH)**, junto con los correspondientes pronósticos para las 99 locaciones asociadas, arrojados por el modelo que se está validando.

El INAMEH contempla una división del territorio, alterna a la división politico-territorial, dada en 13 regiones de precipitación de las cuales se han escogido los datos de 11, para efectuar el estudio. Esta división del territorio se puede evidenciar en la figura (??).

5.1.1 División en lapsos de estudio

Partiendo de esto, se contemplaron 12 lapsos considerando su inmediata relación con alguno de los períodos en estudio (Lluvioso o Poco lluvioso) o la variación anual neta, a fin de determinar las características del pronóstico para cada período en el contexto del comportamiento anual. Estos 12 lapsos son los siguientes:

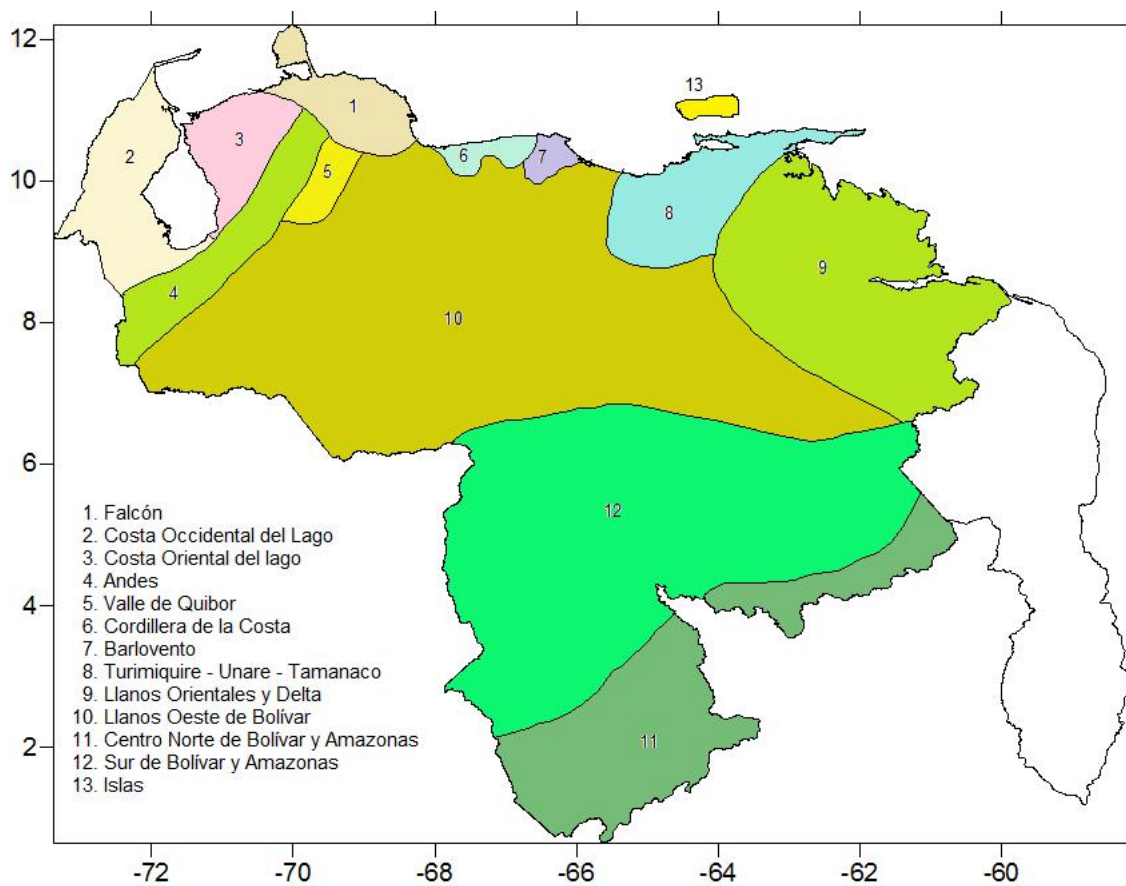


Figure 5.1: Regiones de precipitación contempladas por el INAMEH

TRIENIO: COMPLETO	2012:POCO LLUVIOSO
TRIENIO: POCO LLUVIOSO	2013:POCO LLUVIOSO
TRIENIO: LLUVIOSO	2014:POCO LLUVIOSO
AÑO:2012	2012:LLUVIOSO
AÑO:2013	2013:LLUVIOSO
AÑO:2014	2014:LLUVIOSO

Los resultados para el resto de los períodos podrán encontrarse en las tablas de resumen.

5.1.2 Distribución geográfica de las estaciones de muestreo

A continuación se presenta la distribución sobre el territorio delimitado para el estudio, del subgrupo de estaciones de muestreo escogidas del total de las estaciones nacionales de medición, junto con sus coordenadas específicas, códigos y regiones asociadas y reconocidas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH):

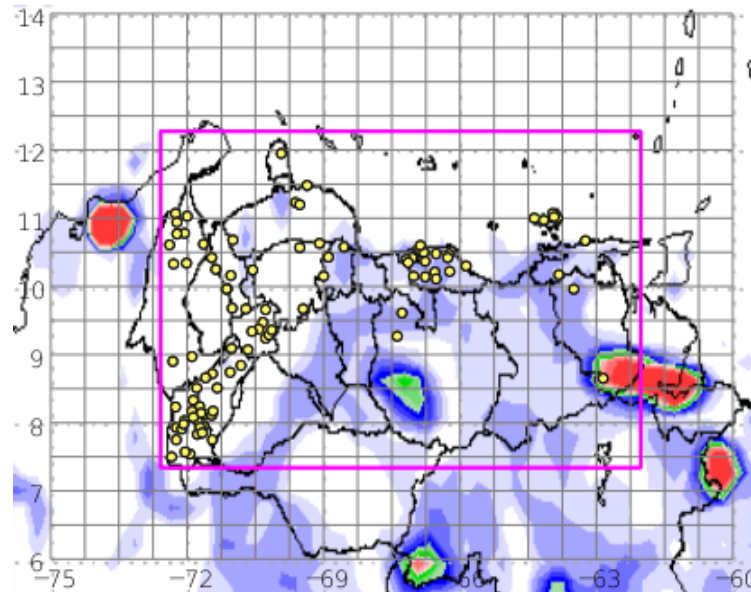


Figure 5.2: Distribución geográfica de la estaciones de muestreo

Table 5.1: Coordenadas y códigos de muestreo

	LON	LAT	REG	SERIAL	NOMBRE
station001	-66,9	10,54	6	DC00500	LOS VENADOS
station002	-66,92	10,5	6	DC00531	CAGIGAL
station003	-66,93	10,54	6	DC00632	CAMPO ALEGRE
station004	-67,05	10,42	6	DC01426	MACARAO DIQUE LA CULEBRA
station005	-66,88	10,54	6	DC07234	HUMBOLDT
station006	-69,93	11,95	1	FA00216	PUEBLO NUEVO PARAGUANA
station007	-69,36	11,48	1	FA00225	PUERTO CUMAREBO
station008	-69,61	11,23	1	FA00250	FUNDO PADILLA
station009	-69,52	11,2	1	FA00279	PUEBLO NUEVO DE LA SIERRA
station010	-70,99	10,68	3	FA01029	MENE MAUROA
station011	-67,28	9,61	10	GU02448	ORTIZ
station012	-67,38	9,27	10	GU07242	LA YEGUERA
station013	-70,56	10,24	3	LA01174	QUEBRADA ARRIBA
station014	-69,09	10,63	1	LA01227	LAS GUABINAS
station015	-69,53	10,57	5	LA01240	EL COPEY
station016	-69,45	9,67	5	LA09705	
station017	-71,45	7,75	10	ME00303	LA VUELTOSA
station018	-71,03	9,09	4	ME02094	TORONDOY
station019	-71,6	8,12	4	ME03001	CAPURI
station020	-71,73	8,24	4	ME03005	PARAMO EL QUEMADO
station021	-71,06	8,74	4	ME03027	PARAMO LA CULATA
station022	-71,7	8,14	4	ME03030	GUARAQUE LA QUINTA
station023	-70,82	8,84	4	ME03112	PARAMO PICO EL AGUILA
station024	-71,46	8,11	10	ME03134	CANAGUA
station025	-71,44	8,72	4	ME03135	LA AZULITA
station026	-71,43	8,17	4	ME03138	CHACANTA
station027	-71,34	8,51	4	ME03170	SAN JUAN DE LAGUNILLAS
station028	-71,59	8,66	4	ME03199	MUCUJEPE
station029	-66,53	10,48	7	MI00559	GUATIRE
station030	-67,02	10,15	10	MI00589	RIO ARRIBA

	LON	LAT	REG	SERIAL	NOMBRE
station031	-67,18	10,39	6	MI01436	AGUA FRIA
station032	-66,76	10,37	6	MI01510	FILA DE TURGUA
station033	-66,24	10,47	7	MI01515	BIRONGO
station034	-66,27	10,42	7	MI01524	CAPAYA
station035	-66,23	10,22	7	MI01586	PANAQUIRE
station036	-65,87	10,3	7	MI01661	TACARIGUA-LA LAGUNA
station037	-66,55	10,21	7	MI02004	TUY EN LA BOTICA
station038	-66,79	10,5	6	MI05027	CAURIMARE
station039	-66,76	10,14	10	MI05037	LA VERANIEGA
station040	-66,53	10,11	4	MI05048	LA MACANILLA
station041	-67,14	10,35	6	MI07299	SABANETON
station042	-63,49	9,96	9	MO02809	ARAGUA DE MATURIN
station043	-62,85	8,65	9	MO07298	EL MEREY
station044	-64,37	11	13	NE00801	CERRO COPEY
station045	-63,85	11	13	NE00881	JUAN GRIEGO
station046	-63,96	11,07	13	NE00893	SAN JUAN BAUTISTA
station047	-63,93	11,02	13	NE01721	EL INDIO
station048	-64,16	10,97	13	SU01800	CARUPANO-ARMADA
station049	-63,24	10,67	8	SU01873	COCOLLAR
station050	-63,82	10,17	8	TA00103	SIBERIA
station051	-71,71	7,9	10	TA00203	ARAGUANAY
station052	-71,77	7,83	10	TA03061	LA FRÍA AEROPUERTO
station053	-72,26	8,23	4	TA03094	EL COBRE
station054	-72,06	8,03	4	TA03097	PREGONERO
station055	-71,76	8,01	4	TA04014	LOBATERA
station056	-72,24	7,93	4	TA04018	LOS LAURELES
station057	-72,12	7,91	4	TA04057	LAS DORADAS
station058	-71,94	7,54	10	TA04072	PARAMO EL ZUMBADOR
station059	-72,08	7,98	4	TA04087	POTOSI
station060	-71,64	7,95	10	TA04091	LA HONDA

	LON	LAT	REG	SERIAL	NOMBRE
station061	-71,72	7,93	4	TA04098	SAN CRISTOBAL TORBES
station062	-72,24	7,75	4	TA07244	ESCALANTE
station063	-71,79	8,51	4	TA07246	SAN BUENA
station064	-71,67	7,85	10	TA08040	SAN SIMÓN
station065	-71,86	8,33	4	TA08066	PARAMO EL BATALLÓN
station066	-71,9	8,17	4	TA08067	HACIENDA VALLE NEGRO
station067	-71,87	8,08	4	TA09006	SAN VICENTE DE LA REVANCHA
station068	-72,34	7,5	4	TA80475	SANTO DOMINGO AEROPUERTO
station069	-72,04	7,57	10	TR02126	VALLE HONDO
station070	-70,28	9,66	4	TR02147	SANTA ANA
station071	-70,33	9,47	4	TR02156	TRUJILLO LICEO
station072	-70,43	9,37	4	TR02176	BOCONO MOP
station073	-70,27	9,24	10	TR02195	JAJÓ
station074	-70,66	9,07	4	TR07142	HACIENDA SAN GIUSTO
station075	-70,2	9,29	10	TR07150	LA PEDREGOSA
station076	-70,71	9,67	3	TR07154	VALLE DE RÍO NEGRO
station077	-70,14	9,36	10	TR80426	VALERA SVVL-OMM
station078	-70,58	9,34	4	VA05007	CAMURI CHICO
station079	-66,87	10,6	6	YA01304	PUEBLO NUEVO
station080	-68,55	10,58	1	YA01322	AROA DISPENSARIO
station081	-68,89	10,43	1	YA01371	URARICHE
station082	-69	10,15	10	ZU00088	CARBONES DEL GUASARE
station083	-72,26	11,07	2	ZU00093	
station084	-72	11,03	2	ZU01000	MANUELOTE
station085	-72,22	10,94	2	ZU01002	BUENA ESPERANZA
station086	-72,06	10,78	2	ZU01019	HACIENDA MANANTIALITO
station087	-72,23	10,77	2	ZU01032	EL DILUVIO
station088	-72,39	10,61	2	ZU01046	MARACAIBO SABANETA
station089	-71,64	10,62	2	ZU01060	CABIMAS HOSPITAL
station090	-71,46	10,42	3	ZU01065	HACIENDA ALTAMIRA

	LON	LAT	REG	SERIAL	NOMBRE
station091	-72,01	10,34	2	ZU01071	VILLA DEL ROSARIO
station092	-72,3	10,33	2	ZU01142	TÍA JUANA PDVSA
station093	-71,37	10,25	3	ZU02003	BACHAQUERO PDVSA
station094	-71,13	9,97	3	ZU02005	CEUTA
station095	-71,01	9,68	3	ZU02099	
station096	-71,9	8,97	2	ZU03011	BELLA VISTA-KILOMETRO 2
station097	-72,31	8,9	2	ZU07243	BURRO NEGRO
station098	-71,04	10,16	3	ZU07300	
station099	-71,13	9,96	3	ZU08060	CATATUMBO OFICINA

5.1.3 Celdas de análisis

Anomalías

Todos los análisis presentados en este trabajo, han partido del siguiente principio:

sólo tiene sentido efectuar observaciones sobre una pareja de series *medidas-pronósticos* correspondientes a un lapso determinado, que estén relacionadas con una significancia mayor o igual a 0,05.

Sin embargo, algunas parejas de sucesiones de datos, a pesar de satisfacer esta restricción, poseen ciertas anomalías cuyas consecuencias debieron ser consideradas al momento establecer una estrategia de análisis. Por ejemplo, considérense las parejas de sucesiones de medidas-pronosticos del período - **2012:POCO LLUVIOSO** - para las regiones 3 (COSTA ORIENTAL DEL LAGO) y 7 (BARLOVENTO):

Región 3 (COSTA ORIENTAL DEL LAGO)

Medidas . 0,03 0 0,06 4,36 0,43 0,06 0,4 0 0,43 0,11 0,03 0,06 0 1,83 0,03 0,46 0,11 0,03
 0 0 0 0 5,89 1,46 0 0 1,03 0,74 0,23 0 0 0 0,66 0 0,17 0,26 7,89 0,49 0,14 0,17
 1,91 0 0 0 1,63 0 0 . 0 0 0 0 2,66 0 0,17 0 0 . . 0 0,51 0,54 0,14 0,17 2,43 1,46 0 0
 0,29 1,23 0,85 9,75 1,73 0,85 1,65 0,5 0,83 1,5 3,65 0,55 9,83 2 2,08 11,28 4,63 0,55
 2,08 1,15 5,68 1,13 0,1 1,8 0,25 0,18 2,13 3,45 2,13 23,1 6,35 1,65 0,68 12,63 5,13
 2,6 16,08 6,33 0,13 10,9 1,68 1,1 1,7 24,45 0,03 21 2,2 1,75 0,95 3,58 0 0,13 . 1,63 0
 1,3 0,13 1,2 1,57 7,53 5,1 0,13 0,23 4,53 9,67 6,6 5,9 12,33 30,1 2,33 3,33 2,33 2,37
 0 14,63 5,37 0,23 1,33 6,67 1,73 5,3 1,24 0,63 . 0,2 0,13 0 1,2 0,04 0,27 0,03 0 0,36
 1,37 3,23 0,67 6,1 3,8 1,77 0 0,68 1,13 0,33 4,08 2,8 0,13 3,72 0,6 7,9 0,07 0 2,53 0 0 .

Cuya suma es **435,74** y cuyo promedio es **2,43**

Pronósticos 0 0,1 0,04 0,01 0,04 0,13 0 0 0,16 0,31 0 0 0 0 0,01 0 0 0 0 0,01 0,19 0,68
 0,03 0 0 0 0 0 0 0 0,03 0,36 2,92 0 0,02 0 0,01 0 0 0 0,07 0,11 0 0 0 0 0,03 0 0
 1,28 0,08 0,89 . . 0,68 2,88 3 2,59 1,04 0,41 1,91 4,01 1,59 4,2 2,97 3,51 1,29 0,12 0,41
 0,7 0,99 0,98 6,99 5,87 5,17 7,93 2,29 0,17 14,44 7,98 12,36 8,27 0,09 0,99 1,41 5,71
 2,41 8,23 4,06 4,97 10,72 3,46 8,49 3,81 0,69 0,01 0 1,88 1,4 6,78 14,61 28,77 15,13
 12,88 2,51 3,74 15,27 5,91 0,34 0,17 0,71 1,22 0,73 1,86 0,71 . 0,04 0,37

Cuya suma es **282,34** y cuyo promedio es **2,30**

Región 8 (TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO)

Medidas . 0 0,5 0,8 2,2 2,1 0,1 0,2 2,4 3 0,1 1,2 0 0 0,6 1,1 0,1 0,1 0 0 0 1,4 0,5 2,9
 1,7 0,4 0,4 1,3 0,5 0 0 0 0,1 0 0,1 1 0,1 0,7 4,5 1,9 0,1 0 0 0,1 0 0 0,2 0 2,1 0 . 0
 0 0,8 1,5 0,6 2,8 3 0 0 . . 0 1 4,8 0 1,9 2,8 2,5 0 1,1 17 3 1,2 0 1,6 0 0 0,8 1,6 0
 2,1 2,8 0,6 6,6 2,3 17 7,1 8,1 0,6 0,6 1,1 4 7,8 4,7 1 12,5 1,4 1,7 0,5 7,4 28 7,1 3,1
 7,3 10,3 16,6 7 24,7 1 19,1 1,5 9,3 22,8 21 15,2 1,5 0 10,4 2,5 14,7 39,6 5,1 . 0 3,1
 0,2 0 5,7 4,1 0 1,7 9 25,4 8,2 24,6 1,2 0,2 0,6 25,2 4 0 0 0 0 0 0 0,4 1,4 1 1,4 6,8
 0 . 0 2 1,8 1,2 0 1 0,6 1 0 4 12,8 8,8 8,6 0,6 0 0,2 0 0 4,6 0,8 3,4 0 2 0,4 0 8,4 0,2 0 0 0 .

Cuya suma es **626,80** y cuyo promedio es **3,50**

Pronósticos 0,65 0,3 0,15 1,8 0,7 0,4 0,5 3,3 4,65 0,6 0,5 1,2 0,7 0,9 1,05 1,35 2,2 1,05
 0,4 1,4 4,1 3,75 6,65 6,35 2,4 0,8 4,4 0,8 1,35 0,3 0,2 0,25 0,1 4 0,45 0,9 0,5 0,85 1
 1 1,05 0,65 0,4 1,15 2 2,7 0,4 0 0 0,35 0,85 0,25 0,4 2 1,25 0,55 2,65 0,2 0,05 0,35 .
 . 0,05 0,2 0,2 2,65 3,3 5,85 1,4 6,1 0,9 0,6 1,45 1,65 0,25 1,2 0 0 0,05 1,15 0,2 0,3
 4,4 0,75 1,25 0,15 2,7 4,95 5,05 0,2 1,15 7,7 4,4 14,8 44,7 13,05 1,45 0,85 3,05 0,85
 1,15 0,65 0,65 0,6 2,3 7,85 20,25 30,1 8,7 59,25 58,6 81,75 2,75 6,65 24,3 0,25 1,25

0,2 19,7 47,85 8,45 8,65 1,95 . 3,3 0,85

Cuya suma es **618,50** y cuyo promedio es **5,03**

Cada sucesión debería tener un total de 186 valores, sin embargo, en cada sucesión se presentan casos de valores no reportados, señalados por un punto “.”, lo que modifica evidentemente el número de valores válidos para la sucesión. La razón por la que una de estas sucesiones puede poseer una suma muy próxima a la suma de otra con muchos más términos válidos, o un promedio incluso mayor, tal y como sucede en el caso de las sucesiones de pronósticos de TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO frente a la sucesión de medidas en dicha región, se debe a la existencia de valores como: 44,7 o 81,75 frente a valores mucho menores en la misma sucesión como 1,45 o 0,85.

Ahora bien, para determinar los porcentajes de desviación del modelo frente a los valores reales:

Región 3 (COSTA ORIENTAL DEL LAGO)

$$D_1 = \frac{435,74 - 282,34}{435,74} 100 = 35,2 \quad d_1 = \frac{2,43 - 2,30}{2,43} 100 = 5,7$$

Región 8 (TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO)

$$D_2 = \frac{626,80 - 618,50}{626,80} 100 = 1,38 \quad d_2 = \frac{3,05 - 5,02}{3,05} 100 = -43,52$$

De modo que:

$$|D_1| > |D_2| \quad |d_1| < |d_2|$$

Es decir,

En ciertos casos la realidad de los promedios no necesariamente refleja la realidad de los acumulados.

Análisis diferenciado

Debido a estas anomalías y para satisfacer los primeros 3 objetivos específicos; la validación se fundamentó en un análisis diferenciado en dos ámbitos:

- El estudio de los valores acumulados.
- El estudio de los valores medios diarios.

Para efectuar los estudios se han escogido un conjunto de específicas observaciones indirectas sobre los cuales se hará referencia en las subsecuentes secciones, que sirven como plataforma para establecer todas las conclusiones de la validación. Se hace énfasis en las coincidencias y en las discrepancias en términos de dicho conjunto de observaciones para efectuar el análisis. A fin de efectuar las comparaciones, la sección (??) cuenta con **celdas de análisis** formadas por 2 conjuntos (uno asociado a valores acumulados seguido de otro asociado a promedios diarios) constituidos cada uno por:

1. Un gráfico referido a un lapso determinado, de barras compuestas por parejas, donde cada pareja está asociada a una región de precipitación, a fin de evidenciar el contraste entre los valores medidos y los pronosticados.
2. Un tabla de valores adjunta al gráfico que contiene 3 renglones; **mediciones, pronósticos y porcentajes de desviación** por región. Las mediciones y pronósticos resaltados corresponden a valores por encima de la media en cada caso, declarada en la última columna. Por otro lado, los porcentajes resaltados representan diferencias por debajo del 10% o por encima del 50%, como referencia cuantitativa, en ausencia de un criterio objetivo para reconocer “buenos” y “malos” acercamientos por lo pronto.
3. Dos mapas sobre cada uno de los cuales se ha interpolado un campo individual de isolíneas, uno a partir de los valores medidos, y otro a partir de los valores pronosticados para las 99 locaciones asociadas a las 99 estaciones en ese período; a fin de tener en cada caso una proyección visual de la distribución general de la lluvia sobre el territorio, medida o desde la perspectiva del modelo; lo que permitió no sólo enriquecer la comparación, sino evidenciar zonas hacia las cuales las parametrizaciones inclinan claramente el pronóstico de valores más elevados.

Cabe destacar que el hecho de que el campo de isolíneas haya sido interpolado sobre valores medidos o pronosticados, conlleva a que ninguna isolínea represente valores más allá del valor máximo medido o pronosticado para una locación en ese lapso.

Si bien es cierto que el análisis es diferenciado, esta secuencia permite establecer “cualitativamente” coherencia entre el comportamiento de la precipitación promedio y el comportamiento de los valores acumulados al final de cada lapso, así como referenciar el comportamiento en un lapso con el de otros lapsos.

Al final de cada conjunto asociada a los promedios se encuentra una segunda tabla con las significancias y los alineamientos propios de las parejas de series por región, correspondientes al lapso.

5.1.4 Método de análisis

Observaciones indirectas (Tablas de Resumen)

Para satisfacer los primeros tres objetivos específicos del trabajo se escogió el siguiente esquema. El análisis en cada celda se desarrolló atendiendo el criterio de selección de regiones con significancia menor a 0,05, y abordando en éstas, 4 tipos de observaciones indirectas, las cuales han sido recabadas en un conjunto de **tablas de resumen** (Cuadros ?? al ??), es decir: uno por cada tipo de observación) en la sección de discusiones y conclusiones (??); concebidas con el propósito de caracterizar:

- El comportamiento general del modelo.
- Los lapsos en los que mejor se comportó.
- Las regiones con los pronósticos más acertados, y pronósticos más deficientes.

Dichas tablas señalan las regiones que satisfacen simultáneamente el criterios de la significancia menor a 0,05 en el lapso y la observación asociada a la tabla. Cada renglón corresponde a un lapso y cada tabla condensa la información de todos los lapsos para la observación respectiva. Por otra parte, cada tabla condensa a su vez la información asociada tanto a valores acumulados como a promedios diarios, dividiéndose en 2 grupos de 11 columnas y señalando las regiones pertinentes con colores distintivos. **Rojo** para valores acumulados y **Azul** para promedios diarios.

Los tipos de observaciones sobre los cuales se ha enfocado este trabajo son:

1. Regiones Sobrestimadas
2. REGIONES CON MEDICIONES Y PRONÓSTICO COINCIDENTEMENTE POR ENCIMA DE LA MEDIA
3. REGIONES CON MEDICIONES Y PRONÓSTICO COINCIDENTEMENTE POR DEBAJO DE LA MEDIA
4. MAYORES CONTRASTES

Definición 1 *Se definen las **regiones de mayor contraste** como aquellas con significancia menor a 0,05 y con un porcentajes de desviación superiores al 50.*

El primer tipo de observación permitió determinar posibles tendencias del modelo a distribuir niveles altos de lluvia en sectores específicos de la zona total de estudio. Los tipos 2 y 3 permitieron establecer una primera aproximación de las regiones donde mejor se comportó el modelo mientras que el tipo 4 se orientó a determinar las regiones con pronóstico más deficiente; atendiendo con esto, los 3 propósitos básicos de las observaciones expuestos arriba, y los primeros 3 objetivos de la trabajo de grado - Sección (??).

Relaciones entre valores pronosticados y medidos

En las referencias consultadas [?], [?], [?], entre otras, el período de estudio usadas para establecer las variaciones espacio temporales de los estudios climáticos que involucran precipitación en procura de establecer las bases para un pronóstico probabilístico, es diez a treinta años. Para este estudio aunque no se cuenta con un registro tan amplio de datos, sin embargo, se han iniciado algunos pasos para la consecución del objetivo, al menos en una primera etapa, a través de la siguiente metodología. Si el modelo describiese perfectamente la realidad, habría una relación uno a uno entre pronósticos y medidas, y los valores de Pearson (alineamientos) serían 1. La función que representa esto no es otra cosa que una recta que relaciona las mediciones con sus pronósticos previos. En esta etapa del uso del modelo esto no tiene porque tener lugar, sin embargo es necesario establecer el grado de alineamiento del modelo a las condiciones del área de estudio.

Para satisfacer el último objetivo del trabajo, en primer lugar se determinaron explícitamente los parámetros correspondientes a la regresión lineal que ajusta los valores medidos en términos de los pronósticos, para la región que registró el mayor alineamiento, a fin de arrojar una primera aproximación del tipo de tendencia que conecta ambos conjuntos de valores en dicha región; como una prueba exploratoria y un “primer paso” en dirección a la formalización y generalización de un tipo de pronóstico probabilístico basado en la mejor tendencia de ajuste entre ambos tipos de valores, para el resto de las regiones. El ajuste lineal por mínimos cuadrados se efectuó en el lapso donde se registró el alineamiento. Recuérdesse que dado un ajuste lineal obtenido por mínimos cuadrados:

$$Y(X) = a_0(X, Y) + a_1(X, Y)X \quad (5.1)$$

los parámetros vendrán dados en general por:

$$a_0(X, Y) \equiv \bar{y} - a_1(X, Y)\bar{x} \quad (5.2)$$

$$a_1(X, Y) \equiv \frac{\frac{1}{N} \sum_j (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{S_x^2} \quad (5.3)$$

$$S_x^2 \equiv \frac{1}{N} \sum_j (x_j - \bar{x})^2 \quad (5.4)$$

mientras que los errores de estos parámetros estarán dados por:

$$\Delta a_0 = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N}} \Delta a_1 \quad (5.5)$$

$$\Delta a_1 = \sqrt{\frac{1}{N} \frac{\Delta Y}{S_x}} \quad (5.6)$$

Por otro lado, tras efectuar una propagación de errores, se determinaron los parámetros asociados a las rectas que trazan las cotas mínima y máxima para los valores teóricamente esperados conforme al ajuste lineal antedicho. Esto es:

$$\Delta Y = \Delta a_0 + a_1 \Delta X + \Delta a_1 X \quad (5.7)$$

De modo que el lugar geométrico de los valores esperados del ajuste lineal más o menos su error, vendrá dado por la suma o la resta de las ecuaciones (??) y (??):

$$Y \pm \Delta Y = ([a_0 \pm \Delta a_0] \pm a_1 \Delta X) + [a_1 \pm \Delta a_1] X \quad (5.8)$$

Los valores del descriptor X del ajuste, son en este caso los valores pronosticados. Para el error del descriptor se ha asumido $\Delta X = 0,01mm$, por lo ya discutido en la sección (??). Este valor corresponde a la apreciación mínima que los instrumentos validados por la OMM pueden medir, la cual puede oscilar entre $0,01mm$ y $0,02mm$. Teniendo el descriptor X dado en los pronósticos, se podría abordar un cálculo de las posibles mediciones a registrar, limitadas por intervalos de confianza regidos por las cotas máxima y mínima dadas por (??). Finalmente, con el fin de asignar valores de probabilidad, se ha propuesto el siguiente postulado:

Postulado 1 *Dado un pronóstico X_0 , la probabilidad de que la medición a registrar adopte valores entre y_1 e y_2 será:*

$$\mathcal{P}(X_0; y_1, y_2) = \int_{y_1}^{y_2} dy \frac{1}{\sqrt{4\pi(r\xi_0)^2}} e^{-\left(\frac{y-Y_0}{2r\xi_0}\right)^2} \quad r = \frac{\alpha}{R^2} \quad (5.9)$$

$$\alpha \in \mathbb{R}^+ \wedge \alpha \in (0, 1) \\ \xi_0 \equiv (\Delta a_0 + a_1 \Delta X) + \Delta a_1 X_0 \quad Y_0 \equiv Y(X_0)$$

Lo que se ha propuesto se puede resumir simplemente en que los posibles valores que puede adoptar la medición a registrar, entorno al valor esperado para un pronóstico dado conforme al ajuste lineal, siguen una distribución “Normal” con un factor de calidad “directamente proporcional” al error de estimación del valor esperado por el ajuste, e “inversamente proporcional” al cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson. De esto se infiere claramente que:

$$\mathcal{P}(X_0; Y_0 - n\xi_0, Y_0 + n\xi_0) = \text{ERF}\left(\frac{1}{2}\right) \approx 0.52 \quad (5.10)$$

Esto lo que significa es que con base en este postulado, teóricamente existiría un 52% de probabilidad de que dado un pronóstico X_0 , la medición a registrar caiga dentro de las cotas modificadas por el valor r , es decir; dentro del intervalo $(Y_0 - r\xi_0, Y_0 + r\xi_0)$; lo que a su vez redundaría en lo siguiente:

Dado un ajuste lineal y sus rectas de cotas asociadas, el 52% de los registros deben caer dentro del área delimitada por las cotas modificadas, para un r dado conforme al modelo del postulado ??.

Análisis

Por otro lado, debido a que cada celda cuenta con un análisis y cada celda está asociada a uno de 12 lapsos, hay un total de 12 análisis, uno por cada lapso, cada uno de los cuales se desarrolló en 3 etapas:

Observaciones preliminares

Concebidas para tomar en cuenta fundamentalmente dos aspectos, a través de dos indicadores:

- Porcentaje de regiones con significancia menor a 0,05; considerado como un indicador de la calidad del pronóstico sobre el territorio nacional.
- Promedio de factores regionales de proporción entre valores acumulados y promedios diarios; para establecer la “coherencia” entre el comportamiento diario y el acumulado del lapso.

Eventualmente se consideran las regiones de menor acercamiento siempre que sus significancias sean menor a 0,05.

Definición 2 *En este punto se definen las **regiones de mayor acercamiento en un lapso** como aquellas con significancia menor a 0,05 y con porcentajes de desviación menores al 10% o en su defecto, con los menores porcentajes de desviación del lapso.*

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y promedios diarios

Se apuntala en las observaciones indirectas antedichas, a fin de atender a los 3 objetivos básicos por cada lapso.

Resumen del lapso

Es una síntesis de la información ya recabada en las etapas previas, pero ordenada de forma que satisface los tres propósitos del análisis al establecer:

1. El comportamiento del modelo en el lapso, a través del porcentaje de regiones con significancias menores a 0,05, y los resultados generales de las observaciones indirectas.
-

2. Las regiones con pronóstico más acertado y pronóstico más deficiente. En este punto:

En la selección de las regiones con pronósticos más acertados privan los siguientes criterios:

- (a) Significancia
- (b) Alineamiento
- (c) Coincidencia de precipitación por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios.
- (d) La no pertenencia al conjunto de regiones con pronóstico fuertemente contrastante con las mediciones.

Por su parte, en la selección de las regiones con pronósticos más deficientes privan sólo los siguientes:

- (a) Significancia
 - (b) Alineamiento
3. Observaciones extra que permitieron determinar tendencias propias del modelo, que eventualmente pudieron o no coincidir con la realidad.

5.2 Análisis de precipitación acumulada y promediada por día

5.2.1 Celdas de análisis

A continuación se presenta el conjunto de celdas de análisis explicadas en la sección (??). Se muestran los resultados promediados por región en forma gráfica y numérica, así como las proyecciones visuales de las distribuciones de la precipitación sobre el territorio sugeridas por los campos de isolíneas contruidos tanto sobre los valores medidos como sobre los pronosticados. El procedimiento de análisis está explicado en detalle en la subsección previa (??). Todas las discusiones surgidas para cada lapso se han concentrado en la sección (??). Finalmente, todas las conclusiones generales del análisis se encuentran recabadas en la subsección (??).

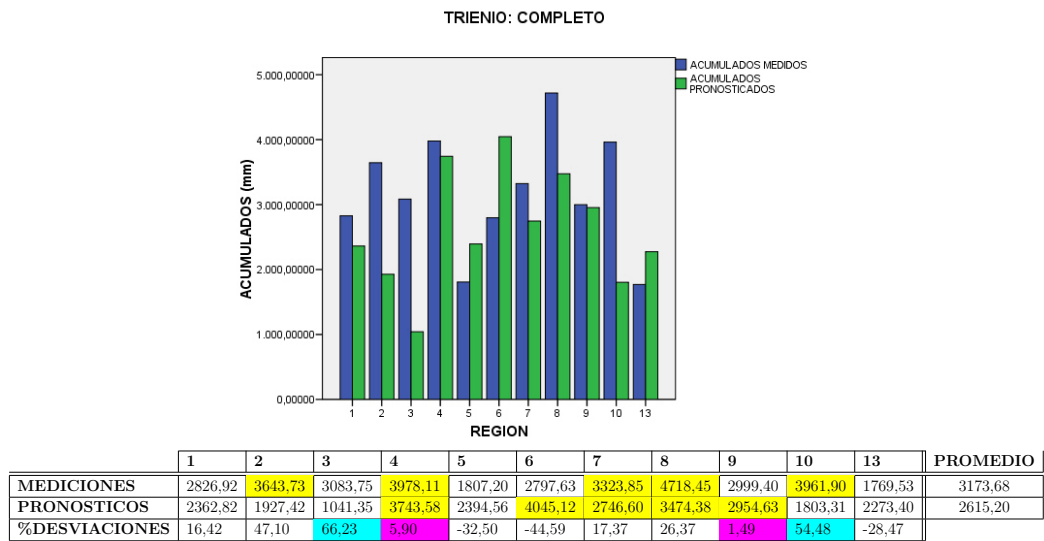


Figure 5.3: Acumulados del período - **TRIENIO: COMPLETO**

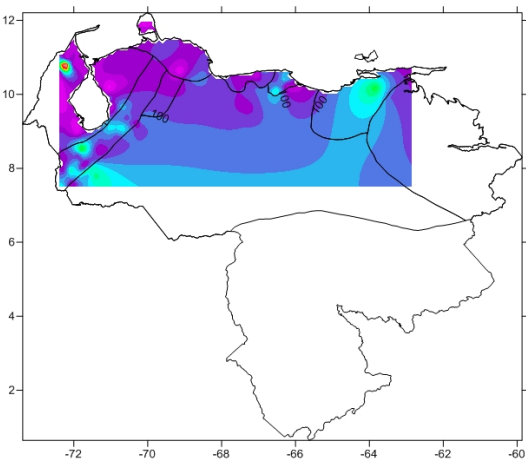


Figure 5.4: Acumulados medidos - **TRIENIO: COMPLETO**

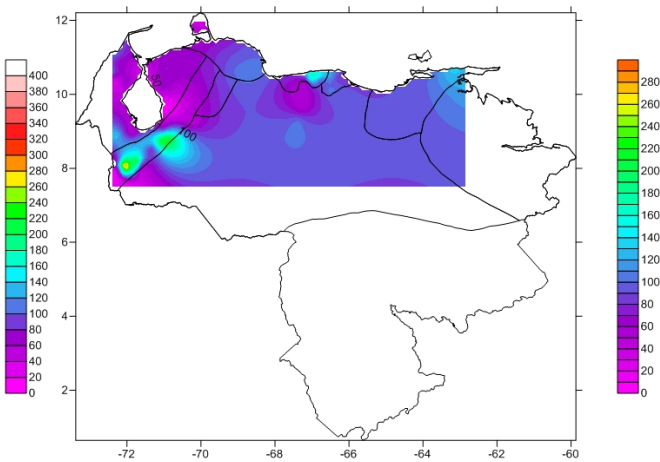


Figure 5.5: Acumulados pronosticados - **TRIENIO: COMPLETO**

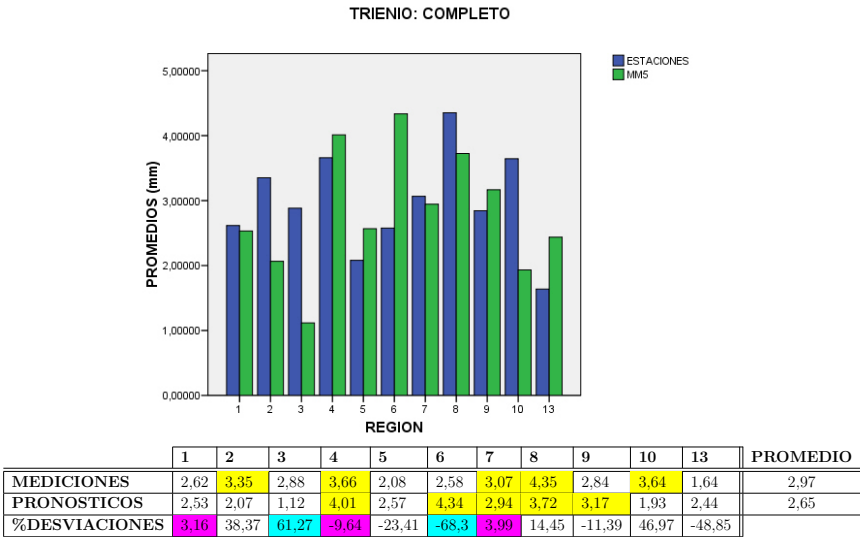


Figure 5.6: Promedios del período - TRIENIO: COMPLETO

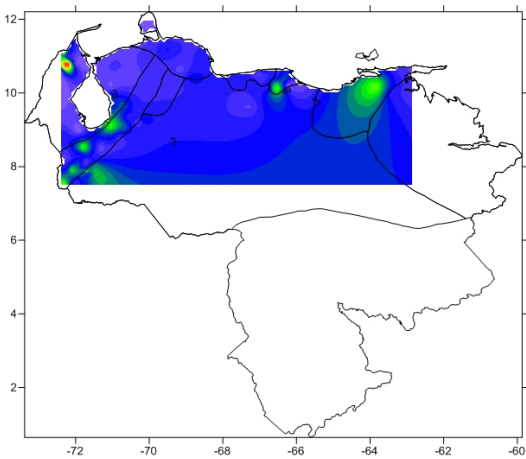


Figure 5.7: Promedios medidos - TRIENIO: COMPLETO

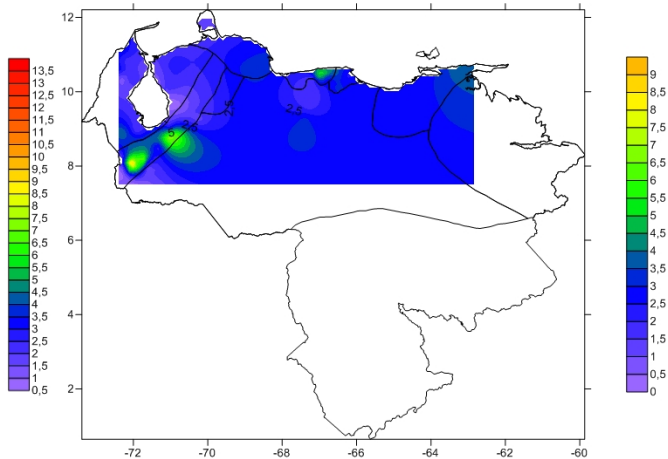


Figure 5.8: Promedios pronosticados - TRIENIO: COMPLETO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,07157	0,00000	0,00047	0,30728	0,63288	0,03313	0,56752	0,00010	0,00004	0,00016	0,77705
ALINEAMIENTOS	0,05943	0,12928	0,11545	0,03360	0,01775	0,07010	0,01885	0,12775	0,13604	0,12393	-0,00935

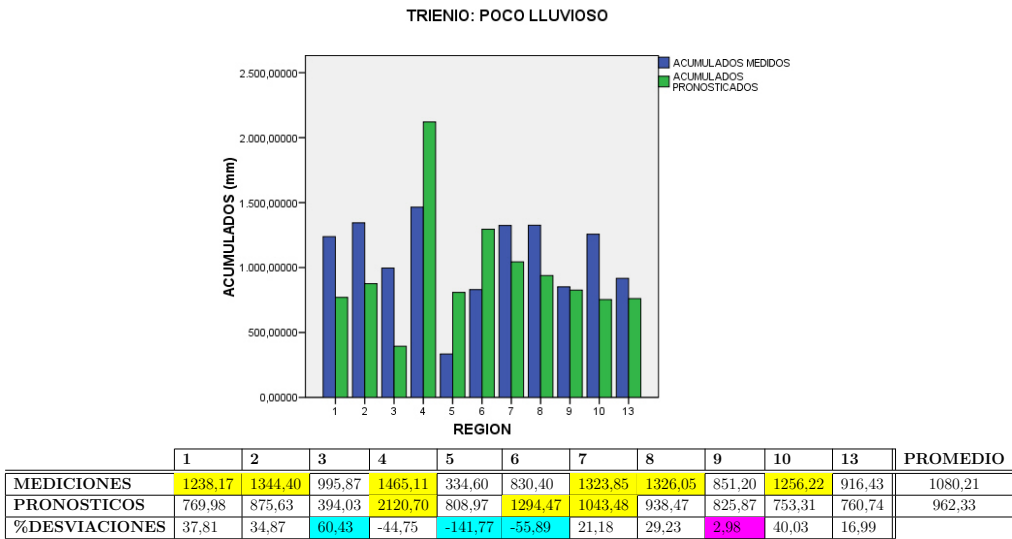


Figure 5.9: Acumulados del período - **TRIENIO: POCO LLUVIOSO**

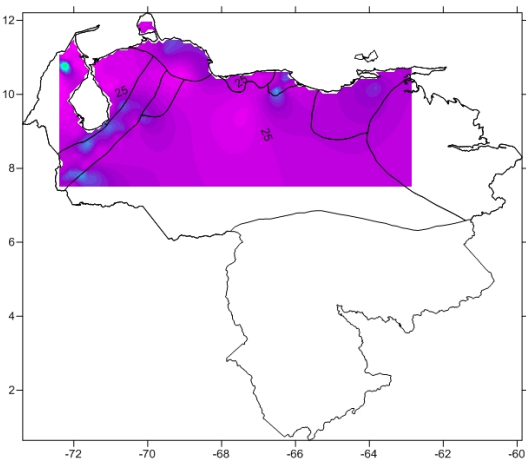


Figure 5.10: Acumulados medidos - **TRIENIO: POCO LLUVIOSO**

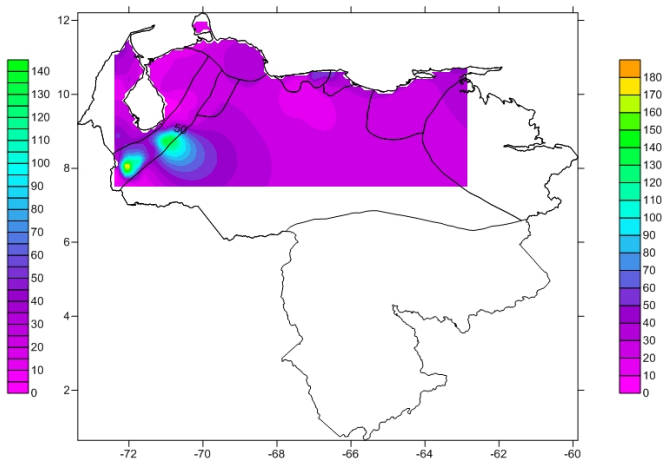


Figure 5.11: Acumulados pronosticados - **TRIENIO: POCO LLUVIOSO**

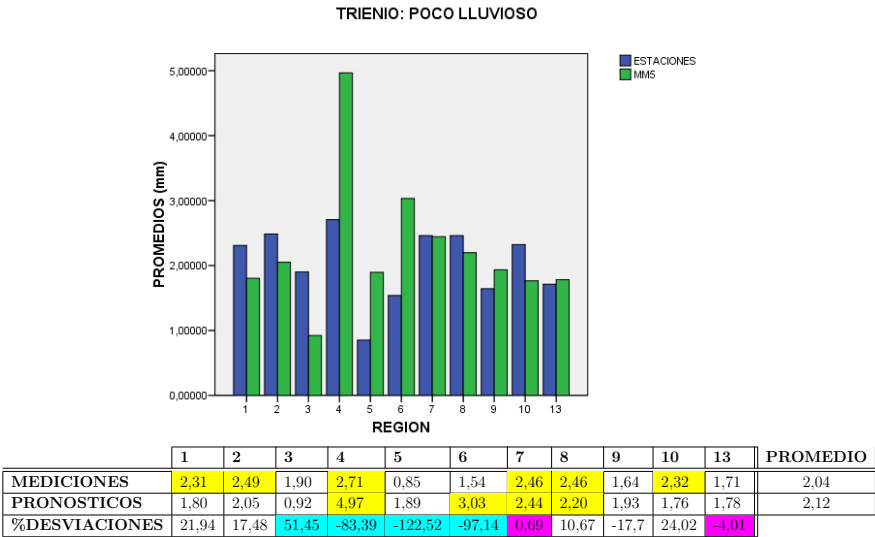


Figure 5.12: Promedios del período - TRIENIO: POCO LLUVIOSO

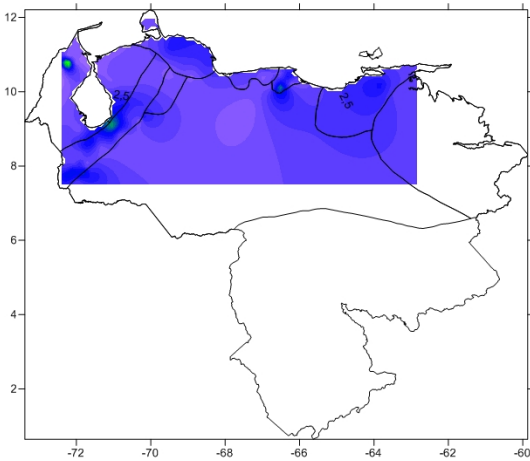


Figure 5.13: Promedios medidos - TRIENIO: POCO LLUVIOSO

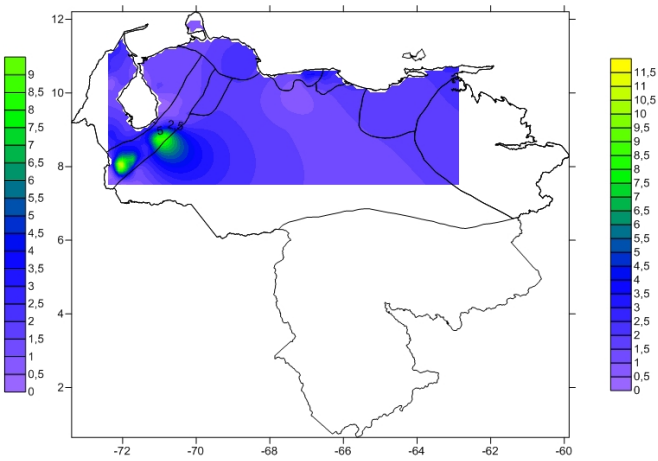


Figure 5.14: Promedios pronosticados - TRIENIO: POCO LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,00109	0,00000	0,00000	0,00123	0,32987	0,00071	0,94112	0,00011	0,02073	0,00000	0,39408
ALINEAMIENTOS	0,15864	0,14231	0,29321	0,15627	0,05823	0,16377	0,00361	0,18718	0,11420	0,24061	0,04169

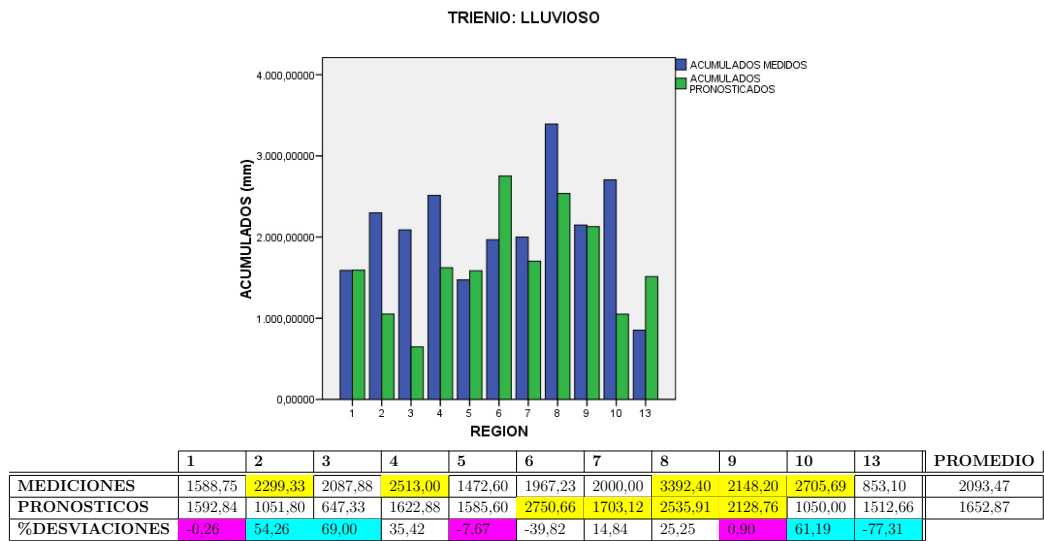


Figure 5.15: Acumulados del período - **TRIENIO: LLUVIOSO**

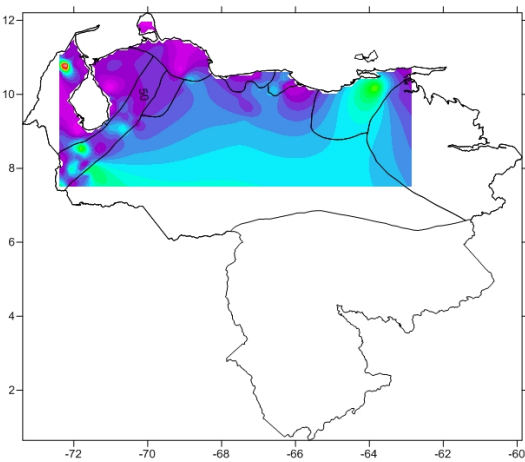


Figure 5.16: Acumulados medidos - **TRIENIO: LLUVIOSO**

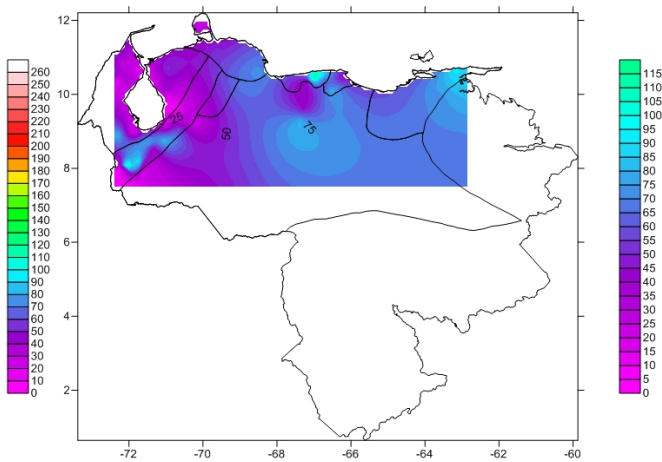


Figure 5.17: Acumulados pronosticados - **TRIENIO: LLUVIOSO**

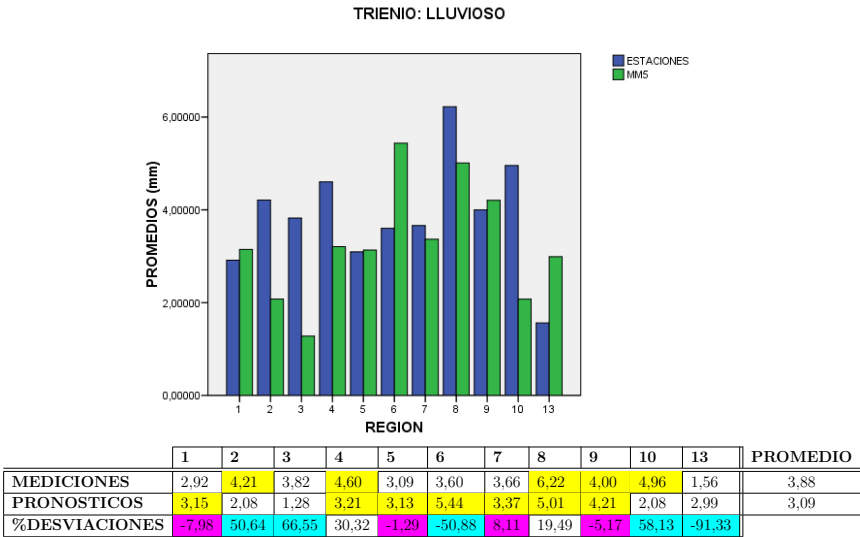


Figure 5.18: Promedios del período - TRIENIO: LLUVIOSO

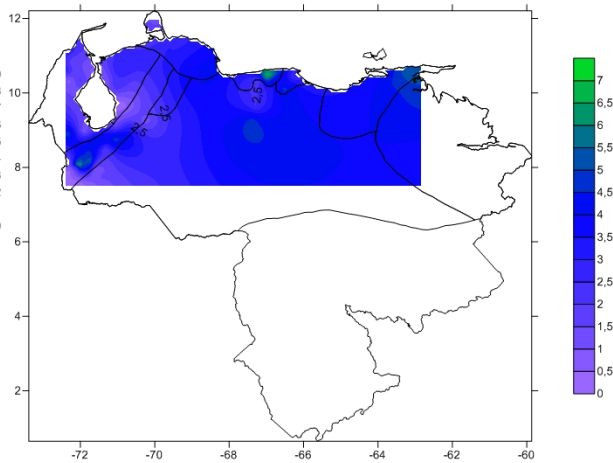
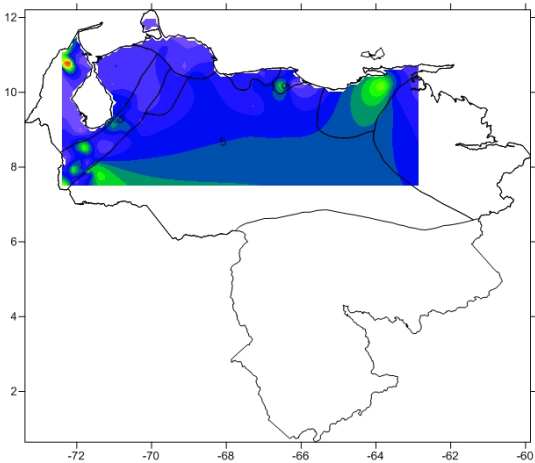


Figure 5.19: Promedios medidos - TRIENIO: LLUVIOSO

Figure 5.20: Promedios pronosticados - TRIENIO: LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,97546	0,00489	0,50127	0,25178	0,89128	0,77251	0,83234	0,08066	0,03384	0,79524	0,34834
ALINEAMIENTOS	0,00138	0,11767	-0,03014	-0,05135	-0,00650	-0,01296	0,00949	0,07828	0,09579	0,01163	-0,04203

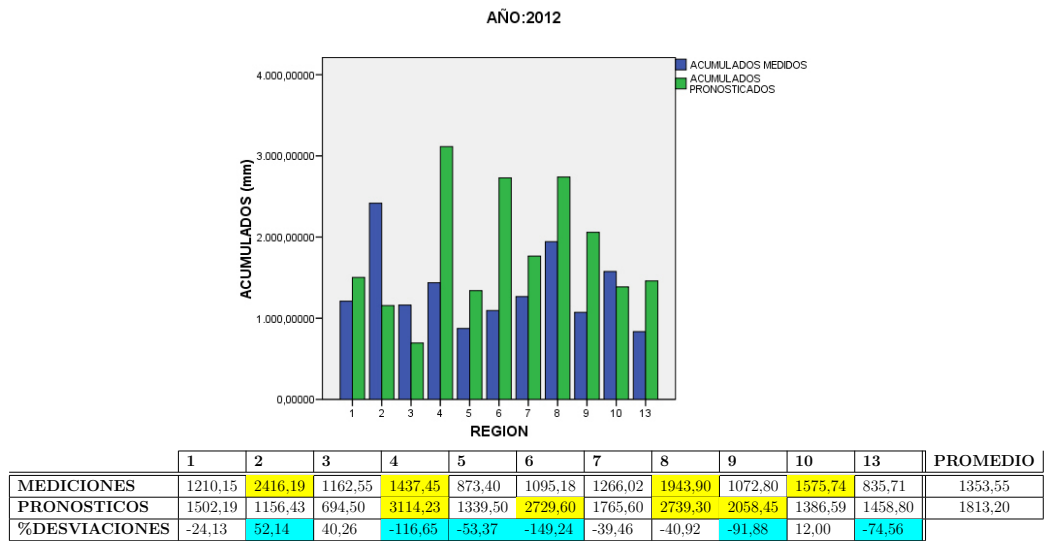


Figure 5.21: Acumulados del período - 2012

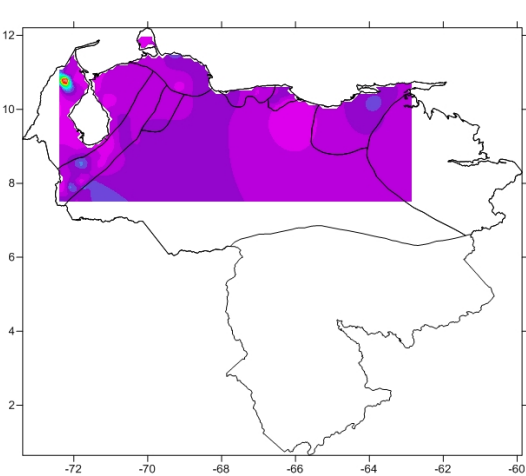


Figure 5.22: Acumulados medidos - 2012

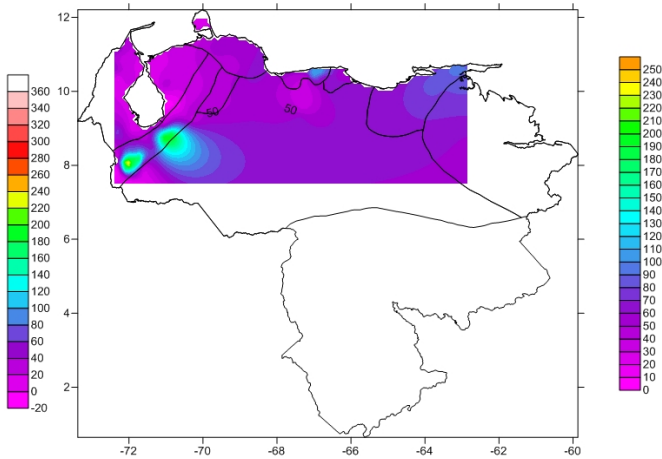


Figure 5.23: Acumulados pronosticados - 2012

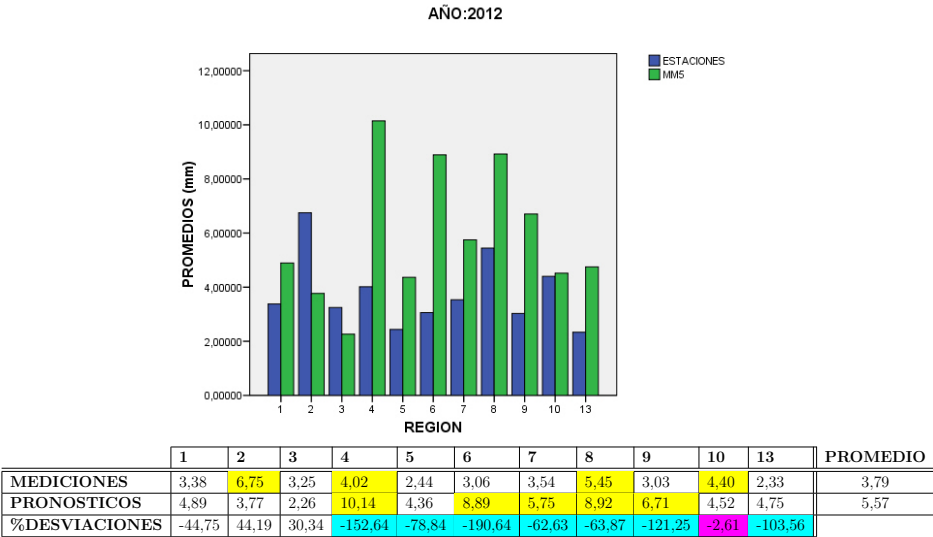


Figure 5.24: Promedios del período - 2012

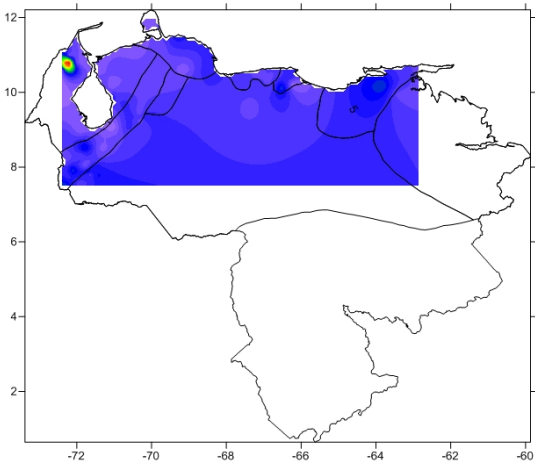


Figure 5.25: Promedios medidos - 2012

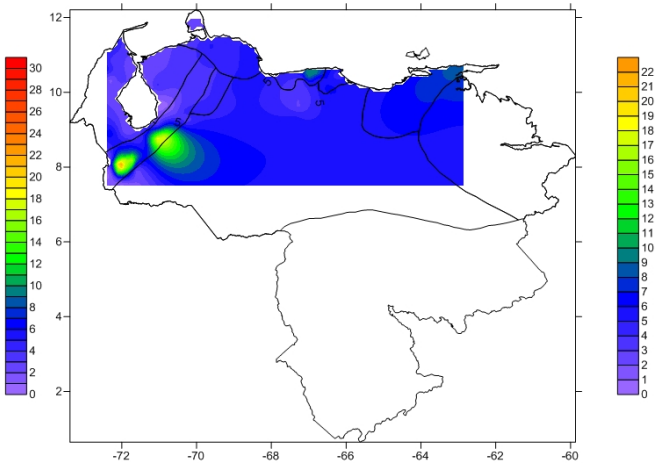


Figure 5.26: Promedios pronosticados - 2012

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,75395	0,15229	0,10075	0,60971	0,84626	0,63326	0,76536	0,04593	0,00922	0,35754	0,20572
ALINEAMIENTOS	-0,01817	0,04394	0,09494	-0,02959	-0,01124	0,02766	0,01730	0,11553	0,15112	0,05330	-0,07327

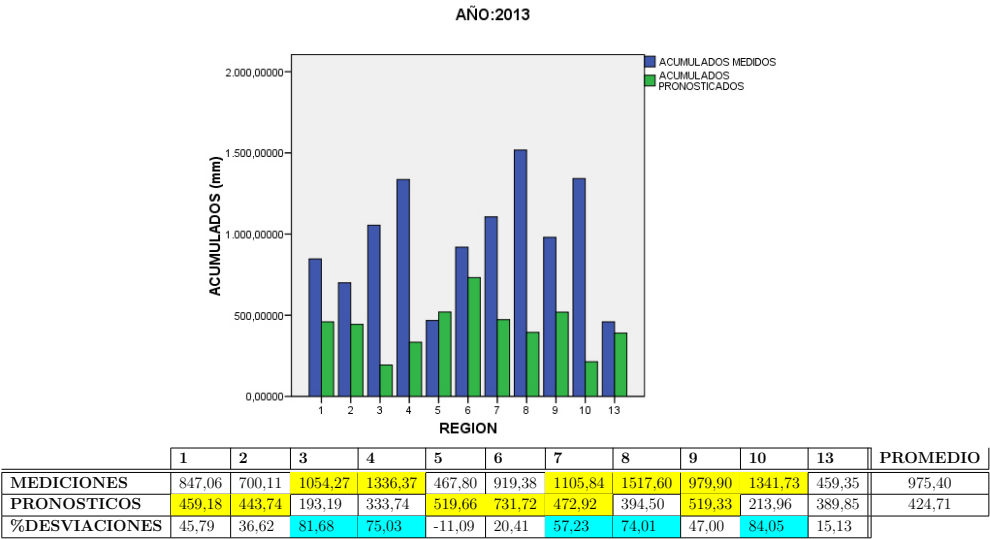


Figure 5.27: Acumulados del período - 2013

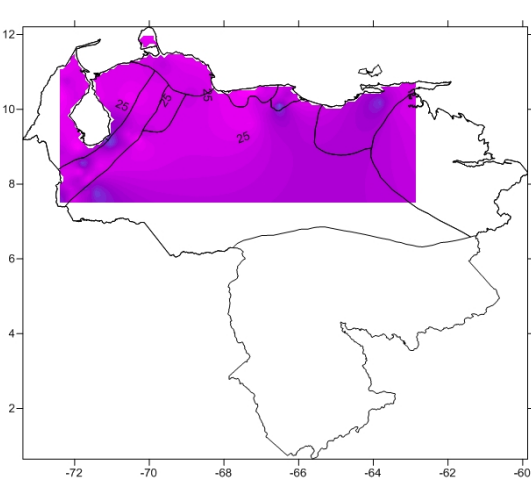


Figure 5.28: Acumulados medidos - 2013

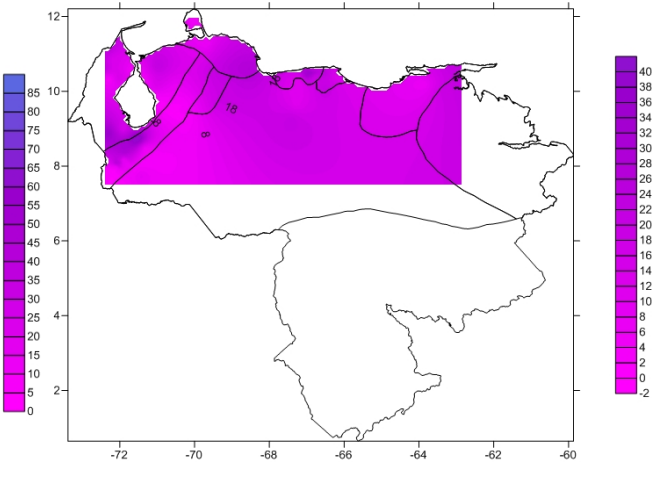


Figure 5.29: Acumulados pronosticados - 2013

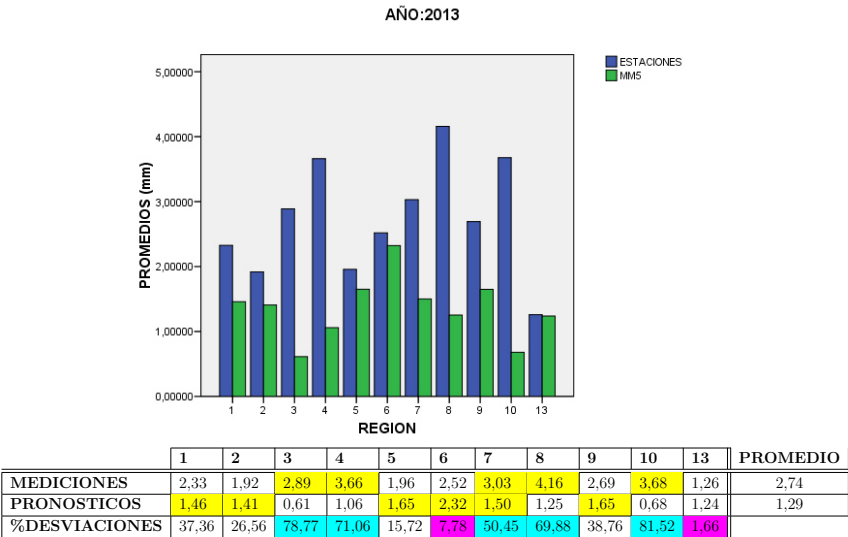


Figure 5.30: Promedios del período - 2013

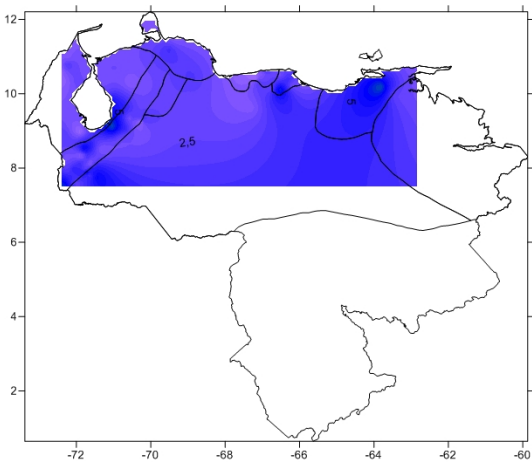


Figure 5.31: Promedios medidos - 2013

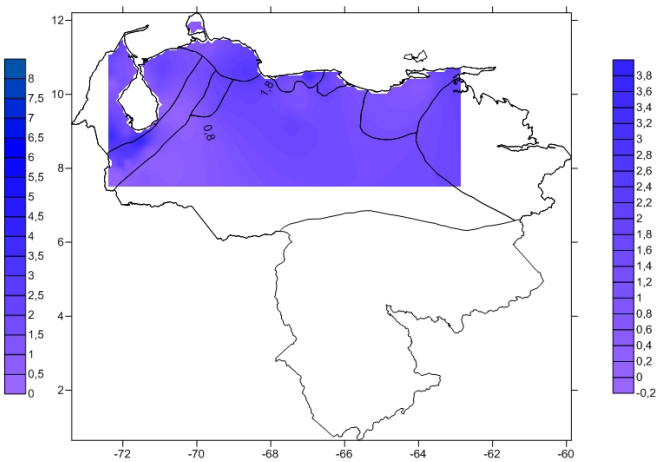


Figure 5.32: Promedios pronosticados - 2013

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,00012	0,09570	0,00042	0,00000	0,07260	0,00000	0,87091	0,14994	0,00000	0,00000	0,00003
ALINEAMIENTOS	0,21590	0,07288	0,19739	0,27296	0,12475	0,25819	-0,00919	0,08131	0,30626	0,45367	0,23111

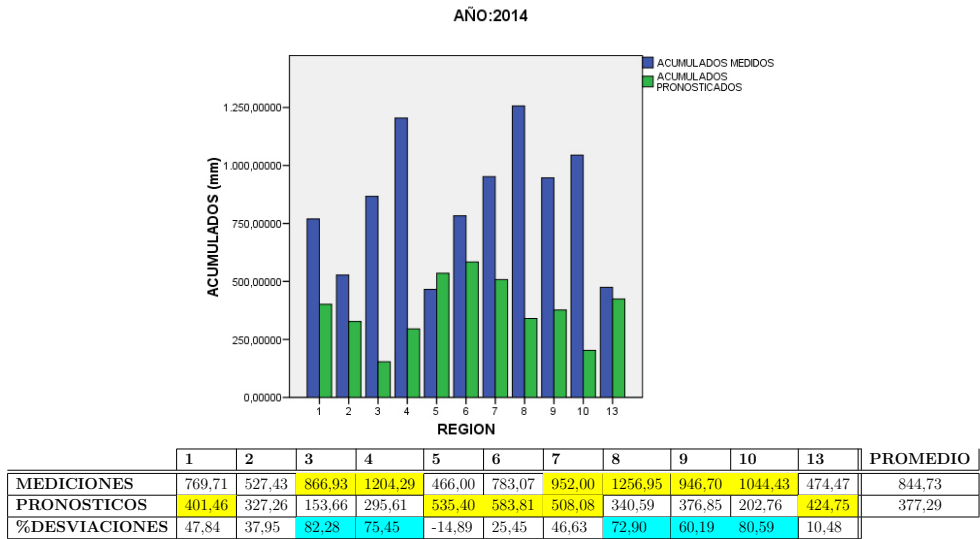


Figure 5.33: Acumulados del período - 2014

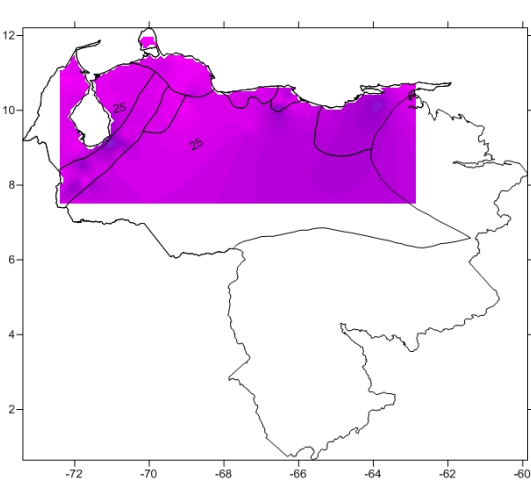


Figure 5.34: Acumulados medidos - 2014

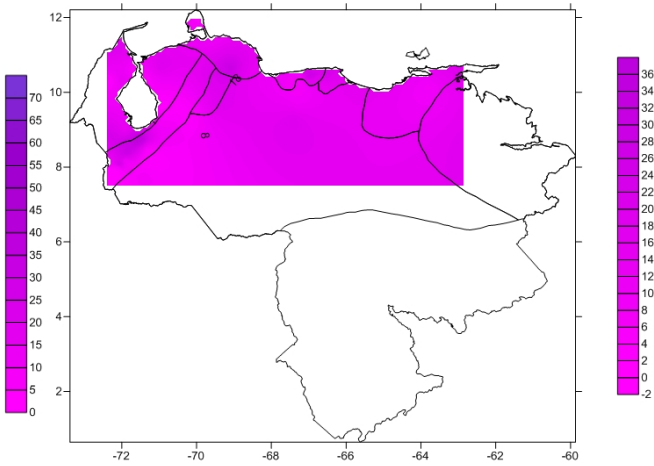


Figure 5.35: Acumulados pronosticados - 2014

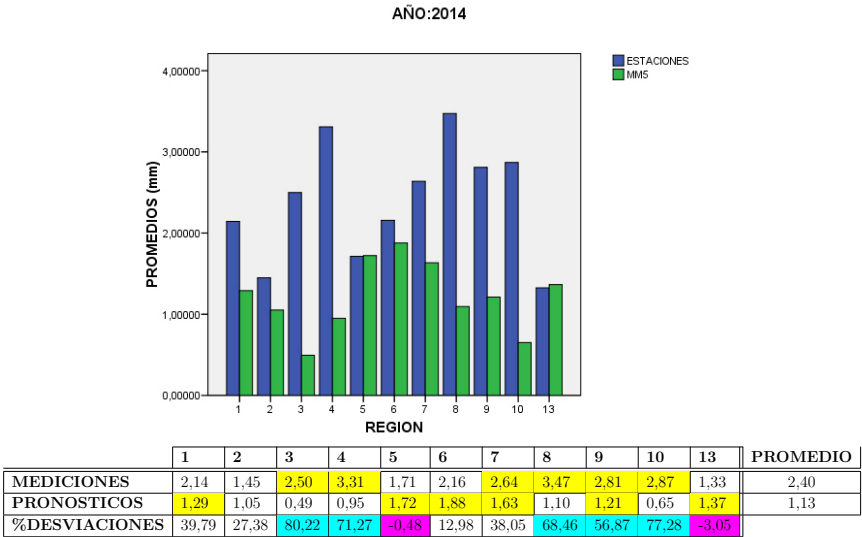


Figure 5.36: Promedios del período - 2014

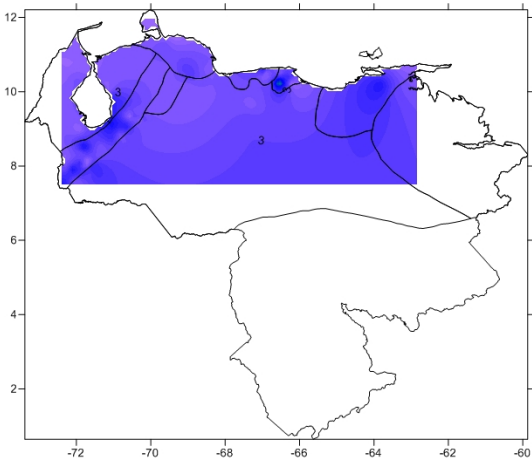


Figure 5.37: Promedios medidos - 2014

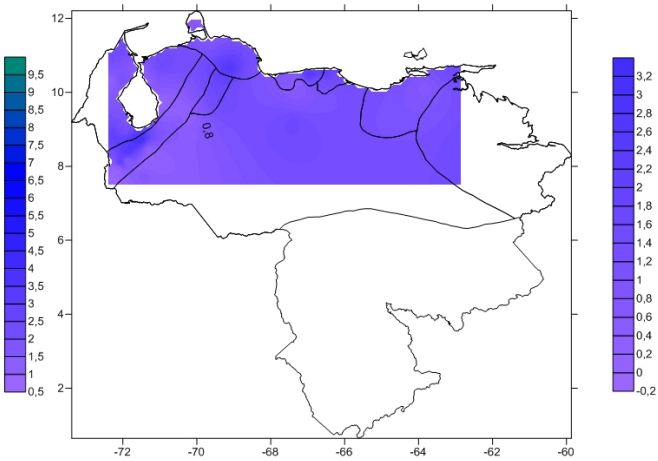


Figure 5.38: Promedios pronosticados - 2014

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0.00000	0.00001	0.00000	0.00744	0,62817	0.00011	0,37013	0.01434	0.03439	0.00104	0,92792
ALINEAMIENTOS	0.25901	0,15152	0.37553	0,15174	0,03291	0.21872	-0,05133	0,13919	0,12407	0,18538	0,00520

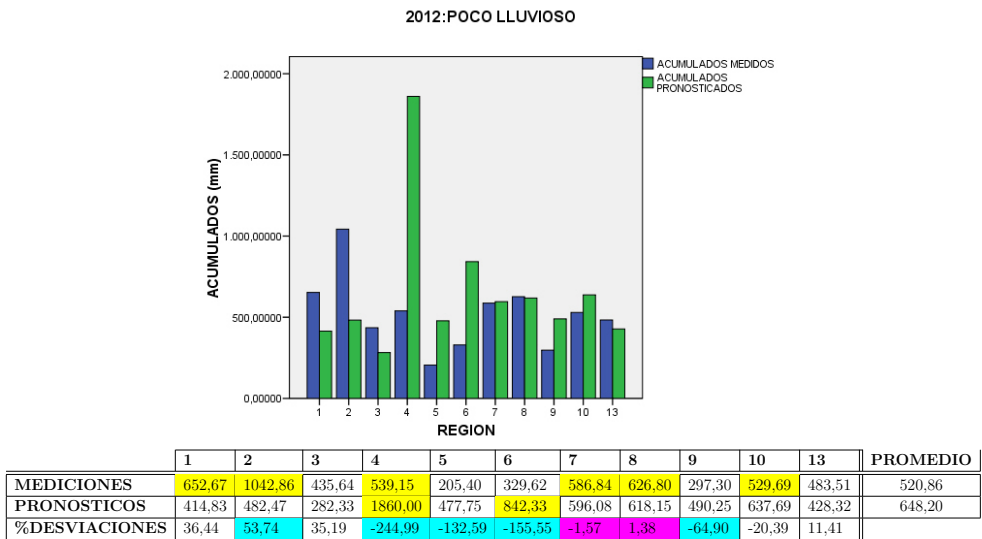


Figure 5.39: Acumulados del período - **2012:POCO LLUVIOSO**

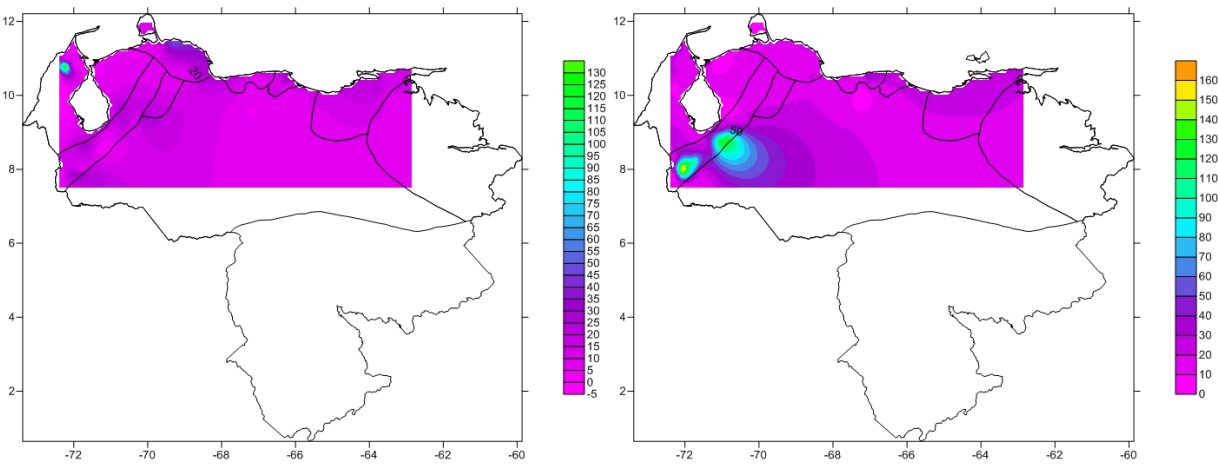


Figure 5.40: Acumulados medidos - Figure 5.41: Acumulados pronosticados - **2012:POCO LLUVIOSO**

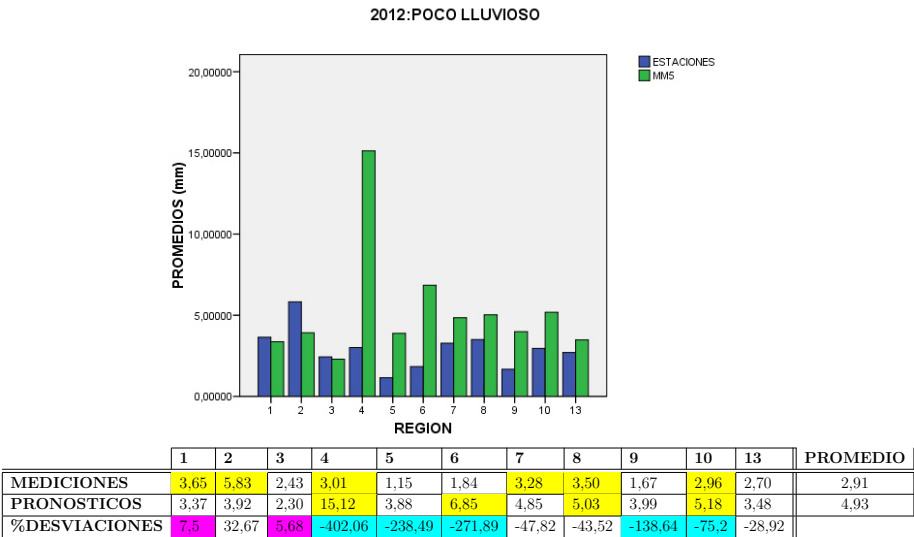


Figure 5.42: Promedios del período - 2012:POCO LLUVIOSO

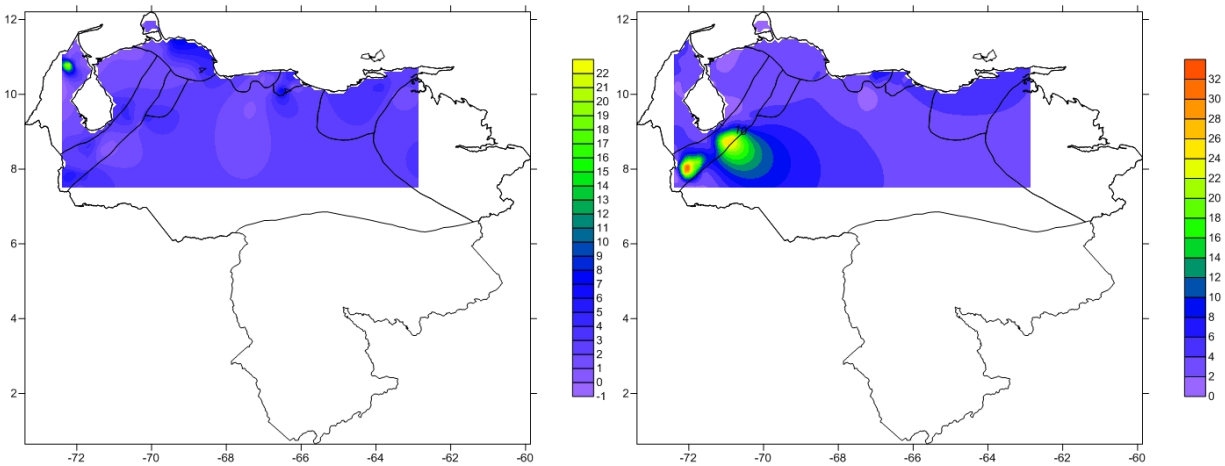


Figure 5.43: Promedios medidos - Figure 5.44: Promedios pronosticados - 2012:POCO LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,59351	0,05508	0,00002	0,09053	0,80800	0,02437	0,61734	0,01746	0,24601	0,00490	0,75345
ALINEAMIENTOS	0,04900	0,05852	0,37869	0,15455	0,02232	0,20462	-0,04587	0,21576	0,10672	0,25418	-0,02885

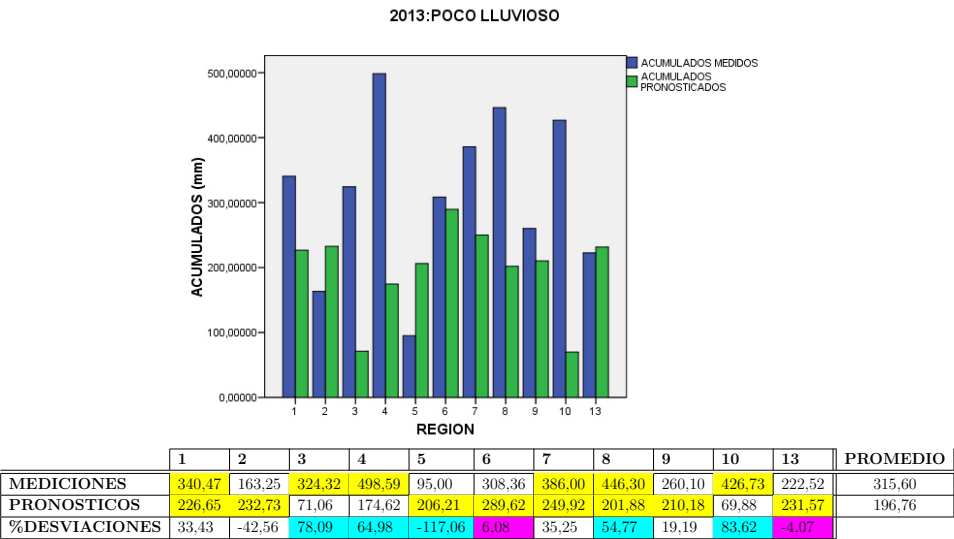


Figure 5.45: Acumulados del período - **2013:POCO LLUVIOSO**

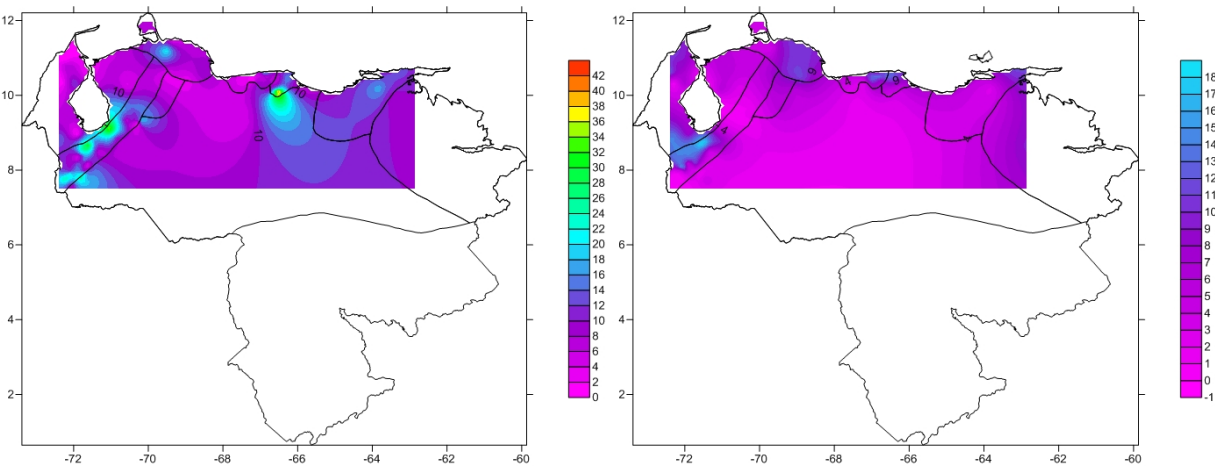


Figure 5.46: Acumulados medidos - Figure 5.47: Acumulados pronosticados - **2013:POCO LLUVIOSO**

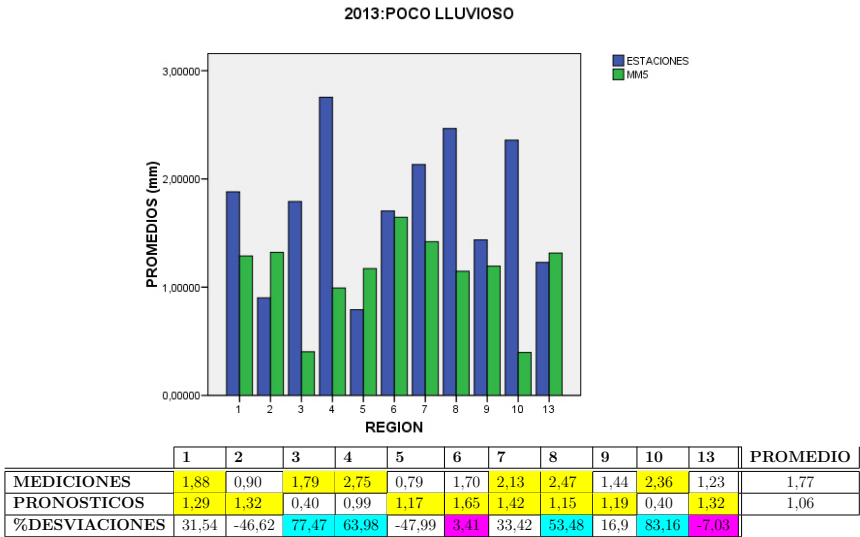


Figure 5.48: Promedios del período - 2013:POCO LLUVIOSO

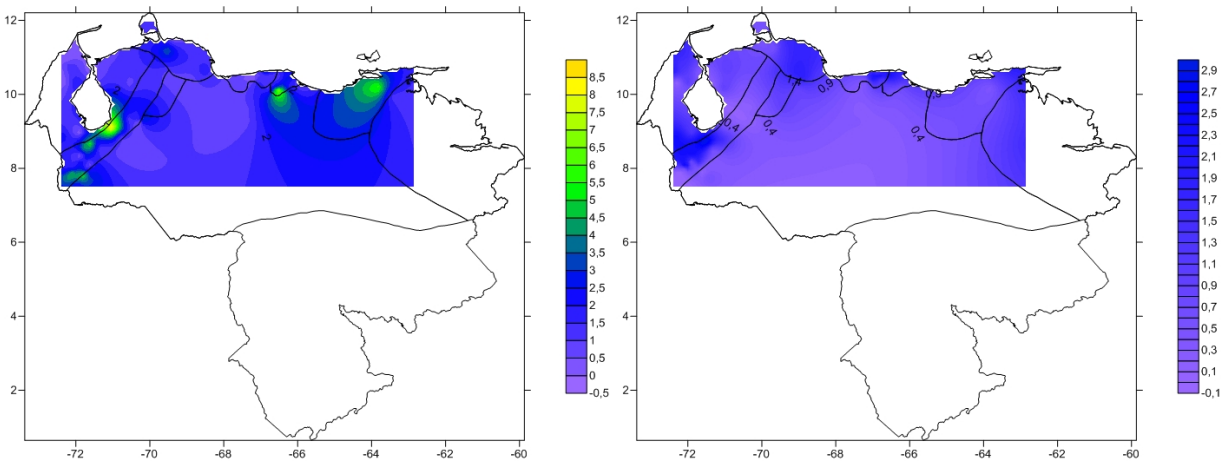


Figure 5.49: Promedios medidos - Figure 5.50: Promedios pronosticados - 2013:POCO LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0.00001	0.00855	0.00005	0.00000	0.00636	0.00000	0.45200	0.22328	0.00026	0.00000	0.00003
ALINEAMIENTOS	0.33092	0.32285	0.30097	0.49849	0.24881	0.44335	0.05705	0.09226	0.27217	0.54542	0.31115

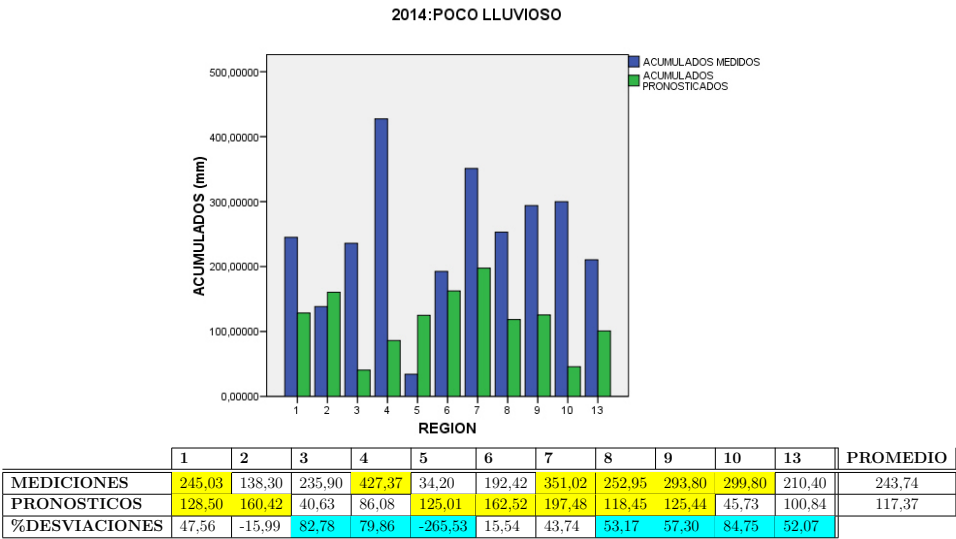


Figure 5.51: Acumulados del período - **2014:POCO LLUVIOSO**

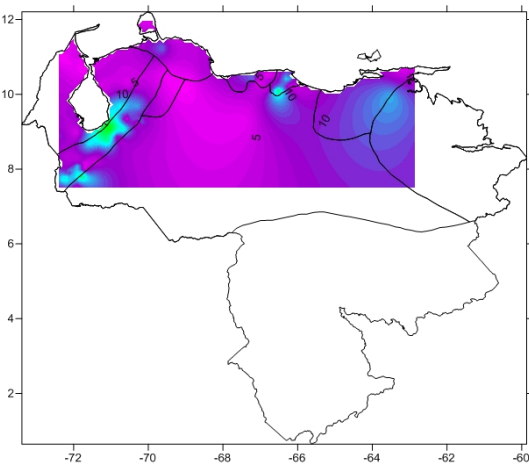


Figure 5.52: Acumulados medidos - **2014:POCO LLUVIOSO**

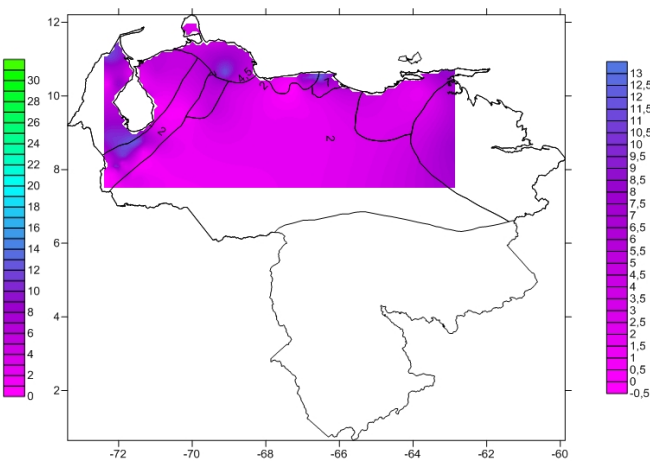


Figure 5.53: Acumulados pronosticados - **2014:POCO LLUVIOSO**

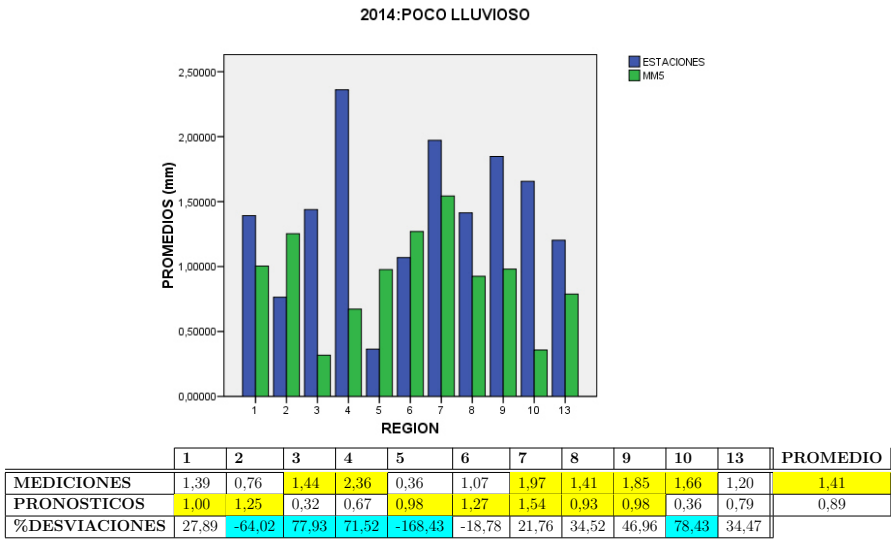


Figure 5.54: Promedios del período - 2014:POCO LLUVIOSO

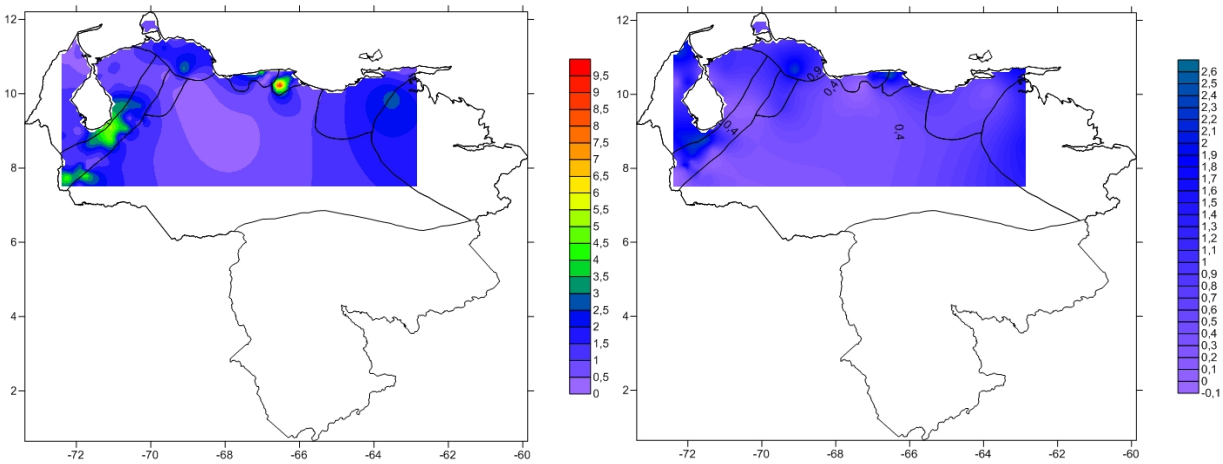


Figure 5.55: Promedios medidos - Figure 5.56: Promedios pronosticados - 2014:POCO LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0.00001	0.00008	0.00000	0.00021	0.11798	0.00005	0.69903	0.12745	0.00682	0.03396	0.08488
ALINEAMIENTOS	0.37806	0.39797	0.48398	0.32163	0.24493	0.35189	0.03492	0.13597	0.25208	0.18760	0.15600

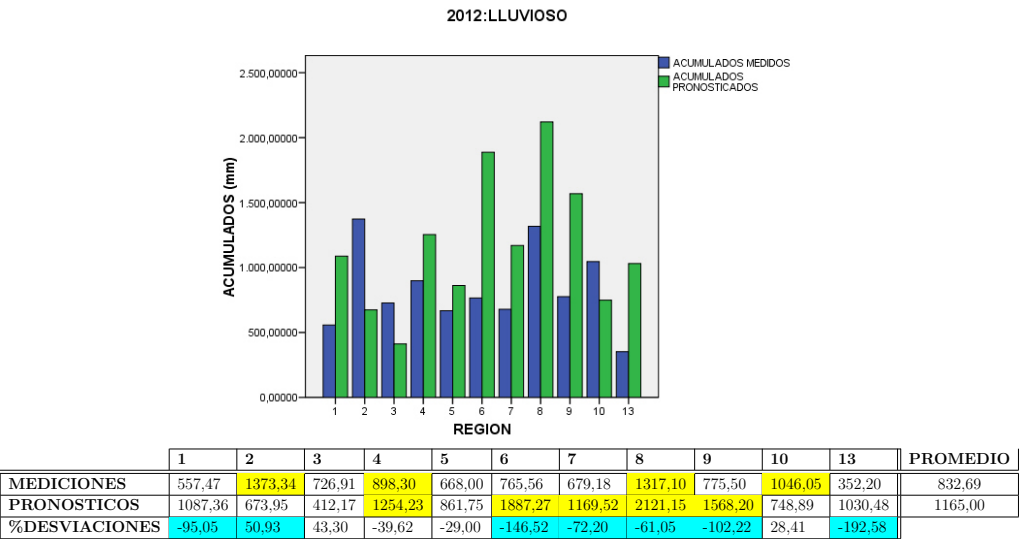


Figure 5.57: Acumulados del período - **2012:LLUVIOSO**

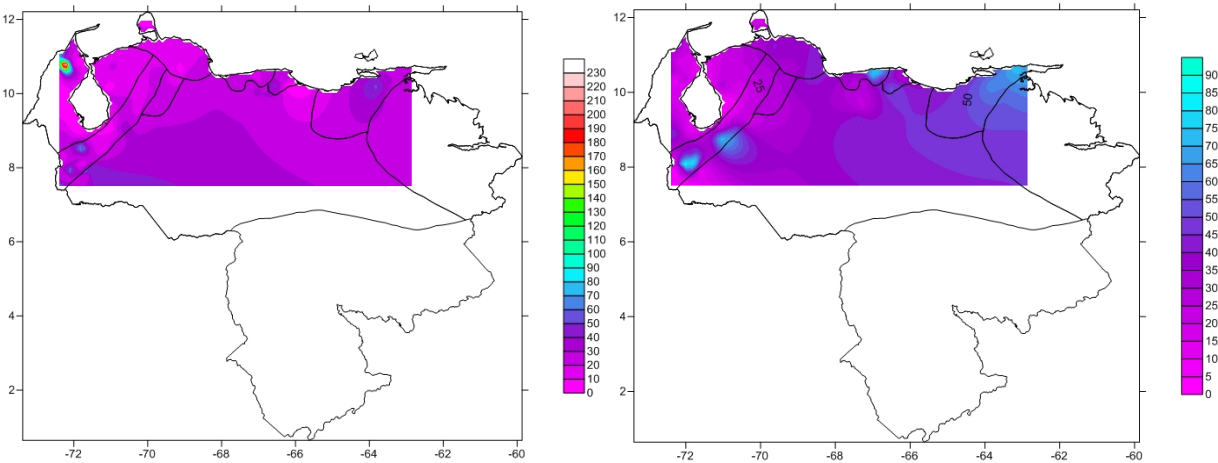


Figure 5.58: Acumulados medidos - Figure 5.59: Acumulados pronosticados - **2012:LLUVIOSO**

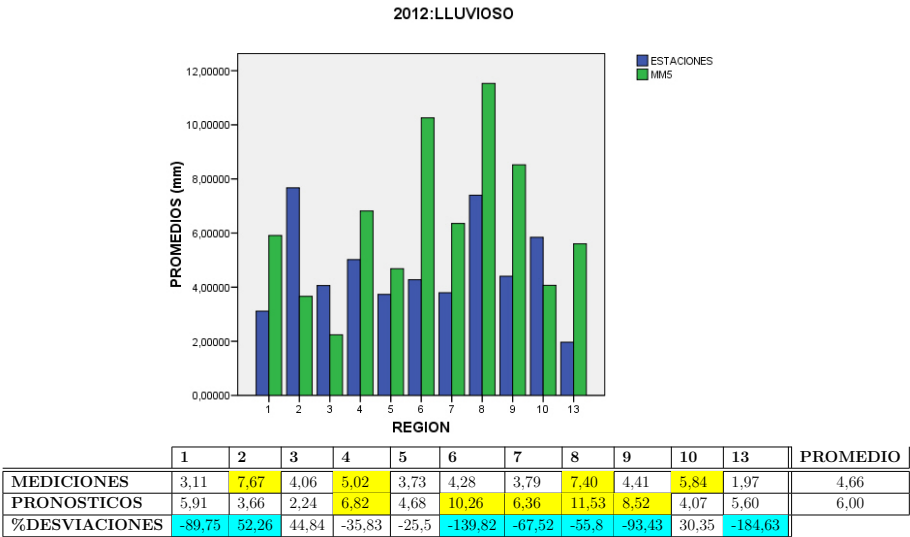


Figure 5.60: Promedios del período - 2012:LLUVIOSO

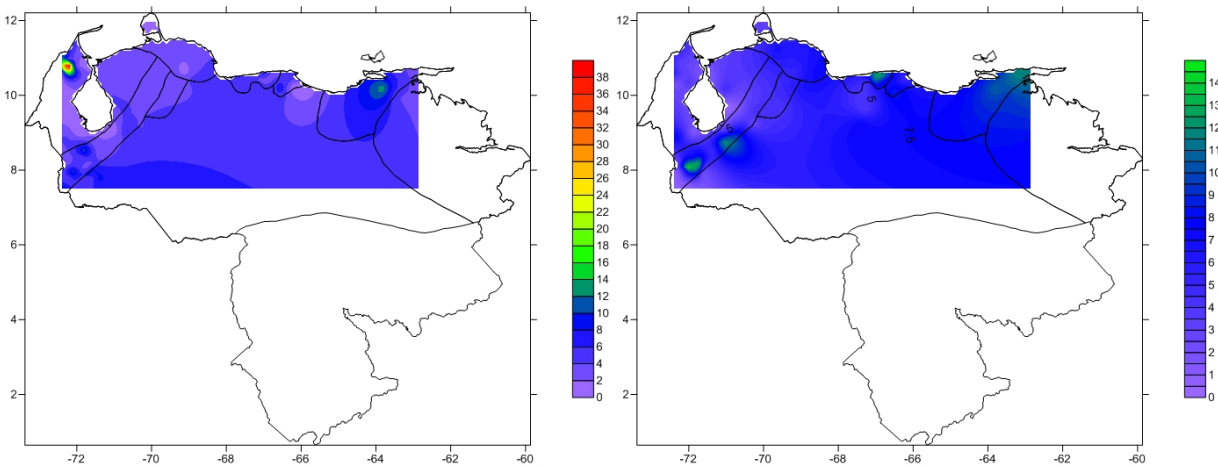


Figure 5.61: Promedios medidos - Figure 5.62: Promedios pronosticados - 2012:LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,59414	0,58129	0,15307	0,11096	0,67113	0,27814	0,56299	0,44784	0,16342	0,23262	0,17446
ALINEAMIENTOS	-0,04009	0,02661	-0,10723	-0,11954	-0,03195	-0,08150	0,04352	0,05725	0,10551	-0,08966	-0,10195

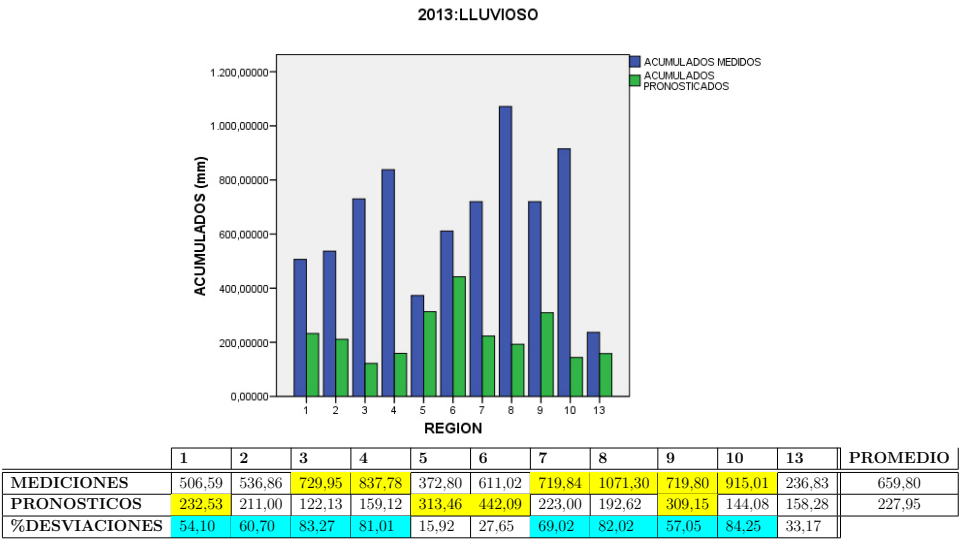


Figure 5.63: Acumulados del período - **2013:LLUVIOSO**

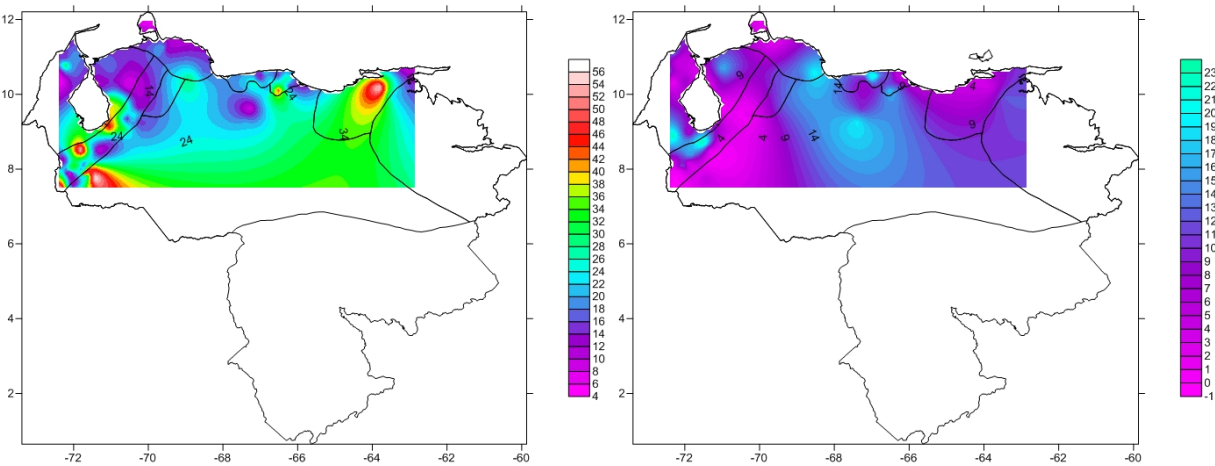


Figure 5.64: Acumulados medidos - Figure 5.65: Acumulados pronosticados - **2013:LLUVIOSO**

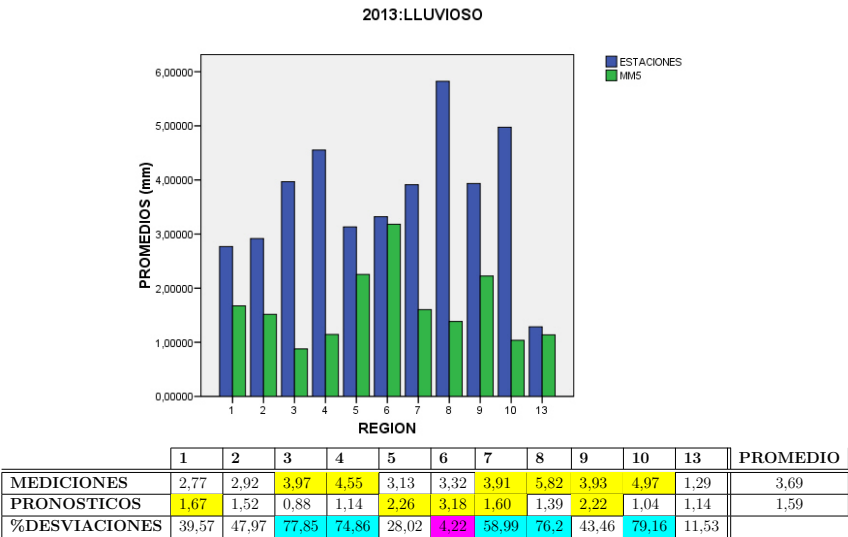


Figure 5.66: Promedios del período - 2013:LLUVIOSO

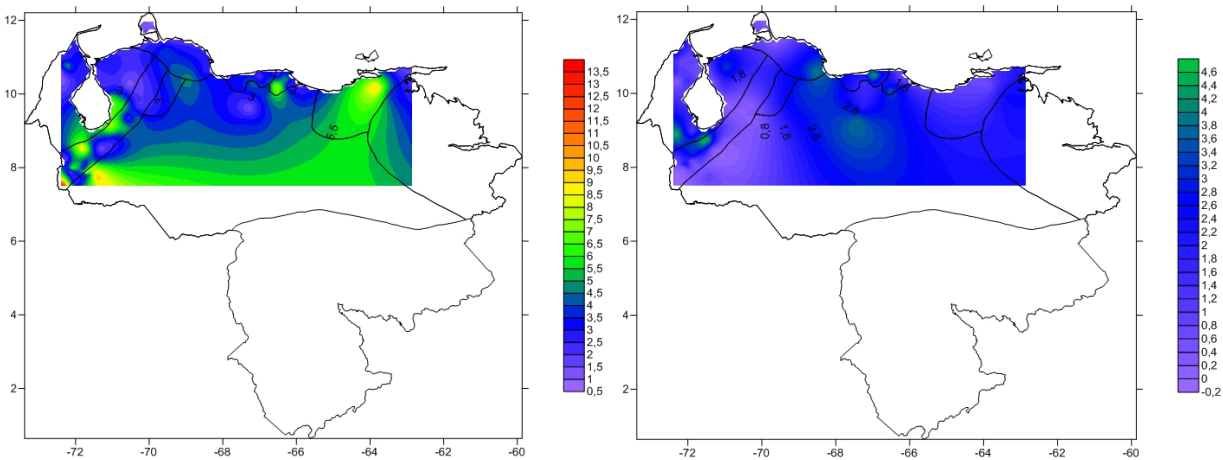


Figure 5.67: Promedios medidos - Figure 5.68: Promedios pronosticados - 2013:LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,68941	0,64885	0,49563	0,69505	0,56438	0,97363	0,45384	0,78607	0,00507	0,00566	0,14680
ALINEAMIENTOS	0,03432	-0,10478	-0,05827	-0,03354	-0,06191	0,00283	-0,06405	0,02323	0,23730	0,23353	0,12371

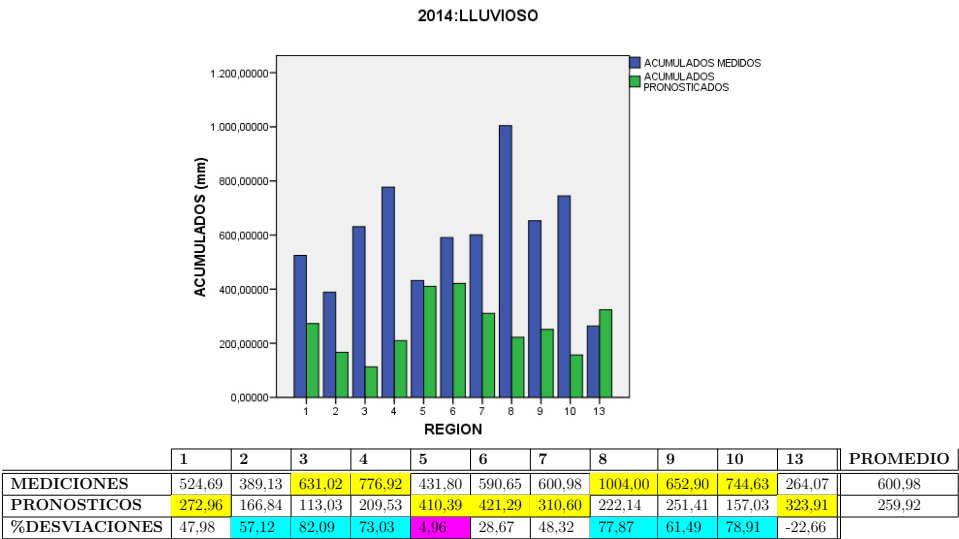


Figure 5.69: Acumulados del período - **2014:LLUVIOSO**

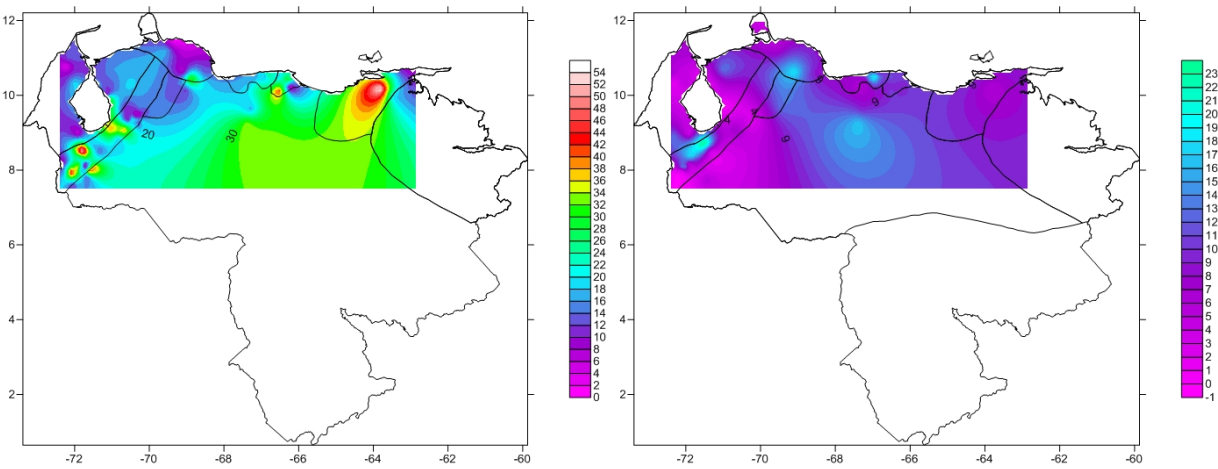


Figure 5.70: Acumulados medidos - Figure 5.71: Acumulados pronosticados - **2014:LLUVIOSO**

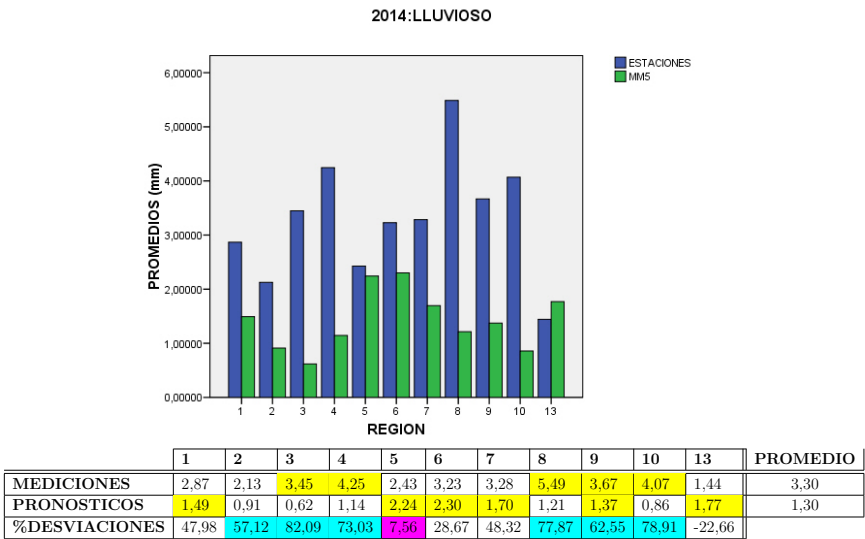


Figure 5.72: Promedios del período - 2014:LLUVIOSO

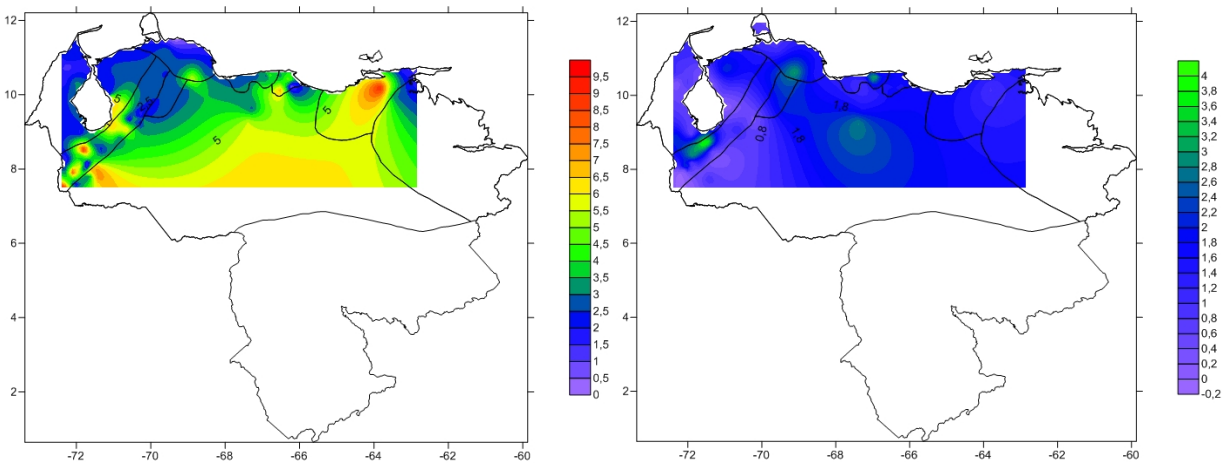


Figure 5.73: Promedios medidos -

Figure 5.74: Promedios pronosticados -

2014:LLUVIOSO

2014:LLUVIOSO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13
SIGNIFICANCIAS	0,01320	0,02812	0,00033	0,66370	0,75609	0,15149	0,21944	0,27263	0,42647	0,88110	0,61814
ALINEAMIENTOS	0,18342	0,13442	0,26346	-0,03245	0,02351	0,10675	-0,09147	0,08174	0,06015	0,01116	-0,03719

5.2.2 Tablas de Resumen

A continuación se presentan las tablas especificadas en la sección(?).

[illegible][illegible]

Table 5.4: Regiones con medición y pronóstico coincidentemente por debajo de la media

[illegible]

Table 5.5: Mayores Contraste

[illegible]

5.2.3 Resumen de Ajustes Lineales

Estimación lineal de la región 10 (Mediciones en función de Pronósticos)

De la totalidad de valores de Pearson obtenidos en los diferentes lapsos de estudio, el mayor fue obtenido para la región 10 - **Llanos Oeste de Bolivar**, para el lapso **2013: POCO LLUVIOSO**. La siguiente figura recaba la estimación lineal para esta región durante dicho lapso:

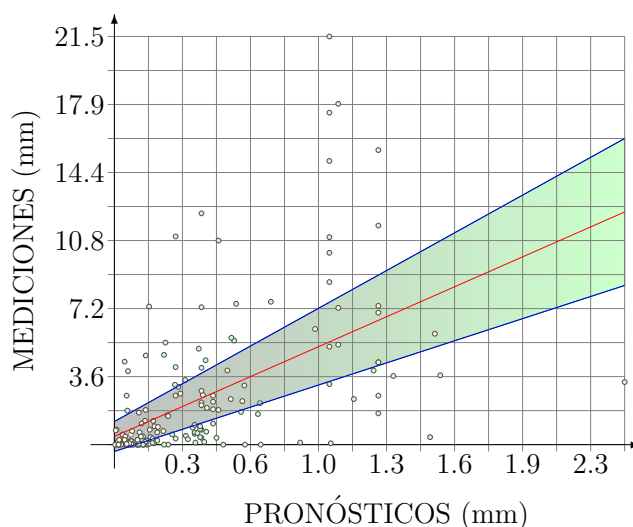


Figure 5.75: Llanos Oeste de Bolivar – 2013 - POCO LLUVIOSO

Número de casos válidos	176
Estimación lineal	$4.88X + 0.43$
Errores	$\Delta a_0 = 0.39 \quad \Delta a_1 = 0.68$
R ² de Pearson	0,297
r del modelo según postulado ??	$1.826 \Leftrightarrow \alpha = 0.5432$
Cota inferior	$3.64X - 0.37$
Cota superior	$6.11X + 1.23$
Número de puntos dentro de las cotas	92
% de puntos dentro de las cotas	52.273%

Resumen de Ajustes Lineales (Pronósticos en función de Mediciones)

A continuación se presentan finalmente los parámetros correspondientes a los ajustes lineales que conectan pronósticos en función de valores medidos, para los diferentes lapsos.

Nótese que para obtener éstos parámetros se ha permutado el orden de las variables usado para obtener el gráfico ??, calculando esta vez pronósticos en términos de mediciones. Debido a esto, los parámetros de la **región 10** (resaltados en **rojo**) difieren de los valores mostrados en la estimación de dicha figura. Sin embargo, esta discrepancia es sólo “aparente” y sencilla de explicar pues es sencillo encontrar una transformación entre los valores mostrados para la estimación ?? y los mostrados en las tablas ??, ??, ?? y ??, como se observará en la discusiones (sección ??).

Table 5.6: Pendientes

	REGION										
LAPSO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R13
TRIENIO: POCO LLUVIOSO	0,123	0,041	0,201	0,454	0,082	0,432	0,005	0,246	0,174	0,321	0,063
TRIENIO: LLUVIOSO	0,002	0,048	-0,011	-0,087	-0,003	-0,024	0,009	0,117	0,123	0,009	-0,097
2012	-0,031	0,015	0,066	-0,087	-0,007	0,091	0,032	0,206	0,278	0,074	-0,211
2013	0,055	0,018	0,023	0,044	0,029	0,099	-0,002	0,016	0,116	0,058	0,109
2014	0,078	0,049	0,04	0,028	0,013	0,069	-0,015	0,021	0,031	0,034	0,003
2012:POCO LLUVIOSO	0,044	0,016	0,377	0,527	0,059	1,001	-0,104	0,408	0,259	0,473	-0,059
2013:POCO LLUVIOSO	0,103	0,161	0,041	0,105	0,075	0,161	0,018	0,022	0,134	0,061	0,152
2014:POCO LLUVIOSO	0,21	0,227	0,064	0,053	0,483	0,119	0,016	0,03	0,125	0,033	0,035
2012:LLUVIOSO	-0,105	0,011	-0,058	-0,288	-0,014	-0,228	0,073	0,101	0,186	-0,098	-0,378
2013:LLUVIOSO	0,007	-0,017	-0,005	-0,004	-0,01	0,001	-0,015	0,004	0,077	0,027	0,055
2014:LLUVIOSO	0,049	0,035	0,024	-0,006	0,008	0,032	-0,024	0,012	0,013	0,002	-0,022

Table 5.7: Ordenadas en el origen

	REGION										
LAPSO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R13
TRIENIO: POCO LLUVIOSO	1,544	1,946	0,584	3,738	2,379	2,385	2,456	1,607	1,736	1,015	1,699
TRIENIO: LLUVIOSO	3,156	1,879	1,329	3,623	3,199	5,521	3,306	4,322	3,761	2,034	3,169
2012	5,074	3,718	2,084	10,71	4,432	8,672	5,668	7,898	5,975	4,233	5,306
2013	1,334	1,377	0,547	0,901	1,398	2,081	1,508	1,189	1,348	0,467	1,098
2014	1,142	0,981	0,375	0,857	2,18	1,73	1,682	1,018	1,129	0,554	1,371
2012:POCO LLUVIOSO	3,231	3,861	1,528	13,62	3,897	4,934	5,173	3,601	3,711	3,674	3,68
2013:POCO LLUVIOSO	1,099	1,181	0,332	0,706	0,964	1,372	1,381	1,092	1,006	0,253	1,133
2014:POCO LLUVIOSO	0,84	1,113	0,177	0,554	2,026	1,173	1,549	0,882	0,812	0,312	0,744
2012:LLUVIOSO	6,334	3,637	2,515	8,369	4,781	11,325	6,079	11,094	7,94	4,705	6,468
2013:LLUVIOSO	1,654	1,568	0,902	1,164	2,04	3,177	1,665	1,362	1,915	0,896	1,062
2014:LLUVIOSO	1,353	0,843	0,538	1,177	2,207	2,209	1,777	1,154	1,33	0,853	1,811

Table 5.8: Pendientes - Errores

LAPSO	REGION										
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R13
TRIENIO: POCO LLUVIOSO	0,037	0,014	0,032	0,14	0,084	0,127	0,07	0,063	0,075	0,063	0,074
TRIENIO: LLUVIOSO	0,073	0,018	0,016	0,076	0,02	0,084	0,043	0,067	0,058	0,036	0,103
2012	0,098	0,019	0,04	0,171	0,034	0,19	0,109	0,103	0,106	0,08	0,166
2013	0,014	0,014	0,006	0,009	0,016	0,021	0,015	0,011	0,02	0,006	0,026
2014	0,017	0,018	0,006	0,01	0,026	0,018	0,017	0,009	0,014	0,01	0,03
2012:POCO LLUVIOSO	0,083	0,025	0,084	0,309	0,241	0,439	0,208	0,169	0,222	0,165	0,187
2013:POCO LLUVIOSO	0,022	0,036	0,01	0,014	0,027	0,025	0,024	0,018	0,036	0,007	0,035
2014:POCO LLUVIOSO	0,047	0,047	0,011	0,014	0,302	0,028	0,042	0,019	0,045	0,015	0,02
2012:LLUVIOSO	0,197	0,032	0,041	0,18	0,032	0,21	0,126	0,132	0,133	0,082	0,278
2013:LLUVIOSO	0,016	0,014	0,008	0,01	0,018	0,03	0,02	0,015	0,027	0,01	0,038
2014:LLUVIOSO	0,02	0,019	0,007	0,014	0,027	0,022	0,019	0,011	0,016	0,014	0,044

Table 5.9: Ordenadas en el origen - Errores

LAPSO	REGION										
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R13
TRIENIO: POCO LLUVIOSO	0,193	0,183	0,131	0,662	0,296	0,519	0,316	0,363	0,251	0,286	0,315
TRIENIO: LLUVIOSO	0,37	0,181	0,11	0,488	0,202	0,571	0,31	0,734	0,445	0,247	0,428
2012	0,639	0,375	0,246	1,126	0,37	1,188	0,658	1,212	0,727	0,566	0,83
2013	0,064	0,059	0,035	0,047	0,102	0,113	0,097	0,082	0,112	0,038	0,084
2014	0,067	0,062	0,03	0,053	0,145	0,095	0,099	0,061	0,085	0,048	0,128
2012:POCO LLUVIOSO	0,675	0,616	0,409	1,852	0,667	1,844	1,076	1,264	0,786	0,956	1,106
2013:POCO LLUVIOSO	0,089	0,079	0,038	0,06	0,124	0,113	0,115	0,104	0,128	0,031	0,114
2014:POCO LLUVIOSO	0,081	0,091	0,037	0,053	0,291	0,09	0,141	0,066	0,122	0,048	0,072
2012:LLUVIOSO	1,006	0,492	0,279	1,25	0,442	1,536	0,826	1,851	1,116	0,643	1,181
2013:LLUVIOSO	0,083	0,083	0,055	0,067	0,148	0,185	0,167	0,133	0,195	0,07	0,124
2014:LLUVIOSO	0,099	0,078	0,041	0,081	0,167	0,145	0,139	0,098	0,117	0,076	0,206

5.3 Discusiones y conclusiones

5.3.1 Análisis de las Celdas

En adelante, ante cualquier referencia a una región, debe entenderse que para dicha región la significancia es menor lo igual a 0,05, a menos que se indique expresamente o contrario.

TRIENIO: COMPLETO

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **2,3,6,8,9 y 10**; lo que representa un **54,54%** de las regiones analizadas. De estas, sólo en la **región 9** se registra un acercamiento menor al 10% en el análisis de valores acumulados. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **1060,77 ± 202,57**; sin embargo existe una ligera discrepancia entre ambas distribuciones, en cuanto al promedio calculado a partir de los valores medidos en la **región 8**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? (conviene ver la zona norte de la región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO). En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **280mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **400mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **9mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **13,5mm**.

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –**resalta la región 6** como región común sobrestimada–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la sobrestimación en dicha región–.

Discrepancias:

Al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay reporte de sobrestimación también en la **región 9**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –la sobrestimación en dicha región, aunque los mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 8**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar el sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, debido a los valores de precipitación principalmente en la zona norte–.

Observación:

Esta misma coincidencia se observa en la región 7 y en particular en la región 4 - ANDES. En ésta última, el acumulado y el promedio de lluvia pronosticada fue un tanto diferente al medido, aunque más uniformemente distribuido según el modelo. Sin embargo, la significancia en estas regiones están muy por encima del 0,05. Pese a ello es conveniente hacer esta acotación por lo observado en los análisis de las otras celdas.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por debajo de la media en la **región 3**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en la región 3

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en la **región 3**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Discrepancias:

Al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay reporte de un fuerte contraste adicional del **54,48%** en la **región 10**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste, producto de la subestimación de los valores de lluvia por parte del modelo–.

Por otro lado, al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 1** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay reporte de un fuerte contraste adicional del **-68,3%** en la **región 6**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste, pero en este caso, producto de una sobrestimación del modelo en una zona costera–.

Resumen sobre el lapso – TRIENIO: COMPLETO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **54,54%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, pero sobrestima consistentemente en la **región 6 - CORDILLERA DE LA COSTA**.
2. Pronosticó lluvia regional por encima y por debajo de la media con la misma eficiencia.

3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en la **región 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO**, en principio subestimada por el modelo, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia de 0,00010.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del período.
3. Con el menor porcentaje de desviación y por tanto no es contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,12775.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 13 - ISLAS** fue pronosticada con la peor significancia (0,77705) y el menor alineamiento (0,00935).

Observaciones extra

Pese a no tener significancia de 0,05, el modelo pronostica acertadamente la **región 4 - ANDES** como la segunda región con mayor precipitación acumulada. De los mapas ?? - ?? y ?? - ?? se evidencia claramente la tendencia del modelo a distribuir lluvia particularmente en esta zona.

Por otro lado, la zona hay una de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**, que no es detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, es 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

TRIENIO: POCO LLUVIOSO

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **1,2,3,4,6,8,9 y 10**; lo que representa un **72,72%** de las regiones analizadas. De estas, sólo en la **región 9** se registra un acercamiento menor al 10% en el análisis de valores acumulados. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma

que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **522,47 ± 136,28**; sin embargo existe una discrepancia notable entre ambas distribuciones, en cuanto al promedio calculado a partir de los valores medidos en la **región 4**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? (conviene ver la zona norte de la región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO). En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **180mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **140mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **11,5mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **9mm**.

Esto último va en contra de la tendencia general del modelo, lo que induce claramente la posibilidad de que existe al menos una localidad donde el modelo está sobrestimando sistemática y notablemente la lluvia en éste período. Acá conviene hacer notar que para éste período, la mayor sobrestimación se da en la **región 4**, en cuanto a valores netos se refiere (**-655,59mm** de lluvia acumulada y **-2,26mm** de lluvia promedio diaria).

Ahora bien, al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –resaltan las **regiones 4 y 6** como regiones comunes sobrestimadas–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar los sectores de las regiones en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la sobrestimación particularmente en la región 4–.

Discrepancias:

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay

reporte de sobrestimación también en la **región 9**-. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –la sobrestimación en dicha región, aunque los mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 4**-. Luego, al recurrir a la pareja de barra asociada a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, lo que es coherente con la lo discutido en la observación previa–.

Por otro lado, al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 8**-. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociada a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del
18,2%

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por debajo de la media en las **regiones 3 y 9**-. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dichas regiones, a pesar de la discrepancia relativa entre los valores medidos y pronosticados dada en la 3. Los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3 y 6

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **regiones 3 y 6**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Discrepancias:

Al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores promedios diarios –hay reporte de un fuerte contraste adicional del -83,39% en la **región 4**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste, producto de la sobrestimación de los valores de lluvia antedicha en la región por parte del modelo–.

Observación:

Aunque no se rebasa el 50% de desviación en valores acumulados, al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 2** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay también un reporte de un contraste del -44,75% en la **región 4**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste claramente–. En el análisis de valores promedios si se rebasa ámpliamente el 50% de desviación.

Resumen sobre el lapso – TRIENIO: POCO LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **72,72%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, pero sobrestima consistentemente en la **región 4 - ANDES**.
2. Pronosticó lluvia regional por - debajo - de la media con mayor eficiencia.

3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO y 6 - CORDILLERA DE LA COSTA**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO**, en principio subestimada por el modelo, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia de 0,00011.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del período.
3. Con el menor porcentaje de desviación y por tanto no es contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,18718.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 7 - BARLOVENTO** fue pronosticada con la peor significancia (0,94112) y el menor alineamiento (0,00361); seguida por la región 13 - ISLAS, pronosticada con significancia de 0,39408 y alineamiento de 0,04169.

Observaciones extra

En este caso la significancia si es menor a 0,05, y el modelo pronostica la **región 4 - ANDES** como la región con mayor precipitación acumulada, aunque la sobrestimación es alta. De los mapas ?? - ?? y ?? - ?? se evidencia claramente la tendencia del modelo a distribuir lluvia particularmente en esta zona.

Por otro lado, la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**, no es detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

TRIENIO: LLUVIOSO

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **2 y 9**; lo que representa un **18,18%** de las regiones analizadas. De estas, sólo en la **región 9** se registra un acercamiento menor al 10% en el análisis de valores acumulados. Por otro lado, la distribución

de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de $538,85 \pm 65,38$.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? (conviene ver la zona norte de la región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO). En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **115mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **260mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **7mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **19mm**.

Ahora bien, sólo se puede hacer una observación válida en este sentido, atendiendo al principio de significancias por debajo de 0,05. Al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??), con el **renglón 3** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios – sólo resalta la **región 9** como **región sobrestimada**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociada a dichas regiones en el gráfico de barras, y revisar el sectores de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –la ligera sobrestimación en esta zona–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 3** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 9**–. Luego, al recurrir a las pareja de barra asociada a dicha región en el gráfico de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región–.

Coincidencias por debajo de la media

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las región 2

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 3** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en la **región 2**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en dicha región, posiblemente producto de la singularidad de las condiciones en la zona norte de la región–.

Resumen sobre el lapso – TRIENIO: LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en a penas **18,18%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia.
2. Pronosticó lluvia regional por - encima - de la media, con un buen acercamiento por debajo del 10% de desviación vale destacar, en la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO y 6 - CORDILLERA DE LA COSTA**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia de 0,03384.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del período.
3. Con el menor porcentaje de desviación y por tanto no es contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,09579.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 1 - FALCÓN** fue pronosticada con la peor significancia (0,97546) y el menor alineamiento (0,00138).

Observaciones extra

En este caso no se evidencia la sobrestimación en la región 4 - ANDES como en los casos anteriores, paradójicamente como cabría esperar en una zona lluviosa, en un período lluvioso. Por el contrario, en éste período la región quedó subestimada.

Por otro lado, la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**, sigue sin ser detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2012

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **8 y 9**; lo que representa un **18,18%** de las regiones analizadas. De estas, la **región 8** registra el mayor acercamiento. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **357,48 ± 3,69**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo sobrestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? (conviene ver la zona norte de la región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO). En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **250mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **360mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **22mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **30mm**.

Ahora bien, por lo que respecta a las sobrestimaciones sólo se pueden hacer dos observaciones válidas en este sentido, atendiendo al principio de significancias por debajo de 0,05. Al comprarar los datos de las tablas de valores por región del

gráfico (??) y (??), con el **renglón 4** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –resaltan las **regiones 8 y 9** como **Regiones Sobrestimadas**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar los sectores de las regiones en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –las sobrestimaciones–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprarar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 4** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 8**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar el sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las región 9

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 4** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en la **región 9**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en dicha región–.

Discrepancias:

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 4** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste adicional del -63.87% en la **región 8**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociada a dicha región en el gráfico de barras, y revisar el sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste en dicha región–.

Resumen sobre el lapso – 2013

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en a penas **18,18%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo sobrestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en las **regiones 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO y 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**.
2. Pronosticó adecuadamente sólo lluvia regional por encima de la media.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia de 0,04593.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del período.
3. Con el menor porcentaje de desviación, aunque en este caso es contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante en el análisis de promedios diarios.
4. Con el mayor alineamiento, 0,11553.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 7 - BARLOVENTO** fue pronosticada con la peor significancia (0,97546) y el menor alineamiento (0,00138), seguida por la **región 1 - FALCÓN** pronosticada con significancia de 0,75395 y alineamiento de -0,01817.

Observaciones extra

Pese a no tener significancia de 0,05, el modelo pronostica la **región 4 - ANDES** como la región con mayor precipitación acumulada y promedio, con un fuerte porcentaje de desviación frente a las medidas (más del 100). En los mapas ?? - ?? y ?? - ?? se evidencia claramente la tendencia del modelo a distribuir lluvia particularmente en esta zona.

Por otro lado, la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**, sigue sin ser detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2013

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **1,3,4,6,9,10, y 13**; lo que representa un **63,63%** de las regiones analizadas. De estas, las **regiones 6 y 13** registran los mayores acercamientos. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **353,17 ± 119,49**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ???. En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **40mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **85mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **3,8mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **8mm**.

Por lo que respecta a las sobrestimaciones:

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Sin embargo, por lo que respecta a la subestimaciones: al comprarar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??) y (??), con el **renglón 5** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios

–resaltan las **regiones 3,4 y 10** como regiones subestimadas–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar los sectores de las regiones en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –las sobrestimaciones–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción “a largo plazo” de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprarar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 5** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 9**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar el sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 5** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por debajo de la media en la **región 13**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región. Los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3,4 y 10

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 5** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **regiones 3,4 y 10**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en las regiones, particularmente en las regiones 4 y 10; aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Resumen sobre el lapso – 2013

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **63,63%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO, 4 - ANDES y 10 - Llanos Oeste de Bolívar**.
2. Pronosticó lluvia regional por - debajo - de la media con mejor eficiencia. En el caso de la lluvia regional por encima de la media sólo la pronosticó para los valores netos acumulados del año.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO, 4 - ANDES y 10 - Llanos Oeste de Bolívar**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 10^{-5} .
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del lapso, en el análisis de valores acumulados.
3. Con porcentajes de desviación que le permitió no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,45367.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 7 - BARLOVENTO** fue pronosticada con la peor significancia (0,87091) y el menor alineamiento (−0,00919).

Observaciones extra

En este caso no se evidencia la sobrestimación en la región 4 - ANDES como en los casos anteriores. Por el contrario, en éste período la región quedó subestimada.

Por otro lado, la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**, sigue sin ser detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2014

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **1,2,3,4,6,8,9 y 10**; lo que representa un **72,72%** de las regiones analizadas. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **$349,95 \pm 85,25$** .

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ???. En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **36mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **70mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **3,2mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **9,5mm**.

Por lo que respecta a las sobrestimaciones:

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Sin embargo, por lo que respecta a la subestimaciones: al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??) y (??), con el **renglón 6** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –resaltan las **regiones 3,4,8,9 y 10** como regiones subestimadas–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar los sectores de las regiones en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –las subestimaciones–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción “a corto plazo” de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 6** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 9**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar el sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 6** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por debajo de la media en la **región 2**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región. Los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3,4,9 y 10

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 6** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **regiones 3,4,9 y 10**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en las regiones, particularmente en las regiones 3, 4 y 10; aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **72,72%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO**.
2. Pronosticó lluvia regional por - debajo - de la media con mejor eficiencia. En el caso de la lluvia regional por encima de la media sólo la pronosticó para los valores netos acumulados del año.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO, 4 - ANDES, 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA y 10 - Llanos Oeste de Bolívar**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 0,03439.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del lapso, en el análisis de valores acumulados.
3. Con porcentajes de desviación que le permiten no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,12407.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 13 - ISLAS** fue pronosticada con la peor significancia (0,92792) y el menor alineamiento (0,00520).

Observaciones extra

En este caso no se evidencia la sobrestimación en la región 4 - ANDES como en los casos anteriores. Por el contrario, en éste lapso la región quedó muy subestimada.

Por otro lado, no se evidencia la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2012:POCO LLUVIOSO**Observaciones preliminares**

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **3,6,8 y 10**; lo que representa un **36,36%** de las regiones analizadas. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **178,90 ± 1,07**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio**Estatus de sobrestimación**

El modelo sobrestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? (conviene ver la zona norte de la región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO). En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **160mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **130mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **32mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **22mm**.

Sin embargo, por lo que respecta a la sobrestimaciones: al comprarar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??) y (??), con el **renglón 7** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –resaltan las **regiones 6 y 10** como Regiones Sobrestimadas–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar los sectores de las regiones en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –las sobrestimaciones–.

Observación:

En la región 4 - ANDES se observa una sobrestimación drástica y evidente que conviene hacer notar pese a que la significancia en esta está muy por encima del 0,05.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción “a corto plazo” de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 7** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 9**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar el sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 7** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por debajo de la media en la **región 3**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región. Los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3,4 y 10

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 7** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **región 6**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en la región–.

Discrepancias:

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 7** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste del **-75,2%** en las **región 10**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste en la región–.

Resumen sobre el lapso – 2012:POCO LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapsos

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **36,36%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo sobrestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en la **región 4 - ANDES**.
2. Pronosticó lluvia regional por - **debajo** - de la media con mejor eficiencia. En el caso de la lluvia regional por encima de la media sólo la pronosticó para los promedios diarios.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en la **región 6 - CORDILLERA DE LA COSTA**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 0,00002.
2. Acertadamente con precipitación por debajo de la media del lapso.
3. Con porcentajes de desviación que le permiten no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,37869.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 5 - VALLE DE QUIBOR** fue pronosticada con la peor significancia (0,80800) y el menor alineamiento (0,21576).

Observaciones extra

Pese a no tener significancia de 0,05, el modelo pronostica la **región 4 - ANDES** como la región con mayor precipitación acumulada y promedio, con un fuerte porcentaje de desviación frente a las medidas (mucho más del 100 %). En los mapas ?? - ?? y ?? - ?? se evidencia claramente la tendencia del modelo a distribuir lluvia particularmente en esta zona.

Por otro lado, la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**, sigue sin ser detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2013:POCO LLUVIOSO

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **1,2,3,4,5,6,9,10 y 13**; lo que representa un **81,81%** de las regiones analizadas. De estas, las **regiones 6 y 13** registran el mayor acercamiento. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **175, 53 ± 57, 71**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ???. En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **18mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **42mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **2,9mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **8,5mm**.

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??) y (??), con el **renglón 8** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –resaltan las **regiones 2,5 y 13** como Regiones Sobrestimadas–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar los sectores de las regiones en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –las sobrestimaciones–.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 8** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 1**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar el sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? S- ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3,4 y 10

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 8** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **regiones 3,4 y 10**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en las regiones–.

Discrepancias:

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 8** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste del **-117,6%** en las **región 5**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste en la región–.

Resumen sobre el lapso – 2013:POCO LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **81,81%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en las **regiones 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO, 5 - VALLE DE QUIBOR y 13 - ISLAS**.
2. Pronosticó lluvia regional por - encima - de la media con mejor eficiencia.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO, 4 - ANDES y 10 - Llanos Oeste de Bolívar**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 1 - FALCÓN**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 0,00001.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del lapso.
3. Con porcentajes de desviación que le permiten no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,33092.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 7 - BARLOVENTO** fue pronosticada con la peor significancia (0,45200) y el menor alineamiento (0,05705).

Observaciones extra

El modelo pronostica la **región 4 - ANDES** como la segunda región con mayor diferencia de precipitación acumulada (323,97). En los mapas ?? - ?? y ?? - ?? se evidencia claramente la tendencia del modelo a distribuir lluvia particularmente en esta zona.

Por otro lado, no se evidencia la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2014:POCO LLUVIOSO

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **1,2,3,4,6,9 y 10**; lo que representa un **63,63%** de las regiones analizadas. Por otro lado, la distribución de los

valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de $168,21 \pm 79,97$.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ???. En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **13mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **30mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **2,6mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **9,5mm**.

Al comprar los datos de las tablas de valores por región del gráfico (??) y (??), con el **renglón 9** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –**resalta la región 2** como **región sobrestimada**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dicha región en los gráficos de barras, y revisar el sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la sobrestimación–.

Observación:

Existe una clara subestimación en la región 4.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción “a corto plazo” de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 9** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –**hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la región 9**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar el sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción “a largo plazo” de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 9** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 3**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar el sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región, aunque los de mapas no resultan ser particularmente dicientes para esta observación–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3,4 y 10

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 9** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **regiones 3,4 y 10**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste en las regiones, particularmente en la región 4–.

Discrepancias:

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 9** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste del **57,30%** en las **región 9**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste en la región–.

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 9** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste del **-64,02%** en las **región 2**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste en la región–.

Resumen sobre el lapso – 2014:POCO LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en **63,63%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, aunque sobrestimó consistentemente en las **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**.
2. Pronosticó lluvia regional por - encima - de la media con mejor eficiencia, en el análisis de promedios diarios, y por debajo de la media con mejor eficiencia en el análisis de promedios diarios.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO, 4 - ANDES y 10 - Llanos Oeste de Bolivar**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 0,00682.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del lapso.
3. Con porcentajes de desviación que le permiten no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,25208.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO** fue pronosticada con la peor significancia (0,12745) y el menor alineamiento (0,13597).

Observaciones extra

En este caso no se evidencia la sobrestimación en la región 4 - ANDES como en los casos anteriores. Por el contrario, en éste lapso la región quedó muy subestimada.

Por otro lado, no se evidencia la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2012:LLUVIOSO

No hay referencias válidas que se puedan efectuar para éste período.

2013:LLUVIOSO**Observaciones preliminares**

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **9 y 10**; lo que representa un **18,18%** de las regiones analizadas. De estas, las **región 9** registra el mayor acercamiento. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **177,90 ± 61,39**.

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio**Estatus de sobrestimación**

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ???. En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **23mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **56mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **4,6mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **13,5mm**.

Por lo que respecta a las sobrestimaciones:

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Coincidencias por encima de la media

La eficiencia del modelo en la predicción “a corto plazo” de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprar los datos de tabla de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 11** de la tabla resumen (??); se evidencia que para promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 9**–. Luego, al recurrir

a la pareja de barras asociadas a dicha región en el gráfico de barras, y revisar el sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –la coincidencia en dicha región–.

Coincidencias por debajo de la media

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 3,4 y 10

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 11** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **región 10**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste–.

Discrepancias:

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??), con el **renglón 11** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste del **57,05%** en las **región 9**–. Luego, al recurrir a la pareja de barras asociada a dicha región en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en la pareja de mapas ?? - ?? se puede observar –el contraste en la región–.

Resumen sobre el lapso – 2013:LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en a penas **18,18%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en las **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**.
 2. Pronosticó lluvia regional por - encima - de la media con mejor eficiencia, en el análisis de valores acumulados.
-

3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **región 10 - LLANOS OESTE DE BOLIVAR**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 0,00507.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del lapso.
3. Con porcentajes de desviación que le permiten no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,23730.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 6 - CORDILLERA DE LA COSTA** fue pronosticada con la peor significancia (0,12745) y el menor alineamiento (0,13597), seguida de la **región 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO** pronosticada con significancia de 0,78607 y alineamiento de 0,02323.

Observaciones extra

En este caso no se evidencia la sobrestimación en la región 4 - ANDES como en los casos anteriores. Por el contrario, en éste lapso la región quedó muy subestimada.

Por otro lado, la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO** no es detectada por el modelo.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

2014:LLUVIOSO

Observaciones preliminares

Las regiones con significancia menor o igual a 0,05 son: **1,2 y 3**; lo que representa un **27,27%** de las regiones analizadas. De estas, las **región 1** registra el mayor acercamiento. Por otro lado, la distribución de los valores indicada por el gráfico de barras (??) es esencialmente la misma que la indicada por el gráfico (??), considerando que en cada región la relación entre los valores de la primera y la segunda es un factor de **$182,01 \pm 6,46$** .

Comparación entre resultados sobre valores acumulados y valores promedio

Estatus de sobrestimación

El modelo subestimó los valores de lluvia.

Esto es corroborado por los valores de las columnas 13 de las tablas de valores por región asociadas a los gráficos de barras (??) y (??), y por los valores máximos registrados en las escalas de valores respectivas de las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ???. En este punto, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **23mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **54mm**. Por otro lado, por lo que respecta a los mapas ?? - ??, el máximo valor pronosticado para una de las 99 locaciones fue de **4mm** mientras que el máximo medido en una estación alcanza los **9,5mm**.

Por lo que respecta a las sobrestimaciones:

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Coincidencias por encima de la media

No hay referencias válidas que se puedan efectuar en éste período para ésta observación.

Coincidencias por debajo de la media

La eficiencia del modelo en la predicción de éste fenómeno para éste lapso fue del 9,1%

Al comprarar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 12** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay coincidencia de precipitación por encima de la media en la **región 2**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –la coincidencia–.

Mayores contrastes

Hay un contraste sistemático en las regiones 2 y 3

Al comprar los datos de las tablas de valores por región de los gráficos (??) y (??), con el **renglón 12** de la tabla resumen (??); se evidencia que para valores acumulados y promedios diarios –hay un reporte de un fuerte contraste por encima del 50% en las **regiones 2 y 3**–. Luego, al recurrir a las parejas de barras asociadas a dichas regiones en los gráficos de barras, y revisar sector de la región en las parejas de mapas ?? - ?? y ?? - ?? se puede observar –el contraste, particularmente en la región 3–.

Resumen sobre el lapso – 2014:LLUVIOSO

Comportamiento del modelo en el lapso

El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en a penas **27,27%** de las regiones, de las cuales se ha inferido lo siguiente:

1. En general el modelo subestimó los valores de lluvia, particular y consistentemente en las **región 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA**.
2. Pronosticó lluvia regional por - debajo - de la media con mejor eficiencia, en el análisis de valores acumulados.
3. Arrojó un pronóstico consistentemente contrastante en las **regiones 2 - COSTA OCCIDENTAL y 3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO**.

Región con pronóstico más acertado

De las regiones con significancia menor a 0,05, y precipitación coincidentemente por encima o por debajo de la media en los análisis de valores acumulados y promedios diarios, la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL**, fue pronosticada como sigue:

1. Con significancia menor a 0,02812.
2. Acertadamente con precipitación por encima de la media del lapso.
3. Con porcentajes de desviación que le permiten no ser contada entre aquellas con pronóstico fuertemente contrastante.
4. Con el mayor alineamiento, 0,13442.

Región con pronóstico más deficiente

De las regiones con significancia mayor a 0,05, la **región 10 - Llanos Oeste de Bolívar** fue pronosticada con la peor significancia (0,88110) y el menor alineamiento (0,01116).

Observaciones extra

En este caso no se evidencia la sobrestimación en la región 4 - ANDES como en los casos anteriores. Por el contrario, en éste lapso la región quedó muy subestimada.

Por otro lado, no se evidencia la zona de alta densidad de precipitación en el norte de la **región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO**.

Finalmente, el margen de error que enmarca el factor que relaciona las mediciones de los valores acumulados con los promedios diarios, vuelve a ser 3 veces la desviación estándar del conjunto de factores por región.

5.3.2 Análisis de las Estimaciones lineales

La “aparente discrepancia” entre los parámetros mostrados para la región 10 en la figura ?? y las tablas ??, ??, no es otra cosa que producto de la forma en que se establecen los parámetros de un ajuste lineal por mínimos cuadrados definidos en las ecuaciones (??) y (??), los cuales dependen de como se consideran los dos conjuntos que se están ajustando entre sí, en términos de cual se escoge y asocia a la variable independiente. Sin embargo, no es difícil hallar una transformación que conecte los parámetros surgidos de escoger uno de los conjuntos, con los parámetros surgidos de escoger el otro. Efectivamente, de (??) y (??) se infiere directamente las siguientes relaciones:

$$a_1(Y, X) = \frac{S_x^2}{S_y^2} a_1(X, Y) \quad (5.11)$$

$$a_0(Y, X) = \bar{x} - \frac{S_x^2}{S_y^2} a_1(X, Y) \bar{y} \quad (5.12)$$

En el caso de la estimación de la región 10, siendo:

$$S_x = 0,417 \quad S_y = 3,692 \quad \bar{x} = 0,397 \quad \bar{y} = 2,358$$

entonces:

$$a_1(Y, X) = \frac{(0,417)^2}{(3,692)^2} 4,879 \approx 0,062$$

$$a_0(Y, X) = 0,397 - 0,062 \cdot 2,358 \approx 0,251$$

Los cuales son aproximadamente los valores mostrados en las tablas ?? y ??.

Mayores referencias se podrán encontrar en un documento anexo basado en los resultados de este trabajo y delegado al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), con los gráficos de las 121 regresiones subtenidas para las 11 regiones, junto

con respectivas tablas de información arrojados por los algoritmos del SPSS v.15, que lleva por nombre:

Apéndices del trabajo Especial de Grado Titulado:

Validacion de las salidas de pronóstico de precipitación del **modelo MM5**, para los periodos interanuales lluvioso y poco lluvioso.

El cual puede ser obtenido a través de la siguiente dirección:

<https://drive.google.com/open?id=0BznoCXxCqGF7SzRHNU4wNWx6SUK>

Chapter 6

Conclusiones

Con base en los análisis efectuados a los 12 lapsos discutidos, es posible sostener en forma concluyente, al menos lo siguiente:

1. **El modelo en general está subestimando los valores de precipitación.** Esto se desprende claramente de los gráficos de barra y las tablas asociadas. Como comportamiento global, tal subestimación sobre la zona estudiada del territorio ocurre en el 75% de los lapsos estudiados como se desprende de los análisis.

En determinados casos, la subestimación viene dada por la sistemática aparición de zonas de alta densidad de precipitación, no detectadas por el modelo, como en el caso de la zona meniconada al norte de la región 2 - COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO; la cual se evidenció en el 50% de los lapsos estudiados.

2. El modelo alcanzó una significancia menor a 0,05 en la mitad de las regiones, en exactamente 6 de los 12 de los lapsos estudiados. De estos, **el período que se vió más favorecido, fue el período “POCO LLUVIOSO”**. En efecto; 3 de los lapsos antedichos están asociados al período “POCO LLUVIOSO”, lo que representa un 25% de los 12 de lapsos, mientras que apenas 1 está asociado al período “LLUVIOSO”, lo que representa a penas un 8%.

Es de destacar que - el modelo parece estar pronosticando con mejor eficiencia niveles bajos de lluvia que niveles altos -. En este punto, el pronóstico de lluvia regional predominantemente por “debajo” de la media fue hecho con el doble de frecuencia (36,4% de la totalidad de lapsos estudiados) que el pronóstico de lluvia regional por encima (18,2%).

Lo anterior es coherente con lo conclusión de que el modelo efectivamente subestima los niveles de precipitación.

3. Ahora bien, en el análisis por región las consideraciones anteriores no privan absolutamente sobre todas la regiones estudiadas. En este particular, **hay regiones que**
-

son tradicionalmente sobrestimadas por el modelo. De las regiones con significancia menor a 0,05, resaltan las regiones 6 - CORDILLERA DE LA COSTA y 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA. Esto, se puede observar con mayor facilidad en la tabla resumen (??).

4. Por otro lado, de las 23 menciones sobre la región 4 - ANDES, efectuadas en los análisis (teniendo o no significancia menor a 0,05), 16 la establecen como la primera o la segunda región con mayor precipitación pronosticada. Esta tendencia se observa claramente en los mapas ??, ??, ??, ?? (asociados a valores acumulados) y los mapas ??, ??, ??, ?? (asociados a promedios diarios), e incluso en los mapas ?? y ?? correspondientes al lapso 2012:LLUVIOSO.

En este punto es evidente que **el ajuste del modelo le inclina claramente a predecir niveles altos de precipitación hacia el extremo occidental del país.** En esta zona se halla la culminación de la cordillera andina, de modo que por lo sostenido de los resultados pronosticados para esta zona, la orografía parece estar influyendo fuertemente en los parámetros considerados por el modelo para predecir lluvia. El tipo de nubosidad preponderante en esta zona, es nubosidad producto del relieve, es decir, formación por ascenso forzado.

5. **Las regiones 8 - TURIMIQUIRE-UNARE-TAMANACO y 9 - LLANOS ORIENTALES Y DELTA, constituyen las regiones con los pronósticos más acertados.** Del total de lapsos, la región 9 fue pronosticada con la predicción más acertada del lapso en 42% de los casos, mientras que la 8 fue pronosticada con la predicción más acertada del lapso en 25% de los casos; de hecho, cabe acotar que con cierta frecuencia sucede que la región 8, cuando no es la primera, es la segunda con mejor pronóstico del lapso. El mecanismo de formación dominante en estas zonas es la formación por convección explicada en la subsección (??).

Por su parte, **las regiones 7 - BARLOVENTO y 13 - ISLAS, constituyen las regiones con los pronósticos más deficientes.** Del total de lapsos, la región 7 fue pronosticada con la predicción más deficiente de lapso en 33% de los casos, mientras que la 13 fue pronosticada con la primera o la segunda predicción más deficiente del lapso en 42% de los casos.

Estas últimas son acompañadas por regiones donde el pronóstico tradicionalmente contrasta drásticamente con la realidad, como lo son las regiones **3 - COSTA ORIENTAL DEL LAGO y 10 - LLANOS OESTE DE BOLIVAR**, tal y como se evidencia en la tabla resumen (??).

6. Por lo que respecta al cuarto objetivo y al análisis de la estimación lineal; el valor ideal para el factor r del modelo del postulado ?? es 1, sin embargo; en el caso analizado, dicho factor está un 82,6% por encima de su valor ideal. Esto puede

deberse al alineamiento de la nube de puntos, el cual, aún siendo el más alto registrado en todos los lapsos de estudio, podría seguir siendo un alineamiento bajo. Es de acotar que ésta es una de las razones por las cuales se postula un factor modificante para las cotas “inversamente proporcional” al cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson.

Finalmente, y de manera no concluyente, se afirma lo siguiente:

De acuerdo al lapso, los valores promedios diarios y acumulados parecen estar conectados.

Esto se induce parcialmente de los siguientes hechos:

Por un lado, en todos los casos los campos de isolíneas de los mapas asociados a los valores acumulados y de los mapas asociados a los promedios diarios, guardan una clara semejanza.

Por otro lado, por cada lapso se determinó un factor promedio, extraído de un conjunto de factores que relacionan uno a uno y en proporción directa los valores acumulados con los promedios diarios en cada región. El margen de error de dicho factor en todos los casos estuvo regulado por una cantidad fija correspondiente al lapso:

3 veces la desviación estándar del conjunto

Demostrarlo requeriría un conjunto de datos históricos más amplio del que se manejó para este trabajo, y una selección mas amplia de estaciones a fin de lograr una cobertura de los campos de isolíneas mas completa sobre el territorio nacional, con el objeto de probar que los factores están conectados entre sí por una tendencia en concreto. Sin embargo, de demostrarse en forma concluyente esta afirmación, pudiera contribuir a los pronósticos de precipitación a mediano y largo plazo, efectuados por el modelo.

Bibliography

- [1] G. HALTINER. , F. MARTIN. **Meteorología Dinámica y Física.** McGRAW-HILL 1957.
 - [2] JAMES R HOLTON **Introducción a la Meteorología Dinámica,** UNIVERSIDAD DE WASHINGTON SEGUNDA EDICIÓN.
 - [3] SVERRE PETTERSEN **Introducción a la Meteorología,** ESPASA-CALPE, S. A. QUINTA EDICIÓN. MADRID-1976.
 - [4] DANIEL S WILKS **Statistical Methods in the Atmospheric Science** SECOND EDITION.
 - [5] Mesoscale and Microscale Meteorology Division National Center for Atmospheric Research PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide, MM5 Modeling System Version 3. JANUARY 2005. <http://www2.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes.html> 69
 - [6] MIKEL LEZAUN *Matemática Aplicada, Estadística e Investigación Operativa. Universidad del País Vasco.* **Matemáticas de los fluidos. El clima y el tiempo.** <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%BA23/Mikel%20Lezaun%20Iturralde.pdf>
 - [7] ALLIANZ GLOBAL CORPORATE & SPECIALTY **El negocio del tiempo** - *Como las compañías se pueden proteger contra la creciente volatilidad meteorológica* <https://www.allianz.es/descubre-allianz/actualidad/noticias/el-impacto-economico-de-los-pequenos-cambios-de-tiempo> 23
 - [8] GUINNESS WORLD RECORDS (en inglés). Consultado el 15 de diciembre de 2016. <http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/highest-mudslide-death-toll-> 23
 - [9] ISABEL MARTÍNEZ MARCO AEMET imartinezm@aemet.es **Parametrizaciones Físicas** <http://www.ecmwf.int/newsevents/training>
-

- [10] M. CASTRO. , R. GONZALEZ. , A. PORTELA. **Parametrización de la capa límite atmosférica en los modelos numéricos de pronóstico meteorológico** Dpto. Geofísica y Meteorología. Facultad de Física. Universidad Complutense. 28040 Madrid. España <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9191110103A/12483>
- [11] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION
Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. SEVENTH EDITION 2008. https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf 45, 47
- [12] WENDELL A. NUSS & DAVID W. TITLEY **Use of Multiquadric Interpolation for Meteorological objective Analysis.** Departament of Meteorology. Naval Posgraduate School. pp. 1611-1631. C.A. 93943-5100. Monterrey. California. JULY 1994 [http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493\(1994\)122<53](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493(1994)122<53)
- [13] B. OLIVARES, L. CARABALLO Y J. TORREALBA **Variabilidad del régimen de precipitación en el periodo 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela** Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2013, 30: 19-32 http://revfacagronluz.org.ve/PDF/enero_marzo2013/v30n1a20131932.pdf 82
- [14] J. DORADO, J. BURBANO, J. MOLINA, Y. CARVAJAL & H. ARISTIZÁBAL **Ajuste de modelos probabilísticos para el estudio de la variabilidad Espacio-Temporal de la precipitación: Caso Sistema Sara-Brut.** Meteorología Colombiana. 10. pp. 60-75. Bogotá, D.C. ISSN 0124-6984. MARZO 2006 http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero10/10_06.pdf 82
- [15] CAMPOS ARANDA, DANIEL F. Agrocienza, vol. 35, 4, JULIO-AGOSTO 2001, pp. 429-439, ISSN: 1405-3195. **Contraste de dos procedimientos de ajuste de la distribución Wakeby en la modelación probabilística de crecientes** <http://www.redalyc.org/pdf/302/30235407.pdf> 82
-