

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD DE SEIS ÍNDICES DE  
ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA COMO HERRAMIENTA DE  
PRONÓSTICO DE PRECIPITACIONES SOBRE REGIONES DE  
DIFERENTE RÉGIMEN DE LLUVIA EN VENEZUELA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Nolzco C. Deivy E.,  
Wu R. Wuiliana F.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Hidrometeorologista

Caracas, Octubre de 2016

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD DE SEIS ÍNDICES DE  
ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA COMO HERRAMIENTA DE  
PRONÓSTICO DE PRECIPITACIONES SOBRE REGIONES DE  
DIFERENTE RÉGIMEN DE LLUVIA EN VENEZUELA**

TUTOR ACADEMICO: Prof. Abraham Salcedo

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Deyelen Ortega

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Nolzco C. Deivy E.,  
Wu R. Wuiliana F.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Hidrometeorologista

Caracas, Octubre de 2016

Caracas, octubre, 2016

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Civil, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres, titulado:

**Evaluación de la utilidad de seis índices de estabilidad atmosférica como herramienta de pronóstico de precipitaciones sobre regiones de diferente régimen de lluvia en Venezuela**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Hidrometeorologista, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. (nombre y apellido)  
Jurado

Prof. (nombre y apellido)  
Jurado

Prof. Abraham Salcedo  
Tutor Académico

Ing. Deyelen Ortega  
Tutor Industrial

## DEDICATORIA

A Dios por iluminarme, cuidarme y siempre estar presente en todos los momentos de mi vida.

A mis abuelos maternos por darme todo su apoyo, un hogar y una familia cuando más lo necesité.

A mi padre Kuang Wu, por hacer todos los sacrificios necesarios y siempre anteponer mis necesidades a las suyas para poder ofrecerme las herramientas que me permitieron avanzar durante la carrera, por siempre creer y tener fe en mí, hoy todos sus sacrificios dan fruto.

A un ángel que cayó del cielo, quien me ayudó y estuvo conmigo en todo momento para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, a ti, Ricardo Rojas.

Y a todas aquellas personas que me apoyaron, creyeron en mí, y estuvieron a mi lado a pesar de las adversidades, aunque son demasiadas como para nombrarlas en este breve espacio, todos están en mi corazón.

Wuiliansa F. Wu R.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, ya que sin él no somos nada.

A mis Padres y mis abuelos maternos, por siempre apoyarme y brindarme todo su apoyo.

A la Ing. Deyelen Ortega, quien gracias a sus vastos conocimientos, su desinteresada asistencia y su gratificante compañía, permitió el avance sin mayores contratiempos de este trabajo especial de grado.

Al Ing. y profesor Alfredo Gil, por ayudar a agilizar la metodología utilizada a lo largo del trabajo especial de grado a través de sus invaluable consejos y experiencias.

AL ing. y profesor Juan Arévalo, por aclarar nuestras dudas y mostrarnos los procedimientos correctos acerca de la utilización de los índices en las etapas tempranas del desarrollo del trabajo.

Al Ing. Pedro Cárdenas, por facilitarnos datos imprescindibles, guiarnos y aconsejarnos en la dirección que debería tomar este trabajo.

A la Ing. María Teresa Martelo, por proporcionarnos información extremadamente útil y difícil de hallar, además de siempre estar dispuesta a solventar nuestras dudas.

A CORPOELEC y a todo el personal que allí labora por permitir utilizar sus instalaciones y equipos.

A mi amigo y compañero de Hidrometeorología, Deivy Nolzco, por acompañarme en las altas y bajas de este proceso.

A Ricardo Rojas, por brindarme su valiosa ayuda y toda su paciencia a la hora de elaborar este trabajo especial de grado.

Wuilliana F. Wu R.

## DEDICATORIA

A Dios primeramente.

Por ser el mejor padre y amigo para mí. Su gran amor y fidelidad me han permitido alcanzar una meta más, al darme la fuerza, la constancia y la sabiduría necesarias para salir adelante en todo momento. Jamás podría imaginarme la vida sin Él.

A mis padres.

Que siempre me han apoyado, aconsejándome y ayudándome en todo lo que está a su alcance. Los amo.

A mi hermana mayor.

Por ser un ejemplo de esfuerzo para mí. El verte alcanzar tus metas a lo largo de los muchos años que hemos compartido, me ha inspirado a trabajar en las mías.

Deivy E. Nolazco C.

## AGRADECIMIENTOS

De lo más sincero de mi corazón, agradezco a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron al logro de esta meta:

A Dios primeramente, por guiarme en medio de las dificultades y brindarme su gracia y favor en todo lo que emprendo en la vida.

Al ingeniero y profesor Abraham Salcedo, cuyas enseñanzas me han sido de gran ayuda, no solo en el ámbito académico sino también en la vida diaria. Jamás olvidaré las horas de clase con usted.

A mi tutora Deyelen Ortega, por brindarnos su apoyo y conocimiento en todo el proceso. Gracias por ser un ejemplo de profesionalismo para mí.

A los profesores Alfredo Gil, Pedro Cárdenas, María Teresa, Juan Arévalo, Rafael Mundaray, Kleiver García, Daniel Suárez y Luis Felipe, cuyos valiosos conocimientos aportaron infinitamente a la realización de este trabajo.

A Wu, mi compañera de carrera y tesis, no solo por las horas de trabajo y esfuerzo que juntos invertimos en esto, sino también por los buenos ratos que compartimos.

A mi madre Nelía Costa, que siempre me ha apoyado en todo. Gracias por expresar lo orgullosa que te sientes de mí.

A mi padre Justo, mi hermana Nelly y demás familiares que siempre han estado cerca, animándome y dándome fuerzas para seguir adelante.

A todos mis hermanos y hermanas del Centro de Orientación Cristiana “el Nuevo Pacto”, cuyas oraciones y palabras de aliento me han sustentado en todos estos años.

A mis compañeros de la Facultad: Patricia, Eduard, Elías, Rosa y Ricardo, por acordarse siempre de mí y prestarme su ayuda cuando la he necesitado.

A todos, un millón de gracias.

Deivy E. Nolzco C.

Nolazco C. Deivy E.  
Wu R. Wuiliana F.

**EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD DE SEIS ÍNDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA COMO HERRAMIENTA DE PRONÓSTICO DE PRECIPITACIONES SOBRE REGIONES DE DIFERENTE RÉGIMEN DE LLUVIA EN VENEZUELA**

**Tutor Académico: Prof. Abraham Salcedo.  
Tutor Industrial: Ing. Deyelen Ortega.**

**Trabajo Especial de Grado. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica.  
2016.**

**Palabras Clave:** Índices de Estabilidad, Estabilidad Atmosférica, Pronóstico de Lluvias.

**Resumen.** Los índices de estabilidad atmosférica son parámetros que permiten determinar, de manera cuantitativa, la inestabilidad de la atmósfera sobre una localidad específica. Los mismos se calculan mediante operaciones matemáticas que utilizan datos de temperatura y humedad a diferentes niveles de presión, los cuales se obtienen mediante radiosondas reales (lanzamiento mediante globo de hidrógeno) o virtuales (modelos numéricos que simulan el comportamiento de la atmósfera). En la actualidad, existe una gran variedad de índices de estabilidad aplicados en todo el mundo, muchos de los cuales han demostrado ser una herramienta importante en la predicción de lluvias. No obstante, numerosos estudios han comprobado que los índices no presentan el mismo comportamiento, ni resultan igual de eficientes para todas las regiones geográficas, ni para todas las condiciones del tiempo, sino que tienden a presentar variabilidad espacial. De esta forma, al desconocer su comportamiento en las distintas áreas geográficas de Venezuela, se han utilizado de igual forma para todas las regiones del país, lo que produce su uso inadecuado, y por ende, una disminución en la probabilidad de acierto en los pronósticos de lluvias.

En tal sentido, la presente investigación busca evaluar la utilidad de los índices KI, TT, CAPE, Td500-T500, Td850 y W, como herramienta de pronóstico de lluvias sobre trece (13) regiones geográficas con distinto régimen de precipitación en Venezuela; analizando la relación existente entre ellos y la ocurrencia de la lluvia sobre un conjunto de estaciones ubicadas de manera estratégica en todo el país. Con el fin de optimizar su uso en los pronósticos realizados a nivel nacional.

La metodología utilizada consistió principalmente en el cálculo de correlaciones, el análisis de varianza (ANOVA) y la elaboración de gráficos de recorrido de media, rango de valores e histogramas de frecuencia que permitieron determinar la relación

de dependencia entre cada uno de los índices y la precipitación en cada región, para el período de estudio correspondiente al trimestre julio-septiembre. Adicionalmente, se determinó la relación entre los índices y la ocurrencia de la lluvia de los dos días siguientes e igualmente, se realizó el análisis de los índices para los meses julio, agosto y septiembre por separado, con el fin estudiar su comportamiento mensual dentro del trimestre mencionado.

Los valores de precipitación diaria se tomaron de los registros históricos de precipitación diaria suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH); mientras que los valores correspondientes a los índices seleccionados se obtuvieron de sondeos virtuales generados por el modelo GFS a través del sistema GDAS.

Del análisis de resultados se concluye que los índices Td850 y KI de Whiting resultan los más significativos y de mayor aplicabilidad en el pronóstico de lluvias para la mayoría de las regiones en las que se divide el país según el régimen de precipitación. Mientras que los índices CAPE y TT no resultan de gran utilidad.

Así mismo, las regiones de la Costa Oriental del Lago (región 3) y la Cordillera de la Costa (región 6) presentaron el mayor número de relaciones significativas entre todas las regiones analizadas, mientras que las regiones de Falcón (región 1), Sur 1 (región 11) y las Islas (región 13) mostraron menor dependencia con la ocurrencia de la lluvia.

Por otro lado, se observó una notable disminución (aproximadamente del 63%) en el número de correlaciones significativas en el mes de septiembre con respecto a los meses de julio y agosto. Lo que sugiere un debilitamiento en la relación de dependencia entre los índices de estabilidad y la ocurrencia de la lluvia para este mes en relación a los dos meses anteriores.

Finalmente, se obtuvo una disminución en el número de relaciones significativas con la ocurrencia de la lluvia a los dos días siguientes; lo que indica que la relación se torna más débil cuanto mayor es el intervalo de tiempo entre el cálculo del índice y el evento de precipitación.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	19
CAPITULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
Planteamiento del problema.....	22
Marco Referencial.....	24
Objetivos.....	28
Objetivo general.....	28
Objetivos específicos.....	28
Justificación.....	29
CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	31
2.1. Estabilidad atmosférica.....	31
2.1.1. Tipos de inestabilidad atmosférica.....	33
2.2. Índices de estabilidad atmosférica.....	35
2.2.1 Índice KI de Whiting.....	36
2.2.2 Índice Total de totales (TT).....	37
2.2.3 Índice Temperatura de Rocío a los 850 mb (Td850).....	37
2.2.4 Índice de Humedad W.....	38
2.2.5 Índice Td500-T500.....	38
2.2.6 Índice CAPE (Energía Potencial Disponible para la Convección).....	38
2.3. Radiosonda.....	39
2.4. Modelo numérico GFS (Global Forecasting System) y Sistema Global de Asimilación de Datos (GDAS).....	40
2.5. Radiosonda Virtual o Simulado.....	41
2.6. Régimen de lluvia en Venezuela.....	41
4.6.1. Descripción de las regiones.....	43
2.8. Análisis de la varianza (ANOVA) de un factor.....	46
2.9. Correlación entre dos variables.....	47
2.9.1. Coeficiente de correlación de Pearson.....	47

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	49
3.1. Aspectos preliminares.....	49
3.1.1. Nivel y diseño de la investigación.....	49
3.1.2. División del área de estudio y selección de estaciones.....	50
3.1.3. Selección del período de estudio.....	51
3.2. Obtención de datos de radiosondas.....	52
3.3. Obtención de datos de precipitación.....	54
3.4. Control de calidad de datos.....	54
3.5. Cálculo de los índices de estabilidad atmosférica.....	55
3.6. Manejo de datos de lluvia.....	56
3.7. Análisis de varianza (ANOVA) .....	56
3.8. Recorrido de medias y rango de variables .....	57
3.9. Elaboración de histogramas de frecuencia.....	58
3.10. Análisis de la relación entre los índices de estabilidad atmosférica y la ocurrencia de la lluvia en los dos días siguientes.....	59
3.10.1 Gráficos de recorrido de media y rango.....	61
3.10.2 Gráficos de histograma de frecuencias.....	61
3.11. Análisis de la relación entre los índices de estabilidad atmosférica y la ocurrencia de la lluvia por mes.....	61
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	63
4.1. Región 6:.....	63
4.2. Región 1.....	73
4.3. Región 2.....	76
4.4. Región 3.....	78
4.5. Región 4.....	80
4.6. Región 5.....	83
4.7. Región 7.....	85
4.8. Región 8.....	87
4.9. Región 9.....	89
4.10. Región 10.....	92

4.11. Región 11.....	94
4.12. Región 13.....	96
4.13. Análisis general por períodos:.....	98
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	103
RECOMENDACIONES .....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de ocurrencia de tormentas según el índice K de Whiting. Tomado de Suárez (1987). .....	36
Tabla 2. Clasificación de la Estabilidad Atmosférica con respecto al valor del índice CAPE. Tomado de García (2008). .....	39
Tabla 3. Estados que conforman las regiones según el régimen de lluvias. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003) .....	42
Tabla 4. Características fisiográficas de las regiones según el régimen de lluvias. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003) .....	43
Tabla 5. Climas presentes en las regiones según el régimen de lluvias. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003) .....	44
Tabla 6. Estaciones meteorológicas que conformaron la muestra. ....	51
Tabla 7. Período de años correspondiente a las estaciones meteorológicas que conformaron la muestra. ....	52
Tabla 8. Radiosonda simulado con el GDAS para la región 1 (01/07/12). ....	53
Tabla 9. Número de sondeos virtuales generados para cada estación meteorológica de estudio. ....	53
Tabla 10. Radiosonda simulado con el GDAS para la región 13 (28/09/2014). ....	55
Tabla 11. Coeficientes de correlación entre los índices de estabilidad atmosférica y la variable binaria P1 de la estación Ortiz. ....	56
Tabla 12. Análisis de varianza de la estación Ortiz. ....	57
Tabla 13. Coeficientes de correlación entre los índices de estabilidad atmosférica y las variables binarias P2 y P3, de la estación Ortiz. ....	60
Tabla 14. Análisis de varianza entre los índices y P2, para la estación Ortiz. ....	60
Tabla 15. Análisis de varianza entre los índices y P3, para la estación Ortiz. ....	61
Tabla 16. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Julio-Sep). ....	63
Tabla 17. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Julio). ....	68
Tabla 18. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Agosto). ....	71

Tabla 19. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Septiembre). ....	73
Tabla 20. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Jul-Sep). ....	73
Tabla 21. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Julio). ....	74
Tabla 22. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Agosto). ....	75
Tabla 23. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Septiembre). ....	75
Tabla 24. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Jul-Sep). ....	76
Tabla 25. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Julio). ....	76
Tabla 26. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Agosto). ....	77
Tabla 27. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Septiembre). ....	77
Tabla 28. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Jul-Sep). ....	78
Tabla 29. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Julio). ....	78
Tabla 30. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Agosto). ....	79
Tabla 31. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Septiembre). ....	79
Tabla 32. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Jul-Sep). ....	80
Tabla 33. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Julio). ....	81
Tabla 34. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Agosto). ....	81
Tabla 35. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Septiembre). ....	82
Tabla 36. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Jul-Sep). ....	83
Tabla 37. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Julio). ....	83
Tabla 38. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Agosto). ....	84
Tabla 39. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Septiembre). ....	84
Tabla 40. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Jul-Sep). ....	85
Tabla 41. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Julio). ....	85
Tabla 42. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Agosto). ....	86
Tabla 43. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Septiembre). ....	86
Tabla 44. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Jul-Sep). ....	87
Tabla 45. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Julio). ....	88
Tabla 46. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Agosto). ....	88
Tabla 47. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Septiembre). ....	89
Tabla 48. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Jul-Sep). ....	89

Tabla 49. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Julio). .....	90
Tabla 50. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Agosto). .....	91
Tabla 51. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Septiembre). ....	91
Tabla 52. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Jul-Sep). .....	92
Tabla 53. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Julio). .....	92
Tabla 54. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Agosto). .....	93
Tabla 55. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Septiembre). ..	93
Tabla 56. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Jul-Sep). .....	94
Tabla 57. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Julio). .....	95
Tabla 58. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Agosto). .....	95
Tabla 59. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Septiembre). ..	96
Tabla 60. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Jul-Sep). .....	96
Tabla 61. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Julio). .....	97
Tabla 62. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Agosto). .....	97
Tabla 63. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Septiembre). ..	98
Tabla 64. Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Jul-Sep) .....	98
Tabla 65. Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Julio). .....	99
Tabla 66. Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Agosto). .....	100
Tabla 67. Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Septiembre). .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Diferencia de temperatura entre la parcela de aire en ascenso y el ambiente. ....	32
<i>Figura 2.</i> Diferencia entre las condiciones “Ligeramente inestable” y “Muy inestable”.....	33
<i>Figura 3.</i> Inestabilidad condicional. ....	34
<i>Figura 4.</i> Inestabilidad latente. Tomado de Johnson (1988).....	34
<i>Figura 5.</i> Regiones de Venezuela según el régimen de lluvia. ....	42
<i>Figura 6.</i> Ejemplo de recorrido de media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice KI, para la variable P1, en la región 9.....	58
<i>Figura 7.</i> Ejemplo de histograma de frecuencias del índice KI para la región 9. ....	59
<i>Figura 8.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y de valores (derecha) del índice KI para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	64
<i>Figura 9.</i> Histograma de frecuencias del índice KI para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre). ....	65
<i>Figura 10.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice KI para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	65
<i>Figura 11.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	66
<i>Figura 12.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice KI para la variable categórica P2, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	66

<i>Figura 13.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice CAPE para la variable categórica P2, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	67
<i>Figura 14</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P2, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	67
<i>Figura 15.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P3, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).....	68
<i>Figura 16.</i> Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice TT, para la región 6 (Julio).....	69
<i>Figura 17.</i> Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice TT, para la región 6 (Julio).....	70
<i>Figura 18.</i> Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice KI, para la región 6 (Julio). ....	70
<i>Figura 19.</i> Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice KI, para la región 6 (Julio). ....	71
<i>Figura 20.</i> Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice KI, para la región 6 (Agosto).....	72
<i>Figura 21.</i> Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P1 en la región 6 (Agosto).....	72

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

<b>Símbolo o Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
$\Theta$ -e	Temperatura Potencial Equivalente.
CAPE	Energía Potencial Disponible para la Convección.
GDAS	Global Data Assimilation System.
GFS	Global Forecasting System.
hgt	Altura.
HLV	Hora Local de Venezuela.
K	Índice K de Whiting.
mgp	Metros geopotenciales.
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Agency.
T	Temperatura del Aire.
Td	Temperatura del Punto de Rocío.
Td850	Índice Temperatura de Rocío a los 850 mb.
Td500	Temperatura de Rocío a los 500 mb.
TT	Índice Total de Totales.
UTC	Tiempo Universal Coordinado.
W	Índice de Humedad.

## INTRODUCCIÓN.

Los índices de estabilidad atmosférica han sido desarrollados y utilizados por los meteorólogos profesionales en diversas partes del mundo desde 1941 (Johnson, 1982). Consisten en parámetros que permiten determinar, de manera cuantitativa, la inestabilidad de la atmósfera sobre una localidad específica y se obtienen mediante operaciones matemáticas que utilizan datos de temperatura y humedad a diferentes niveles de presión. Estos datos se obtienen mediante radiosondas, los cuales pueden ser reales (lanzamiento mediante globo de hidrógeno) o virtuales (modelos numéricos que simulan el comportamiento de la atmósfera).

En la actualidad, existe una gran variedad de índices de estabilidad aplicados en todo el mundo, cada uno de los cuales presenta una manera particular y distinta de estimar la inestabilidad en la atmósfera; principalmente con el fin de pronosticar tormentas y chaparrones en ciertas regiones de interés. Algunos de los más comunes (la mayoría debido a su facilidad de cálculo) son el índice KI de Whiting, el índice Total de Totales (TT), el índice CAPE y el índice de humedad (W). Otros índices, frecuentemente utilizados en Venezuela, son: El índice Td500-T500 y el índice Td850.

Diversos estudios han sugerido que la aplicación de estos índices constituye una herramienta importante en el pronóstico diario de lluvias, de modo que su uso se ha extendido cada vez más entre los profesionales de los distintos centros e instituciones de predicción a nivel internacional. No obstante, su uso óptimo y adecuado requiere de estudios donde se determine su aplicabilidad sobre las áreas de interés, ya que su comportamiento tiende a presentar variabilidad estacional y espacial (Marinaki, A., Michalopoulou, H., & Spiliotopoulos, M., 2006).

La finalidad de este estudio radica en extender el uso de seis índices de estabilidad sobre el Territorio Nacional de Venezuela, analizando su comportamiento en diferentes regiones según el régimen de lluvia que presentan.

La metodología utilizada consiste principalmente en la estimación de la relación existente entre estos índices y la ocurrencia de la lluvia, mediante el cálculo de las correlaciones, el análisis de varianza (ANOVA) y la elaboración de gráficos de recorrido de media, rango de valores e histogramas de frecuencia. Los valores de precipitación diaria se obtienen de los registros históricos de precipitación diaria suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH); mientras que los valores correspondientes a los índices seleccionados se obtienen de sondeos virtuales generados por el modelo GFS a través del sistema GDAS.

Del análisis de resultados se concluye que los índices Td850 y KI de Whiting resultan los más significativos y de mayor aplicabilidad en el pronóstico de lluvias para la mayoría de las regiones en las que se divide el país según el régimen de precipitación. Mientras que los índices CAPE y TT no resultan de gran utilidad.

Por otro lado, las regiones de la Costa Oriental del Lago (región 3) y la Cordillera de la Costa (región 6) presentaron el mayor número de relaciones significativas entre todas las regiones analizadas, mientras que las regiones de Falcón (región 1), Sur 1 (región 11) y las Islas (región 13) mostraron menor dependencia con la ocurrencia de la lluvia.

El presente informe se encuentra estructurado por 6 capítulos y secciones adicionales, las cuales se describen brevemente a continuación:

Capítulo 1: Se plantea el problema a tratar y los objetivos de la investigación, así como también la justificación, el alcance y las limitaciones presentadas durante el desarrollo de la misma.

Capítulo 2: Se presentan los fundamentos teóricos, así como también los estudios e investigaciones desarrolladas por diferentes autores que anteceden a la investigación.

Capítulo 3: Incluye el marco metodológico, donde se describen con detalle los procesos, herramientas e instrumentos utilizados para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Capítulo 4: Se presentan, organizados a modo de tablas y gráficos, los resultados y análisis obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

Conclusiones: Se muestran en este apartado las conclusiones generadas en cada uno de los objetivos tratados. Incluyendo las obtenidas del análisis de la relación entre los índices de estabilidad y la ocurrencia de la lluvia en las diferentes regiones de estudio.

Recomendaciones: Se plantean las recomendaciones con respecto a la metodología utilizada y los análisis de resultados realizados, con el fin de incentivar y aportar al desarrollo de investigaciones futuras sobre índices de estabilidad atmosférica en Venezuela.

Referencias: Incluyen las referencias bibliográficas consultadas durante todo el proceso de investigación y que sirvieron de apoyo a la culminación de la misma.

Apéndice: Esta sección incluye los gráficos y tablas correspondientes a los índices que presentaron relaciones significativas con la lluvia (resultados significativos), generados al aplicar la metodología en las diferentes regiones de estudio, y que no se encuentran incluidos en el cuerpo del informe.

Adicionalmente, anexo a este informe se incluye un disco compacto (CD), titulado: Apéndice Digital, que contiene un segundo apéndice, en el que se incluyen los gráficos correspondientes a los índices que no presentaron relaciones significativas con la lluvia (resultados no significativos), generados en las distintas regiones de estudio, y que no se adjuntaron al informe impreso debido a la gran cantidad de material que constituyen.

## CAPITULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Diferentes estudios a nivel internacional sobre el uso de los índices de estabilidad, indican que los mismos parecen producir mejores resultados en las latitudes medias, mientras que en la zona intertropical disminuye su efectividad en la predicción de tormentas (Suárez, 1987). Asimismo, numerosas investigaciones han demostrado que existe una diferencia en el comportamiento y la utilidad de los índices de estabilidad atmosférica como herramienta de pronóstico en cuanto al tipo de precipitación o fenómeno que se esté analizando, y que no resultan igual de eficientes para todas las condiciones del tiempo, ni tampoco se comportan de igual manera para diferentes localidades geográficas (Michalopoulou and Jacovides, 1987).

Por otro lado, en Venezuela se han realizado algunos estudios sobre la utilidad de ciertos índices para pronosticar tormentas y chaparrones en regiones específicas del país. En el año 2000, Romero estudió su uso en el pronóstico de precipitaciones a lo largo de la Cuenca del Caroní, utilizando para su cálculo datos obtenidos mediante radiosondas lanzados en Santa Elena de Uairén, obteniendo como resultado que ninguno de los índices evaluados resultó útil para predecir tormentas en esta región (Romero, 2000). Por otro lado, Durán desarrolló un análisis sobre su aplicabilidad en la región Centro-Norte Costera (Durán, 2008), obteniendo resultados favorables que demuestran la utilidad de los índices para pronosticar lluvias en esta región. Así mismo, Chourio, en su trabajo de investigación confirma su efectividad en los pronósticos de precipitación de la región Centro Norte Costera (Chourio, 2009).

Estos resultados parecieran indicar que existe una notable diferencia en el comportamiento de los índices calculados en las regiones de latitudes más altas del país (Región Centro-Norte Costera) y los calculados en regiones de latitudes más bajas, como Santa Elena de Uairén, produciendo los primeros, aparentemente resultados más satisfactorios que los segundos en los pronósticos de tormentas.

Sin embargo, en Venezuela, ninguno de los estudios sobre índices de estabilidad que se ha realizado, ha buscado evaluar esta diferencia en el comportamiento de los índices de estabilidad para las distintas regiones geográficas del país. Tampoco se tiene conocimiento sobre la influencia que tiene el régimen de lluvia propio de una región (que varía de acuerdo a la localidad geográfica) sobre dicho comportamiento. Aun así, a pesar de este asunto sin resolver, los índices KI, TT, CAPE, W, Td500-T500 y Td850 se han venido utilizando en los últimos años en los pronósticos de precipitación en Venezuela. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) realiza el cálculo de KI, TT, CAPE y Td500-T500 a través de modelos numéricos como el MM5, el BRAMS y el GFS, cada tres horas. Así mismo, el Departamento de Gestión Técnica Ambiental de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) ha estado desarrollando su uso como herramienta para sus pronósticos diarios en diferentes áreas de interés. No obstante, al desconocer su comportamiento en las distintas áreas geográficas (que presentan diferentes regímenes de lluvia), estos índices de estabilidad se han utilizado de igual forma para todas las regiones de Venezuela, lo que produce su uso inadecuado, y por ende, una disminución en la probabilidad de acierto en los pronósticos de lluvias.

En tal sentido, la presente investigación busca evaluar la utilidad de los índices KI, TT, CAPE, Td500-T500, Td850 y W, como herramienta de pronóstico de lluvias para diferentes regiones geográficas, según el régimen de precipitación en Venezuela; analizando la relación existente entre ellos y la ocurrencia de la lluvia sobre un conjunto de estaciones ubicadas de manera estratégica en todo el país. Con el fin de optimizar su uso en los pronósticos realizados a nivel nacional.

## ANTECEDENTES.

Existen numerosos estudios sobre el comportamiento de los índices de estabilidad y su utilidad en zonas extra tropicales, sobre todo en Norte-América, donde muchos de ellos han sido desarrollados; mientras que para los trópicos, las investigaciones son mucho más escasas.

Peppier (1988) realizó una recopilación de los trabajos de investigación más resaltantes sobre índices de estabilidad atmosférica, aplicados en diferentes partes del mundo durante los primeros 40 años de su uso como herramienta de pronóstico de diversos tipos de fenómenos (tormentas locales severas, sistemas convectivos de mesoescala, tormentas no severas, etc.).

En su estudio analizó el comportamiento y la utilidad de los índices obtenidos por los distintos autores en los diferentes casos de estudio y encontró que algunos de los índices presentan una tendencia a indicar o predecir ciertos fenómenos específicos.

Así, el índice KI de Whiting, por ejemplo, resultó ser el mejor indicador en los casos de pronóstico de cantidades de lluvia y de ocurrencia/no-ocurrencia de precipitaciones para algunas porciones de Norte América, durante los meses de marzo y septiembre. Igualmente, para los casos de predicción de convección y tormentas no severas, este índice fue también el mejor indicador. Sin embargo, para los casos de aplicación en pronósticos de tiempo severo (tormentas y convección severas) mostró poca utilidad.

Por otro lado, el índice Total de Totales (TT) sí demostró ser un indicador fiable para el tiempo severo e igualmente resultó ser un buen indicador para las condiciones de tiempo no severo, aunque en menor medida que el índice KI para este último caso. Así también, TT resultó ser un fuerte indicador de tornados en Norte América. Peppier también indicó que los valores umbrales para este índice varían ligeramente de acuerdo a la región geográfica de aplicación, según estudios de evaluación realizados para las dos terceras partes del este de Estados Unidos.

Con respecto a esto, el Servicio Meteorológico de Estados Unidos alertó en un Manual publicado en 1969, sobre el peligro de utilizar índices de estabilidad

atmosférica arbitrariamente sobre cualquier localidad; indicando que “Un índice o algún umbral de un índice que resulta significativo en una región (o temporada) puede no serlo en otra. Por lo tanto, el gráfico del índice de estabilidad debe ser una herramienta experimental o de investigación más que una de rutina, a menos que extensos estudios de correlación hayan obtenido un índice significativo para su aplicación general extendida, y los umbrales para distintas condiciones de tiempo hayan sido determinados” (USAF, 1969; C.P. Peppier, 1988, p.20).

Marinaki, Spiliotopoulos y Michalopoulou (2006), analizaron el comportamiento de siete (7) índices de estabilidad atmosférica sobre toda Grecia, entre los cuales se encontraban los índices KI de Whiting, Total de Totales (TT) y humedad (W). El objetivo principal de este estudio consistió en determinar cuál índice y dónde resultaba ser el más apropiado para el monitoreo de la inestabilidad; al mismo tiempo que se buscó establecer los umbrales adecuados, de acuerdo a las características de cada zona de aplicación. Como resultado se obtuvieron diferentes umbrales, para todos los índices, en las tres zonas de estudio evaluadas (Ática, Tesalónica y Creta), evidenciando una diferencia en su comportamiento en las distintas regiones geográficas del país. Asimismo, aunque ninguno de los índices KI, TT y W resultó ser el más apropiado para el pronóstico de inestabilidad en Grecia, KI demostró ser satisfactorio únicamente para la región de Creta, mientras que W resultó satisfactorio para la región de Ática.

Tajbakhsh, Ghafarian, y Sahraian (2012), evaluaron el comportamiento de algunos índices de estabilidad (incluyendo CAPE, TT y KI) para el pronóstico de tormentas en Irán, sobre dos regiones diferentes de estudio: El Aeropuerto de Tehran y el Aeropuerto de Trabiz. Como resultado de este estudio encontraron que el índice KI es un buen indicador de la inestabilidad; no obstante, los índices TT y CAPE no presentaron el mismo comportamiento.

Todos los estudios anteriormente mencionados demuestran que existe una diferencia en el comportamiento y la utilidad de los índices de estabilidad atmosférica como herramientas de pronóstico en cuanto al tipo de precipitación o fenómeno que se esté analizando, y que no resultan igual de eficientes para todas las condiciones de

tiempo, ni tampoco se comportan de igual manera para diferentes localidades geográficas.

En cuanto a estudios realizados sobre este tema en Venezuela, se mencionan los siguientes:

Suárez (1987) evaluó la utilidad del índice de Showalter (SI) en la predicción de tormentas en la región de Maracay, utilizando los datos de radiosondas reales lanzados en la Estación de Maracay durante los meses Mayo, Junio y Julio de los años 1979, 1980 y 1981. Los resultados obtenidos de su investigación le permitieron encontrar un valor umbral para el pronóstico de la no-ocurrencia de tormentas en Maracay con una probabilidad de acierto de aproximadamente 95%. Sin embargo, el índice no resultó ser un buen indicador de la ocurrencia de tormentas.

Romero (2000) estudió el comportamiento y la utilidad de cinco (5) índices de estabilidad como herramienta de pronóstico sobre la cuenca del Río Caroní. Para ello, utilizó los datos obtenidos de radiosondas reales lanzados en Santa Elena de Uairén. Para la aplicación de los índices dividió la Cuenca en 11 subcuencas, tomando en cuenta los principales afluentes del Río Caroní, de modo que cada una tuviese características geográficas y pluviométricas relativamente homogéneas. Entre los índices calculados en esta investigación se encontraron el KI de Whiting, el Total de Totales (TT), el índice de humedad (W), el índice Lifted (LI) y el mismo índice de Showalter (SI) aplicado por Suárez (2008) en Maracay. En los resultados obtenidos, todos los índices mostraron distinto comportamiento para las diferentes estaciones del área de estudio, presentando diferentes rangos de valores umbrales para el pronóstico de ocurrencia de precipitaciones. Por otro lado, ninguno de los índices resultó ser un buen indicador de los eventos de precipitación en ninguna de las regiones estudiadas.

Suárez, en el año 2007 implementó el uso de los índices de estabilidad KI de Whiting y temperatura potencial equivalente a los 850 mb ( $\theta_{e,850}$ ) en EDELCA, con fines de pronóstico de lluvias en Caracas.

Duran (2008) presenta una investigación realizada en el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la U.C.V. donde evalúa la aplicabilidad de cinco (5) índices de estabilidad en el pronóstico de lluvias sobre la región Centro-Norte

Costera del país. De sus resultados concluye que dichos índices resultan buenos indicadores de inestabilidad atmosférica en la región de estudio.

Cárdenas, en el año 2009 (c.p. Chourio, 2009) realiza una investigación sobre el uso de índices de estabilidad sobre la estación La Carlota, analizando su comportamiento en todo el año 2008 y obteniendo como resultado aciertos superiores al 79% en el pronóstico de lluvias para esta región.

Asimismo, Chourio (2009) analizó el comportamiento de ocho (8) índices (incluidos KI, TT, CAPE, W y Td850) y su utilidad como herramienta de pronóstico también en la región Centro-Norte Costera del país; encontrando que, en promedio, la probabilidad de acierto para todos los índices en el pronóstico de la ocurrencia de precipitaciones en esta región fue superior al 80%.

De estos trabajos se deduce la diferencia en el grado de utilidad de los índices de estabilidad atmosférica sobre distintas áreas de Venezuela, puesto que se obtuvieron diferentes comportamientos para los mismos índices en las distintas regiones de aplicación. La mayoría de las investigaciones demuestran un buen comportamiento de los índices para la región Centro-Norte del país, no así para la Cuenca del Caroní.

Finalmente, puede notarse la ausencia de estudios realizados en Venezuela sobre el uso de índices de estabilidad atmosférica y su utilidad como herramienta de pronóstico sobre otras áreas distintas a las mencionadas.

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo general.**

Evaluar la utilidad de los índices de estabilidad atmosférica KI de Whiting, Total de Totales (TT), CAPE, Td500-T500, Td850 y W como herramienta de pronóstico de precipitación sobre regiones de diferente régimen de lluvia en Venezuela.

### **Objetivos específicos.**

1- Calcular los índices de estabilidad KI, TT, CAPE, Td500-T500, Td850 y W en el período correspondiente a cada una de las 13 regiones de estudio.

2- Analizar la relación de los seis índices de estabilidad con la ocurrencia de la lluvia, en las diferentes regiones de estudio, para el trimestre julio-septiembre y los meses julio, agosto y septiembre por separado.

3- Analizar la relación entre los índices de estabilidad y la ocurrencia de la lluvia de los dos días siguientes al del cálculo del índice, para el trimestre julio-septiembre y los meses julio, agosto y septiembre por separado, en cada una de las regiones de estudio.

4- Comparar el comportamiento y el grado de relación con la ocurrencia de la lluvia de los índices estudiados entre las diferentes regiones y períodos de estudio.

## JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación resulta de gran importancia, ya que representa un estudio de la relación existente entre los índices de estabilidad KI, TT, CAPE, Td500-T500, Td850 y W y la ocurrencia de la lluvia en regiones con diferente ubicación geográfica y distinto régimen de precipitación, con el fin de determinar su aplicabilidad como herramienta de pronósticos de lluvias en todo el país, lo cual no se ha hecho en ninguno de los trabajos de investigación sobre índices de estabilidad atmosférica en Venezuela.

Este estudio resulta necesario ya que dichos índices se han aplicado de igual forma en todas las regiones a nivel nacional, desconociendo si los mismos son igual de efectivos para todas las regiones geográficas del país y obteniéndose resultados satisfactorios para algunas áreas pero no para otras.

En tal sentido, esta investigación permitirá ampliar el conocimiento sobre el uso de los índices de estabilidad en Venezuela como herramienta de predicción de lluvias. El comprender cómo influyen estos factores en el comportamiento y la utilidad de los índices KI y TT permitirá la interpretación correcta de sus valores calculados a través de modelos numéricos, permitiendo su uso adecuado en las diferentes regiones de Venezuela.

De esta forma, se obtendrá una mejora en la probabilidad de acierto de los pronósticos diarios realizados por diversas instituciones a nivel nacional como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) que en la actualidad hacen uso de ellos para pronosticar lluvias, ya sea a nivel nacional o en regiones específicas de interés, como por ejemplo la Cuenca del Caroní, donde se encuentra el sistema hidroeléctrico más importante del país.

Esto, sin duda alguna, aportará grandes beneficios a un gran número de actividades en el ámbito de la Ingeniería que hacen uso de la información meteorológica, en el desarrollo de actividades, como lo son: el monitoreo del buen funcionamiento de las centrales hidroeléctricas, las cuales suplen la demanda de energía en gran parte del

país y son directamente influenciadas por las precipitaciones en las cuencas de los ríos que las alimentan; la operación de los embalses a nivel nacional para abastecimiento y riego; la industria de la construcción, entre otros.

## CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

### 2.1. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

El aire puede elevarse hacia niveles superiores de la atmósfera a través de distintos mecanismos, principalmente por ascenso convectivo, orográfico, frontal y convergencia. Cuando el aire se eleva ocurren procesos que pueden finalmente generar precipitaciones sobre una región si las condiciones atmosféricas son adecuadas para ello.

El ascenso convectivo es el movimiento vertical del aire (OMM, 1966) que ocurre durante el día, cuando la radiación proveniente del sol produce el calentamiento de la superficie terrestre. El calor desprendido por el terreno calienta a su vez la parcela de aire en contacto con ella, haciendo que tenga una temperatura superior al aire que la rodea. De esta forma la parcela es menos densa que el aire sobre ella, por lo que se eleva hacia niveles superiores de la atmósfera. Al ascender, la presión sobre la parcela disminuye, por lo que ésta se expande y se enfría adiabáticamente. Si la burbuja contiene suficiente humedad, la misma puede llegar a condensar, formar nubosidad y eventualmente precipitación. Estas lluvias son las que se conocen con el nombre de precipitaciones convectivas y generalmente son aisladas, intensas y de corta duración.

La estabilidad atmosférica, en términos generales, puede definirse como la resistencia que tiene la atmósfera a que en ella ocurran o se desarrollen movimientos verticales. La organización Meteorológica Mundial (OMM) la define como "Estado de equilibrio hidrostático de la atmósfera, en el que una partícula de aire desplazada desde un nivel inicial está sometida a un empuje hidrostático que tiende a volverla al mismo nivel." (OMM, 1966). Es decir, si una parcela de aire es obligada a

desplazarse desde su posición de equilibrio, tenderá a recuperar su estado inicial. Por lo que no existen ascensos convectivos. Por otro lado, una atmósfera inestable será aquella en la cual se propicien los ascensos verticales convectivos, es decir, la parcela desplazada de su posición inicial tenderá a continuar elevándose hacia niveles superiores.

En condiciones de inestabilidad atmosférica la porción de aire que empieza a elevarse se enfriará con un gradiente adiabático seco de aproximadamente  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 1.000 m de ascenso (OMM, 1966), hasta que alcance su punto de rocío, en el que se enfriará con el gradiente adiabático húmedo. Esto supone que la atmósfera circundante tiene un gradiente vertical mayor que el gradiente vertical adiabático seco, de modo que la porción que se eleva seguirá siendo más cálida que el aire circundante. De esta forma, la diferencia de temperatura entre el gradiente vertical de temperatura del ambiente (aire que rodea a la parcela) y el gradiente vertical de la parcela en ascenso aumenta con la altura, al igual que la flotabilidad, tal como se muestra en la figura 1.

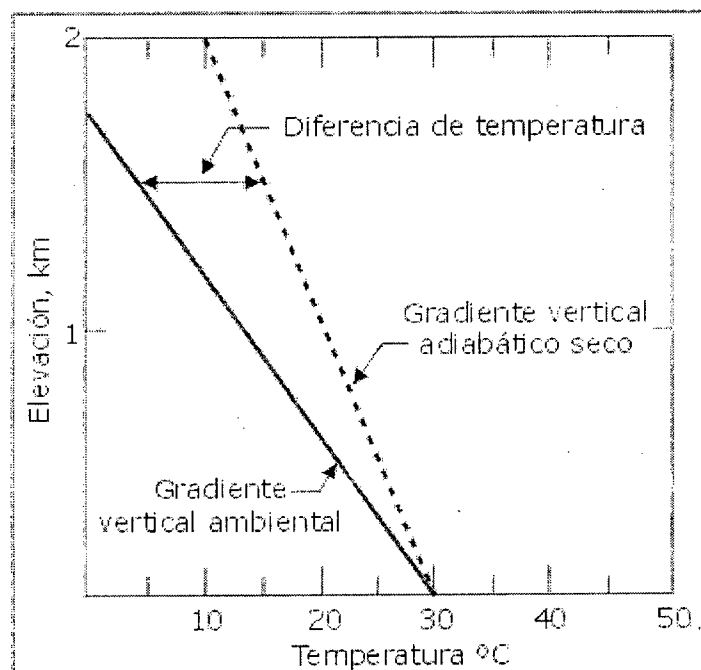


Figura 1. Diferencia de temperatura entre la parcela de aire en ascenso y el ambiente. Tomado de [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_meteoro/lecc4/lecc4\\_2.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_2.html).

El grado de inestabilidad depende de las diferencias entre los gradientes verticales ambientales y los adiabáticos secos. La figura 2 muestra las condiciones ligeramente inestables y las condiciones muy inestables.

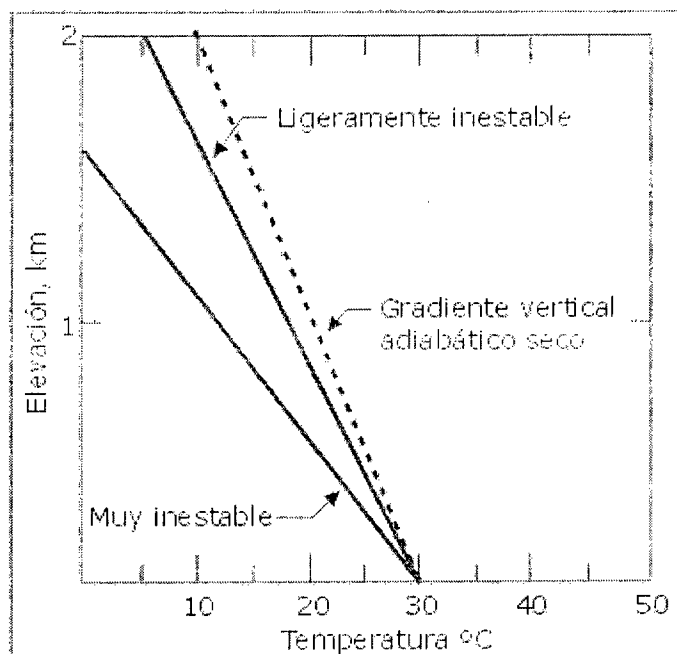


Figura 2. Diferencia entre las condiciones “Ligeramente inestable” y “Muy inestable”. Tomado de [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_meteoro/lecc4/lecc4\\_2.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_2.html).

### 2.1.1. Tipos de inestabilidad atmosférica.

La inestabilidad atmosférica usualmente se define en términos de inestabilidad absoluta, inestabilidad condicional, inestabilidad latente e inestabilidad potencial.

Cuando el gradiente térmico del ambiente es mayor que el gradiente adiabático saturado, se produce una condición de inestabilidad absoluta (OMM, 1966), puesto que toda parcela de aire que se eleve (saturada o no) se encontrará siempre más caliente que el entorno y continuará su ascenso ininterrumpidamente.

Por otro lado, la inestabilidad condicional se define como “El estado de una columna de aire en la atmósfera en el que el gradiente de temperatura es mayor que el gradiente vertical adiabático húmedo pero menor que el gradiente adiabático seco.” (Johnson, 1988, p.10). De modo que las condiciones estables se producen hasta el nivel de condensación y las inestables, sobre este, como se ilustra en la figura 3.

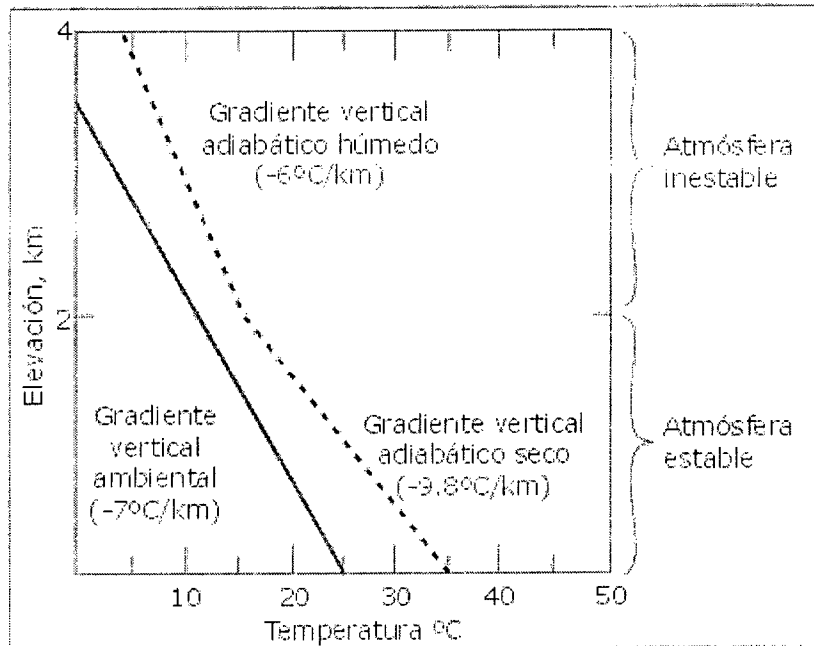


Figura 3. Inestabilidade condicional. Tomado de [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_meteoro/lecc4/lecc4\\_2.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_2.html).

La inestabilidad latente se produce cuando “una columna de aire condicionalmente inestable yace por encima del nivel de convección libre (LFC)” (Johnson, 1988, p.13). Como se muestra en la siguiente figura:

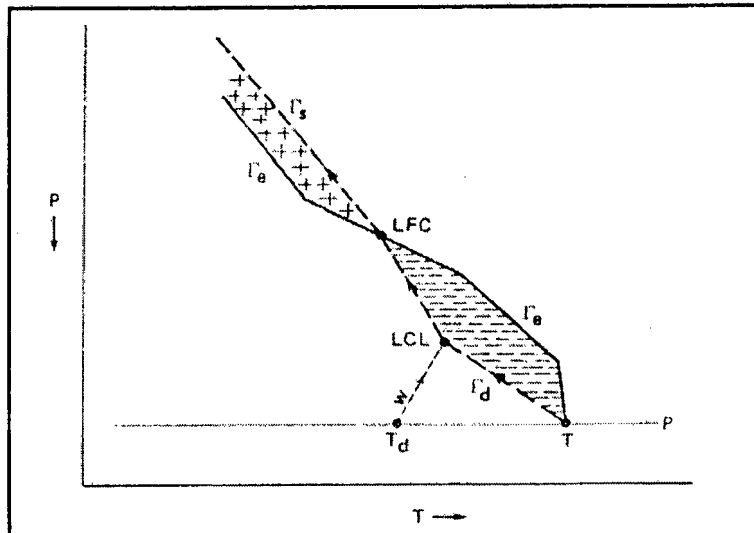


Figura 4. Inestabilidad latente. Tomado de Johnson (1988).

La región negativa por debajo del nivel de convección libre (líneas discontinuas) es el área en la que el ambiente está más caliente que la parcela. De esta forma, si la

parcela es impulsada inicialmente con suficiente energía cinética, alcanzará la región positiva (por encima del LFC) donde conseguirá la inestabilidad latente necesaria para acelerarse, puesto que en esta área se encuentra más caliente que el ambiente circundante.

Finalmente, la inestabilidad potencial o convectiva se produce cuando "la temperatura potencial de bulbo húmedo ( $\Theta_w$ ) o la temperatura potencial equivalente ( $\Theta_e$ ) de una capa de aire en la atmósfera disminuye con la altura. Si la capa en su totalidad se eleva físicamente (debido a alguna actividad frontal o al fluir sobre una barrera topográfica) hasta la saturación completa, se vuelve inestable cuando el gradiente térmico de bulbo húmedo es mayor que el gradiente adiabático saturado" (Johnson, 1988, p.13).

## **2.2. ÍNDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.**

La inestabilidad de la atmósfera sobre una localidad puede ser calculada mediante el cómputo de índices de estabilidad. Estos pueden definirse como parámetros que permiten obtener una medida cuantitativa de la probabilidad de que se presenten ascensos convectivos; o dicho de otra forma, indican cuándo las condiciones resultan favorables o no para que la atmósfera se encuentre inestable.

Los índices de estabilidad representan una herramienta importante para los meteorólogos profesionales en el pronóstico del tiempo convectivo y, en general, se expresan como "una diferencia de parámetros meteorológicos como temperatura (T), temperatura del punto de rocío (Td), temperatura potencial ( $\Theta$ ), relación de mezcla (w), presión (P), altura (Z), entre otros, medidos a diferentes niveles de la atmósfera" (Johnson, 1988, p.10).

Existen numerosos índices desarrollados y aplicados en diversas partes del mundo. De acuerdo a Peppier (1988), se han utilizado desde la década de los 40 y muchos combinan propiedades térmicas y de humedad de la tropósfera baja y media. Todos ellos han sido definidos en términos de los diferentes tipos de inestabilidad mencionados anteriormente.

A continuación se describen los índices de estabilidad importantes para el desarrollo de la presente investigación.

### 2.2.1 Índice KI de Whiting.

De acuerdo a Peppier (1988), este índice fue desarrollado por R.M. Whiting y documentado por George en 1960. Combina numéricamente en su expresión el gradiente térmico vertical (T850 - T500), el contenido de humedad de la baja atmósfera y la extensión vertical de la capa húmeda con el fin de pronosticar el potencial de tormentas de masa de aire continental, desarrolladas en áreas de vientos débiles y sin influencia aparente de actividad frontal o ciclónica.

Se calcula de la siguiente manera:

$$KI = (T850 - T500) + Td850 - (T700 - Td700) \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde:

- T850: Temperatura del aire a los 850 mb de presión (expresada en °C).
- T500: Temperatura del aire a los 500 mb de presión (expresada en °C).
- T700: Temperatura del aire a los 700 mb de presión (expresada en °C).
- Td850: Temperatura de rocío a los 850 mb de presión (expresada en °C).
- Td700: Temperatura de rocío a los 700 mb de presión (expresada en °C).

Whiting desarrolló una clasificación para la ocurrencia de tormentas, de acuerdo a los valores obtenidos con el índice K, que se muestra a continuación:

Tabla 1.  
Clasificación de ocurrencia de tormentas según el índice K de Whiting. Tomado de Suárez (1987).

KI	Frecuencia de tormentas
< 20	Ninguna
20 a 25	Tormentas aisladas
25 a 30	Tormentas muy dispersas
30 a 35	Tormentas dispersas
> 35	Tormentas numerosas

### 2.2.2. Índice Total de totales (TT).

Este índice representa una medida de la inestabilidad atmosférica entre los 850 mb y los 500 mb (Johnson, 1988). Fue desarrollado por Robert Miller en 1967, con el fin de pronosticar tormentas severas (Peppier, 1988).

Se calcula de la siguiente expresión:

$$TT = (T850 - T500) + (Td850 - T500) \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

-T850: Temperatura del aire a los 850 mb de presión (expresada en °C).

-T500: Temperatura del aire a los 500 mb de presión (expresada en °C).

-Td850: Temperatura de rocío a los 850 mb de presión (expresada en °C).

Según Peppier (1988), cuando toma valores por debajo de +50, el índice TT se considera un indicador débil del desarrollo de tormentas severas. Para valores entre +50 y +55 es un indicador moderado, y finalmente, para valores por encima de +55 resulta ser un indicador fuerte.

Este índice puede tomar valores muy grandes debido a la existencia de un gradiente térmico fuerte cuando se tiene poca humedad en los niveles bajos (Miller, 1972), por lo que debe aplicarse cuidadosamente, ya que puede sobreestimar el potencial de desarrollo de tiempo convectivo.

### 2.2.3. Índice Temperatura de Rocío a los 850 mb (Td850).

Representa la temperatura, en grados centígrados, a la que debería enfriarse un volumen de aire, manteniendo condiciones de presión y humedad constantes, para alcanzar la saturación a los 850 mb. Su valor se obtiene directamente de sondeos atmosféricos, tanto reales como interpolados por un modelo numérico.

Según Chourio (2009), este valor de temperatura permite determinar posibles ascensos verticales de aire sobre la región de aplicación.

#### 2.2.4. Índice de Humedad W.

Se computa como la suma de las diferencias entre la temperatura del aire y la temperatura de rocío a los 850, 700 y 500 mb; y representa la cantidad de humedad contenida en estos niveles.

Siendo su expresión:

$$W = (T_{850} - T_{d850}) + (T_{700} - T_{d700}) + (T_{500} - T_{d500}) \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde:

- T<sub>850</sub>: Temperatura del aire a los 850 mb de presión (expresada en °C).
- T<sub>500</sub>: Temperatura del aire a los 500 mb de presión (expresada en °C).
- T<sub>700</sub>: Temperatura del aire a los 700 mb de presión (expresada en °C).
- T<sub>d850</sub>: Temperatura de rocío a los 850 mb de presión (expresada en °C).
- T<sub>d700</sub>: Temperatura de rocío a los 700 mb de presión (expresada en °C).

#### 2.2.5. Índice T<sub>d500</sub>-T<sub>500</sub>.

Como su nombre lo indica, este índice resulta de la diferencia entre la temperatura de rocío y la temperatura del aire al nivel de 500 mb. Por lo que también puede entenderse como una medida de la cantidad de humedad contenida en este nivel de la atmósfera.

Por su naturaleza, el índice toma valores negativos, indicando menor humedad a medida que su valor se hace menor (más negativo) y viceversa.

#### 2.2.6. Índice CAPE (Energía Potencial Disponible para la Convección).

Este índice se obtiene como un valor integrado que representa la cantidad de energía potencial disponible para que una parcela de aire se eleve adiabáticamente, o en otras palabras, experimente un ascenso convectivo.

Gottlieb (2009) lo define como “el área positiva encerrada entre la temperatura del aire y la temperatura de la parcela en el diagrama termodinámico”.

Se calcula de la siguiente manera:

$$CAPE = g \int_{LCL}^{EL} \frac{\theta' - \theta}{\theta} dz \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Dónde:

- g: Gravedad (m/seg<sup>2</sup>).
- LCL: Nivel de Condensación por ascenso (m).
- EL: Nivel de Equilibrio (m).
- $\theta'$ : Temperatura Potencial de la Parcela (K).
- $\theta$ : Temperatura Potencial del medio ambiente (K).

Tabla 2.  
Clasificación de la Estabilidad Atmosférica con respecto al valor del índice CAPE.  
Tomado de García (2008).

CAPE	Estabilidad
< 0	Estable
0 a 1000	Levemente Inestable
1000 a 2500	Moderadamente Inestable
2500 a 3500	Muy Inestable
> 3500	Extremadamente Inestable

### 2.3. RADIOSONDA.

Los índices de estabilidad atmosférica se calculan a partir de datos de la atmósfera, que son medidos a través de un instrumento denominado radiosonda, el cual está compuesto por diversos dispositivos sensibles a variables meteorológicas como presión, temperatura, humedad, etc. y un transmisor radioeléctrico que le permite enviar la información medida durante su ascenso a una estación de observación ubicada en tierra firme (OMM, 1966).

El instrumento se lanza generalmente en un globo meteorológico inflado de helio o hidrógeno para medir ciertos parámetros atmosféricos a distintos niveles de presión, y es elevado a través de la atmósfera hasta alcanzar una altura aproximada de 30.000 metros, donde se produce el estallido del globo debido a la falta de presión del aire externo a esa altitud. Todos los datos se transmiten a una estación terrestre en la que personal capacitado y calificado se ocupa de descodificarlos y analizarlos.

Las radiosondas modernas se comunican por radio con un ordenador que almacena todas las variables en tiempo real. Las variables más importantes medidas por las

radiosondas modernas son: Presión, altitud, posición geográfica (Latitud/Longitud), temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Algunas también median la concentración de ozono.

Los Servicios Meteorológicos en diversas partes del mundo lanzan entre dos y cuatro radiosondas por día, en los horarios comprendidos por las 00:00 UTC (Tiempo Universal Coordinado), las 6:00 UTC, las 12:00 UTC y las 18:00 UTC para analizar el perfil vertical de la atmósfera en regiones de interés. En Venezuela existen 6 estaciones de radiosonda que permiten medir las condiciones climáticas de altura, temperaturas, vientos y direcciones, ubicadas en zonas estratégicas del país: Ciudad Bolívar (Bolívar), Santa Elena de Uairén (Bolívar), San Antonio (Táchira), San Fernando (Apure), Palo Negro (Aragua) y Carúpano (Sucre).

El lanzamiento de este instrumento constituye un proceso costoso y en la actualidad, ninguna de las estaciones de radiosonda ubicadas en Venezuela está realizándolo; por lo que no se generan sondeos de la atmósfera en ningún punto del territorio nacional. De esta manera, en los últimos años, se ha recurrido cada vez más al uso de radiosondas simulados o virtuales, los cuales se obtienen de modelos numéricos de la atmósfera que interpolan los valores de las variables anteriormente mencionadas en una grilla de puntos compuesta por información medida en diferentes estaciones a nivel global.

#### **2.4. MODELO NUMÉRICO GFS (GLOBAL FORECASTING SYSTEM) Y SISTEMA GLOBAL DE ASIMILACIÓN DE DATOS (GDAS).**

El GFS y el GDAS fueron, respectivamente, el modelo numérico y el sistema utilizado en esta investigación para generar los sondeos virtuales de la atmósfera, cuyos datos permitieron el cálculo de los índices de estabilidad sobre el área de estudio.

El Global Forecasting System (GFS), es un modelo de predicción meteorológica producido por los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica estadounidense (NOAA). Contiene una base de datos que integra docenas de variables atmosféricas y del sistema suelo-

tierra que van, desde temperaturas, vientos y precipitación hasta humedad del suelo y concentración de ozono en la atmósfera. El globo terráqueo, en su totalidad, está cubierto por el modelo GFS a una resolución horizontal base de 28 kilómetros entre puntos de grilla, la cual es utilizada por los pronosticadores operativos que predicen el tiempo a 16 días en el futuro. Por otra parte, la resolución horizontal se reduce a 70 kilómetros entre puntos de cuadrícula para los pronósticos realizados con una validez entre una y dos semanas. Se trata de un modelo acoplado, en constante evolución y mejora, que se compone por cuatro modelos distintos (atmósfera, océano, tierra / suelo y hielo marino), que trabajan juntos para proporcionar una imagen precisa de las condiciones climáticas. Los cambios se realizan con regularidad para mejorar su precisión y rendimiento en los pronósticos (NOAA, s.f).

El GDAS (Global Data Assimilation System) es el sistema utilizado por el modelo GFS para colocar o ubicar los datos observados de aeronaves, estaciones de superficie, boyas, radares, satélites, datos de radiosondas y datos de perfil de viento, sobre la cuadrícula o grilla de puntos, entre los cuales el modelo realiza las interpolaciones necesarias, con el propósito de generar pronósticos meteorológicos con datos observados. (NOAA, s.f).

## **2.5. RADIOSONDA VIRTUAL O SIMULADO.**

Son radiosondas que se obtienen mediante un modelo numérico como el GFS. Se ingresa una información inicial y se obtienen como resultado datos de temperatura del aire, temperatura del punto de rocío y presiones a distintos niveles de la atmósfera. El uso de este tipo de sondeos se ha vuelto cada vez más popular debido al hecho de que pueden obtenerse para cualquier posición geográfica deseada; a diferencia de los sondeos reales que solo pueden obtenerse en las regiones donde existan estaciones de lanzamiento de radiosondas en funcionamiento.

## **2.6. RÉGIMEN DE LLUVIA EN VENEZUELA.**

De acuerdo a Cárdenas, P. et al. (2003), debido a su ubicación geográfica y a ciertos factores como la orografía y la orientación hacia los vientos Alisios, el

territorio de Venezuela puede dividirse en trece regiones distintas en base al régimen de lluvias.

Esta regionalización fue realizada haciendo uso de una técnica estadística de componentes principales del análisis factorial, utilizando para esto un conjunto de 94 estaciones ubicadas a lo largo y ancho del país (Cárdenas, P. et al. 2003).

De esta forma, la división del territorio nacional en regiones con igual régimen de precipitación se muestra en la figura 5. En la tabla 3 pueden apreciarse los estados que integran cada una de las regiones.

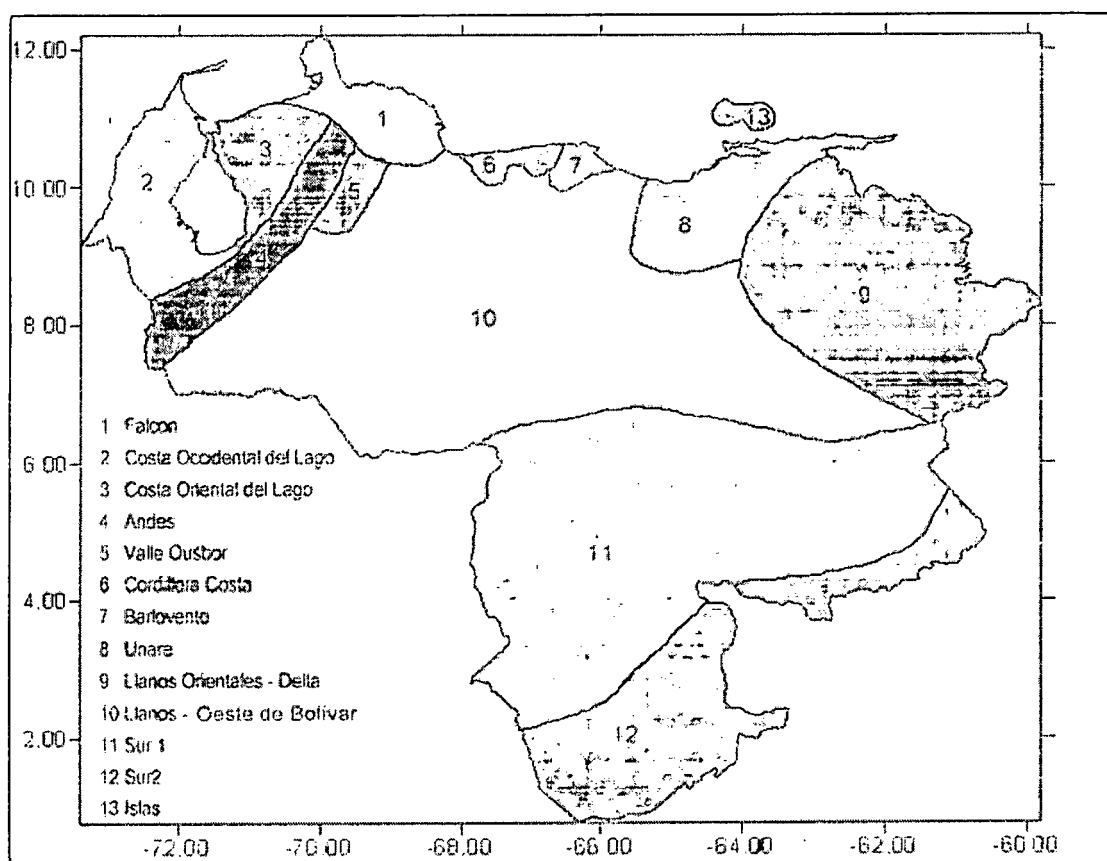


Figura 5. Regiones de Venezuela según el régimen de lluvia. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003)

Tabla 3.

Estados que conforman las regiones según el régimen de lluvias. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003)

Región	Nombre	Estados que la conforman
1	Falcón	Falcón
2	Costa Occidental del Lago	Zulia

3	Costa Oriental del Lago	Zulia y Falcón
4	Andes	Táchira, Mérida, Trujillo, Lara y Falcón
5	Valle Quíbor	Lara
6	Cordillera Costa	Miranda, Aragua y Vargas, incluyendo a Caracas
7	Barlovento	Miranda y Vargas
8	Unare	Sucre, Anzoátegui, Monagas y Guárico
9	Llanos Orientales- Delta	Delta Amacuro, Monagas, Bolívar, Anzoátegui y Sucre
10	Llanos- Oeste de Bolívar	Anzoátegui, Guárico, Apure, Barinas, Portuguesa, Cojedes, Carabobo, Yaracuy, Aragua, Miranda y Bolívar.
11	Sur 1	Bolívar y Amazonas
12	Sur 2	Bolívar y Amazonas
13	Islas	Nueva Esparta y Territorio Insular

#### 4.6.1. Descripción de las regiones.

Las principales características de cada una de las regiones en las que se divide el país en base al régimen de lluvias se detallan en las tablas 4 y 5. La primera, muestra sus características fisiográficas mientras que la segunda incluye los climas presentes en ellas según la clasificación de Köppen.

Tabla 4.  
Características fisiográficas de las regiones según el régimen de lluvias. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003)

Región	Nombre	Ubicación
1	Falcón	Cuencas de los ríos Aroa, Tocuyo, Remedios, y Mitare.
2	Costa Occidental del Lago	Serranía de Perijá, Costa Occidental y Sur del Lago, y cuencas de los ríos Cachurí, Palmar, Apón, Negro, Ana, Catatumbo, Escalante.
3	Costa Oriental del Lago	Sierra San Luis y Costa Occidental del lago, incluyendo las cuencas de los ríos Matícora y Motatan.
4	Andes	Cordillera de los Andes y Sierra Baragua en Lara.
5	Valle Quíbor	Valle del río Urama y cabeceras del río El Tocuyo en el Este de Lara.

6	Cordillera de la Costa	Centro y Oeste del Litoral Central y Caracas.
7	Barlovento	Este del Litoral Central incluyendo Barlovento.
8	Unare	Serranía del Turimiquire y cuencas de los ríos Unare y Tamanaco.
9	Llanos Orientales- Delta	Cuencas de los ríos Caripe, Amaná, Guanipa, Tigre, Morichal Largo, Delta del Orinoco, Serranía de Imataca y río Cuyuní en Bolívar.
10	Llanos- Oeste de Bolívar	Cuenca del Orinoco en Su margen derecha abarcando los Llanos; y cuencas bajas de los ríos Guaníamo, Cuchivero, Caura y Aro, en la región Guayana.
11	Sur 1	Gran Sabana y Cuenca Alta del Caroní, Alto Paragua y Alto Caura, Alto Cuchivero, todos en el estado Bolívar. Además toda la parte norte de Amazonas.
12	Sur 2	Extremo Sur de Bolívar y extremo Sur de Amazonas.
13	Islas	Islas de Venezuela.

Tabla 5.  
Climas presentes en las regiones según el régimen de lluvias. Tomado de Cárdenas, P. et al. (2003)

Nombre	Köppen	Descripción
<b>Falcón</b>	Afi: Tropical de Selva Siempre Lluvioso. Awi: Tropicales de Sabana. Ami: Tropical Monzónico Transicional.	La precipitación media del mes más seco supera siempre los 60 mm. La inestabilidad atmosférica originada por la ITCZ, actúa durante la mayor parte del año, con frecuentes precipitaciones sobre la zona. Su presencia es en zonas de orografía muy particular. Se caracteriza por varios meses continuos secos, aún en años con totales elevados. Es una transición entre los climas Afi y Awi. Se presentan totales anuales altos pero su distribución no es tan regular como en los Afi.
<b>Costa Occidental del Lago</b>	Afi: Tropical de Selva Siempre Lluvioso. Awi: Tropicales de Sabana. Ami: Tropical Monzónico Transicional. Bshi: Tropical Estepario Semiárido.	La inestabilidad atmosférica originada por la ITCZ, actúa durante la mayor parte del año, con frecuentes precipitaciones sobre la zona. El efecto orográfico origina abundantes precipitaciones distribuidas en el año, lo cual origina una temporada Lluviosa extensa. Se caracteriza por varios meses continuos secos aún en años con totales elevados. Es una transición entre los climas Afi de la Serranía de Perijá y Awi en la planicie occidental del Lago. Se presentan totales anuales altos pero su distribución no es tan regular como en los Afi. En la costa Norte, predominan paisajes característicos de las regiones tropicales semiáridas. La estación seca es bastante seca.

<b>Costa Oriental del Lago</b>	<p>Awi: Tropicales de Sabana.</p> <p>Ami: Tropical Monzónico Transicional.</p> <p>Bshi: Tropical Estepario Semiárido</p>	<p>Se caracteriza por varios meses continuos secos aún en años con totales elevados.</p> <p>Es una transición entre los climas Afi del Sur del Lago, con los Awi en la planicie oriental del Lago.</p> <p>Se presentan totales anuales altos pero su distribución no es tan regular como en los Afi.</p> <p>En la costa Norte, predominan paisajes característicos de las regiones tropicales semiáridas. La estación seca es bastante seca.</p>
<b>Andes</b>	<p>Chfi: Templado de Altura Siempre Lluvioso.</p> <p>Chwi: Templado de Altura, Sequía cerca del Solsticio de Invierno.</p> <p>ETHi: Páramo de Altura.</p>	<p>Predominan los climas templados de altura. Se aprecia una distribución de la precipitación bimodal.</p>
<b>Valle Quíbor</b>	<p>Bshi: Tropical Estepario Semiárido.</p>	<p>En el Valle del río Urama y cabeceras del río El Tocuyo en el Este de Lara, predominan paisajes característicos de las regiones tropicales semiáridas. La estación seca es bastante seca.</p>
<b>Cordillera de la Costa</b>	<p>Ami: Tropical Monzónico Transicional.</p> <p>Awi: Tropicales de Sabana.</p> <p>Chwi: Templado de Altura.</p>	<p>La diferente orografía con zonas costeras, laderas de la cordillera de la costa, zonas altas de las montañas y valles entre montañas, permiten una variedad de climas.</p>
<b>Barlovento</b>	<p>Afi: Tropical de Selva Siempre Lluvioso.</p> <p>Ami: Tropical Monzónico Transicional.</p>	<p>La precipitación media del mes más seco supera siempre los 60 mm. La inestabilidad atmosférica originada por la ITCZ, actúa durante la mayor parte del año, con frecuentes precipitaciones sobre la zona. La influencia de los Nortes origina una distribución de lluvias extensa durante el año, abarcando los meses del fin del año.</p> <p>Es una transición entre los climas Afi y Awi. Se presentan totales anuales altos pero su distribución no es tan regular como en los Afi.</p>
<b>Unare</b>	<p>Bshi: Tropical Estepario Semiárido.</p> <p>Awi: Tropicales de Sabana.</p> <p>Chfi: Templado de Altura Siempre Lluvioso.</p>	<p>En las costas de Anzoátegui y costa Oeste de Sucre, predominan paisajes característicos de las regiones tropicales semiáridas. La estación seca es bastante seca.</p> <p>Se caracterizan por varios meses continuos secos aún en años con totales elevados</p> <p>En las tierras altas del Turimiquire, predominan lluvias orográficas.</p>
<b>Llanos Orientales-Delta</b>	<p>Afi: Tropical de Selva Siempre Lluvioso.</p> <p>Ami: Tropical Monzónico Transicional.</p>	<p>La precipitación media del mes más seco supera siempre los 60 mm. La inestabilidad atmosférica originada por la ITCZ, actúa durante la mayor parte del año, con frecuentes precipitaciones.</p> <p>Es una transición entre los climas Afi y Awi. Se presentan totales anuales altos pero su distribución no es tan regular como en los Afi.</p>

Llanos- Oeste de Bolívar	Awi: Tropicales de Sabana.	Se caracteriza por varios meses continuos secos.
Sur 1	Afi: Tropical de Selva Siempre Lluvioso. Awi: Tropicales de Sabana. Ami: Tropical Monzónico Transicional.	La precipitación media del mes más seco supera siempre los 60 mm. La inestabilidad atmosférica originada por la ITCZ, actúa durante la mayor parte del año, con frecuentes precipitaciones sobre la zona. Se caracteriza por varios meses continuos secos aún en años con totales elevados. Es una transición entre los climas Afi y Awi. Se presentan totales anuales altos pero su distribución no es tan regular como en los Afi.
Sur 2	Afi: Tropical de Selva Siempre Lluvioso	La precipitación media del mes más seco supera siempre los 60 mm. La inestabilidad atmosférica originada por la ITCZ, actúa durante la mayor parte del año, con frecuentes precipitaciones sobre la zona.

## 2.8. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) DE UN FACTOR.

Según Pardo y Ruiz (2005) El ANOVA de un factor permite comparar varios grupos en una variable cuantitativa.

En esta técnica, se tiene una variable categórica (nominal u ordinal) que define los grupos que se desea comparar y se le llama independiente o factor (se denota como VI). Mientras que existe otra variable cuantitativa (de intervalo o razón) en la que se realiza la comparación de los grupos y se le llama dependiente (VD).

“En el ANOVA de un factor se pone a prueba la hipótesis de que las medias poblacionales (las medias de la VD en cada nivel o grupo de la VI) son iguales. Si las medias poblacionales son iguales, eso significa que los grupos no difieren en la VD y que, en consecuencia, la VI o factor es independiente de la VD” (Pardo y Ruiz, 2005).

La estrategia para determinar esta diferencia de medias en el ANOVA consiste en obtener el estadístico F, que refleja el grado de igualdad o parecido entre las medias poblacionales que se están comparando. Si las medias poblacionales son iguales, el estadístico F tomará un valor cercano a 1; por el contrario, si las medias son distintas F tomará un valor mayor que 1. Cuanto mayor sea F, mayor será el grado de diferencia entre las medias.

Por otro lado, para determinar qué tan significativa resulta la diferencia entre las medias de los grupos, se analiza el valor del nivel crítico asociado a F. Si dicho valor

es menor que 0,05 se concluye que las medias son significativamente distintas; en caso contrario, no se podrá afirmar que las medias comparadas difieran entre sí (Pardo y Ruíz, 2005).

## 2.9. CORRELACIÓN ENTRE DOS VARIABLES.

El grado de parecido o variación conjunta existente entre dos variables cualesquiera puede determinarse mediante una técnica estadística denominada correlación (Martín, R., s.f), consistente en el cálculo de un valor numérico que representa la medida de asociación entre dichas variables. Este valor se conoce con el nombre de coeficiente de correlación.

### 2.9.1. Coeficiente de correlación de Pearson y Spearman.

El coeficiente de correlación de Pearson, es el más comúnmente utilizado y se define como “una medida de la asociación lineal entre dos variables x e y” (Martín, R., s.f).

Así mismo, puede entenderse como la relación entre la covarianza de la muestra de las dos variables y el producto de las desviaciones estándar (Wilks, 2006). Como puede verse en su expresión de cálculo:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x'_i y'_i)}{[\sum_{i=1}^n (x'_i)^2]^{1/2} [\sum_{i=1}^n (y'_i)^2]^{1/2}} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Dónde:

- $r_{xy}$ : Coeficiente de correlación Pearson.
- x: Variable 1.
- y: Variable 2.
- n: Tamaño de la muestra.

Wilks (2006) indica que el coeficiente de Pearson toma valores entre -1 y 1.

Cuando  $r_{xy} = -1$ , existe una relación lineal negativa perfecta entre las dos variables; en otras palabras, x e y se encuentran relacionadas de manera inversa. Por otro lado, cuando  $r_{xy} = 1$ , existe una asociación lineal positiva perfecta entre ambas.

Es importante acotar que el coeficiente de correlación estadístico no proporciona explicación alguna sobre la causalidad de la relación entre ambas variables; por lo menos no en un sentido físico. Es decir, únicamente representa una medida de la asociación entre ellas; la razón física o el porqué de la existencia de dicha asociación no puede deducirse de su valor.

El coeficiente de Pearson presenta ciertas limitaciones. Una de ellas es que no se considera un coeficiente robusto, puesto que si dos variables se encuentran fuertemente relacionadas, pero la asociación entre ellas no es lineal, Pearson subestimaré la fuerza de la relación al proporcionar un valor menor al que realmente existe entre ellas (Wilks, 2006). En estos casos suele recurrirse a otro coeficiente más robusto y resistente que el de Pearson, conocido como el coeficiente de correlación de Spearman. Este se define, de acuerdo a Martín, R. (1990) como una “versión no paramétrica del coeficiente de correlación de Pearson, que se basa en los rangos de los datos en lugar de sus valores reales” y que “resulta apropiada para datos ordinales, o los de intervalo que no satisfagan el supuesto de normalidad”. Así mismo, resulta bastante útil para estimar la asociación entre variables que presentan una relación no lineal.

Este coeficiente toma valores entre -1 a 1, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$r_{rank} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Wilks (2006) indica que esta ecuación se obtiene a través de la simplificación del cómputo de la ecuación de Pearson, sabiendo que el promedio de integrales de 1 a  $n$  en una serie de valores es igual a  $(n + 1)/2$  y su varianza es igual a  $n(n^2 - 1)/12(n - 1)$ . Donde el valor de  $D_i$  se refiere a la diferencia de rango entre los  $i$ -ésimos pares de datos, además en casos cuando un dato particular se repite más de una vez, son asignados a su rango promedio antes de computar la diferencia.

### **CAPÍTULO III.**

#### **MARCO METODOLÓGICO.**

La metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en esta investigación, se describe a continuación:

#### **3.1. ASPECTOS PRELIMINARES.**

##### **3.1.1. Nivel y diseño de la investigación.**

Según Arias (1999), el nivel de la investigación constituye “el grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno” (pp. 19).

La presente investigación se realizó con un nivel descriptivo, ya que se define el comportamiento de los diferentes índices de estabilidad utilizados sobre distintas regiones de estudio definidas en el territorio nacional.

Por otro lado, el diseño de investigación se define como “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado” (Arias, 1999, pp. 20).

El diseño adoptado en este estudio corresponde a una investigación de campo, la cual consiste, según Arias, en “la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” (pp. 21). Se toma esta estrategia debido a que los datos de precipitación utilizados para determinar la relación entre los índices y la ocurrencia de la lluvia, se obtuvieron directamente de las estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas de estudio.

### 3.1.2. División del área de estudio y selección de estaciones.

Para evaluar la relación entre los índices de estabilidad atmosférica seleccionados y la ocurrencia de la precipitación sobre Venezuela, se dividió el territorio nacional en trece (13) regiones geográficas de acuerdo a los diferentes regímenes de lluvia que ocurren en el país (ver figura 5). Esta regionalización fue realizada por Cárdenas, Martelo, García y Gil (2003) en un estudio dirigido a determinar el impacto del Niño Oscilación del Sur (ENOS) sobre Venezuela. En la tabla 3 del capítulo anterior, pueden observarse los estados que conforman cada una de las 13 regiones.

La selección de las estaciones meteorológicas utilizadas en esta investigación constituyó un proceso de muestreo no probabilístico e intencional, puesto que se basó en una serie de criterios y juicios de los investigadores (Arias, 1999). Este muestreo se realizó mediante el análisis y la revisión exhaustiva del registro de precipitaciones diarias de todas las estaciones del país, correspondiente al período 2010-2015. Dicho registro fue suministrado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), y permitió identificar las estaciones con mayor disponibilidad de datos dentro del período mencionado, con el fin de obtener la mayor cantidad de información para el desarrollo de los objetivos.

Es importante acotar que ninguna de las estaciones suministradas por el INAMEH, ubicadas en la región Sur 2 (región 12) presentó información suficiente para ser utilizada en esta investigación; por lo que se solicitaron datos de lluvia a La Corporación Eléctrica Nacional para cubrir esta región, no obstante, la solicitud nunca fue atendida. De esta forma, la metodología a describir en este apartado no pudo ser aplicada en esta región.

Debido a que la división utilizada corresponde a una zonificación por regímenes de precipitación, se asume que el comportamiento de la lluvia es similar para todos los puntos ubicados dentro de una misma región. Se seleccionó entonces una sola estación por cada región, dando como resultado una muestra de 12 estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en todo el Territorio Nacional. De esta manera, los resultados obtenidos para el área de influencia de una estación en

particular serán también válidos para el resto del área perteneciente a la región donde ella se ubique.

Con base en todo esto, se procuró, en la medida de lo posible, la selección de estaciones que no se encontraran bajo la influencia de condiciones meteorológicas locales muy particulares (estaciones ubicadas en laderas de montañas, cerca de la costa, etc.) que pudieran afectar de manera significativa la validez de los resultados para el resto de la región. Así mismo, las estaciones que conformaron la muestra se ubicaron en la zona central de las regiones, para evitar los errores correspondientes a los bordes límites.

### 3.1.3. Selección del período de estudio.

Como se ha demostrado en numerosas investigaciones a nivel nacional e internacional, los índices de estabilidad atmosférica no funcionan igual para las diferentes épocas del año; por lo que resulta necesaria la escogencia de un período de meses específico para evaluar su comportamiento en las distintas regiones del país. De esta forma, se realizó el estudio para los meses de Julio, Agosto y Septiembre, para un período de tres años, el cual, debido a la disponibilidad de datos, resultó diferente para cada región. El trimestre seleccionado corresponde a la época lluviosa en Venezuela, lo que garantizó la ocurrencia de eventos de lluvia.

En las tablas 6 y 7 se muestran respectivamente las estaciones seleccionadas para cada región y el período de estudio correspondiente a cada una de ellas.

Tabla 6.  
Estaciones meteorológicas que conformaron la muestra.

Región	Serial	Estación	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Estado
1	FA00216CC1	Pueblo Nuevo-Paraguáná	80	11,95	-69,91	Falcón
2	ZU01071CC1	Villa del Rosario	86	10,33	-72,29	Zulia
3	FA01029CC1	Mene Mauroa	90,00	10,69	-71,05	Falcón
4	ME03005CP1	Páramo el Quemado	2212,00	8,25	-71,73	Mérida
5	LA01265CP1	Bobare	660,00	10,29	-69,46	Lara
6	AR01444CP1	Pie del Cerro	780,00	10,32	-67,32	Aragua
7	MI05048CP1	La Macanilla	590,00	10,12	-66,52	Miranda
8	SU01873CP1	Cocollar	834,00	10,18	-63,82	Sucre

9	BO03933CC5	Caroní Macagua	79,00	8,28	-62,65	Bolívar
10	GU02448CP1	Ortiz	205,00	9,62	-67,28	Ortiz
11	BO06940CC5	Karum	320,00	5,32	-63,40	Bolívar
12	BO80462AS3	Santa Elena Uairén Aeropuerto-OMM	907,00	4,60	-61,14	Bolívar
13	NE00791CP1	Boca del Pozo	4,00	11,01	-64,38	Nueva Esparta

Tabla 7.

Período de años correspondiente a las estaciones meteorológicas que conformaron la muestra.

Región	Estación	Período de años
1	Pueblo Nuevo-Paraguaná	2012,2013, 2015
2	Villa del Rosario	2012-2014
3	Mene Mauroa	2012-2014
4	Páramo el Quemado	2012-2014
5	Bobare	2012-2014
6	Pie del Cerro	2012-2014
7	La Macanilla	2012-2014
8	Cocollar	2012-2014
9	Caroní Macagua	2011,2012, 2014
10	Ortiz	2012,2013, 2015
11	Karum	2012-2014
13	Boca del Pozo	2012-2014

### 3.2. OBTENCIÓN DE DATOS DE RADIOSONDAS.

Los datos necesarios para el cómputo de los índices de estabilidad se obtuvieron de sondeos virtuales realizados por el modelo Global de Asimilación de Datos (GDAS), de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Estos sondeos se encuentran disponibles en el archivo meteorológico del Air Resources Laboratory (ARL), al cual se puede acceder vía online a través de la siguiente página web:

<http://www.ready.noaa.gov/READYamet.php>

Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del sitio de interés, expresadas en décimas de grado, representaron el único dato de entrada requerido por el modelo para generar el sondeo. De esta manera se generaron radiosondas para las diferentes estaciones de estudio, correspondientes a las 12:00 UTC (8:00 am HLV), de cada día, para el trimestre Julio-Septiembre, de los años que conformaron el período de estudio de cada región. Los radiosondas simulados proporcionaron los valores directos diarios de los índices CAPE y Td850, y los datos diarios de temperatura del aire (C°)

y temperatura de rocío (C°), a distintos niveles de la atmósfera, que fueron utilizados para el cálculo de los demás índices de estabilidad.

A continuación se muestra un ejemplo con los datos más importantes proporcionados por el radiosonda simulado del 01 de Julio de 2012, a las 12:00 UTC, para la estación Pueblo Nuevo-Paraguaná (Región 1):

Tabla 8.  
Radiosonda simulado con el GDAS para la región 1 (01/07/12).

YR: 2012	MON: 07	DAY: 01	HOOR: 12	LAT.: 11.00	LON.: -69.00
CAPE		0.5120E+03			
Press (hpa)	hgt(m)	Temp (°c)	Dew pt (°c)	Wnd dir (deg)	Wnd spd (m/s)
991.	193.	25.0	20.6	244.0	1.3
975.	342.	22.9	20.1	213.9	1.3
950.	570.	22.0	19.1	147.1	1.6
925.	801.	20.9	17.7	112.9	2.9
900.	1039.	19.6	16.3	107.0	3.8
850.	1530.	17.4	15.0	107.4	5.4
800.	2046.	14.9	11.5	105.7	6.9
750.	2591.	12.0	8.3	102.5	8.6
700.	3167.	8.8	5.5	98.0	9.7
650.	3777.	5.1	1.8	99.2	9.7
600.	4427.	0.9	-2.8	108.6	8.6
550.	5121.	-3.2	-7.4	116.0	7.3
500.	5870.	-7.4	-14.3	112.5	7.2
450.	6684.	-11.8	-21.8	103.1	8.5
400.	7576.	-17.7	-22.6	115.7	9.3
350.	8561.	-24.6	-24.6	161.2	11.6
300.	9664.	-33.1	-34.5	177.9	6.8
250.	10919.	-43.7	-45.7	242.7	3.4
200.	12374.	-56.4	-56.5	233.7	8.4
150.	14150.	-68.1	-71.7	282.1	7.9
100.	16534.	-73.2	-79.5	117.8	5.2
50.	20664.	-64.4	-999.0	86.6	16.0
20.	26436.	-45.7	-999.0	91.0	35.7

En la tabla 9 se muestra la cantidad total de sondeos generados para cada una de las estaciones meteorológicas de estudio:

Tabla 9.  
Número de sondeos virtuales generados para cada estación meteorológica de estudio.

Región	Estación	Cantidad de sondeos virtuales
1	Pueblo Nuevo-Paraguaná	273
2	Villa del Rosario	270
3	Mene Mauroa	274

4	Páramo el Quemado	276
5	Bobare	276
6	Pie del Cerro	261
7	La Macanilla	275
8	Cocollar	275
9	Caroní Macagua	249
10	Ortiz	275
11	Karum	274
13	Boca del Pozo	274

### 3.3. OBTENCIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN.

Los datos de precipitación diaria utilizados se obtuvieron del registro histórico de lluvias diarias suministrado por el INAMEH, en el cual, la precipitación del día corresponde a la ocurrida entre las 8:00 a.m. (HLV) del día en cuestión y las 8:00 a.m. (HLV) del día siguiente.

### 3.4. CONTROL DE CALIDAD DE DATOS.

Los datos de precipitación diaria fueron previamente sometidos a un proceso de calidad en tiempo casi real, que permitió identificar y eliminar los valores aberrantes y/o sin sentido físico de la precipitación en las distintas estaciones meteorológicas.

De igual forma, los datos correspondientes a los sondeos simulados por el GDAS fueron sometidos a un proceso de revisión que permitió identificar valores aberrantes y/o sin sentido físico de CAPE, de temperatura de ambiente (T) y de temperatura de rocío (Td), que fueron luego excluidos en el proceso de cálculo de los índices.

En este proceso, se comprobó que la temperatura de rocío al nivel de 500 mb (Td500), presenta con frecuencia errores en los sondeos generados por el sistema GDAS; mostrando valores notablemente aberrantes incluso hasta en el 50% de los sondeos generados para las regiones de estudio. De esta manera, tomando en cuenta que los índices Td500-T500 y W incluyen el valor de esta temperatura en sus expresiones de cálculo, y que no es posible corregir las series de datos debido a la cantidad de valores erróneos que se generaron, ambos índices se excluyeron del análisis. A continuación se muestra uno de los sondeos obtenidos para la región de la Islas (región 13), con el error en el valor de Td500 sombreado.

Tabla 10.

Radiosonda simulado con el GDAS para la región 13 (28/09/2014).

YR: 2014	MON: 09	DAY: 28	HOOR: 12	LAT.: 11.01	LON.: -64.38
CAPE		0.1556E+04			
Press (hpa)	hgt(m)	Temp (°c)	Dew pt (°c)	Wnd dir (deg)	Wnd spd (m/s)
1010.	20.	27.5	23.8	114.6	7.4
1000.	109.	26.6	22.1	115.3	8.2
975.	332.	24.7	21.1	117.4	8.9
950.	560.	23.4	19.3	122.2	9.0
925.	794.	23.4	16.3	129.0	9.4
900.	1033.	22.8	13.3	130.5	9.6
850.	1529.	20.3	7.6	126.6	10.2
800.	2049.	17.2	4.1	121.6	10.7
750.	2596.	13.5	3.1	119.1	10.7
700.	3173.	9.4	-0.2	116.7	10.3
650.	3783.	5.8	-8.9	112.4	9.5
600.	4434.	2.8	-21.1	100.8	8.8
550.	5133.	-0.9	-33.9	92.3	8.8
500.	5886.	-5.2	-49.4	87.5	8.1
450.	6704.	-10.6	-51.1	84.2	6.5
400.	7599.	-16.6	-40.1	111.4	5.2
350.	8589.	-23.8	-37.3	143.5	6.2
300.	9694.	-33.0	-35.5	189.8	5.6
250.	10952.	-41.7	-41.7	239.1	10.5
200.	12424.	-54.0	-54.0	251.7	12.1
150.	14210.	-67.9	-67.9	262.1	30.4
100.	16558.	-77.7	-79.0	261.1	13.7
50.	20648.	-65.1	-999.0	107.3	11.3
20.	26370.	-55.3	-999.0	91.5	29.3

Se observa que la temperatura de rocío a los 500 mb toma el valor de -49,4 °C, el cual solo es posible con valores de humedad relativa inferiores a 5% dado que la temperatura del aire es de -5.2 °C; lo que videntemente carece de sentido físico sobre el país.

### 3.5. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

Una vez obtenidos los radiosondas virtuales diarios correspondientes al período de estudio para las distintas estaciones, se procedió a realizar el cálculo de los índices KI y TT, haciendo uso de las expresiones 4.1 y 4.2, respectivamente; las cuales

representan una suma algebraica de valores de temperatura del aire (T) y temperatura de rocío (Td) a distintos niveles de la atmósfera.

### 3.6. MANEJO DE DATOS DE LLUVIA.

Con el fin de analizar la relación entre el valor de los índices y la ocurrencia de la lluvia, los valores de precipitación diaria expresados en milímetros (mm) se transformaron en datos binarios, mediante la definición de una variable dicotómica P1, que toma los siguientes valores:

0: Para días sin lluvia (Precipitación = 0 mm).

1: Para días con lluvia (Precipitación > 0 mm).

#### Análisis de correlaciones

Como primera aproximación a la magnitud de la relación existente entre los índices de estabilidad atmosférica y la ocurrencia de la lluvia se determinaron, mediante el uso del programa estadístico SPSS para el manejo de los datos, los coeficientes de correlación (Pearson y/o Spearman) entre cada uno de los índices y la variable binaria P1.

En la tabla 11 se muestran, como ejemplo, los valores de dichos coeficientes obtenidos para la estación de Ortiz, Guárico (región 10):

Tabla 11.

Coefficientes de correlación entre los índices de estabilidad atmosférica y la variable binaria P1 de la estación Ortiz.

Índice	P1
KI	0,36512103*
TT	0,09897635
CAPE	-0,11780974
Td850	0,20650062*

Las celdas marcadas con un asterisco (\*) representan las correlaciones significativas.

### 3.7. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Los datos fueron igualmente sometidos a un análisis de varianza que permitió explicar el comportamiento de los índices (variables dependientes), a partir de la

variable independiente o categórica P1, que permitió categorizar los datos en dos grupos:

Grupo 0: Días sin lluvia.

Grupo 1: Días con lluvia.

De esta manera, el análisis consistió básicamente en la comparación de las medias de ambos grupos (medias poblacionales), para determinar si realmente existe una diferencia significativa entre los valores de los índices para los días lluviosos y los días no lluviosos.

En la siguiente tabla se muestra, como ejemplo, el ANOVA calculado mediante el programa SPSS, para la estación Ortiz de Guárico (Región 10):

Tabla 12.  
Análisis de varianza de la estación Ortiz.

Índice	Grupo	N	Media	Mínimo	Máximo	F	Significancia
KI	0	167	31,74	13,8	37,7	35,233	8,8524E-09*
	1	108	34,53	23,3	38,9		
TT	0	167	43,39	38,9	46,9	2,109	0,14756607
	1	108	43,66	39,4	46,3		
CAPE	0	167	439,65	0	1051	2,312	0,12956576
	1	108	391,30	35,02	1737		
Td850	0	167	14,23	10,8	16,7	12,160	0,00056886*
	1	108	14,67	12,1	16,5		

Las celdas marcadas con un asterisco (\*) representan los valores del nivel crítico asociado a F que son menores que 0,05 (medias significativamente distintas).

### 3.8. RECORRIDO DE MEDIAS Y RANGO DE VARIABLES

Otra herramienta importante utilizada en el análisis de la relación entre los índices y la lluvia consistió en la elaboración, mediante el uso del programa SPSS, de dos gráficos distintos para cada índice.

El primer gráfico consistió en el recorrido de la media, para ambos grupos de P1, a un intervalo de confianza del 95%; mientras que el segundo consistió en el rango de valores en los que se movió el índice, igualmente para ambos grupos de P1.

El ANOVA de un factor permite determinar el grado de diferencia entre las medias poblacionales, no obstante, aunque estas resulten significativamente distintas, es indispensable analizar el rango de valores en los que se mueve el índice, puesto que si este resulta similar para ambos grupos (días con lluvia y días sin lluvia), no

será posible interpretar los valores que tome el índice para pronosticar la ocurrencia de la lluvia. En la figura 6 se muestran, a modo de ejemplo, los gráficos correspondientes al recorrido de la media y rango de valores del índice KI, para la estación Ortiz:

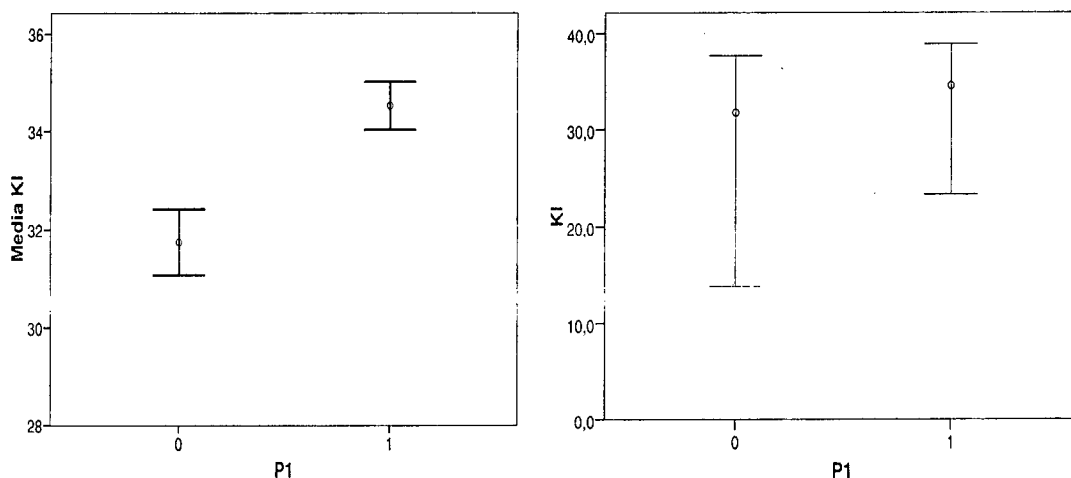


Figura 6. Ejemplo de recorrido de media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice KI, para la variable P1, en la región 9.

### 3.9. ELABORACIÓN DE HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA

Adicionalmente, se elaboraron gráficos de histograma de frecuencias para cada índice, con el fin de analizar la distribución de valores dentro del rango y determinar la tendencia de los mismos para los días sin lluvia y los días con lluvia (valores 0 y 1 de la variable P1).

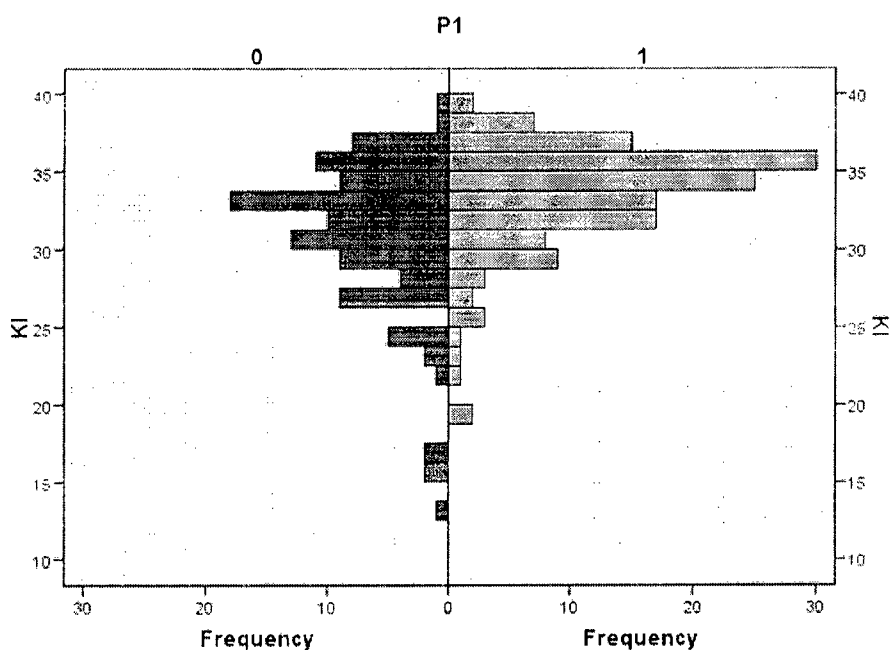


Figura 7. Ejemplo de histograma de frecuencias del índice KI para la región 9.

### 3.10. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA Y LA OCURRENCIA DE LA LLUVIA EN LOS DOS DÍAS SIGUIENTES.

Fenómenos meteorológicos como vaguadas u ondas tropicales provocan, durante su paso sobre una región determinada, condiciones de inestabilidad en la atmósfera, las cuales pueden mantener su influencia sobre el área durante varios días consecutivos, de acuerdo al tiempo de actividad del fenómeno. No obstante, es posible que el fenómeno en cuestión, a pesar de ocasionar un cambio en las condiciones de estabilidad, no genere precipitaciones desde el primer instante de tiempo de su ingreso en la región, sino que la ocurrencia de la lluvia presenta un retardo o “lag” con respecto al incremento de la inestabilidad en el área. De esta manera, los índices de estabilidad tomarán valores que indicarán el aumento en la inestabilidad de la atmósfera, aun cuando no esté ocurriendo precipitación alguna al momento, y esta se genere mucho después del instante en que se calculó el índice.

Con base en esto, se realizó el análisis de la relación existente entre los valores de los índices y la ocurrencia de la lluvia de los dos días siguientes, mediante la

inclusión de dos variables: Precipitación2 y Precipitación3, las cuales se definen de la siguiente manera:

Precipitación2: Lluvia medida al día siguiente del valor del índice (día2).

Precipitación3: Lluvia medida a los dos días siguientes del valor del índice (día 3).

Ambas variables se transformaron en binarias mediante la definición de dos variables dicotómicas P2 y P3, que toman los siguientes valores:

P2:

0: Para día2 sin lluvia (Precipitación = 0 mm).

1: Para día2 con lluvia (Precipitación > 0 mm).

P3:

0: Para día3 sin lluvia (Precipitación = 0 mm).

1: Para día3 con lluvia (Precipitación > 0 mm).

Correlaciones y análisis de varianza

De esta manera, se obtuvieron los coeficientes de correlación, y el análisis de varianza (ANOVA) entre los índices de estabilidad y las variables P2 y P3, para todas las regiones. En la siguiente tabla se muestran las correlaciones obtenidas para la estación Ortiz.

Tabla 13.

Coefficientes de correlación entre los índices de estabilidad atmosférica y las variables binarias P2 y P3, de la estación Ortiz.

Índice	P2	P3
KI	0,08807923	0,06941281
TT	-0,097099868	-0,05947966
CAPE	-0,140930841*	-0,12606393*
Td850	0,150088387*	0,10073031

Las celdas marcadas con un asterisco (\*) representan las correlaciones significativas.

En las tablas 14 y 15 se muestran, respectivamente, los análisis de varianza obtenidos con las variables categóricas P2 y P3.

Tabla 14.

Análisis de varianza entre los índices y P2, para la estación Ortiz.

Índice	Grupo	N	Media	Mínimo	Máximo	F	Significancia
KI	0	167	32,58	17,1	37,8	1,815	0,17900952
	1	108	33,25	13,8	38,9		
TT	0	167	43,60	38,9	46,9	1,886	0,17077825
	1	108	43,35	39,6	46,3		

CAPE	0	167	443,38	0	1051	3,891	0,04955047*
	1	108	381,21	0	1737		
Td850	0	167	14,28	10,8	16,5	6,291	0,01271236*
	1	108	14,60	12,1	16,7		

Las celdas marcadas con un asterisco (\*) representan los valores del nivel crítico asociado a F que son menores que 0,05 (medias significativamente distintas).

Tabla 15.

Análisis de varianza entre los índices y P3, para la estación Ortiz.

Índice	Grupo	N	Media	Mínimo	Máximo	F	Significancia
KI	0	167	32,66	17,1	37,7	0,905	0,34217804
	1	108	33,14	13,8	38,9		
TT	0	167	43,57	38,9	46,9	0,799	0,37217691
	1	108	43,40	39,4	46,5		
CAPE	0	167	439,90	0	1051	2,840	0,0930665
	1	108	386,67	0	1737		
Td850	0	167	14,32	10,8	16,5	2,798	0,09550306
	1	108	14,54	12,1	16,7		

Las celdas marcadas con un asterisco (\*) representan los valores del nivel crítico asociado a F que son menores que 0,05 (medias significativamente distintas).

### 3.10.1. Gráficos de recorrido de media y rango

Adicionalmente, se elaboraron los gráficos correspondientes al recorrido de la media a un intervalo de confianza del 95% y al rango de cada uno de los índices para los grupos 0 y 1 de las variables P2 y P3.

### 3.10.2. Gráficos de histograma de frecuencias.

Así mismo, se graficaron los histogramas de frecuencia para las variables dicotómicas P2 y P3, para complementar el análisis de la relación entre los índices y la ocurrencia de la lluvia.

## 3.11. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA Y LA OCURRENCIA DE LA LLUVIA POR MES.

Es indiscutible el hecho de que los índices de estabilidad presentan diferente comportamiento a lo largo del año, por consiguiente, el análisis de su relación con la ocurrencia de la lluvia debe realizarse indudablemente por períodos, que en la

mayoría de las investigaciones a nivel nacional, han estado conformados por dos o tres meses.

En la presente investigación, adicional al análisis mostrado en las secciones anteriores correspondiente al trimestre julio-septiembre, se analizó el comportamiento de los índices para cada uno de los tres meses en particular. De esta manera, se obtuvieron los coeficientes de correlación, el análisis de varianza (ANOVA) y los gráficos de recorrido de media, rango de los índices e histograma de frecuencias para las variables P1, P2 y P3 en los meses julio, agosto y septiembre, por separado. De modo que pudiera determinarse el grado de dependencia mensual que presentan los índices con la ocurrencia de la lluvia para los meses en cuestión.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentan en este capítulo, organizados en tablas y figuras que muestran los valores obtenidos en las correlaciones y los análisis de varianza (ANOVA), y los gráficos de recorrido de media, rango de variable e histogramas de frecuencia, realizados en las distintas fases que conformaron la metodología aplicada.

A modo de ejemplo, se muestran los gráficos analizados para la región 6. Los gráficos correspondientes al resto de las regiones pueden consultarse en el apéndice anexo a este informe.

### 4.1. REGIÓN 6:

#### Trimestre Julio-Septiembre:

Tabla 16.  
Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Julio-Sep).

Jul-Sep Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,38169	39,890	0,0000000	0,14193	5,078	0,0251150	0,00815	0,005	0,9435558
TT	0,23788	15,535	0,0001043	0,12066	3,649	0,0572491	0,13154	4,366	0,0376730
CAPE	0,06429	1,075	0,3007737	0,14616	5,392	0,0210462	0,05850	0,852	0,3569614
Td850	0,30839	27,221	0,0000004	0,12522	3,935	0,0484051	0,10297	2,658	0,1043269

\*Las celdas sombreadas indican que el valor es significativo.

P1: Todos los índices, excepto CAPE, muestran correlación significativa y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable independiente. Se deduce entonces la existencia de una relación de dependencia entre estos índices y la variable.

P2: Los índices KI, CAPE y Td850 manifiestan correlación significativa e igualmente, un valor del nivel crítico en el ANOVA significativo. Se evidencia entonces una relación de dependencia con la variable P2. El resto de los índices no muestra relación importante con la variable.

P3: TT resultó el único índice en presentar medias poblacionales significativamente diferentes para los grupos 0 y 1 (nivel crítico de ANOVA menor que 0,05) y un coeficiente de correlación significativo. Por lo que se evidencia una relación importante con la variable categórica.

### Análisis de recorrido de media, rango de variable e histograma de frecuencias:

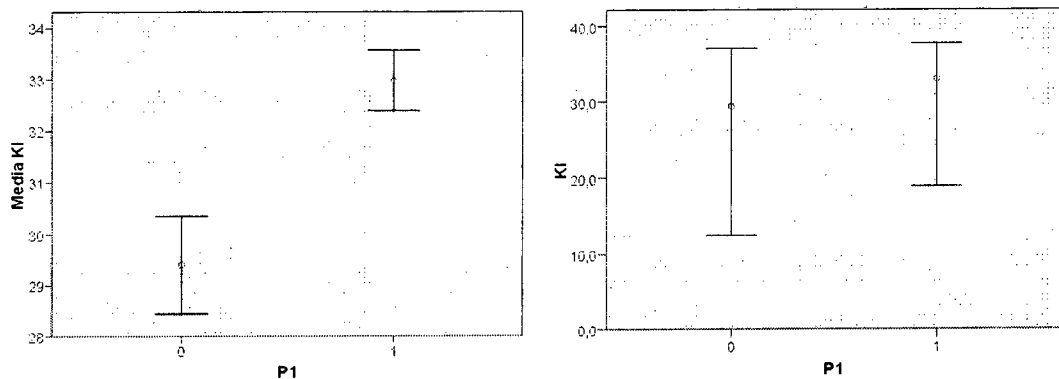


Figura 8. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y de valores (derecha) del índice KI para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

Las medias se aprecian significativamente alejadas entre sí para los grupos 0 y 1, lo que indica una notable influencia de la variable P1 sobre el valor del índice. Por otro lado, el recorrido del índice presenta una importante intersección, no obstante, valores del índice por debajo de los 18,9 °C corresponden únicamente a días sin lluvia (P1 = 0).

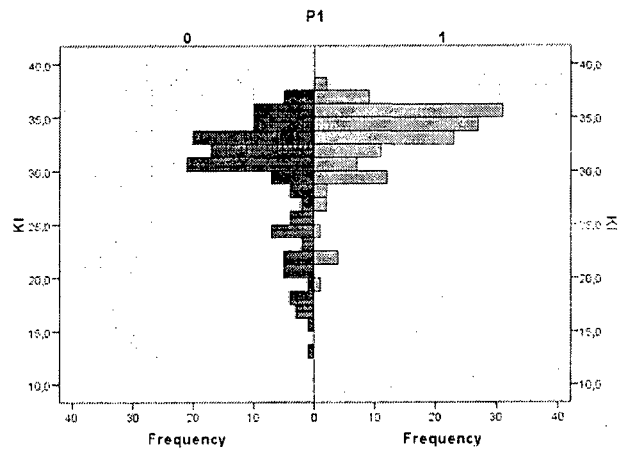


Figura 9. Histograma de frecuencias del índice KI para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

Puede notarse que la distribución de los valores en el rango resulta distinta para los grupos 0 y 1 de la variable. El índice presenta una clara tendencia a ubicarse entre los 33 y 36 °C para los días con lluvia y entre los 30 y 34 °C para los días sin lluvia. Así mismo, se observa que valores por debajo de los 26 °C aproximadamente, corresponden, en su mayoría, a días sin lluvia.

Con fines de evitar sobrecargar el análisis, el resto de los histogramas de frecuencia se excluyen de esta sección y se muestran, para su consulta, en el apéndice tal...

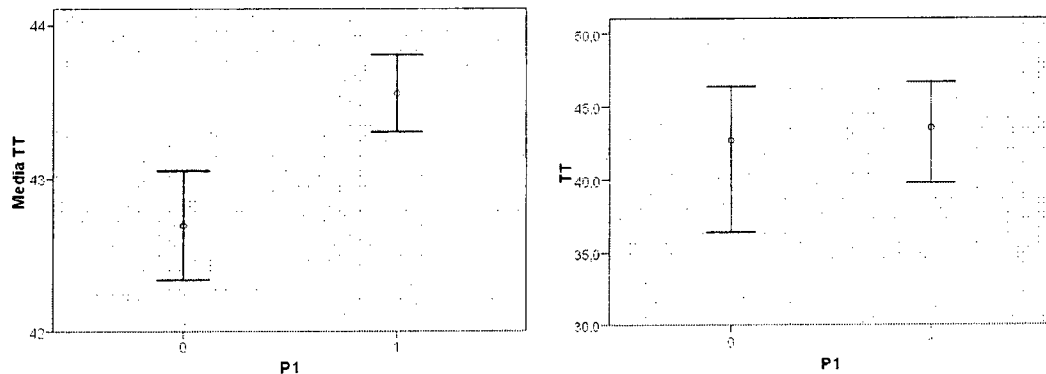


Figura 10. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice KI para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

El caso es similar al anterior; las medias no muestran intersección en su recorrido. No obstante, el rango de valores que toma el índice se intersecta considerablemente

entre los grupos 0 y 1 de la variable. Por otro lado, valores del índice por debajo de los 39,8 °C corresponden en su totalidad a días sin lluvia.

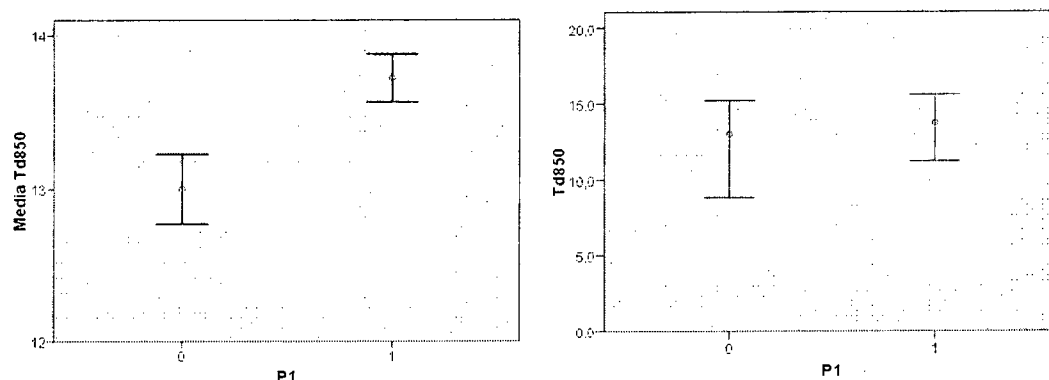


Figura 11. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P1, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

Se observa el mismo comportamiento analizado en los índices anteriores. Las medias se aprecian significativamente alejadas para los grupos 0 y 1, mientras que el recorrido del índice presenta una importante intersección; no obstante, valores por debajo de los 18,9 °C corresponden únicamente a días sin lluvia.

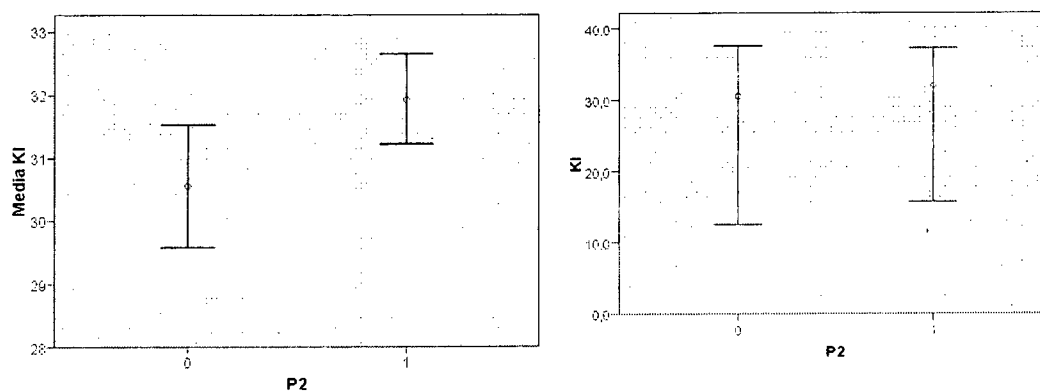


Figura 12. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice KI para la variable categórica P2, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

Las medias se aprecian alejadas entre sí, a pesar de presentar intersección en sus recorridos. El recorrido del índice, en cambio, resulta bastante similar para ambos grupos 0 y 1, siendo el rango de valores correspondiente al grupo 1 un subconjunto

del rango de valores del grupo 0. Valores por debajo de los 15,7 °C corresponden únicamente a días sin lluvia.

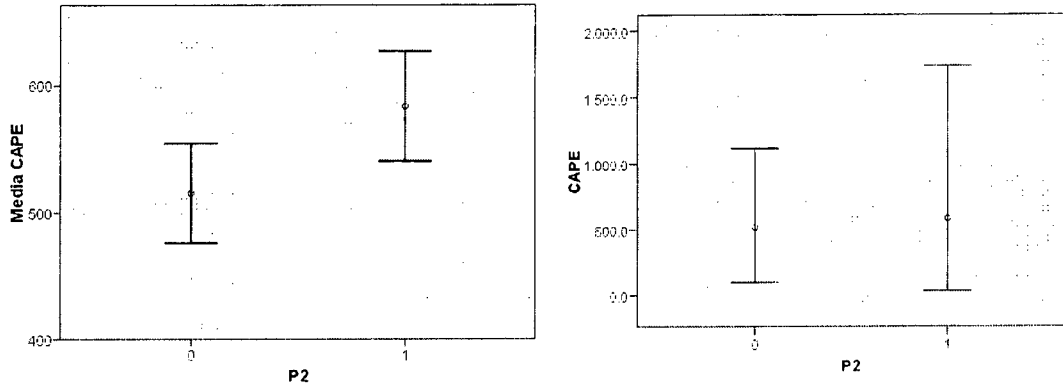


Figura 13. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice CAPE para la variable categórica P2, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

Las medias poblacionales se muestran alejadas entre sí, aunque presentan intersección. Sin embargo, el recorrido del índice correspondiente al grupo 1 es un subconjunto del rango de valores correspondiente al grupo 0. Valores del índice por encima de los 1114 (J/Kg) corresponden en su totalidad a días con lluvia ( $P1 = 1$ ).

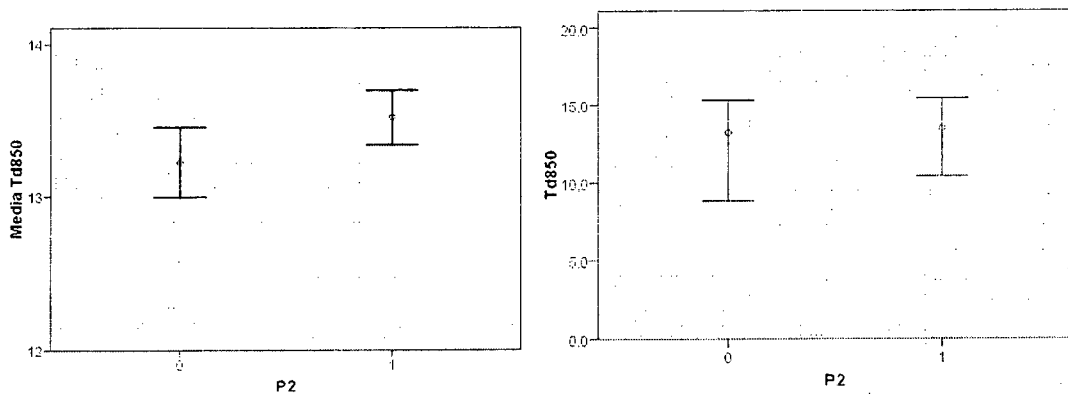


Figura 14 Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P2, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

Las medias se aprecian alejadas una respecto de la otra, aunque presentan intersección. Sin embargo, el rango de valores que toma el índice presenta una intersección importante entre los grupos 0 y 1, lo que sugiere que el índice toma

valores similares para días con lluvia y días sin lluvia; esto se comprueba al analizar la distribución de valores en el rango (ver histograma de frecuencias en el apéndice tal). Por otro lado, valores del índice por debajo de los 10,4 °C corresponden en su totalidad a días sin lluvia.

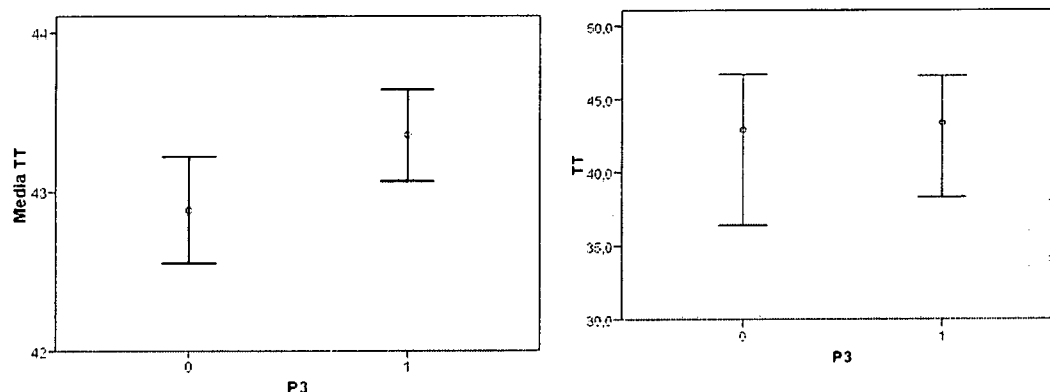


Figura 15. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P3, en la región 6 (Trimestre Julio-Septiembre).

El recorrido de las medias no presenta intersección (medias significativamente distintas). No obstante, existe una importante intersección entre los grupos 0 y 1 del recorrido del índice. Valores del índice por debajo de los 38,3 °C corresponden en su totalidad a días sin lluvia.

### Mes de Julio.

Tabla 17. Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Julio).

Jul	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
Índice									
KI	0,45005	18,219	0,0000491	0,21031	4,026	0,0479037	-0,12063	1,016	0,3163298
TT	0,31793	9,877	0,0022734	0,15533	2,151	0,1460809	0,13993	1,738	0,1909095
CAPE	0,12662	0,772	0,3820495	0,20056	2,858	0,0944980	0,17487	2,744	0,1012096
Td850	0,29824	8,689	0,0040868	0,18501	2,751	0,1008216	0,10348	0,942	0,3345158

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices, excepto CAPE, exponen correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable

categorica. Se deduce entonces la existencia de una relación de dependencia entre estos índices y la variable.

P2: El índice KI muestra dependencia con respecto a la variable, puesto que presenta un coeficiente de correlación y un valor del nivel crítico en el ANOVA significativos. El resto de los índices no presenta relación importante con la variable categorica.

P3: Ninguno de los índices presenta correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; por lo que no se evidencia una relación importante con la variable.

#### Análisis de recorrido de media y rango de variable:

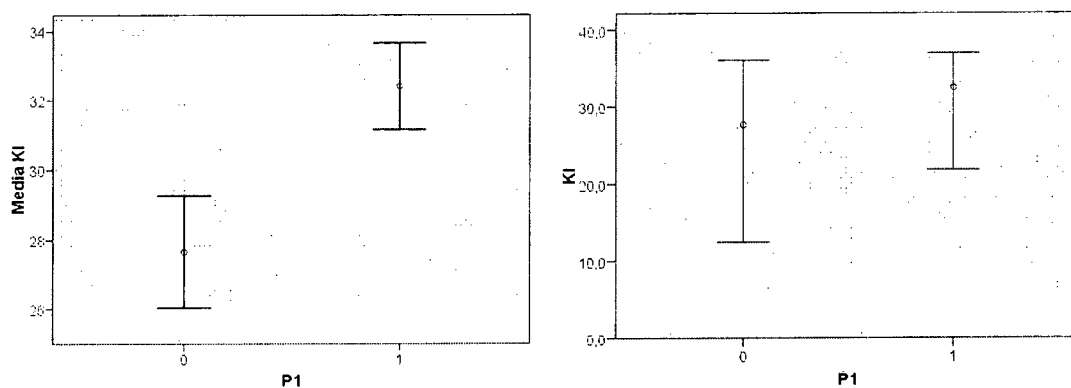


Figura 16. Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice TT, para la región 6 (Julio).

El recorrido de las medias no presenta intersección entre los grupos 0 y 1. Sin embargo, el rango de valores que toma el índice para el grupo 1 es un subconjunto del rango de valores correspondiente al grupo 0. Por otro lado, es notable que valores del índice por debajo de 21,8 °C, corresponde únicamente a días sin lluvia.

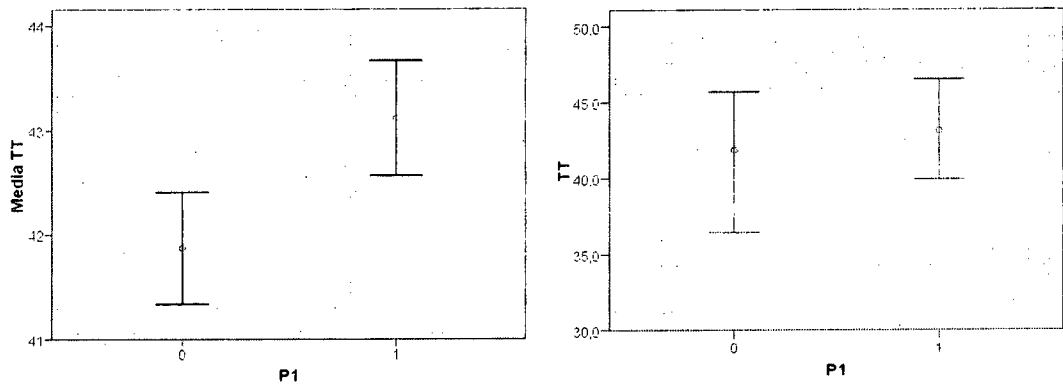


Figura 17. Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice TT, para la región 6 (Julio).

Las medias se muestran alejadas entre sí, comprobando el resultado obtenido en el análisis de varianza. Se puede observar que en el gráfico de rango de valores se presenta una intersección significativa. No obstante, valores por debajo de 39,9 °C corresponden en su totalidad a días sin lluvia.

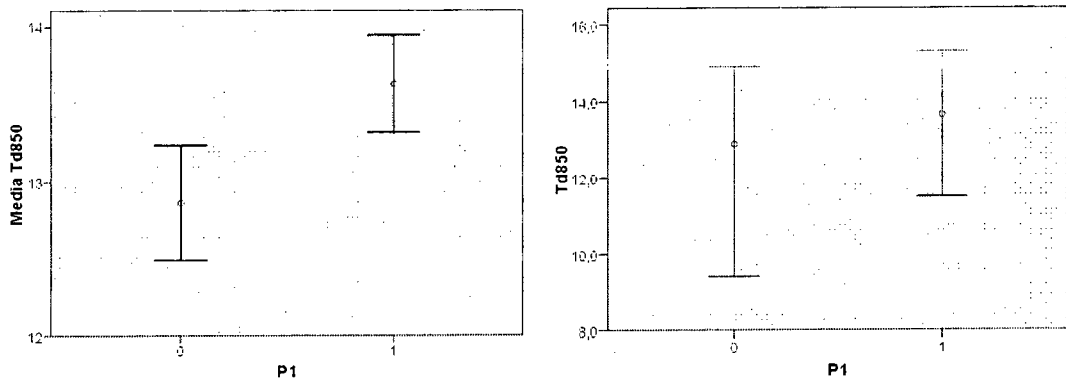


Figura 18. Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice KI, para la región 6 (Julio).

No existe intersección entre el recorrido de las medias de los grupos 0 y 1, por lo que están significativamente alejadas una respecto a la otra. No obstante, las barras de rango muestran una intersección importante por encima de los 11,5 (°C); por debajo de este valor el recorrido corresponde a días sin lluvia.

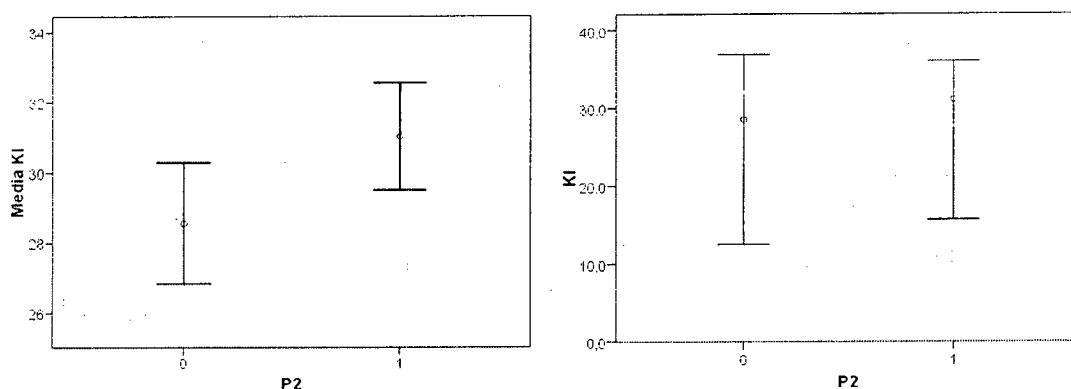


Figura 19. Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice KI, para la región 6 (Julio).

El recorrido de la media para KI no presenta intersección entre los grupos 0 y 1 de la variable categórica, demostrando que las medias poblacionales son significativamente distintas. Sin embargo, el recorrido del índice es bastante similar para ambos grupos, lo que sugiere que el índice toma valores similares para días sin lluvia y días con lluvia. Por otro lado, valores del índice por debajo de los 15,7 °C corresponden en su totalidad a días sin lluvia.

### Mes de Agosto.

Tabla 18.

Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Agosto).

Índice	Ago	P1			P2			P3		
		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
			F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,37540	13,838	0,0003524	0,17160	1,325	0,2531134	0,00829	0,006	0,9399638	
TT	0,14281	1,811	0,1818619	0,04528	0,168	0,6825671	0,02295	0,044	0,8348286	
CAPE	-0,21830	1,300	0,2572882	0,04333	0,154	0,6955059	-0,08054	0,486	0,4877571	
Td850	0,39246	15,840	0,0001424	0,18773	2,996	0,0872558	0,19971	3,448	0,0668781	

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI y Td850 manifiestan correlaciones significativas y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando una relación de dependencia con la variable. El índice CAPE muestra una correlación significativa, sin embargo, las medias poblacionales para los grupos 0 y 1 son similares en el ANOVA, por lo que no se evidencia una relación importante entre este índice y la variable categórica. Por el contrario, el índice TT muestra independencia con respecto a la variable.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

### Análisis de recorrido de media y rango de variable.

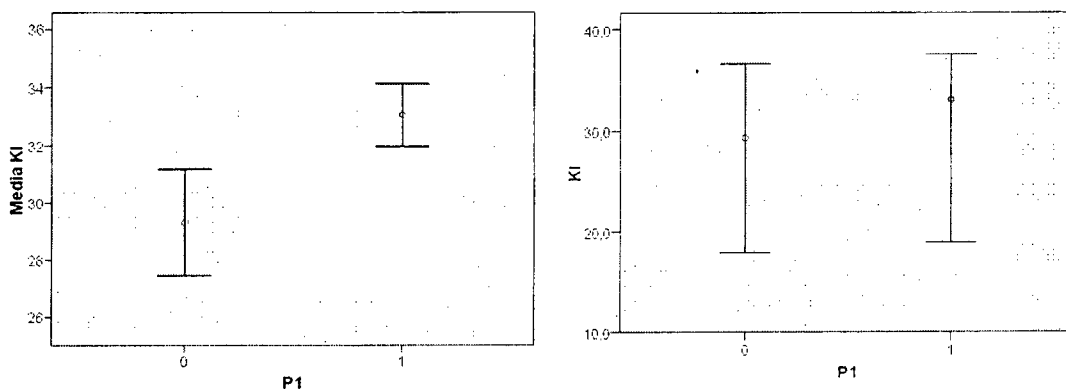


Figura 20. Recorrido de la media para un Intervalo de Confianza de 95% (izquierda) y Rango de valores (derecha) del índice KI, para la región 6 (Agosto).

Las medias se muestran significativamente alejadas en su recorrido entre los grupos 0 y 1; no obstante, el rango de valores muestra una importante intersección, indicando así, que el índice toma valores similares para ambos grupos. Sin embargo, la distribución de valores en el rango es notablemente distinta para los días con lluvia y días sin lluvia (ver histograma de frecuencias en apéndice tal).

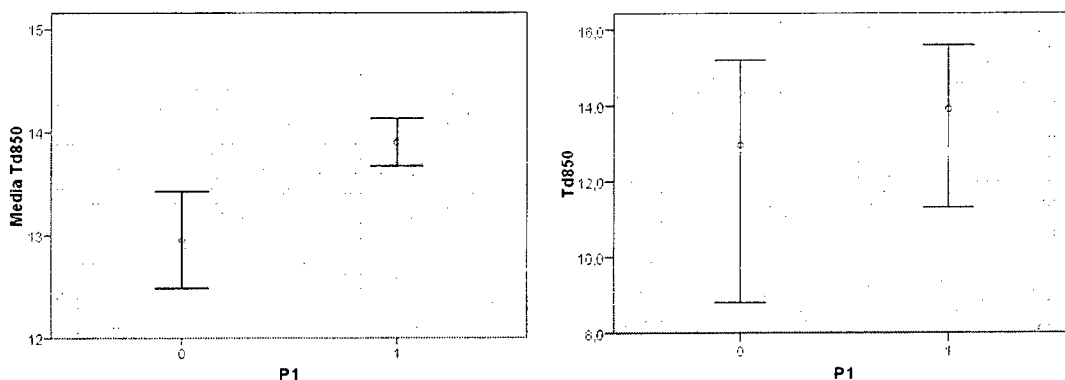


Figura 21. Recorrido de la media a un intervalo de confianza de 95% (izquierda) y rango de valores (derecha) del índice Td850 para la variable categórica P1 en la región 6 (Agosto).

Las medias no presentan intersección en su recorrido entre los grupos 0 y 1. El rango de valores presenta una intersección importante por encima de los 11,3 °C, mientras que por debajo de este valor, el recorrido corresponde únicamente a días sin lluvia.

### Mes de Septiembre.

Tabla 19.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 6 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,21695	3,902	0,0517193	-0,21835	2,433	0,1230391	0,06862	0,350	0,5558595
TT	0,14375	1,667	0,2004469	-0,03199	0,004	0,9493386	0,15038	1,712	0,1947545
CAPE	0,18154	2,692	0,1048021	0,16882	2,171	0,1448979	0,05391	0,216	0,6437281
Td850	0,16763	2,284	0,1346982	-0,09906	0,574	0,4509836	-0,07458	0,414	0,5219999

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05; de modo que no existe relación de dependencia con ninguna de las variables categóricas (P1, P2 y P3).

### Análisis de recorrido de media y rango de variable:

No se analizó los gráficos correspondientes a este mes, puesto que ninguno de los índices presentó relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia, los mismos pueden consultarse en el apéndice tal.

## 4.2. REGIÓN 1.

### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 20.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Jul-Sep).

Jul-Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,07024	0,312	0,5771484	0,03888	0,407	0,5239644	0,05182	0,684	0,4087844
TT	0,08346	1,901	0,1690977	0,14410	3,685	0,0559611	0,05903	0,747	0,3880661
CAPE	0,07412	1,009	0,3160342	0,11823	2,825	0,0939692	0,11885	3,840	0,0510773
Td850	0,13321	4,896	0,0277520	0,06823	0,771	0,3806426	0,00689	0,003	0,9581621

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice Td850 es el único que muestra correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable categórica. El resto de los índices no presenta relación de dependencia con la variable.

P2: Los índices TT y CAPE presentan correlaciones significativas. No obstante, ninguno de los índices muestra valores significativos para el ANOVA, por lo que no puede concluirse que las medias poblacionales sean distintas para los grupos 0 y 1.

P3: Únicamente el índice CAPE muestra correlación significativa. Sin embargo, el valor crítico del ANOVA es mayor que 0,05. No se evidencia entonces una relación de dependencia con la variable para ninguno de los índices.

### Mes de Julio.

Tabla 21.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Julio).

Jul Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
F		Sign.	F		Sign.	F		Sign.	
KI	0,03823	0,130	0,7190011	0,19444	2,591	0,1110828	0,18565	2,327	0,1307982
TT	0,16100	2,368	0,1273765	0,26392	6,536	0,0122875	0,06763	0,400	0,5288902
CAPE	0,35448	11,081	0,0012699	0,34463	10,857	0,0014198	0,16248	2,359	0,1281911
Td850	0,06653	0,396	0,5309445	0,12707	1,444	0,2326967	0,07136	0,072	0,7894826

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice CAPE muestra una correlación significativa. Así mismo, presenta un nivel crítico menor que 0,05 en el ANOVA; indicando que existe una relación importante con la variable categórica, ya que las medias poblacionales son significativamente distintas. El resto de los índices no muestra relación alguna con la variable independiente.

P2: Los índices KI, TT y CAPE presentan correlaciones significativas. Por otro lado, los valores críticos del ANOVA muestran que únicamente CAPE y TT presentan medias poblacionales significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable categórica. Indicando, que ambos índices muestran relación con esta variable; no ocurre así para el resto de los índices.

P3: Únicamente el índice KI exhibe correlación significativa aunque presenta un valor crítico del ANOVA mayor que 0,05; de modo que no se evidencia ninguna relación importante con la variable dependiente.

### Mes de Agosto.

Tabla 22.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Agosto).

Ago	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	-0,01574	0,022	0,8816427	0,03833	0,037	0,8468969	-0,04244	0,008	0,9310463
TT	0,17749	2,243	0,1377587	0,07854	0,182	0,6703326	0,14112	0,712	0,4010602
CAPE	0,07938	0,571	0,4519563	0,12241	0,827	0,3654852	0,14705	1,153	0,2859236
Td850	0,16015	2,369	0,1272633	0,05629	0,000	0,9973249	0,02452	0,003	0,9576836

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice TT muestra correlación significativa, sin embargo, presenta un valor crítico del ANOVA mayor que 0,05. Por lo tanto, no se evidencia ninguna relación importante con la variable dependiente.

P2: Ninguno de los índices manifestó correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables categóricas P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Septiembre.

Tabla 23.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 1 (Septiembre).

Sept	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	-0,15637	0,4649	0,4971432	-0,12051	0,1719	0,679399	0,03960	0,1322	0,7170453
TT	-0,08565	0,6503	0,4221841	0,12515	0,6482	0,422920	0,01320	0,0005	0,9828677
CAPE	-0,16875	1,5971	0,2096518	-0,03114	0,0854	0,770757	0,17501	2,6342	0,1081646
Td850	0,17469	2,7701	0,0995969	0,04587	0,1855	0,667716	0,07636	0,1002	0,7523256

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

Los valores obtenidos para los coeficientes de correlación y el ANOVA muestran claramente que ninguno de los índices presenta relación significativa con las variables independientes (P1, P2, P3) para este mes.

### 4.3. REGIÓN 2.

#### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 24.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Jul-Sep).

(Jul-Sep)	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
<b>KI</b>	0,17354	8,322	0,0042355	0,10344	2,866	0,0916344	0,05571	0,822	0,3654458
<b>TT</b>	0,09746	2,570	0,1100874	-0,02908	0,224	0,6362094	-0,08008	0,604	0,4379042
<b>CAPE</b>	0,04647	0,546	0,4606350	0,03979	0,420	0,5173741	0,02784	0,026	0,8730360
<b>Td850</b>	0,14624	5,637	0,0182853	0,11340	3,452	0,0642792	0,10331	2,848	0,0926583

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI y Td850 presentan correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se induce la existencia de una relación entre ellos y la variable categórica. TT y CAPE no muestran relación significativa con la variable.

Ninguno de los índices muestra correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

#### Mes de Julio.

Tabla 25.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Julio).

Jul	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
<b>KI</b>	0,06402	0,374	0,5421154	-0,07454	0,000	0,9978373	0,10721	1,046	0,3090711
<b>TT</b>	-0,03170	0,007	0,9355421	0,06632	0,402	0,5276610	-0,03498	0,007	0,9353488
<b>CAPE</b>	0,10085	0,919	0,3403454	0,05782	0,266	0,6073452	0,08419	0,511	0,4765135
<b>Td850</b>	-0,03134	0,000	0,9970102	0,09676	0,860	0,3561980	0,10068	0,922	0,3396384

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Ninguno de los índices presentó correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA inferiores a 0,05 para las variables categóricas P1, P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Agosto.

Tabla 26.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Agosto).

Ago	P1			P2			P3			
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
			F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,18615	3,051	0,0842898	0,25724	3,173	0,0785786	-0,04399	0,027	0,8691517	
TT	0,03059	0,070	0,7919799	-0,24933	5,436	0,0221849	-0,24779	4,869	0,0301450	
CAPE	-0,12068	1,256	0,2655167	-0,16887	2,407	0,1246524	-0,06457	0,343	0,5595200	
Td850	0,28502	6,854	0,0104697	0,25104	4,349	0,0401500	0,04963	0,202	0,6539421	

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente el índice Td850 exhibe un grado de relación de dependencia con la variable categórica. El resto de los índices no muestra asociación alguna.

P2: Los índices, TT y Td850, exponen un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando una relación de dependencia con la variable. Por otro lado, a pesar de que KI y CAPE muestran un valor de correlación significativo, sus medias poblacionales resultan similares, por lo que no se evidencia relación entre la variable y estos índices.

P3: Sólo el índice TT muestra asociación significativa con la variable. No se evidencia relación de dependencia entre la variable y el resto de los índices.

### Mes de Septiembre.

Tabla 27.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 2 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3			
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
			F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,25998	5,739	0,0187148	0,02270	0,045	0,8318223	0,03663	0,118	0,7317739	
TT	0,18569	3,143	0,0797313	-0,04642	0,190	0,6639415	-0,04202	0,002	0,9651535	
CAPE	0,14503	1,290	0,2590909	0,16956	2,605	0,1101068	0,01005	0,009	0,9251167	
Td850	0,10703	0,563	0,4551033	-0,06636	0,389	0,5343400	0,09673	0,831	0,3644424	

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice KI resulta el único en presentar relación de dependencia con la variable. El resto de los índices no muestra una asociación importante con la variable.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05 para las variables categóricas P2 y P3; por lo que no se evidencia relación alguna con estas variables.

#### 4.4. REGIÓN 3.

##### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 28.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Jul-Sep).

(Jul-Sep)	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,20267	11,651	0,0007393	0,07764	1,590	0,2084566	-0,0594	0,963	0,3272296
TT	0,13402	4,253	0,0401357	0,11321	3,337	0,0688347	-0,0109	0,032	0,8578235
CAPE	0,2591	17,257	0,0000438	0,181	8,822	0,0032420	0,07905	1,710	0,1920629
Td850	0,2105	12,420	0,0004982	0,16774	5,941	0,0154328	0,08439	1,951	0,1636246

Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices analizados muestran correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA; indicando una relación de dependencia con la variable categórica.

P2: CAPE y Td850 manifiestan relación de dependencia con la variable. El resto de los índices no muestra una relación importante con la variable categórica.

P3: Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; por lo que no se evidencia relación alguna con la variable P3.

##### Mes de Julio.

Tabla 29.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Julio).

Jul	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,21858	4,566	0,0352970	0,11797	1,115	0,2938670	0,15155	2,139	0,1470270
TT	0,03583	0,045	0,8324393	0,09070	0,503	0,4799479	0,13719	1,173	0,2815604
CAPE	0,15363	1,467	0,2289242	0,25347	5,760	0,0184317	0,11310	1,169	0,2825491
Td850	0,16554	2,564	0,1127928	0,12292	0,882	0,3500845	0,21421	4,377	0,0392208

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente el índice KI presenta correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05. No se evidencia relación de dependencia entre la variable y el resto de los índices.

P2: El índice CAPE resulta el único en indicar una relación de dependencia con la variable. El resto de los índices no muestra asociación significativa.

P3: Td850 presenta relación significativa con la variable categórica. El resto de los índices no demuestra asociación alguna con la variable.

### Mes de Agosto.

Tabla 30.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Agosto).

Ago	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,25140	6,072	0,0156333	-0,08382	0,080	0,7775760	-0,3426	10,758	0,0014777
TT	0,14865	1,941	0,1670437	-0,03418	0,105	0,7463358	-0,2747	7,350	0,0080334
CAPE	0,22788	4,531	0,0360253	-0,06796	0,418	0,5197795	-0,0990	0,352	0,5546448
Td850	0,21810	3,332	0,0712482	0,09579	0,342	0,5603205	-0,1544	2,198	0,1416754

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI y CAPE muestran relación de dependencia con la variable categórica. El resto de los índices no muestra relación significativa.

P2: Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05; de modo que no existe relación de dependencia con la variable categórica.

P3: KI y TT manifiestan relación significativa con la variable, no obstante, su coeficiente de correlación es negativo, indicando que se relacionan de manera inversa con la ocurrencia de la lluvia, lo cual, no tiene sentido físico, tomando en cuenta la naturaleza de estos índices. Por otro lado, no se evidencia relación entre la variable y los índices CAPE y Td850.

### Mes de Septiembre.

Tabla 31.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 3 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,07409	0,480	0,4901967	0,18025	2,922	0,0909658	0,15254	0,559	0,4566107
TT	0,05337	0,141	0,7084486	0,18809	3,191	0,0775378	-0,01794	0,028	0,8674707
CAPE	0,20863	3,959	0,0497561	0,21534	4,231	0,0426980	0,02763	0,066	0,7971420
Td850	0,08931	0,700	0,4052429	0,07637	0,510	0,4768951	0,03041	0,081	0,7772326

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente el índice CAPE presenta un grado de relación de dependencia con la variable, debido a que presenta un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05. El resto de los índices no muestra asociación importante con la variable.

P2: Sólo el índice CAPE es el que muestra correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05. No se evidencia relación de dependencia entre la variable y el resto de los índices.

P3: Ninguno de los índices manifiesta correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; por lo que no se evidencia relación alguna con la variable.

#### 4.5. REGIÓN 4.

##### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 32.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Jul-Sep).

Jul-Sep Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,23505	16,023	0,0000806	-0,06864	0,926	0,3368634	-0,00899	0,001	0,9792625
TT	0,10432	3,015	0,0836314	-0,08925	2,200	0,1391334	-0,06663	1,222	0,2699940
CAPE	0,05836	0,100	0,7515702	-0,04063	0,028	0,8683500	0,03009	0,248	0,6186966
Td850	0,16281	7,270	0,0074467	-0,00876	0,021	0,8847741	0,04526	0,531	0,4669256

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices, excepto CAPE y TT, manifiestan correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable categórica. Se deduce entonces la existencia de una relación de dependencia entre estos índices y la variable P1.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Julio.

Tabla 33.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Julio).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,37017	14,450	0,0002600	-0,07288	0,486	0,4875079	0,06751	0,417	0,5202391
TT	0,13143	1,600	0,2091821	-0,23142	4,132	0,0449961	-0,18434	1,769	0,1867911
CAPE	0,05530	0,009	0,9244031	-0,12237	0,414	0,5217735	-0,06446	0,380	0,5393124
Td850	0,21836	4,556	0,0354861	-0,08450	0,654	0,4206650	-0,02038	0,007	0,9347165

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices, excepto TT y CAPE, muestran correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable categórica. Se deduce entonces la existencia de una relación de dependencia entre estos índices y la variable.

P2: Únicamente el índice TT expresa correlación significativa con la variable. De igual forma, presenta un valor crítico del ANOVA menor que 0,05. Por lo que se evidencia la existencia de una relación de dependencia con P2. El resto de los índices no muestra relación alguna con la variable.

P3: Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; por lo que no se evidencia una relación importante con la variable.

### Mes de Agosto.

Tabla 34.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Agosto).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,22908	2,565	0,1127088	0,03370	0,103	0,7484282	0,05412	0,076	0,7839480
TT	0,13347	1,650	0,2021553	0,09446	0,023	0,8799343	-0,01240	0,014	0,9061004
CAPE	0,03266	0,097	0,7559398	0,11641	1,068	0,3042241	0,17102	2,742	0,1012002
Td850	0,24015	4,918	0,0290619	0,14577	1,976	0,1632592	0,17370	1,852	0,1769330

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente el índice Td850 muestra un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando

una relación de dependencia con la variable P1. El índice KI muestra una correlación significativa, sin embargo, presenta un valor crítico en el ANOVA por encima de 0,05, por lo que no se evidencia una relación importante entre este índice y la variable categórica. El resto de los índices presenta independencia con respecto a la variable.

Ninguno de los índices reflejó correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Septiembre.

Tabla 35.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 4 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
F		Sign.	F		Sign.	F		Sign.	
<b>KI</b>	0,23793	5,281	0,0239341	-0,15525	1,979	0,1630613	-0,05175	0,007	0,9347277
<b>TT</b>	0,16414	2,437	0,1221192	-0,03918	0,065	0,7997911	0,04885	0,047	0,8280553
<b>CAPE</b>	0,13350	0,008	0,9274902	-0,16909	2,590	0,1111217	-0,10672	1,014	0,3167462
<b>Td850</b>	0,13041	0,737	0,3929342	-0,07264	0,297	0,5870784	0,06454	0,368	0,5455859

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice KI muestra correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable categórica. Se deduce entonces la existencia de una relación de dependencia entre este índice y la variable. El resto de los índices no muestra relación de dependencia con la variable.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

#### 4.6. REGIÓN 5.

##### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 36.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Jul-Sep).

Jul-Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,11378	3,594	0,0590573	0,06495	0,652	0,4201688	0,03732	0,382	0,5369405
TT	0,07134	1,287	0,2575083	0,09918	2,722	0,1001218	-0,03289	0,297	0,5864065
CAPE	0,22413	10,636	0,0012496	0,09202	1,111	0,2927139	0,05522	0,126	0,7224002
Td850	0,14789	6,127	0,0139170	0,08469	1,627	0,2031529	0,05439	0,374	0,5412357

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente los índices CAPE y Td850 muestran un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando una relación importante con la variable P1. El resto de los índices muestra independencia con respecto a la variable.

Ninguno de los índices indicó correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

##### Mes de Julio.

Tabla 37.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Julio).

Jul	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,16023	2,398	0,1249659	0,07985	0,026	0,8718154	0,09419	0,814	0,3691803
TT	-0,00279	0,000	0,9842537	0,13512	0,999	0,3201390	-0,02479	0,056	0,8135495
CAPE	0,32262	10,572	0,0016110	0,16851	1,444	0,2325718	-0,01614	0,024	0,8779684
Td850	0,22449	4,829	0,0305164	0,14187	1,869	0,1749499	0,06626	0,401	0,5279864

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente los índices CAPE y Td850 muestran un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando una relación importante con la variable. El resto de los índices muestra independencia con respecto a la variable.

Ninguno de los índices demostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Agosto.

Tabla 38.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Agosto).

Ago	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,14009	1,117	0,2932897	0,07804	0,558	0,4571515	0,04113	0,154	0,6954571
TT	0,13485	1,685	0,1974969	0,08663	0,688	0,4089933	-0,04157	0,158	0,6923547
CAPE	0,21005	4,001	0,0484445	-0,06163	0,347	0,5573199	0,17389	0,616	0,4345597
Td850	0,09850	0,892	0,3475482	0,04928	0,222	0,6389869	0,07371	0,268	0,6058755

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice CAPE muestra correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce la existencia de una relación de dependencia con la variable categórica. El resto de los índices no muestra ninguna relación significativa con la ocurrencia de la lluvia.

Por otro lado, ninguno de los índices reflejó correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Septiembre.

Tabla 39.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 5 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,07600	0,511	0,4764765	0,09667	0,830	0,3647185	-0,03855	0,131	0,7182723
TT	0,17794	1,705	0,1950006	0,16446	2,446	0,1213862	0,02903	0,074	0,7859458
CAPE	0,15400	1,414	0,2375237	0,14633	1,926	0,1687444	0,02632	0,057	0,8123138
Td850	0,08907	0,704	0,4037996	0,02515	0,005	0,9428252	-0,05949	0,313	0,5775231

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

Ninguno de los índices muestra valores de correlación significativa ni valores significativos en el ANOVA. Por lo que no se evidencia una relación de dependencia entre los índices y las variables categóricas para este mes.

## 4.7. REGIÓN 7.

### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 40.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Jul-Sep).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,16195	5,314	0,0218995	0,03579	0,307	0,5801267	0,03524	0,339	0,5606703
TT	0,08669	2,067	0,1516389	-0,01312	0,018	0,8937280	0,01532	0,064	0,8003054
CAPE	0,00727	0,014	0,9045010	-0,01507	0,022	0,8811465	-0,13679	4,466	0,0354857
Td850	0,14528	5,262	0,0225596	-0,01338	0,001	0,9737822	0,05397	0,798	0,3725838

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI y Td850 muestran correlaciones y valores del nivel crítico en el ANOVA significativos, lo que indica una relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia. El resto de los índices analizados muestra independencia con respecto a la variable.

P2: Ninguno de los índices presenta dependencia con la variable.

P3: Únicamente CAPE expone un valor significativo de correlación y un nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; no obstante, el valor del coeficiente de correlación indica que la relación es inversa, lo que no tiene sentido físico tomando en cuenta la naturaleza del índice. El resto de los índices muestra independencia con respecto a la variable.

### Mes de Julio.

Tabla 41.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Julio).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,23536	3,950	0,0498744	0,12359	0,459	0,4999340	0,09737	0,871	0,3531245
TT	0,16468	2,537	0,1146945	-0,03933	0,141	0,7081528	0,04532	0,083	0,7743379
CAPE	0,06591	0,176	0,6757280	-0,02197	0,007	0,9340325	-0,17673	2,934	0,0901375
Td850	0,14428	1,935	0,1676522	-0,06917	0,233	0,6304411	-0,00779	0,005	0,9432144

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice KI muestra correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce una relación de

dependencia entre KI y la variable categórica. En contraste, TT y CAPE muestran independencia con respecto a la variable.

Por otro lado, ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia relación de dependencia con las variables en cuestión.

### Mes de Agosto.

Tabla 42.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Agosto).

Ago	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,29559	8,616	0,0042282	0,23079	5,063	0,0268745	0,12020	1,319	0,2537413
TT	0,20275	3,858	0,0525899	0,14803	2,016	0,1590767	0,08972	0,730	0,3950497
CAPE	-0,04709	0,122	0,7273379	0,02593	0,061	0,8061949	-0,06047	0,295	0,5880772
Td850	0,29254	8,423	0,0046575	0,26045	6,549	0,0121619	0,21255	4,258	0,0419382

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI y Td850 manifiestan relación de dependencia con la variable. El resto de los índices se muestran independientes.

P2: Los índices KI y Td850 presentan valores significativos de correlación y un nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05. El resto de los índices no muestra relación de dependencia con respecto a la variable.

P3: Únicamente Td850 muestra valores significativos de correlación y en el ANOVA. El resto de los índices no presenta relación con la variable.

### Mes de Septiembre.

Tabla 43.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 7 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,13474	0,449	0,5046696	-0,14624	1,496	0,2245206	-0,07853	0,104	0,7479644
TT	0,10668	1,013	0,3169368	0,05327	0,158	0,6917075	0,08909	0,704	0,4036907
CAPE	0,24633	5,685	0,0192628	0,17705	2,848	0,0950341	0,02193	0,024	0,8781621
Td850	0,16921	0,631	0,4289794	-0,11457	1,171	0,2822519	-0,03468	0,064	0,8013359

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice CAPE muestra un valor significativo de correlación y un nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05. El resto de los índices muestra independencia con respecto a la variable.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

#### 4.8. REGIÓN 8.

##### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 44.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Jul-Sep).

(Jul-Sep) Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,22120	13,354	0,0003091	0,08546	2,008	0,1575661	0,12489	3,003	0,0842545
TT	0,10328	2,943	0,0873587	0,03880	0,028	0,8673007	0,04648	0,591	0,4426499
CAPE	-0,03587	0,062	0,8028841	-0,07734	1,643	0,2010547	-0,02186	0,000	0,9986842
Td850	0,12313	4,203	0,0413092	0,03157	0,240	0,6247541	0,16118	6,725	0,0100213

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI y Td850 reflejan correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce la existencia de una relación entre ellos y la variable categórica. En contraste, TT y CAPE no muestran ninguna relación significativa con P1.

P2: Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05; de modo que no existe relación alguna con la variable categórica.

P3: Td850 resultó el único índice en presentar medias poblacionales significativamente diferentes para los grupos 0 y 1 y un coeficiente de correlación significativo. De esta manera, resulta el único índice que muestra una relación importante con la variable categórica.

## Mes de Julio.

Tabla 45.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Julio).

Jul	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
F		Sign.	F		Sign.	F		Sign.	
<b>KI</b>	0,31085	9,734	0,0024236	0,21748	4,518	0,0362530	0,24175	3,661	0,0588452
<b>TT</b>	0,12967	1,556	0,2154150	0,09713	0,191	0,6631069	0,16998	2,591	0,1109031
<b>CAPE</b>	0,15018	2,100	0,1507593	0,04562	0,166	0,6844544	0,21772	4,528	0,0360423
<b>Td850</b>	0,01962	0,035	0,8519024	-0,10492	1,013	0,3169006	0,10799	0,723	0,3974175

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

P1: Únicamente el índice KI describe un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando una relación importante con la variable P1. El resto de los índices presenta independencia con respecto a la variable.

P2: Únicamente el índice KI muestra un grado de relación de dependencia con la variable. No se evidencia relación entre la variable y el resto de los índices.

P3: CAPE resulta el índice con mayor relación de dependencia con la variable categórica, al mostrar una correlación significativa y medias poblacionales significativamente distintas en el análisis de la varianza. El resto de los índices no muestra una relación importante con la variable, no obstante, KI presentó valores de correlación significativos.

## Mes de Agosto.

Tabla 46.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Agosto).

Ago	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
F		Sign.	F		Sign.	F		Sign.	
<b>KI</b>	0,31654	9,117	0,0032868	0,11352	1,188	0,2785977	0,02369	0,051	0,8216987
<b>TT</b>	0,21142	4,258	0,0419132	0,00845	0,007	0,9358987	0,00908	0,000	0,9887812
<b>CAPE</b>	0,00863	0,007	0,9345708	-0,04235	0,080	0,7777170	0,03286	0,028	0,8677402
<b>Td850</b>	0,24451	5,786	0,0181760	0,07472	0,114	0,7368220	0,08351	0,625	0,4312986

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices, excepto CAPE, muestran un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando

una relación de dependencia con la variable P1. Así mismo, el índice KI presenta mejor correlación con P1 que el resto de los índices, ya que ostenta el mayor valor para el coeficiente de correlación.

Ninguno de los índices presenta correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Septiembre.

Tabla 47.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 8 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,09901	0,745	0,3903200	-0,03306	0,044	0,8338781	0,26929	6,802	0,0107129
TT	0,08289	0,602	0,4399577	0,15785	1,592	0,2103456	0,17590	2,778	0,0991699
CAPE	0,04468	0,082	0,7747637	0,08110	0,080	0,7783200	0,15406	2,115	0,1494446
Td850	0,10718	1,011	0,3174585	-0,03679	0,118	0,7321305	0,30460	8,278	0,0050482

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P3: Únicamente los índices KI y Td850 manifestaron un grado de relación de dependencia con la variable puesto que presentan correlación significativa y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05. Por otro lado, no se evidencia relación de dependencia entre la variable y el resto de los índices.

Ninguno de los índices presenta asociación importante con las variables categóricas P1 y P2.

## 4.9. REGIÓN 9.

### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 48.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Jul-Sep).

Jul-Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,27550	19,818	1,29E-05	0,10018	2,504	0,114817	0,05624	0,784	0,376904
TT	0,18625	8,877	0,003177	-0,05224	0,676	0,411754	-0,09563	2,269	0,133269
CAPE	-0,02141	0,073	0,787321	-0,10079	2,535	0,112625	-0,13734	3,965	0,047553
Td850	0,28240	20,470	9,42E-06	0,08719	1,744	0,187833	0,07612	1,291	0,256964

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices, excepto CAPE, demuestran correlación significativa y un valor de significancia del ANOVA menor que 0,05; indicando que las medias poblacionales son significativamente distintas para los grupos 0 y 1 de la variable categórica. Se deduce entonces la existencia de una relación de dependencia entre estos índices y la variable.

P2: Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; por lo que no se evidencia una relación importante con la variable.

P3: Únicamente el índice CAPE muestra relación significativa con la variable, no obstante, muestra una correlación inversa, lo que no tiene sentido físico tomando en cuenta lo que representa el índice; de esta forma, se deduce que la relación es meramente estadística. El resto de los índices no muestra relación alguna con la variable.

### Mes de Julio.

Tabla 49.  
Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Julio).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,24429	5,268	0,024249	0,17253	2,485	0,118838	0,10651	0,941	0,334913
TT	0,30714	8,646	0,004247	0,16259	2,199	0,141955	-0,04728	0,023	0,880144
CAPE	0,19768	3,375	0,069759	0,12867	1,364	0,246355	0,04809	0,190	0,663972
Td850	0,38740	14,656	0,000249	0,20710	3,057	0,084185	0,17307	2,532	0,115412

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Los índices KI, TT y Td850 exhiben correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce la existencia de una relación de dependencia entre ellos y la variable. En contraste, CAPE no muestra asociación significativa con la ocurrencia de la lluvia.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia una relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Agosto.

Tabla 50.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Agosto).

Ago Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,43112	15,065	0,000208	0,18001	2,487	0,118538	0,13366	0,371	0,544062
TT	0,31066	6,826	0,010664	-0,05420	0,250	0,618091	-0,02976	0,055	0,814988
CAPE	0,09117	0,696	0,406636	-0,16334	2,330	0,130628	-0,07804	0,521	0,472477
Td850	0,28188	4,027	0,048023	0,15902	1,898	0,17188	0,13497	1,577	0,21261

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: KI, TT y Td850 presentan relación de dependencia con la variable categórica (valores de correlación y nivel crítico en el ANOVA significativos) mientras que CAPE no muestra asociación con la ocurrencia de la lluvia.

Ninguno de los índices manifiesta correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05 para P2 y P3; por lo que no se evidencia relación alguna con la variable categórica.

### Mes de Septiembre.

Tabla 51.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 9 (Septiembre).

Sep Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,21838	3,856	0,053179	-0,00452	0,001	0,981752	0,04823	0,177	0,674974
TT	0,18147	2,622	0,109481	-0,11133	0,966	0,328683	-0,08743	0,568	0,453439
CAPE	0,08357	0,542	0,464004	0,09239	0,663	0,418033	-0,02663	0,049	0,824738
Td850	0,22725	4,149	0,045098	-0,14094	1,416	0,237639	-0,11914	1,094	0,298841

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice Td850 muestra dependencia con respecto a la variable. El resto de los índices no presenta relación importante con la ocurrencia de la lluvia.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia relación alguna de dependencia con estas variables.

#### 4.10. REGIÓN 10.

##### Trimestre Julio-Septiembre

Tabla 52.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Jul-Sep).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,36512	35,233	0,0000000	0,08808	1,815	0,1790095	0,06941	0,905	0,3421780
TT	0,09898	2,109	0,1475661	-0,09710	1,886	0,1707783	-0,05948	0,799	0,3721769
CAPE	-0,11781	2,312	0,1295658	-0,14093	3,891	0,0495505	-0,12606	2,840	0,0930665
Td850	0,20650	12,160	0,0005689	0,15009	6,291	0,0127124	0,10073	2,798	0,0955031

\*Las celdas sombreadas indican que el valor es significativo.

P1: Los índices KI y Td850 muestran correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce una relación de dependencia entre ellos y la variable categórica. Por otro lado, TT y CAPE no muestran relación significativa con la ocurrencia de la lluvia.

P2: Únicamente CAPE y Td850 demuestran relación de dependencia con la variable, al presentar correlaciones significativas y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA. No obstante, el coeficiente de correlación del índice CAPE indica una relación inversa con la ocurrencia de la lluvia, lo que no tiene sentido físico; por lo tanto, se deduce que esta relación es meramente estadística.

P3: Ninguno de los índices indicó correlaciones significativas, excepto Td850. No obstante, este último presentó un nivel crítico en el ANOVA mayor que 0,05; por lo que no se deduce relación de dependencia con la variable categórica.

##### Mes de Julio.

Tabla 53.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Julio).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,52342	25,92	0,0000019	0,11690	0,508	0,4778104	0,08476	0,412	0,5224531
TT	0,24750	4,728	0,0322756	-0,07393	0,463	0,4979099	0,03214	0,035	0,8524212
CAPE	-0,1799	0,538	0,4651284	-0,17353	0,512	0,4758978	-0,1462	0,683	0,4106705
Td850	0,35675	12,76	0,0005667	0,16209	2,099	0,1508500	0,19424	3,568	0,0620922

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Todos los índices, excepto CAPE, muestran un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05; indicando una relación de dependencia con la variable. Por otro lado, el índice KI presenta una mejor asociación con P1 que el resto de los índices, ya que ostenta el mayor valor de coeficiente de correlación y del estadístico F.

Ninguno de los índices reveló correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia relación de dependencia con las variables en cuestión.

### Mes de Agosto.

Tabla 54.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Agosto).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,24612	5,803	0,0180345	0,14499	1,933	0,1678931	0,11500	1,206	0,2750218
TT	0,07997	0,579	0,4486011	-0,03173	0,001	0,9741389	-0,04617	0,192	0,6621026
CAPE	-0,09224	0,450	0,5040548	-0,11979	1,310	0,2553949	-0,16264	2,445	0,1213944
Td850	0,17763	2,932	0,0902798	0,29093	8,322	0,0049005	0,21658	4,429	0,0381143

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: Únicamente el índice KI muestra relación de dependencia con la variable, puesto que presenta un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05. Por otro lado, no se evidencia relación de dependencia entre la variable y el resto de los índices.

Ninguno de los índices muestra correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para P2 y P3, por lo que no se evidencia relación de dependencia con estas variables.

### Mes de Septiembre.

Tabla 55.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 10 (Septiembre).

Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,39729	13,972	0,0003294	0,10657	1,011	0,3174498	0,08167	0,307	0,5811600

<b>TT</b>	0,15027	0,684	0,4103153	-0,08923	0,510	0,4769924	-0,03643	0,011	0,9168736
<b>CAPE</b>	0,02251	0,045	0,8331891	-0,02679	0,062	0,8039580	0,11713	1,127	0,2912622
<b>Td850</b>	0,14116	1,789	0,1844863	0,04971	0,218	0,6416969	-0,14948	0,407	0,5249280

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

P1: El índice KI presenta un coeficiente de correlación significativo y un valor del nivel crítico en el ANOVA menor que 0,05, por lo que se evidencia una relación de dependencia con la variable. El resto de los índices no muestra asociación significativa.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no se evidencia relación de dependencia con estas variables.

#### 4.11. REGIÓN 11.

##### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 56.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Jul-Sep).

(Jul-Sep)	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
<b>KI</b>	0,11246	3,475	0,0633860	0,00893	0,000	0,995	0,16336	6,804	0,0095985
<b>TT</b>	0,11142	3,419	0,0655177	0,07345	1,147	0,285	0,16528	5,611	0,0185466
<b>CAPE</b>	-0,01545	0,000	0,9829642	0,05811	0,873	0,351	0,07743	1,277	0,2594882
<b>Td850</b>	-0,01677	0,077	0,7822983	-0,03205	0,280	0,597	-0,02386	0,155	0,6941137

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P3: Los índices KI y TT exponen correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce la existencia de una relación entre ellos y la variable categórica. El resto de los índices no muestran ninguna relación significativa con P3.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P1 y P2; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

## Mes de Julio.

Tabla 57.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Julio).

Índice	Jul	P1			P2			P3		
		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
			F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,31470	10,003	0,0021244	0,03770	0,129	0,720	0,20270	3,899	0,0513425	
TT	0,12854	1,529	0,2194811	0,06526	0,355	0,553	0,12527	1,117	0,2932964	
CAPE	0,07756	0,551	0,4599453	0,06277	0,360	0,550	0,12121	1,357	0,2471190	
Td850	0,10080	0,934	0,3363507	-0,07355	0,277	0,600	-0,03628	0,120	0,7299103	

\*Las celdas sombreadas indican que la correlación es significativa.

P1: El índice KI muestra correlación significativa con la variable un valor del nivel crítico menor a 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce la existencia de una relación de dependencia con la variable categórica. El resto de los índices no muestra relación significativa.

Ninguno de los índices presenta correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; para las variables P2 y P3; por lo que no se evidencia relación alguna con estas variables.

## Mes de Agosto.

Tabla 58.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Agosto).

Índice	Ago	P1			P2			P3		
		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
			F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	-0,04661	0,196	0,6591048	-0,05424	0,266	0,608	0,12100	0,084	0,7725656	
TT	0,14218	1,419	0,2366536	0,00500	0,002	0,962	0,05072	0,185	0,6684498	
CAPE	-0,08092	0,394	0,5317794	-0,08693	0,685	0,410	0,01822	0,030	0,8631543	
Td850	-0,06127	0,322	0,5720434	-0,08573	0,660	0,419	0,00923	0,006	0,9407030	

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

Los valores obtenidos para los coeficientes de correlación y el ANOVA muestran claramente que ninguno de los índices presenta relación significativa con las variables categóricas.

## Mes de Septiembre.

Tabla 59.

Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 11 (Septiembre).

Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	-0,02612	0,059	0,8080361	-0,02429	0,051	0,821	0,19957	3,609	0,0607892
TT	0,16596	1,859	0,1762698	0,16007	1,377	0,244	0,29137	6,091	0,0155427
CAPE	-0,04205	0,024	0,8772616	0,18928	2,104	0,151	0,10640	0,670	0,4151731
Td850	-0,10437	0,958	0,3303838	-0,01016	0,009	0,925	-0,06554	0,228	0,6338633

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA menores que 0,05; para las variables P1 y P2; por lo que no se evidencia relación alguna con estas variables.

P3: El índice TT presenta relación de dependencia con la variable categórica. El resto de los índices no muestra asociación significativa.

## 4.12. REGIÓN 13.

### Trimestre Julio-Septiembre.

Tabla 60.

Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Jul-Sep).

Jul-Sep	P1			P2			P3		
	Índice	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA
F			Sign.	F		Sign.	F		Sign.
KI	0,13728	5,225	0,0230397	0,03512	0,336	0,5626818	-0,03768	0,272	0,6021193
TT	0,06549	1,172	0,2799948	-0,02592	0,008	0,9309592	-0,07297	0,743	0,3894107
CAPE	-0,03009	0,246	0,6199806	-0,01351	0,050	0,8238878	-0,08719	2,084	0,1500468
Td850	0,19080	8,980	0,0029807	0,02450	0,163	0,6863496	0,01442	0,057	0,8122103

\*Las celdas sombreadas indican que el valor es significativo.

P1: Los índices KI y Td850 presentan correlación significativa con la variable y valores del nivel crítico menores que 0,05 en el ANOVA, por lo que se deduce la existencia de una relación de dependencia entre ellos y la variable categórica. El resto de los índices no muestra relación con la variable.

Ninguno de los índices muestra correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

## Mes de Julio.

Tabla 61.

Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Julio).

Índice	Jul	P1		Corr.	P2		Corr.	P3	
		ANOVA			ANOVA			ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,20801	4,116	0,0454123	0,18311	3,157	0,0789435	0,06126	0,315	0,5761121
TT	0,14720	2,015	0,1591322	0,05653	0,128	0,7212370	-0,02922	0,026	0,8722482
CAPE	0,13551	1,656	0,2014415	0,10586	0,460	0,4994090	-0,11169	0,989	0,3226791
Td850	0,15214	2,156	0,1454508	0,02401	0,052	0,8192936	0,11079	1,004	0,3190665

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

P1: Únicamente el índice KI muestra correlación significativa y un valor crítico del ANOVA menor a 0,05. Por lo que se evidencia una relación de dependencia con la variable. Por otro lado, no se observa asociación significativa para el resto de los índices.

Ninguno de los índices presenta correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

## Mes de Agosto.

Tabla 62.

Coeficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Agosto).

Índice	Ago	P1		Corr.	P2		Corr.	P3	
		ANOVA			ANOVA			ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,17217	2,780	0,0988972	-0,02983	0,019	0,8913706	-0,12137	1,187	0,2788816
TT	0,08978	0,739	0,3920987	0,03095	0,087	0,7683378	-0,09083	0,482	0,4894407
CAPE	-0,01394	0,018	0,8944741	0,04107	0,015	0,9019846	-0,13670	1,733	0,1913542
Td850	0,27115	5,865	0,0174286	0,05876	0,315	0,5758656	-0,02127	0,041	0,8396458

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

P1: Únicamente el índice Td850 muestra correlación significativa y un valor crítico del ANOVA menor a 0,05. Por lo que se evidencia una relación de dependencia con la variable. No así para el resto de los índices.

Ninguno de los índices mostró correlaciones significativas ni valores críticos del ANOVA por debajo de 0,05 para las variables P2 y P3; de modo que no existe relación de dependencia con estas variables.

## Mes de Septiembre.

Tabla 63.

Coefficientes de correlación y ANOVA para la región 13 (Septiembre).

Sep Índice	P1			P2			P3		
	Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA		Corr.	ANOVA	
		F	Sign.		F	Sign.		F	Sign.
KI	0,03276	0,092	0,7619031	-0,08995	0,342	0,5603057	-0,04526	0,002	0,9647937
TT	0,02125	0,039	0,8442423	-0,02282	0,011	0,9172538	-0,01529	0,009	0,9226815
CAPE	-0,03846	0,106	0,7451038	0,09288	0,748	0,3893910	0,20170	3,647	0,0594998
Td850	0,10173	0,881	0,3505165	-0,06260	0,185	0,6677925	-0,13888	0,563	0,4549677

\*Las celdas sombreadas indican que el ANOVA es significativo.

Los valores obtenidos para los coeficientes de correlación y el ANOVA muestran que ninguno de los índices presenta relación significativa con las variables categóricas.

### 4.13. ANÁLISIS GENERAL POR PERÍODOS:

A continuación se realiza el análisis general de las relaciones de dependencia entre los índices de estabilidad y las variables P1, P2 y P3, para el trimestre Julio-Septiembre y para cada uno de los meses de estudio en particular.

#### Trimestre Julio-Septiembre:

Tabla 64.

Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Jul-Sep).

Región		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
Jul-Sep	P1	KI											
		TT											
		CAPE											
		Td850											
	P2	KI											
		TT											
		CAPE											
		Td850											
	P3	KI											
		TT											
		CAPE											
		Td850											

P1: El índice Td850 presenta relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para todas las regiones estudiadas, excepto la número 11, lo que representa un 91,7% del total de regiones analizadas. Por otro lado, el índice KI muestra asociación significativa con la ocurrencia de la lluvia para el 75% de las regiones de estudio (todas excepto las regiones 1, 5 y 11). Los índices TT y CAPE, presentan ambos relación de dependencia con la variable solo para el 25% de las regiones de estudio (3, 6 y 9 para el primero y regiones 3, 4 y 5 para el segundo).

P2: Los índices CAPE y Td850 muestran relación de dependencia con la variable para el 25% de las regiones analizadas (3, 6 y 10 para ambos); sin embargo, es importante acotar, como se explicó en el análisis por regiones, que la relación entre CAPE y la variable en la región 10 se considera meramente estadística. Por otro lado, KI presenta asociación significativa con la variable únicamente para la región 6 (8,33% de las regiones). El índice TT no muestra relación significativa con la variable independiente en ninguna de las regiones de estudio.

P3: TT y CAPE muestran relación de dependencia con la variable para el 16,7% de las regiones (6 y 11 para el primero y regiones 7 y 9 para el segundo); sin embargo, como se explicó en el análisis por regiones, la relación entre CAPE y la variable en las regiones 7 y 9 se considera meramente estadística. Por otro lado, los índices KI y Td850 se relacionan de manera significativa con la ocurrencia de la lluvia únicamente para las regiones 11 y 8, respectivamente (8,3% de las regiones).

### Mes de Julio.

Tabla 65.

Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Julio).

		Región												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	
Julio	P1	KI			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		TT						■			■			
		CAPE	■				■							
		Td850			■	■	■	■			■	■		
	P2	KI						■		■				
		TT	■			■								
		CAPE	■		■									

P3	Td850													
	KI													
	TT													
	CAPE													
	Td850													

P1: El índice KI muestra asociación significativa con la ocurrencia de la lluvia para el 75% de las regiones de estudio (todas excepto 1, 2 y 5), abarcando un mismo porcentaje de regiones que en el trimestre Julio-septiembre, no obstante, las regiones son distintas. El índice Td850 presenta relación de dependencia con la variable para el 41,7% de las regiones analizadas (4, 5, 6, 9 y 10), abarcando menos de la mitad de las regiones abarcadas en el trimestre Julio-Septiembre. Por otro lado, TT y CAPE se relacionan significativamente con la variable solo para el 25% (6, 9 y 10) y el 16,7% (1 y 5) de las regiones, respectivamente.

P2: Los índices KI, TT y CAPE muestran relación de dependencia con la variable para el 16,7% de las regiones analizadas: 6 y 8 para KI; 1 y 4 para TT, mientras que 1 y 3 para CAPE. El índice Td850 no muestra relación significativa con la variable independiente en ninguna de las regiones de estudio.

P3: CAPE y Td850 muestran relación de dependencia con la variable para el 8,3% de las regiones (8 y 3). El resto de los índices no presenta relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para ninguna de las regiones estudiadas.

### Análisis general del mes de Agosto.

Tabla 66.

Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Agosto).

		Región	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
Agosto	P1	KI												
		TT												
		CAPE												
		Td850												
	P2	KI												
		TT												
		CAPE												

		Td850											
P3		KI											
		TT											
		CAPE											
		Td850											

P1: Td850 muestra relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para el 58,3% de las regiones de estudio (2, 4, 6, 7, 8, 9 y 13), lo que representa un porcentaje de regiones menor al abarcado en el trimestre julio-septiembre, pero mayor al de julio. Por otra parte, el índice KI se relaciona significativamente con la variable para el 50% de las regiones analizadas (3, 6, 7, 8, 9 y 10), abarcando un porcentaje menor al abarcado en el trimestre julio-septiembre y en el mes de julio. Finalmente, los índices TT y CAPE muestran asociación significativa con la variable para el 16,7% del total de regiones que conformaron el área de estudio (regiones 8 y 9 para el primero y regiones 3 y 5 para el último).

P2: El índice Td850 muestra relación de dependencia con la variable para el 25% de las regiones analizadas (2, 7 y 10). Los índices KI y TT muestran relación significativa con la variable únicamente para las regiones 7 y 2, respectivamente (25% de las regiones analizadas). Mientras que el índice CAPE no muestra asociación significativa con la variable independiente en ninguna de las regiones de estudio.

P3: TT y Td850 se relacionan significativamente con la variable para el 16,7% de las regiones (2 y 3 para el primero y regiones 7 y 10 para el último). Por su parte, el índice KI muestra relación de dependencia con la variable independiente únicamente para la región 3, abarcando un porcentaje de regiones de 8,3%. Mientras que CAPE no presenta asociación significativa con la ocurrencia de la lluvia para ninguna de las regiones estudiadas. Finalmente, Es importante acotar, como se explicó en el análisis por regiones, que la relación de los índices KI y TT con la variable para la región 3 se considera meramente estadística.

## Análisis general del mes de Septiembre.

Tabla 67.

Tabla resumen de relaciones significativas entre los índices y las variables P1, P2 y P3 (Septiembre).

		Región	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	
Septiembre	P1	KI		■		■						■			
		TT													
		CAPE			■					■					
		Td850										■			
	P2	KI													
		TT													
		CAPE			■										
		Td850													
	P3	KI									■				
		TT												■	
		CAPE													
		Td850									■				

P1: El índice KI presenta relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para las regiones 2, 4 y 10, lo que representa un 25% del total de regiones analizadas. Por otro lado, el índice CAPE muestra asociación significativa con la variable para las regiones 3 y 7 (16,7% del total de regiones), mientras que el índice Td850 presenta relación de dependencia con la variable únicamente para la región 9 (8,3% del total de regiones). El índice TT no muestra relación significativa alguna con la variable independiente para ninguna de las regiones de estudio.

P2: El índice CAPE muestra relación de dependencia con la variable únicamente para la región 3, lo que representa un 8,3% del total de regiones analizadas. El resto de los índices no muestra relación significativa con la variable independiente en ninguna de las regiones de estudio.

P3: Los índices KI, TT y Td850 muestran relación de dependencia con la variable para las regiones 8, 11 y 8 respectivamente (8,3% del total de regiones analizadas). El resto de los índices no se relaciona de manera significativa con la ocurrencia de la lluvia para ninguna de las regiones de estudio.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de los resultados obtenidos y de la metodología aplicada para el cumplimiento de los diferentes objetivos propuestos en esta investigación, se concluye lo siguiente:

Los índices Td500-T500 y W no pueden ser calculados de manera correcta (por lo menos para el período de estudio analizado) aplicando la metodología descrita en este informe, debido a que los sondeos generados por el modelo presentan con bastante frecuencia errores en la temperatura de rocío al nivel de 500 mb para todas las regiones; obteniéndose series de datos que resultan inservibles en el análisis de la relación con la ocurrencia de la lluvia para los índices en cuestión.

La técnica estadística correspondiente al cálculo de las correlaciones entre variables y al análisis de varianza (ANOVA) de un factor, resultó ser una herramienta satisfactoria para estimar el grado de dependencia existente entre cada uno de los índices y la ocurrencia de la lluvia. Permitiendo deducir cuáles de los índices resultan aplicables como herramientas de pronóstico en las diferentes regiones de estudio.

Los gráficos de recorrido de la media a un intervalo de confianza del 95%, del recorrido del índice y los histogramas de frecuencia, complementaron la información suministrada por las correlaciones y el ANOVA, permitiendo un análisis más profundo del comportamiento de los índices.

La región de la Costa Oriental del Lago (región 3) resultó ser la única en la que los cuatro índices (KI, TT, CAPE y Td850) se encontraron significativamente relacionados con la ocurrencia de la lluvia. Esto ocurrió para el trimestre julio-septiembre, no así para los meses de julio, agosto y septiembre por separado.

La región Sur 1 (región 11) presentó el menor número de relaciones significativas, existiendo dependencia con la ocurrencia de la lluvia únicamente para el índice KI en el mes de julio. Por lo que se concluye que los índices de estabilidad no presentan aplicabilidad como herramientas de pronóstico de lluvias en esta región. Lo que coincide con los resultados obtenidos por Romero (2000) sobre la Cuenca del Caroní, en la cual, ninguno de los índices estudiados resultó significativo.

Por otro lado, la región de la Cordillera de la Costa (región 6) fue, en general, la que presentó las correlaciones más fuertes y el ANOVA más significativo con la ocurrencia de la lluvia, consistente con los resultados obtenidos por Chourio (2009) en su estudio sobre la utilidad de índices de estabilidad como herramientas de pronóstico en la región Centro-Norte Costera de Venezuela.

El índice Td850 resultó el índice más frecuentemente significativo entre las diferentes regiones para el trimestre julio-septiembre y el mes de agosto, presentando relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para once regiones en el primer caso y siete regiones en el segundo. Por lo que se concluye que es el índice con mayor utilidad y aplicabilidad como herramienta de pronóstico entre todos los analizados.

El índice KI resultó ser el más frecuentemente significativo entre las regiones para los meses de julio y septiembre, mostrando relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para nueve regiones en el primer caso y 3 regiones en el segundo. De modo que presenta gran utilidad en los pronósticos de lluvia.

Los índices TT y CAPE resultaron los menos frecuentemente significativos entre las distintas regiones. Presentando, en el mejor de los casos, relación de dependencia con la lluvia para el 25% de las regiones. Esto último ocurrió, en el caso de TT, para el trimestre julio-septiembre y el mes de julio; mientras que para CAPE únicamente en el trimestre julio-septiembre. De esta forma, ninguno de estos índices se considera de gran utilidad en el pronóstico de lluvias para las distintas regiones.

La región de la Cordillera de la Costa (región 6) presentó el mayor número de índices significativamente correlacionados con los eventos de precipitación del día 2

(P2). Esto último ocurrió para el trimestre julio-septiembre, no así para los meses de julio, agosto y septiembre por separado.

Los índices CAPE y Td850, se mostraron, en general, como los más frecuentemente significativos entre las regiones en relación a la variable P2. Presentando sin embargo, en el mejor de los casos, relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia escasamente para el 25% de las regiones de estudio. Esto último ocurrió, en el caso de Td850, para el trimestre julio-septiembre y el mes de agosto; mientras que para CAPE únicamente en el trimestre julio-septiembre; no obstante, la relación existente entre CAPE y P2 para la región 10 es meramente estadística. De esta manera, se concluye que ninguno de los índices presenta aplicabilidad para predecir los eventos de lluvia del día siguiente.

El índice TT resultó ser el menos frecuentemente significativo entre las distintas regiones, en relación a la variable P2 Presentando, en el mejor de los casos, relación de dependencia con la lluvia para el 16,7% de las regiones. Esto último ocurrió, en el mes de julio.

Las regiones de La Costa Oriental del lago (región 3), Unare (región 8) y Sur 1 (región 11) presentaron el mayor número de índices significativamente correlacionados con los eventos de precipitación del día 3 (P3). Presentando relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia en el 16,7% del total de regiones analizado. Esto ocurrió para los meses de Agosto, Septiembre y el trimestre julio-septiembre, respectivamente.

Los índices TT y Td850, se mostraron, en general, como los más frecuentemente significativos entre las regiones en relación a la variable P3. Presentando sin embargo, en el mejor de los casos, relación de dependencia con la ocurrencia de la lluvia escasamente para el 16,7% de las regiones de estudio. Esto último ocurrió, en el caso de TT, para el trimestre julio-septiembre y el mes de agosto; mientras que para Td850 únicamente en el mes de Agosto. Por lo que se concluye que ninguno de los índices presenta utilidad para pronosticar los eventos de lluvia de los dos días siguientes.

Se observa una disminución en el número de relaciones significativas en la variable P3 con respecto a la variable P2, y en la variable P2 con respecto a la variable P1, en todos los períodos (trimestre julio-septiembre y meses julio, agosto y septiembre por separado); lo que indica que la relación entre el índice y la ocurrencia de la lluvia se torna más débil cuanto mayor es el intervalo de tiempo entre el cálculo del índice y el evento de precipitación.

El análisis para el trimestre julio-septiembre mostró mayor número de relaciones significativas para las variables P1, P2 y P3 que el análisis realizado para los meses julio, agosto y septiembre por separado. Lo que sugiere que la metodología más efectiva para trabajar con los índices resulta en el análisis por trimestre.

Así mismo, se observa una notable disminución (aproximadamente del 63%) en el número de correlaciones significativas en el mes de septiembre con respecto a los meses de julio y agosto. Lo que sugiere un debilitamiento en la relación de dependencia entre los índices de estabilidad y la ocurrencia de la lluvia para este mes en relación a los dos meses anteriores.

Finalmente y en general, tomando en conjunto las variables P1, P2, y P3 y todos los períodos de estudio (trimestre julio-septiembre y meses de julio, agosto y septiembre), las regiones de la Costa Oriental del Lago (región 3) y la Cordillera de la Costa (región 6) presentaron el mayor número de relaciones significativas entre todas las regiones analizadas, lo que indica que los índices presentan mayor aplicabilidad y utilidad como herramientas de pronóstico de lluvias en estas regiones. Por el contrario, las regiones de Falcón (región 1), Sur 1 (región 11) y las Islas (región 13) mostraron el menor número de relaciones de dependencia con la ocurrencia de la lluvia, por lo que se concluye que los índices de estabilidad no presentan gran utilidad en el pronóstico de precipitación para estas regiones.

## RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones formuladas en esta investigación, y con el fin de aportar a futuros estudios relacionados con los índices de estabilidad atmosférica en Venezuela, se plantean las siguientes recomendaciones:

Dado que los índices mostraron el menor número de relaciones de dependencia con la ocurrencia de la lluvia para las regiones de Falcón (región 1), Sur 1 (región 11) y las Islas (región 13), se recomienda realizar estudios con índices distintos a los analizados sobre estas áreas, con el fin de determinar alguno que resulte aplicable.

En vista de que Td850 y KI resultaron los índices más significativos, al mostrar mayor grado de dependencia con la ocurrencia de la lluvia en las diferentes regiones, se recomienda la elaboración de estudios exhaustivos, que permitan determinar sus respectivos umbrales para la lluvia, en las diferentes regiones en las que presentaron aplicabilidad.

Se recomienda la realización de investigaciones en las que se profundice sobre el comportamiento de los índices en el mes de septiembre, con el objetivo de determinar la causalidad de las correlaciones obtenidas en este mes, las cuales resultaron mucho menos significativas en comparación con las obtenidas en los meses de julio y agosto.

Se recomienda el uso de un sistema distinto al GDAS para la obtención de sondeos virtuales en los que la temperatura de rocío a los 500 mb resulte un dato más confiable, con la finalidad de estudiar la relación de dependencia entre los índices Td500T500 y W y la ocurrencia de la lluvia en las diferentes regiones de estudio.

Debido a la falta de datos de precipitación en las estaciones ubicadas sobre la región 12, el análisis de los índices de estabilidad no pudo realizarse para esta región; por lo que se recomienda la elaboración de estudios que permitan determinar su aplicabilidad como herramientas de pronóstico en esta área.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardenas, P., García, L., Gil, A., & Martelo, M. (2003). *Impacto de los eventos El Niño - Oscilación del Sur en Venezuela, Parte II*. Corporación andina de fomento., Caracas.
- Chourio, M. (2009). *Aplicación de índices de estabilidad atmosférica al pronóstico meteorológico de la región centro norte costera de Venezuela*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- D., J. (1982). *A stability analysis of AVE-IV severe weather soundings*. Documento en línea, NASA. Recuperado el 15 de enero de 2016, de Disponible: <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19830006553>
- Durán, M. (2008). *Determinación de la aplicabilidad de cinco índices de estabilidad atmosférica como herramienta de pronóstico para ser utilizada en la región centro norte costera de Venezuela*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Ghafarian, P., Sahraian, F., & Tajbakhsh, S. (2012). *Instability indices and forecasting thunderstorms: the case of 30 April 2009*. Documento en Línea, Universidad Islámica Azad, Theran, Irán. Recuperado el 15 de enero de 2016, de <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/403/2012/>
- Gottlieb, R. J. (Mayo de 2009). *Analysis of Stability Indices for Severe Tunderstorms in the Northeastern United States*. Tesis de Honores, Colegio de Agricultura y Ciencias de la Vida, Departamento de Ciencias Físicas de la Universidad de Cornell.
- Marinaki, A., Michalopoulou, H., & Spiliotopoulos, M. (2006). *Evaluation of atmospheric instability indices in Greece*. Documento en línea, Universidad de Atenas; Universidad de Tesalia, Grecia. Recuperado el 15 de enero de 2016, de <http://www.adv-geosci.net/7/131/2006/adgeo-7-131-2006.html>
- Martín, R. M. (s.f.). *Correlaciones con SPSS*. Recuperado el 28 de Agosto de 2016, de

[https://www.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/CO  
RRELACION\\_CON\\_SPSS.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/CO<br/>RRELACION_CON_SPSS.pdf)

Miller, R. C. (1972). *Notes on Analisis and Severe-Storm Forecasting Procedures of the Air Force Gobal Weather Central*. Fuerza Aerea de los Estados Unidos, Servicio de Clima Aereo.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1966). *International Meteorological Vocabulary* (Vol. 182). Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial.

Pardo Merino , A., & Ruiz Díaz, M. Á. (2005). *Análisis de datos con SPSS 13 Base*. Madrid: McGraw-Hill.

Peppier, R. (1988). *A review of static stability indices and related thermodynamic parameters*. Documento en línea, Divison de Revision de Aguas del Estado de Illinois, EEUU. Recuperado el 15 de enero de 2016, de <http://www.isws.illinois.edu/pubdoc/mp/iswsmp-104.pdf>

Romero, M. (2000). *Estudio de cinco índices de estabilidad atmosférica para la determinación de su aplicabilidad como herramienta en la elaboración de pronósticos hidrometeorológicos para la cuenca del Río Caroní*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Suarez, D. (1987). *Uso del Índice de estabilidad atmosférica de Showalter en la predicción de tormentas en Maracay*. Trabajo de Ascenso no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Vega, F. (s.f.). *Análisis de la Varianza*. Recuperado el 2 de septiembre de 2016, de Academia.edu: [https://www.academia.edu/19315412/Analisis\\_de\\_la\\_varianza](https://www.academia.edu/19315412/Analisis_de_la_varianza)