

INDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍAS TROPICALES BASADO EN DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y SATELITARIOS

Ingeniero Agrónomo Ligia Elizabeth Voss Hernández

Trabajo de Grado presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para optar
al Título de Magister Scientiarum en
Ingeniería Sanitaria, mención Ingeniería
Ambiental.

Caracas, Noviembre 1999

INDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍAS TROPICALES BASADO EN DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y SATELITARIOS

Ingeniero Agrónomo Ligia Elizabeth Voss Hernández

Trabajo de Grado presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para optar
al Título de Magister Scientiarum en
Ingeniería Sanitaria, mención Ingeniería
Ambiental.

Caracas, Noviembre 1999

I.- INTRODUCCIÓN

Las sequías constituyen un problema económico, pues ocasionan efectos adversos sobre la agricultura, el abastecimiento de agua, la hidroelectricidad, el turismo y otras actividades económicas. El estudio sistemático de ocurrencia de sequías en las regiones tropicales, en particular Venezuela, aportaría una valiosa información para minimizar estos efectos, con el objeto de racionalizar las actividades en la planificación de los diferentes procesos productivos, para el cual se deben tomar algunas consideraciones en su realización tales como las variables a estudiar y las metodologías a emplear. En Venezuela existen registros de observaciones de daños causados por este fenómeno atmosférico desde el siglo XVI (Vila, 1975), pero su estudio se ha visto obstaculizado: primero por la poca densidad de estaciones de observación, y segundo por la discontinuidad en la recopilación de los registros.

El estudio del fenómeno de sequía en las regiones tropicales generalmente se ha realizado empleando en forma separada dos metodologías: la tradicional que usa la variable precipitación mensual (P) en milímetros (mm) de lluvias caídas, medidas en estaciones meteorológicas terrestres, y la más novedosa que usa datos de satélites ambientales cuya variable más empleada se denomina *OLR* (*Outgoing Longwave Radiation*, W/m^2). Esto ha conducido que los estudios realizados en forma independiente presenten ligeras diferencias en sus resultados.

Adicional al empleo de estas dos metodologías, los estudios de sequías en las zonas tropicales también se realizan bajo dos enfoques: según el tamaño del área y según el tipo de actividad antropogénica (Jehn, 1966; Subrahmanyam, 1974; WMO, 1975). En el trópico se pueden abarcar áreas de 2,5° de latitud por 2,5° de longitud (aproximadamente 77.006 Km²), definidas así por el Centro de Análisis Climatológico de Washington (USA), y estas áreas pueden presentar múltiples actividades antropogénicas.

Aquí se acepta que las sequías tropicales son fenómenos atmosféricos caracterizados por indicadores como: mínimas cantidades de lluvias y mínima nubosidad. Para nuestro estudio, del primer indicador se tomarán los datos de las estaciones meteorológicas terrestres. El dato mínima nubosidad puede ser captado por los satélites ambientales como variable *OLR* (Gruber & Arkin, 1992; WMO, 1986).

OLR es la cantidad de radiación infrarroja emitida por el tope de una columna atmosférica después de sucesivas absorciones y emisiones de radiación, que originalmente se inicia en la superficie de la Tierra debido a que esta está por lo general más caliente que el tope de la atmósfera. Desde 1974 se cuenta con registros casi continuos de esta variable aportados por los satélites **TIROS** (Television Infrared Operational Satellite) los cuales son operados por NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration, USA). La información aportada por los satélites TIROS es muy conveniente para los estudios de anomalías de sequías tropicales porque cubren la superficie con observaciones sobre mosaicos uniformes de 2,5° x 2,5° geográficos y resolución temporal mensual, aunque también está disponible información de mayor resolución espacial pero no es de público acceso.

Partiendo de esta combinación de metodologías, el empleo de las variables precipitación (P , mm) y OLR (W/m^2) como indicadores de sequías podrían reducir las limitaciones del análisis de los resultados que presentan individualmente y se sumarían sus alcances para un estudio integral de este fenómeno atmosférico, donde se determine el grado de severidad y al mismo tiempo se haga un diagnóstico de la situación.

El presente trabajo pretende iniciar el desarrollo de un **Índice** para el estudio de **severidad de sequías tropicales** en dos áreas de la porción norte de Suramérica, basado en la combinación datos de precipitación de lluvias obtenidos de estaciones meteorológicas convencionales y de datos satelitarios OLR . Los resultados que se obtengan servirán de base para realizar un diagnóstico del fenómeno de sequía mediante un sistema de clasificación según su **Duración, Intensidad y Frecuencia**.

II.- ANTECEDENTES:

Los primeros trabajos que se realizaron sobre *OLR* y su relación con precipitación lo llevó a cabo Kapitsa en 1974, quien observó, en áreas tropicales del Océano Pacífico, una alta correlación entre el brillo intenso de nubes y baja temperatura en la Ventana IR (infrarroja) de la banda del vapor de agua con alturas de nubes bajas, alta humedad relativa, gran cobertura nubosa y alta probabilidad de lluvias y actividad de tormenta. Otros trabajos relacionados han sido reportados por varios autores, pero para un análisis de los mismos se requiere de una consideración previa de la circulación general de la atmósfera, con el objeto de explicar el fenómeno de la sequía y del estudio de nubosidades en los trópicos empleando datos satelitarios, aspectos estos que serán referidos de manera concisa en los próximos subcapítulos (II.A, II.B, II.C y II.D).

II. A) EFECTOS DE ALGUNOS PROCESOS FÍSICOS ATMOSFÉRICOS EN LA CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA:

La tendencia del movimiento de las presiones en la atmósfera logran diferenciar áreas mundiales de altas presiones llamadas *Anticiclones* y áreas mundiales de bajas presiones denominadas *Ciclones*. Alrededor del Ecuador hay una franja de relativa

baja presión llamada *Zona de Convergencia Intertropical* (ITCZ, siglas en inglés), y a ambos lados de esta franja, a partir de 35° N y 30° S, existen dos zonas de altas presiones llamadas *Cinturones Anticiclónicos*. El movimiento superficial del aire tiende a cruzar las zonas anticiclónicas y dirigirse hacia las zonas ecuatoriales o tropicales produciéndose el proceso de *Convergencia*.

Como no es posible que las masas de aire se acumulen en las tibias zonas ecuatoriales cuando ocurre la convergencia de los vientos, estas deben ascender cuando son calentadas directamente por el suelo tropical, van cargándose de humedad debido a la evaporación, y el espacio que dejan es ocupado por otra masa de aire frío convergente que también se calienta y se eleva, así sucesivamente, produciéndose el proceso de *Convección*. Por convección, en las regiones tropicales se puede observar en determinadas épocas del año un cielo nublado o cubierto de precipitaciones.

La salida de aire desde las zonas de altas presiones se conoce como *Divergencia*, pero no se crea un vacío, sino que el aire divergente es reemplazado por otras masas de aire frío libres que comienzan a descender y se calienta produciéndose el proceso de *Subsidencia*, y es por ello que en estas zonas suele haber un cielo despejado en determinadas épocas del año.

Los vientos que convergen desde los Cinturones Anticiclónicos hacia las zonas ecuatoriales son los *Alisios* y su permanencia es casi constante; en el Hemisferio Norte soplan los alisios del noreste y en el Hemisferio Sur soplan los alisios del sureste, y como resultado de tal régimen de convergencia, a este proceso se le conoce en la Meteorología Sinóptica como *Convergencia Intertropical*.

Durante las temporadas de lluvias, en las regiones tropicales se observa con frecuencia que una combinación de altas temperaturas en la superficie (debido al calentamiento solar), la inestabilidad atmosférica, un alto contenido de humedad y la condensación del vapor de agua durante los procesos convectivos, conducen al desarrollo de grandes nubes cúmulonimbus con yunques de topes muy fríos. Durante las temporadas de sequías, la circulación de los vientos alisios suprime el ascenso de las masas de aire (Inversión de los Alisios) inhibiendo la formación de estas nubes y por ende la precipitación de las lluvias.

II. B) ANOMALÍAS CLIMATOLÓGICAS COMO MEDIDAS DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO:

La descripción del estado instantáneo de la atmósfera recibe el nombre de *Tiempo Meteorológico*, y la integración de todos los tipos posibles de este tiempo se denomina *Clima*. El clima de una localidad o región se estudia, desde un punto de vista práctico, mediante el análisis de series de tiempo meteorológicos. El uso de series mensuales de tiempo para cada uno de los meses del año y sus estadísticos es la práctica común en la actualidad. La diferencia entre el valor de una variable para un mes y un año determinado y su valor medio para un lapso de varios años (período de registro) se denomina *Anomalía Climatológica*.

Las anomalías climatológicas pueden ser estudiadas desde un nivel local o puntual hasta un nivel regional o de área. Cuando se trabaja a un nivel local se emplean datos

7

de estaciones meteorológicas específicas o datos interpolados entre estaciones, pudiéndose incurrir en errores conceptuales de interpretación de las causas de las anomalías debido a la modificación de la superficie circundante. Hoy día, para el estudio de las anomalías climatológicas, el empleo de datos obtenidos por satélites representa una ventaja por cuanto la intervención antropogénica de la superficie no es problema, y el promedio de las observaciones realizadas a escala local puede representar a la región como un todo, y las regiones tropicales no montañosas se consideran idóneas para estos estudios.

De la porción norte de Suramérica y el Mar Caribe se tienen informaciones sobre la existencia de anomalías climatológicas en la convección de nubes cúmulos y en la subsidencia en las ramas descendentes de la Célula de Hadley (modelo de la circulación general de la atmósfera), los cuales han sido reportados en el Boletín Mensual de Diagnóstico Climatológico del W/NMC52 editado por Kousky y Kopman (1985-1990), determinándose que la variación espacio-tiempo de las anomalías no es periódica y requiere la continuación de estudios más detallados a nivel de áreas tropicales.

Los datos obtenidos mediante satélites son muy convenientes para investigaciones de este tipo, puesto que permiten el análisis e interpretación de series de tiempo de radiancias infrarrojas relacionadas con el balance de radiación del sistema superficie-atmósfera.

II. C) NOAA / TIROS: SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Los satélites TIROS, desde su inicio de operaciones en 1960, han sido destinados a la específica función de capturar datos de la atmósfera y de las radiaciones provenientes de la tierra, por lo tanto se emplean para estudios de tiempo meteorológico o clima y constituyen una valiosa ayuda para los pronósticos del tiempo, sobre todo considerando que permiten la captación de datos en "tiempo real". A estos satélites meteorológicos se le han incorporado instrumentos sensores (radiómetros) que permiten la captura y análisis de diferentes intensidades de radiaciones electromagnéticas provenientes de cuerpos y fenómenos del planeta, por lo que los sensores satelitarios pueden procesar varias imágenes de una misma escena para cada tipo de radiación.

Actualmente, la obtención del dato captado por el sensor es posible conseguirlos cargados en cintas magnéticas y diskettes compatibles con computadoras electrónicas digitales, microcomputadoras personales e incluso vía Internet.

Los satélites TIROS tiene una altura típica de 800 Km sobre el nivel medio del mar, una gran inclinación con respecto al Ecuador de casi 90° y órbita casi polar. Su cruce sobre el Ecuador se realiza a la misma hora solar en pasajes diurnos y nocturnos, por lo que son muy apropiados para el estudio diario de nubosidades y convección en los trópicos.

II. D) *OLR* COMO DATO SATELITARIO DE RADIACIÓN INFRARROJA:

Como los sensores de los satélites TIROS captan radiaciones infrarrojas (IR), entonces captan radiaciones térmicas, y los valores de estas radiaciones vienen dados en *Emitancias*. La emitancia se define como “el cociente del flujo de radiación emitida por un elemento infinitesimal de una superficie conteniendo el punto en consideración, dividida entre el área de ese elemento”, siendo la unidad W/m^2 . La cantidad de IR que proviene del sistema superficie - atmósfera captada por el sensor abarca la zona espectral 10,5-12,5 μm , y la atmósfera es altamente transparente en este rango, no constituyéndose el vapor de agua atmosférico en un obstáculo puesto que presenta una transmisividad (transparencia) entre 80% a 90% en este intervalo de la banda IR, la cual se le identifica como Ventana del Vapor de Agua o Ventana Atmosférica IR.

La conversión del flujo radiante IR a flujo total de emitancia se efectúa empleando una curva de calibración construida de acuerdo a las Leyes de la Radiación de Planck y la de Stefan-Boltzman. A esta cantidad de emitancia se le relaciona con la variable *OLR*, la cual se resume en la ecuación propuesta por Stefan-Boltzman:

$$OLR = \sigma (T)^4$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzman igual a $5.67 \cdot 10^{-8}$ Watt/m² (°K⁻⁴), T es la temperatura efectiva de emisión en °K, y OLR es el área bajo la curva de la ecuación de Planck para la misma temperatura.

La variable OLR registrada por los satélites TIROS es obtenida mediante el sensor "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) y el canal "water vapour window" (10,5-11,5 μ m), ha sido empleada para caracterizar el estado medio del tiempo en regiones tropicales por cuanto se usa como un índice de subsidencia o convección tropical. La banda referida abarca aproximadamente las máximas longitudes de onda de emisión de la tierra a una temperatura por el orden de 293 °K y de emisión de la atmósfera a una temperatura de 250 °K.

II. E) LLUVIA Y NUBOSIDAD COMO DATOS DE PRECIPITACIÓN Y OLR PARA EL ESTUDIO DE UNA ANOMALÍA CLIMATOLÓGICA: LA SEQUÍA

Las regiones tropicales presentan dos temporadas o estaciones climáticas: una estación con mayor cantidad de lluvias y nubosidad denominada estación de lluvias o temporada húmeda, y una estación con menor cantidad de lluvias y nubosidad denominada estación seca o temporada de sequía. Cuando en estas temporadas se presentan mayor o menor cantidad de lluvias y nubosidad que el promedio de un período de registro se produce una situación anómala climatológica. La sequía constituye un fenómeno climatológico, que debido a su importancia y efectos en las

11

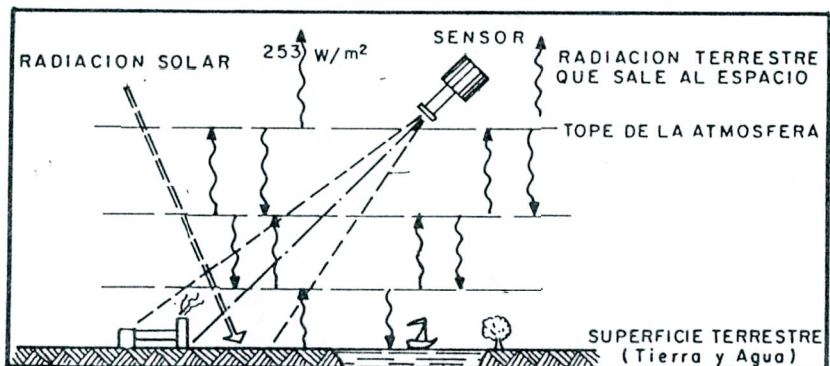
regiones tropicales, se han usado para su estudio tanto la cantidad de lluvias caídas (Rango, 1967; Appa, 1986) como la disminución de nubosidad (Janowiak, 1985). Durante la estación seca, prevalecen cielos con poca nubosidad debido a los efectos de subsidencia de gran escala producidos por los anticiclones. En la parte norte de Suramérica predominan los anticiclones del Océano Atlántico Norte o de las Azores; la poca nubosidad se debe a movimientos convectivos verticales locales que logran superar a los movimientos descendentes anticiclónicos hacia las zonas de bajas presiones tropicales. Durante la estación de lluvias, sobre esta área actúan varios mecanismos productores de lluvias, siendo el principal mecanismo la existencia de nubes convectivas debido a la Convergencia Intertropical sobre el Mar Caribe.

Para dar información sobre ausencia o presencia de nubosidad, Janowiak *et al* (1985) realizaron estudios sistemáticos de *OLR*, he indicaron que las regiones tropicales de Suramérica y África bajo la influencia de subsidencia anticiclónica, casi despejado, emiten hacia el espacio valores de *OLR* por el orden de 260 W/m^2 (las regiones de los vientos alisios presentan estos valores), y en las regiones bajo la influencia convectiva tropical continental, casi nublada, presentan valores por debajo de 260 W/m^2 estando por el orden de 200 W/m^2 . La diferencia radica en que, en condición subsidente, la radiación de la superficie tibia tropical sale al espacio mediante transferencia simple sin la interferencia de nubes, pues estas se presentan en muy pocas cantidades, y en la condición convectiva los topos fríos de las nubes se encuentran en las partes más altas de la troposfera donde el hielo llega a una temperatura inferior a -30° C proveniente de los topos de nubes cúmulos.

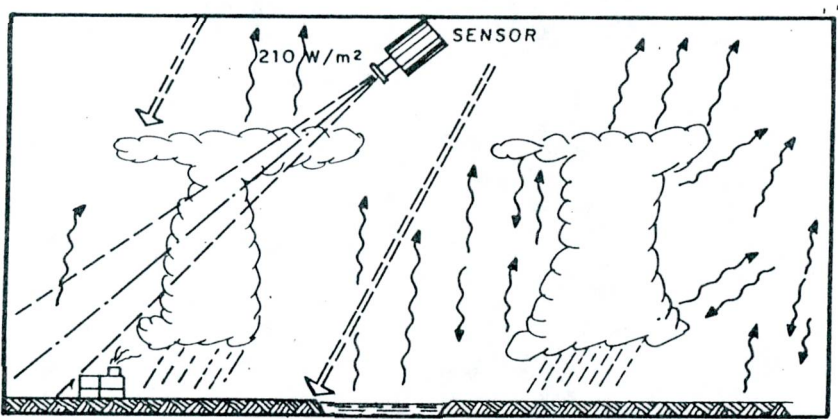
En consecuencia, estos autores señalan que la interpretación de los datos *OLR* indica que: a) Valores altos *OLR* representan ausencia de nubes de gran desarrollo vertical (como los cúmulonimbus), y radiación IR proveniente de la superficie terrestre (tierra, mar, lagos y ríos); b) Valores bajos *OLR* representan zonas con altas nubes convectivas, cuyos topes fríos emiten baja radiación IR. En la **Figura 1** se ilustra una situación con o sin nubes captados por el sensor de un satélite.

En los estudios de sequías tropicales poco se ha empleado la combinación de datos de lluvias medida con pluviómetros y datos *OLR* medidos por satélites. En tal sentido, se han iniciado estudios sistemáticos de sequías tropicales combinando estos datos con el objeto de confirmar la relación entre la información pluviométrica de sequía con la información satelitaria de subsidencia. Hidalgo (1991), realizó estudios que abarcaron las áreas tropicales bajas de la cuenca del río Amazonas y estimó un valor de *OLR* de 253 W/m^2 para una cantidad de lluvia de 75 mm, que según el criterio de Garnier (1960), es el umbral de la temporada de lluvias regionales. Estos resultados definieron que un mes con media *OLR* $\geq 253 \text{ W/m}^2$ se clasifica como *seco subsidente* y con media por debajo de este valor se puede clasificar como *pluvioso convectivo*, característico de la porción norte de Suramérica.

Así mismo, Hidalgo (1995) realizó una caracterización mensual de un clima tropical combinando datos *OLR* y de precipitación en un área local puntual ubicada en 10° Latitud Norte y $67,5^\circ$ Longitud Oeste (UCV, Caracas, Venezuela) obteniendo cuatro categorías del tiempo o clima: 1) *despejado sin lluvia* (seco subsidente); 2) *nublado casi sin lluvia* (seco parcialmente convectivo); 3) *nublado lluvioso* (húmedo convectivo) y, 4) *lluvioso casi despejado* (húmedo parcialmente subsidente). Observó que en un período



a) SITUACION DE CIELO SIN NUBES, EL SENSOR PERCIBE RADIACION CALORICA EN LA BANDA IR, ALREDEDOR DE 253 WATT/m² EN LA REGION INTERTROPICAL DE TIERRAS BAJAS.



b) SITUACION DE CIELO CON NUBES, EL SENSOR PERCIBE RADIACION CALORICA EN LA BANDA IR, EN EL ORDEN 210 WATT/m² PROVENIENTE DE LAS NUBES

~~~~~> RADIACION CALORICA DE ONDA LARGA  
 ===> RADIACION SOLAR ENTRANTE

**FIGURA 1.-** En la figura se esquematiza la captura de radiación IR (infrarroja) por el sensor de un satélite en situación de cielo sin nubes (a) y cielo con nubes (b), como dato OLR.

de registro de 21 años (1974 – 1994), en esta localidad las temporadas de lluvias abarcan ocho meses (abril – noviembre) y la temporada seca tres meses (enero – marzo). El mes de diciembre lo consideró transicional lluvioso casi despejado. También determinó que dentro de una temporada seca hubo una anomalía lluviosa y dentro de unas temporadas de lluvias hubo anomalías de sequías. Eventos como estos últimos fueron reportados por Stringer (1972) y la definió como típicas anomalías tropicales para pocos períodos estacionales locales.

Apoyándose en la anterior caracterización, Hidalgo (1999) modificó el procedimiento para caracterizar cada mes calendario en una región neo-tropical localizada al sur de Venezuela (norte de Suramérica), usando también datos combinados promediados de una red de estaciones pluviométricas y variación espacial de *OLR* obtenidos en los mapas de Kousky & Ropelewski (1997), durante un período de registro de 23 años (1974 – 1996); todo ello con el objetivo de definir dos temporadas fundamentales tropicales: seco y húmedo. Así mismo concluye, que la determinación de un lapso nominal de temporadas o estaciones tropicales secas y temporadas o estaciones tropicales húmedas está asociado a una situación sinóptica particular. Para esta área el lapso nominal de estación seca está asociado a un flujo tropical anticiclónico e inversión de los alisios; el lapso nominal de estación húmeda está asociado con la depresión ecuatorial durante su progresión meridional sur-norte y norte-sur, con ocurrencias de anomalías de lluvias o de anomalías de escasez de lluvias dentro de una u otra temporada durante el período de registro.

Así mismo, Hidalgo (1999) sugirió algunas consideraciones a tomar en cuenta para la aplicación de estos procedimientos, en combinar datos pluviométricos con datos

satelitarios, pues tiene sus excepciones, particularmente con el dato *OLR*, el cual se basa en un esquema de caracterización mensual de umbrales apropiados para superficies homogéneas de bajo nivel y no para grandes extensiones de superficies altas como las Serranías Andinas Suramericanas. En estas regiones *OLR* arrojaría valores bajos ocasionados por el efecto de enfriamiento de altitudes superiores a 2000 m, pudiendo caer por debajo de  $253 \text{ W/m}^2$ , el cual está asociado con débiles convecciones húmedas y resultaría en un dato falso de estación húmeda convectiva. Otra excepción sería cuando las regiones son geográficamente heterogéneas, como los ambientes costeros tropicales cercanos a cadenas montañosas, debido a que existen condiciones meteorológicas diferentes y los valores de *OLR* podrían resultar en una condición media más que una categoría significativa.

### III.- METODOLOGÍA

El desarrollo del Índice de Severidad de Sequías Tropicales (el cual vamos a identificarlo como *INDISS*), estuvo centrado en la combinación de las variables indicadoras de sequías precipitación (*P* en mm) y longitud de onda larga saliente *OLR* ( $W/m^2$ ). Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Se definió el método para desarrollar el *INDISS*.
- 2) Se diseñaron las matrices para cargar los datos de las variables *P* y *OLR* según el período de registro que se obtuvo.
- 3) Se establecieron los criterios para el diseño de tablas de clasificación del *INDISS* según su Duración, Intensidad y Frecuencia.
- 4) Se establecieron los criterios para la selección de dos áreas de estudio en una región tropical.
- 5) Se establecieron los medios para la obtención de la información de los datos pluviométricos (*P*) y satelitarios (*OLR*).
- 6) Se cargaron los datos de *P* y *OLR* en las matrices de datos previamente diseñadas.
- 7) Se determinó la ocurrencia de una anomalía seca estimando el grado de desvío de las variables *P* y *OLR* para un mes de un año determinado del período de registro.
- 8) Se calculó el *INDISS* para cada área de estudio mediante la combinación de los resultados del desvío normalizado de *P* y *OLR* para cada mes durante los años de registro.

- 9) Se realizó el diagnóstico del *INDISS* a fin de determinar el número de ocurrencias durante el registro, según los rangos de clasificación Duración, Intensidad y Frecuencia de los fenómenos de sequías.
- 10) Se establecieron los criterios de validación del *INDISS*.
- 11) Se validó cualitativamente el *INDISS* según los criterios de validación establecidos.
- 12) Se compararon las ocurrencias de los *INDISS* y sus coincidencias entre las dos áreas de estudio.

#### IV.- RESULTADOS Y DISCUSIONES:

De acuerdo a la metodología establecida se obtuvieron los siguientes resultados:

##### IV. A) DEFINICIÓN DEL MÉTODO PARA DESARROLLAR EL ÍNDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍAS TROPICALES (*INDISS*):

Cuando la cantidad de precipitación ( $P$ , mm) de una localidad en un mes determinado de un año determinado es mucho menor que un valor medio determinado para ese mes durante un período de registro de varios años consecutivos, se puede pensar en una situación de déficit de lluvias durante ese mes. Si se calcula el desvío adimensional normalizado de  $P$ , éste puede ser usado para caracterizar la magnitud del déficit, y este desvío también puede denominarse anomalía de  $P$ , el cual se expresará como  $\{P\}$ . Para un mes y año determinado  $\{P\}$  se define como:

$$\{P\} = (P - [P]) / \sigma_P \quad (1)$$

Donde  $P$  es la cantidad o total de lluvia caída un mes y año determinado;  $[P]$  es la media aritmética de  $P$  para un mes determinado de un período de años de registro, y  $\sigma_P$  es la respectiva desviación estándar de  $P$  para un mes determinado del período de registro. El resultado  $\{P\} < 0$  puede ser usado como un indicio de la magnitud del déficit de lluvias o una situación anómala de sequía.

Las anomalías de sequías también pueden ser estudiadas considerando factores como los agrícolas, pero aquí se considerará a las sequías como fenómenos meteorológicos que

pueden ser estudiados de la misma forma en cualquier superficie tropical, es decir, considerando variables hidrometeorológicas, las cuales han sido empleadas en los estudios de diagnóstico climatológico a nivel mundial.

El análisis de  $P$  y  $\{P\}$  no aporta por sí solo información espacial de la sequía ni información sobre el grado de subsidencia atmosférica (casi sin nubes). Como la red pluviométrica tropical es poco densa y la recolección de datos es lenta, por lo general se obtienen los datos mucho después de haber ocurrido el fenómeno, y esto obliga por un lado a estudiar sequías en áreas con redes pluviométricas densas y, por otro lado, buscar otra alternativa para estudios geográficos de sequías como sería obtener información sobre subsidencia con el uso de datos satelitarios.

A partir de la fórmula (1), el uso del dato satelitario  $OLR$  nos sirve como una indicación de subsidencia, y el desvío normalizado de esta variable se expresará como  $\{OLR\}$  y también puede denominarse una anomalía de  $OLR$ . Para un mes y año determinado  $\{OLR\}$  se define como:

$$\{OLR\} = (OLR - [OLR]) / \sigma_{OLR} \quad (2)$$

Donde  $OLR$  se calcula como el promedio de radiación de pequeñas áreas de 1 Km x 1 Km de un área en estudio durante un mes y año determinado;  $[OLR]$  es el valor medio aritmético de  $OLR$  para un mes determinado de un período de registro de varios años consecutivos, y  $\sigma_{OLR}$  es la desviación standard de  $OLR$  del mes en consideración durante el período de registro correspondiente.

En las áreas tropicales bajas,  $\{OLR\} > 0$  es una indicación de subsidencia y de probable sequía para nuestro análisis.

Consecuentemente, se trata de desarrollar un índice estadístico positivo con valores que van aumentando en la medida que aumenta el valor de la magnitud de la sequía. Durante las sequías se pueden presentar situaciones de subsidencia fuerte y poca lluvia como también puede observarse una subsidencia débil con escasa lluvia. En el primer caso la sequía es más severa que en el segundo caso debido a la incidencia de radiación solar directa sobre el suelo. En este caso, la diferencia entre  $\{OLR\}$  y  $\{P\}$  es positiva en situaciones de verdaderas sequías y aumenta con la severidad, obteniéndose esta diferencia mediante la expresión:

$$DIF = \{OLR\} - \{P\} \quad (3)$$

Debido a que la noción del déficit de lluvia es aceptada como un indicio de probables sequías, estas pueden ser definidas mediante las expresiones  $\{P\} < 0$  y  $\{OLR\} > 0$ ; entonces se puede establecer que existe una anomalía de sequía cuando  $DIF$  es mayor a cero ( $DIF > 0$ ), cuyo grado de severidad dependerá del valor resultante y de los rangos que

se establezcan. Por otro lado se puede establecer que cuando  $DIF \leq 0$  se puede aceptar que no existe sequía.

Por lo tanto, tomando en cuenta las anteriores consideraciones, el desarrollo de un índice de severidad de sequías puede ser definido según la siguiente expresión:

$$INDISS = 100 \times (|DIF| + DIF) / 2 \quad (4)$$

Donde *INDISS* es el índice de severidad de sequías y no posee cota superior teórica;  $|DIF|$  es la función valor absoluto de  $\{OLR\} - \{P\}$ . El factor 100 introducido en la expresión (4) elimina los decimales y produce valores *INDISS* entre 0 y aproximadamente 500, ya que los mayores valores de  $|DIF|$  estarán en el orden de magnitud de -5 a +5 para el caso de sequías severas.

Como los datos de lluvias para obtener  $\{P\}$  de un área de estudio para un mes y año determinado es bien conocido, sin embargo para *OLR* se observa que:

- a) Deben estar referidos a áreas de la Tierra de 2,5° por 2,5°.
- b) Cada dato de *OLR* es la media sobre el área y es representativo del área cuando el relieve posee irregularidades menores. En caso de presencia de cuerpos de agua, debe existir una distribución espacial uniforme de tierras y aguas.
- c) Si la zona de estudio no está localizado en el centro del área de *OLR*, se hace necesario estimar el valor suponiendo que la zona estuviera centrada en 2,5° por 2,5°. Generalmente para ello se usa un método de interpolación propuesto por Linsley (1987), que en nuestro no fue necesario.

Cabe señalar que en la actualidad existen estimados mensuales de lluvia determinados por satélites (Kousky *et al*, 1995), pero su uso está en fase experimental y requiere de verificaciones adicionales.

#### IV. B) DISEÑO DE LAS MATRICES DE DATOS:

Con base en la definición del *INDISS*, se diseñaron cinco tipos de matrices para las variables en estudio (*P* y *OLR*), y para el cálculo del índice (*INDISS*); a saber:

- a) Para cada área de estudio, se diseñaron dos tipos de matrices para cargar los datos de *P* de cada estación pluviométrica y para las medias mensuales de *P* y *OLR* del período de registro. La primera fila a una sola columna fue para identificar la variable; la segunda fila se dividió en 14 columnas para identificar: año de registro, los 12 meses del año y la totalización o promedio para cada año (para *P* es total de precipitación anual y para *OLR* es promedio de  $W/m^2$  anual). El número de filas sucesivas con igual número de columnas corresponderán con el período de registro de años consecutivos que se obtengan; las dos últimas filas con igual número de columnas se dejaron para calcular, respectivamente, la media aritmética mensual y la desviación standard correspondientes a estas variables.
- b) Se diseñaron otros dos tipos de matrices para cargar los datos calculados del desvío normalizado mensual o de anomalía ( $\{ \}$ ) para cada variable *P* y *OLR*, cuyos diseños esquematizados fueron iguales a los anteriores.
- c) Se diseñó una quinta matriz para cargar los datos calculados del *INDISS* (ecuación 4), producto de la combinación de las matrices de las desviaciones normalizadas de *P* y

*OLR* (ecuación 3), en forma semejante a las anteriores con excepción de las dos últimas filas que no se cuantifican.

#### IV. C) CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL *INDISS* SEGÚN SU DURACIÓN, INTENSIDAD Y FRECUENCIA.

La caracterización de sequías a través del *INDISS* requiere de información sobre extensión geográfica, duración, intensidad y frecuencia. En este estudio no se incluye la extensión debido a que sólo se trabaja el desarrollo del *INDISS* para dos áreas tropicales distantes y de climas diferentes.

La **Duración** de una sequía (*Ds*) se define como el número de meses consecutivos durante los cuales *INDISS* es mayor que un determinado valor umbral. La duración puede ir desde un mes hasta varios meses, por ejemplo seis meses consecutivos. En esta forma se empleó de manera preliminar la siguiente clasificación que se observa en el **Tabla 1**:

**Tabla 1:** Clasificación de las sequías según su Duración (*Ds*).

| DURACIÓN                 | Nº DE MESES           |
|--------------------------|-----------------------|
| <i>Ds</i> Muy Corta      | Un (1) mes            |
| <i>Ds</i> Corta          | Dos (2) meses         |
| <i>Ds</i> Larga          | Tres (3) meses        |
| <i>Ds</i> Muy Larga      | Cuatro (4) meses      |
| <i>Ds</i> Extraordinaria | Cinco (5) o más meses |

La **Intensidad** de una sequía (*Is*) se referirá como al valor de *INDISS* durante los meses de una sequía. La *Is* debe ser un indicador de la severidad de la sequía, como por ejemplo el valor del promedio aritmético de *INDISS* durante meses consecutivos de diferentes intensidades de sequías. Se podría emplear el valor máximo o el valor mediano, pero, para simplificar el análisis se escogió la media aritmética de meses consecutivos de sequías.

La intensidad del *INDISS* se clasificó con base a una clasificación propuesta por Conrad (1962), la cual se modificó según se observa en el **Tabla 2:**

**Tabla 2:** Clasificación de las sequías según su Intensidad (*Is*).

| INTENSIDAD               | RANGO                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| <i>Is</i> Muy Leve       | $0 \leq \text{INDISS} \leq 49$                  |
| <i>Is</i> Leve           | $50 \leq \text{INDISS} \leq 99$                 |
| <i>Is</i> Moderada       | $100 \leq \text{INDISS} \leq 149$               |
| <i>Is</i> Intensa        | $150 \leq \text{INDISS} \leq 199$               |
| <i>Is</i> Muy Intensa    | $200 \leq \text{INDISS} \leq 249$               |
| <i>Is</i> Extraordinaria | $250 \leq \text{INDISS} \leq \text{siguientes}$ |

La Frecuencia ( $F_s$ , %) se refiere al número de veces ( $N_f$ ) en que una sequía de determinada duración ( $D_s$ ) ocurrió con respecto al período de registro ( $N_r$ ):

$$F_s(\%) = 100 * N_f / N_r$$

La clasificación propuesta se observa en el **Tabla 3**:

**Tabla 3:** Clasificación de las sequías según su Frecuencia ( $F_s$ , %).

| FRECUENCIA               | RANGO                       |
|--------------------------|-----------------------------|
| $F_s$ Muy Frecuente      | $F_s(\%) \geq 100\%$        |
| $F_s$ Frecuente          | $99\% \geq F_s\% \geq 50\%$ |
| $F_s$ Poco Frecuente     | $49\% \geq F_s\% \geq 10\%$ |
| $F_s$ Muy poco Frecuente | $9\% \geq F_s\% \geq 0\%$   |

#### IV. D) CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO:

La dificultad de adquirir datos de  $P$  obliga a estudiar sequías sólo en áreas con redes pluviométricas densas y de fácil acceso a la información.

El estudio de sequías con base a datos puntuales de  $P$  obtenidos en estaciones pluviométricas convencionales, también tiene el inconveniente de la alta variabilidad espacial de las lluvias; por lo tanto, es aconsejable el uso de promedios de  $P$  en áreas que coincidan con las áreas  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  de manera que se puedan usar conjuntamente con los datos  $OLR$ . Como una alternativa para caracterizar subsidencia es el uso de estos datos

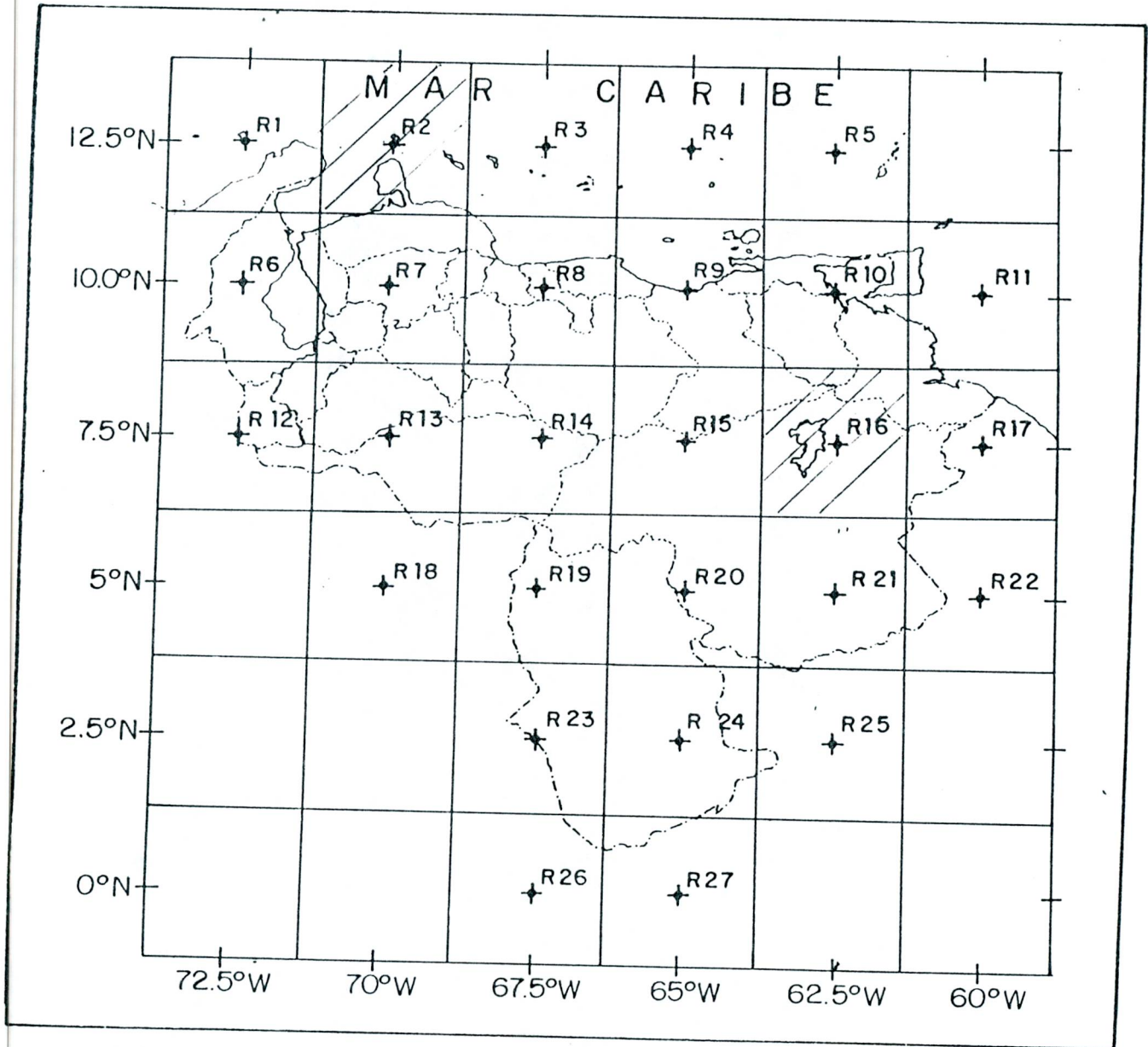
preparados por NOAA con base a datos crudos del sensor AVHRR en el rango promedio de 11  $\mu\text{m}$  a bordo de los satélites orbitales TIROS, en tal sentido, se seleccionaron dos áreas tropicales de  $2,5^\circ$  de latitud y  $2,5^\circ$  de longitud y de climas diferentes con información pluviométrica y satelitarias disponibles. Para la aplicación del *INDISS* se eligieron dos áreas centradas en  $7,5^\circ$  N y  $62,5^\circ$  W y  $12,5^\circ$  N y  $70^\circ$  W al norte de Suramérica (Venezuela). En la **Figura 2** se muestra un Mapa de Venezuela con cuadrículas  $2,5^\circ$  por  $2,5^\circ$  correspondientes a las regiones *OLR* con la ubicación de las áreas de estudio.



A continuación se hace una breve descripción de las áreas seleccionadas:

A.-) El área centrada en  $7,5^\circ$  N y  $62,5^\circ$  W se identificó como el **área de Guri**; esta área se encuentra en una zona de transición entre el Mar Caribe y la Cuenca del río Amazonas donde se espera alta variabilidad del régimen de lluvias a través de los años, variabilidad que puede permitir un mejor estudio de *INDISS*. Aquí prevalece la Convergencia Intertropical de los alisios del NE y del SE, que inicia su migración en enero desde el sur del Ecuador, pasa por esta área en mayo y a partir de agosto regresa hacia el Ecuador.

El área de Guri presenta un relieve que va desde una altiplanicie de topografía plana hasta alturas que oscilan entre 200 a 800 msnm; presenta un clima predominante de sabana hacia el norte y un clima húmedo tropical hacia el sur. La temperatura media anual varía desde 22 a  $28^\circ\text{C}$ ; los vientos predominantes son los alisios del noreste durante el período de lluvias y en época de sequías los alisios del sureste (franja de las calmas intertropicales).

Esta área reviste gran importancia desde el punto de vista económico por tres aspectos: 1) por ubicarse la mayor reserva hídrica nacional que ha dado origen al mayor desarrollo



-  Areas de estudio.
-  Regiones OLR

**Figura 2.-** Mapa de Venezuela con la ubicación de las áreas de estudio y regiones OLR delimitadas por cuadrículas 2,5° x 2,5°.

hidroeléctrico del país; 2) por el desarrollo industrial de mineral ferroso y del aluminio, y 3) por el desarrollo de plantaciones forestales de pino con fines industriales.

Además existe una densa red de estaciones meteorológicas controladas por varios organismos del Estado Venezolano cuyos datos se pueden acceder desde Caracas. En la **Tabla 4** se presentan algunos datos de la red de estaciones (35 estaciones) y en la **Figura 3** se presenta sus localizaciones dentro del área de estudio.

Como el área de Guri no presenta altas montañas ni grandes porciones de mares, facilita la interpretación del dato *OLR*.

B.-) El área centrada en  $12,5^{\circ}$  N y  $70^{\circ}$  W se identificó como el **área de la Península de Paraguaná**; se encuentra en la parte más septentrional del continente suramericano con una gran porción marítima que abarca casi el 90 % del área de estudio seleccionada (sistema de superficie tierra – agua).

Esta área presenta una gran influencia de los vientos alisios y se identifican dos situaciones sinópticas de meses de sequías y meses de lluvias; la primera influenciada por la presencia de flujos de aire provenientes de los Anticiclones del Océano Atlántico con incursiones ocasionales de Vaguadas (lluvias ocasionales extemporáneas), y la segunda influenciada por la Convergencia Intertropical al sur del Mar Caribe y Ondas del Este. Es de hacer notar que cuando la Convergencia Intertropical migra hacia el sur de Venezuela (noviembre aproximadamente) aparece el flujo Anticiclónico en el Mar Caribe.

El área de la Península de Paraguaná, en su zona continental, presenta una topografía plana, un clima árido de desierto, con temperatura promedio anual de  $28,7^{\circ}\text{C}$  y precipitaciones escasas, lo que lo hace interesante para la comparación y validación del *INDISS* con respecto al área de Guri. Esta área, a pesar de poseer escasos recursos hídricos,

TABLA 4.- Lista de Estaciones Meteorológicas del Área de Guri.  
(Fuente: MARNR, CVG, EDELCA Y FAV).

| SIGLAS     | ESTACIÓN               | ESTADO | ORGNISMO | ALTURA<br>(msnm) | LATITUD<br>(N) | LONGITUD<br>(W) |
|------------|------------------------|--------|----------|------------------|----------------|-----------------|
| SM         | San Miguel             | AN     | MA       | 117              | 08°37'56"      | 63°21'56"       |
| NM         | Nuevo Mamo             | AN     | MA       |                  | 08°27'35"      | 63°01'35"       |
| BDO        | Barrancas del Orinoco  | MO     | MA       | 12               | 08°42'45"      | 62°12'46"       |
| EDO 1/     | El Dorado              | BO     | MA       | 120              | 06°44'50"      | 61°37'50"       |
| CPI        | Cd. Piar               | BO     | MA       | 280              | 07°30'35"      | 63°16'36"       |
| UP 1/      | Upata                  | BO     | MA       | 327              | 08°01'00"      | 62°23'00"       |
| PZO-RA1 1/ | Pto Ordaz - RA1        | BO     | MA       | 51               | 08°19'00"      | 62°43'00"       |
| C-MA 1/    | Caroní (Macagua)       | BO     | ED       | 79               | 08°18'00"      | 62°42'00"       |
| G-CLB 1/   | Guri-Las Babas         | BO     | ED       | 293              | 07°51'00"      | 63°02'00"       |
| SP-LB      | San Pedro de las Bocas | BO     | ED       | 249              | 06°56'00"      | 62°52'00"       |
| LPA 1/     | La Paragua             | BO     | ED       | 290              | 06°50'00"      | 63°20'00"       |
| EMAN       | El Manteco             | BO     | ED       | 242              | 07°21'00"      | 62°31'00"       |
| ARE 1/     | Arekuna                | BO     | ED       | 345              | 06°31'00"      | 62°53'00"       |
| TUM-A 1/   | Tumeremo-Aeropuerto    | BO     | FA       | 180              | 07°15'25"      | 61°31'15"       |
| LLU        | La Lucha               | BO     | MA       |                  | 08°02'55"      | 61°57'30"       |
| EPAL 1/    | El Palmar              | BO     | MA       | 292              | 08°02'40"      | 61°44'30"       |
| PTB 1/     | Puente Blanco          | BO     | MA       | 170              | 07°22'47"      | 61°49'37"       |
| CBO-A      | Cd Bolívar-Aeropuerto  | BO     | FA       | 43               | 08°09'00"      | 63°33'00"       |
| HBV        | Hato Buena Vista       | BO     | MA       | 171              | 07°26'00"      | 61°29'24"       |
| TEP        | Tepochi                | BO     | ED       | 396              | 06°15'00"      | 62°36'00"       |
| EC         | El Casabe              | BO     | ED       | 280              | 06°26'00"      | 63°35'00"       |
| LVER 1/    | La Vergareña           | BO     | MA       | 222              | 06°47'15"      | 63°33'50"       |
| SFCO       | San Francisco          | BO     | CG       |                  | 07°08'32"      | 63°40'00"       |
| BA         | Boca de Aragüito       | DA     | MA       | 2                | 08°41'55"      | 61°58'30"       |
| BT         | Boca de Tortuga        | DA     | MA       | 2                | 08°44'45"      | 61°41'10"       |
| U-4        | Uverito # 4            | MO     | CG       | 70               | 08°32'13"      | 62°36'12"       |
| VLO        | Villa Lola             | BO     | MA       | 350              | 07°52'05"      | 62°04'25"       |
| SF         | San Félix              | BO     | MA       |                  | 08°20'40"      | 62°39'12"       |
| U-6        | Uverito # 6            | MO     | CG       | 70               | 08°40'15"      | 62°58'45"       |
| U-7        | Uverito # 7            | MO     | CG       | 80               | 08°34'20"      | 63°08'00"       |
| SJ         | San José               | MO     | CG       | 50               | 08°29'43"      | 62°38'47"       |
| U-1 1/     | Uverito # 1            | MO     | CG       | 45               | 08°40'09"      | 62°37'55"       |
| G-A 1/     | Guayana "A"            | BO     | CG       | 20               | 08°19'06"      | 62°41'22"       |
| G-B        | Guayana "B"            | BO     | CG       | 120              | 08°14'45"      | 62°49'55"       |
| SP-MA 2/   | San Pedro-Matamoros    | BO     | MA       | 125              | 06°56'24"      | 62°03'34"       |

MARNR (MA) = Ministerio de los Recursos Naturales Renovables.

CVG (CG) = Corporación Venezolana de Guayana.

EDELCA (ED) = Electrificación del Caroní.

FAV (FA) = Fuerza Aérea Venezolana.

BO = Estado Bolívar.

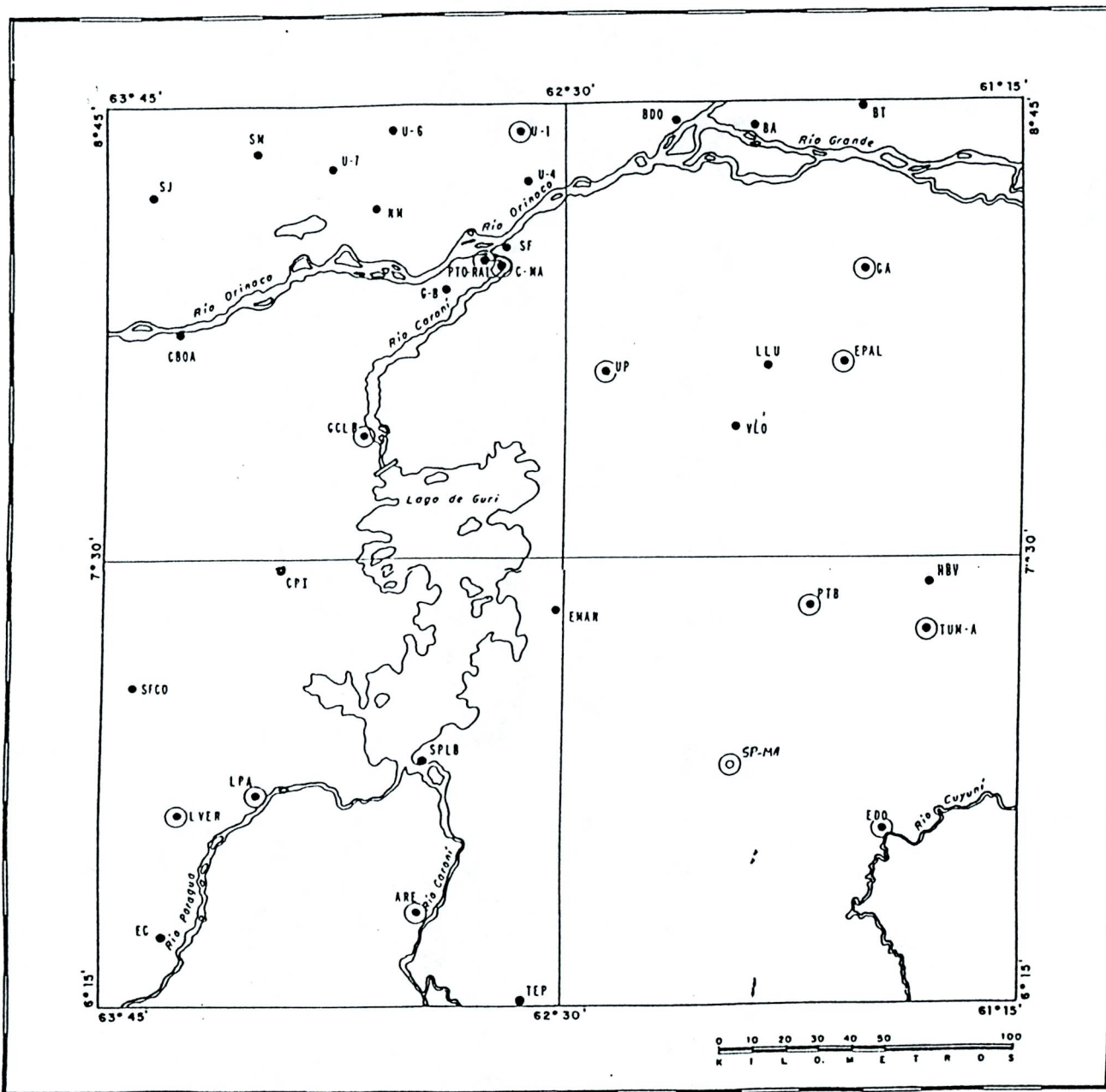
MO = Estado Monagas.

AN = Estado Anzoátegui.

DA = Estado Delta Amacuro.

1/ = Con Tina de Evaporación.

2/ = Sólo Estación con Tina de Evaporación.



- Estaciones con pluviómetros.
- ⊙ Estaciones con pluviómetros y tinas de evaporación
- ⊖ Estación sólo con tina de evaporación

Figura 3.- Mapa del área de Guri con indicaciones de ubicación de las estaciones meteorológicas.

es asentamiento de dos refinerías petroleras debido a su proximidad con el Mar Caribe, presenta una incipiente pero fuerte actividad turística, debido a sus atractivas playas, aspectos estos que han promovido una alta concentración de población (30% del Estado Falcón, Venezuela), aproximadamente 180.000 habitantes.

También cuenta con una red de estaciones meteorológicas controladas por organismos del Gobierno Nacional. En la **Tabla 5** se presentan algunos datos de las estaciones (8 estaciones) y en la **Figura 4** se muestra sus localizaciones dentro del área.

#### IV. E) OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y SATELITARIOS:

Se recopiló información sobre los datos pluviométricos y satelitarios para un período de registro de 24 años (enero 1974 hasta diciembre 1997). Los datos de lluvia de las áreas de estudio se solicitaron personalmente a los organismos del Estado Venezolano como MARNR, FAV, ARV-DHN, CVG y CVG-EDELCA en las oficinas ubicadas en Caracas. Los datos de *OLR* se obtuvieron usando datos transferidos vía Internet por E-mail con la opción ftp (protocolo de transferencia de archivo) desde la computadora `nic.fba4.noaa.gov` ( `cd pub/cac/cddb_olr directory`) del Servicio de Meteorología del Gobierno de los Estados

TABLA 5 - Lista de Estaciones Meteorológicas del Área de la Península de Paraganá.

(Fuente: MARNR y ARV-DIIN).

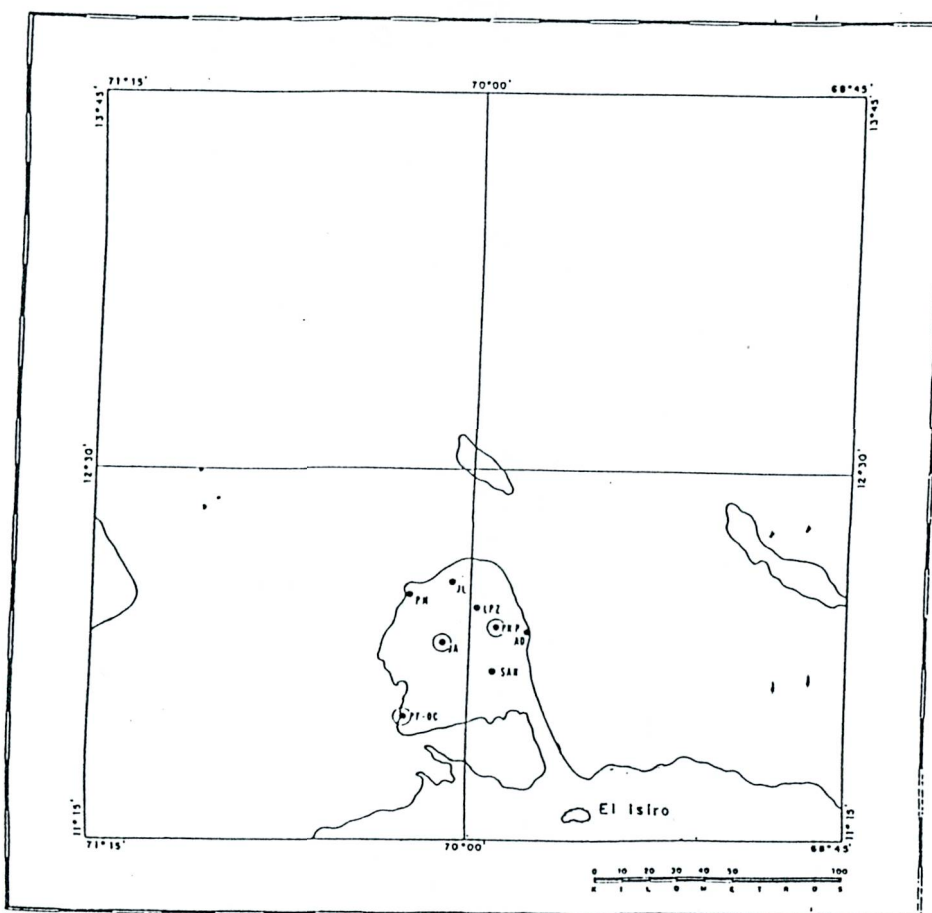
| SIGLAS              | ESTACIÓN     | ESTADO | ORGANISMO | ALTURA (msnm) | LATITUD (N) | LONGITUD (W) |
|---------------------|--------------|--------|-----------|---------------|-------------|--------------|
| PF-OC $\mathcal{L}$ | Punto Fijo   | FA     | HN        | 22            | 11°39'00"   | 70°13'00"    |
| JA $\mathcal{L}$    | Jadacaquiva  | FA     | MA        | 40            | 11°54'07"   | 70°05'47"    |
| LPZ                 | Los Pozos    | FA     | MA        | 118           | 12°02'00"   | 69°59'00"    |
| PM                  | Punta Macoya | FA     | MA        | 20            | 12°05'38"   | 70°11'59"    |
| JL                  | Juan Lorenzo | FA     | MA        | 32            | 12°07'47"   | 70°04'13"    |
| AD                  | Adicora      | FA     | MA        | 1             | 11°55'00"   | 69°48'00"    |
| PN-P $\mathcal{L}$  | Pueblo Nuevo | FA     | MA        | 80            | 11°57'15"   | 69°55'10"    |
| SAN                 | Santa Ana    | FA     | MA        | 170           | 11°48'32"   | 69°56'54"    |

DIIN = Dirección de Hidrografía y Navegación - Observatorio Cajigal (Armada de la República de Venezuela).

MA = Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

FA = Estado Falcón (Venezuela).

$\mathcal{L}$  = Con Tina de Evaporación.



- Estaciones con pluviómetros.
- ⊙ Estaciones con pluviómetros y tina de evaporación.

Figura 4.- Mapa del área de la Península de Paraganá con indicaciones de ubicación de las estaciones meteorológicas.

Unidos de Norteamérica, actividad esta que se realizó desde la oficina del Tutor de este trabajo.

#### IV. F) CARGA DE LOS DATOS EN HOJAS DE CÁLCULOS:

En hojas de cálculos electrónicas se prepararon las matrices de datos cuyo diseño se explicó anteriormente. Para cargar los datos de cada variable se realizaron las siguientes actividades:

##### a) Carga de datos de la variable Precipitación:

Para cada área de estudio, se cargaron los datos de la variable Precipitación de cada estación pluviométrica y se calcularon los promedios mensuales de las redes de estaciones para cada mes de cada año del período de registro (enero 1974 a diciembre 1997).

Los datos de cada una de estas estaciones se muestran en el **Anexo' 1**. Los archivos OLRLLGU y OLRLLP del Anexo 1 contiene las tablas de datos de precipitación de cada una de las estaciones ubicadas en el área de Guri y en el área de la Península de Paraguaná, respectivamente.

Haciendo uso de las ventajas operacionales de las hojas de cálculo electrónicas, se definieron las fórmulas correspondientes para calcular los promedios mensuales de las redes pluviométricas en las matrices de datos correspondientes; de igual forma se

definieron las fórmulas para calcular la media aritmética, la desviación standard y la desviación normalizada. Los resultados de estas operaciones se muestran en el Anexo 1.

En las **Tablas 6 y 7** se muestran los resultados de los Datos Mensuales de Precipitación del área de Guri y del Área de la Península de Paraguaná, respectivamente.

**b) Carga de datos de la variable *OLR*:**

Los datos de *OLR* se obtuvieron "crudos" a través de Internet, cargados en una matriz de datos que corresponden a valores de *OLR* medios mensuales para cada año asimilados a una variación espacial  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  dentro de una franja ubicada entre las coordenadas que van desde la Latitud  $25^\circ$  N hasta  $25^\circ$  S y desde la Longitud  $100^\circ$  W hasta  $20^\circ$  W.

Para obtener los datos de *OLR* correspondientes, primero se identificaron las regiones de *OLR* de Venezuela (ver **Figura 2**), se consideró el eje de coordenadas centrales para cada área de estudio, que en las cuadrículas corresponden a  $12,5^\circ$  N x  $70^\circ$  W para el área de la Península de Paraguaná y  $7,5^\circ$  N x  $62,5^\circ$  W para el área de Guri. Como los datos crudos de *OLR* están cargados en un archivo de la computadora, para ubicar los de interés se tuvo que realizar un programa para buscar estos datos de *OLR* según los ejes de coordenadas, el mes y el año.

Una vez obtenidos los datos mensuales de *OLR* para cada área de estudio, se cargaron en las matrices de datos diseñados para esta variable, se hicieron los cálculos correspondientes para cargar los resultados de las desviaciones normalizadas de *OLR* en la matriz de datos respectiva. En las **Tablas 8 y 9** se muestran los Datos Mensuales de *OLR* para el área de Guri y para el área de la Península de Paraguaná, respectivamente.

C:\Mis documentos\doc.tesis ver.3.doc Fecha de creación 28/06/99 10:39 996/P6

TABLA 6

MEDIA MENSUAL DE PRECIPITACION (mm) DEL AREA DE GURI

|      | JAN  | FEB   | MAR  | APR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   | AÑO   |
|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1974 | 75,4 | 49,9  | 55,7 | 63,3  | 32,1  | 102,9 | 193,1 | 167,7 | 171,7 | 97,7  | 140,5 | 36,9  | 1187  |
| 75   | 49,4 | 32,1  | 6,7  | 21,6  | 88,7  | 181,4 | 182,  | 171,1 | 171,1 | 97,8  | 51,3  | 166,5 | 1220  |
| 76   | 120, | 66,9  | 99,4 | 106,  | 118,6 | 281,9 | 234,  | 114,1 | 38,1  | 81,2  | 59,7  | 80,8  | 1401  |
| 77   | 20,8 | 19,8  | 21,9 | 16,1  | 87,   | 221,1 | 169,  | 163,4 | 123,  | 82,4  | 32,1  | 24,3  | 980,9 |
| 78   | 24,9 | 7,5   | 14,2 | 29,6  | 138,9 | 320,9 | 159,6 | 287,6 | 88,8  | 93,2  | 92,9  | 95,9  | 1354  |
| 79   | 18,1 | 3,2   | 50,3 | 63,1  | 122,4 | 265,7 | 237,9 | 153,9 | 147,5 | 118,1 | 65,8  | 84,5  | 1331  |
| 1980 | 20,2 | 12,1  | 7,9  | 54,5  | 216,4 | 251,8 | 246,  | 201,5 | 115,6 | 97,9  | 137,1 | 30,5  | 1391  |
| 81   | 27,3 | 51,3  | 10,3 | 214,2 | 194,6 | 213,4 | 234,8 | 284,2 | 167,  | 80,5  | 30,   | 65,3  | 1573  |
| 82   | 45,8 | 85,6  | 49,2 | 85,4  | 169,7 | 223,5 | 187,5 | 125,4 | 63,8  | 59,6  | 49,8  | 92,7  | 1238  |
| 83   | 41,3 | 12,8  | 5,7  | 82,8  | 204,6 | 242,8 | 163,7 | 174,7 | 84,8  | 75,5  | 38,6  | 76,7  | 1204  |
| 84   | 73,5 | 29,9  | 17,6 | 3,9   | 79,5  | 235,6 | 217,7 | 230,1 | 151,3 | 115,8 | 170,3 | 93,4  | 1419  |
| 85   | 31,9 | 21,   | 22,3 | 62,7  | 100,1 | 174,7 | 230,8 | 215,6 | 127,6 | 129,3 | 148,2 | 103,  | 1367  |
| 86   | 33,1 | 41,7  | 10,3 | 13,4  | 166,1 | 258,1 | 191,2 | 151,3 | 131,  | 108,8 | 126,2 | 102,7 | 1334  |
| 87   | 28,9 | 9,4   | 1,3  | 25,3  | 215,5 | 180,1 | 241,4 | 159,2 | 135,9 | 73,8  | 64,1  | 54,1  | 1189  |
| 88   | 33,5 | 37,4  | 9,6  | 3,9   | 65,1  | 245,1 | 270,7 | 341,5 | 161,3 | 169,7 | 111,7 | 145,6 | 1595  |
| 89   | 93,1 | 59,6  | 51,2 | 11,8  | 102,1 | 144,3 | 249,5 | 114,4 | 189,1 | 90,3  | 144,7 | 39,3  | 1289  |
| 1990 | 76,9 | 38,9  | 40,5 | 42,3  | 180,7 | 221,4 | 207,9 | 209,5 | 121,8 | 121,6 | 96,9  | 104,6 | 1463  |
| 91   | 55,1 | 32,8  | 36,2 | 36,5  | 47,6  | 166,3 | 210,1 | 284,2 | 144,2 | 121,9 | 108,5 | 107,9 | 1343  |
| 92   | 41,4 | 21,1  | 9,6  | 53,4  | 150,2 | 234,6 | 216,2 | 187,6 | 120,3 | 63,4  | 77,1  | 67,1  | 1242  |
| 93   | 48,3 | 8,3   | 55,8 | 56,9  | 213,3 | 233,8 | 212,5 | 189,  | 118,9 | 105,7 | 180,  | 72,8  | 1495  |
| 94   | 42,8 | 26,7  | 27,7 | 25,3  | 98,6  | 208,  | 333,9 | 249,1 | 141,2 | 141,7 | 87,   | 44,3  | 1426  |
| 95   | 17,2 | 7,4   | 10,8 | 20,7  | 82,6  | 217,5 | 303,9 | 306,5 | 134,6 | 116,8 | 125,4 | 70,4  | 1414  |
| 96   | 37,5 | 108,6 | 29,  | 19,5  | 178,5 | 338,9 | 287,5 | 201,1 | 157,8 | 76,1  | 93,1  | 59,3  | 1587  |
| 97   | 80,9 | 108,9 | 20,2 | 32,3  | 130,5 | 224,7 | 300,  | 160,4 | 92,6  | 111,7 | 89,6  | 41,2  | 1393  |
| MED  | 47,4 | 37,2  | 27,6 | 47,7  | 132,6 | 224,5 | 228,4 | 201,8 | 129,1 | 101,3 | 96,4  | 77,5  | 1351  |
| DES  | 26,  | 29,7  | 22,8 | 43,7  | 54,5  | 50,7  | 44,9  | 60,9  | 35,2  | 25,4  | 42,3  | 34,3  | 140,9 |

TABLA 7

MEDIA MENSUAL DE PRECIPITACION (mm) DE LA PENINSULA DE PARAGUANA

|      | JAN  | FEB  | MAR  | APR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO   | SEP  | OCT   | NOV   | DEC   | TOTAL |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1974 | 69,3 | 24,4 | 16,2 | 16,1 | 19,2 | 1,7  | 13,9 | 13,7  | 50,  | 54,5  | 171,9 | 38,2  | 489,  |
| 75   | 33,4 | 18,6 | 6,4  | 3,3  | 19,6 | 8,   | 45,5 | 22,   | 59,8 | 104,9 | 118,9 | 168,4 | 608,9 |
| 76   | 40,9 | 28,8 | 17,9 | ,6   | 1,1  | 3,4  | 9,7  | 1,1   | 13,5 | 96,7  | 63,5  | 21,3  | 298,4 |
| 77   | 13,7 | 5,5  | 8,7  | 2,   | ,3   | 23,9 | 9,1  | 18,6  | 10,4 | 32,   | 71,   | 6,8   | 201,9 |
| 78   | 3,8  | 3,4  | 1,9  | 30,2 | ,4   | 19,1 | 36,4 | 4,    | 28,  | 38,5  | 45,7  | 12,1  | 223,5 |
| 79   | 18,3 | 1,5  | 3,6  | 37,6 | 34,8 | 61,1 | 8,2  | 1,7   | 20,3 | 11,   | 36,   | 48,7  | 282,7 |
| 1980 | 7,8  | 7,   | 2,6  | 3,   | 3,1  | 4,7  | 1,6  | 2,4   | 6,3  | 6,    | 14,1  | 13,7  | 72,3  |
| 81   | 3,   | 92,9 | ,1   | 64,  | 59,1 | 3,9  | 18,6 | 12,   | 90,7 | 6,2   | 36,7  | 12,   | 399,  |
| 82   | 3,2  | 3,8  | ,2   | 1,   | 51,2 | ,5   | 7,4  | 1,1   | 14,6 | 10,2  | ,4    | 42,9  | 136,2 |
| 83   | 4,2  | ,    | 31,1 | 22,2 | 1,6  | 11,3 | 19,1 | 3,7   | 5,7  | 29,1  | 1,6   | 5,7   | 135,4 |
| 84   | 9,6  | 1,5  | ,    | ,    | ,3   | 3,3  | 14,9 | 25,7  | 42,  | 19,6  | 52,6  | 16,6  | 186,1 |
| 85   | 22,3 | 2,3  | 3,1  | 6,5  | 14,8 | 1,6  | 14,  | 12,6  | 12,6 | 56,1  | 100,7 | 58,5  | 305,  |
| 86   | 1,6  | 1,4  | 4,2  | 1,   | 50,2 | 9,6  | 2,9  | 2,4   | 11,8 | 41,9  | 42,4  | 10,8  | 180,2 |
| 87   | 11,2 | 6,4  | 5,6  | 15,2 | 17,8 | 3,   | 10,  | 13,9  | 15,2 | 74,4  | 79,   | 29,2  | 280,8 |
| 88   | 3,5  | 8,1  | 18,6 | ,4   | ,    | 7,5  | 27,8 | 121,1 | 68,7 | 144,1 | 85,8  | 52,8  | 538,2 |
| 89   | 55,9 | 45,1 | 12,4 | ,1   | 3,4  | 7,3  | 20,5 | 4,3   | 60,6 | 5,3   | 63,7  | 27,9  | 306,5 |
| 1990 | 30,6 | 18,3 | 3,1  | 27,9 | 27,1 | 13,9 | 16,3 | 16,6  | 14,3 | 188,  | 117,2 | 59,7  | 533,  |
| 91   | 28,5 | 4,8  | 10,9 | 3,   | ,3   | 4,9  | 10,1 | 9,9   | 6,7  | 9,    | 92,1  | 60,6  | 240,7 |
| 92   | 2,5  | 19,2 | ,4   | 12,3 | 12,8 | 7,6  | 14,4 | 10,3  | 32,  | 16,5  | 102,1 | 54,6  | 284,6 |
| 93   | 10,6 | 5,6  | 1,5  | 13,4 | 56,8 | 8,2  | 7,8  | 4,9   | 23,6 | 2,7   | 38,5  | 20,9  | 194,4 |
| 94   | 18,  | 17,8 | ,4   | 2,4  | 1,   | 18,6 | 14,9 | 12,3  | 2,7  | 68,7  | 59,8  | 14,   | 230,6 |
| 95   | 13,7 | 1,8  | 34,1 | 2,3  | 1,2  | 3,1  | 64,7 | 72,9  | 63,1 | 94,5  | 24,   | 27,5  | 402,8 |
| 96   | 58,3 | ,8   | ,1   | ,    | 21,6 | 1,6  | 68,7 | 11,9  | 11,8 | 47,8  | 101,2 | 88,5  | 412,3 |
| 97   | 35,4 | 19,4 | 13,3 | 5,4  | 2,8  | 39,5 | 3,7  | 1,4   | 29,8 | 45,7  | 40,5  | ,9    | 237,9 |
| MED  | 20,8 | 14,1 | 8,2  | 11,2 | 16,7 | 11,1 | 19,2 | 16,7  | 28,9 | 50,1  | 65,   | 37,2  | 299,2 |
| DES  | 19,1 | 19,7 | 9,4  | 15,3 | 19,4 | 13,6 | 17,4 | 26,1  | 23,7 | 46,5  | 40,3  | 35,1  | 136,6 |

C:\Mis documentos\doc.tesis ver.3.doc Fecha de creación 28/06/99 10:39 996/P6

TABLA 8

DATOS MENSUALES DE OLR (WATT/M2) DEL AREA DE GURI

| ANO  | JAN   | FEB   | MAR   | APR   | MAY   | JUN   | JUL   | AUG   | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   | AÑO   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1974 | 245,3 | 249,9 | 248,9 | 247,5 | 253,2 | 247,2 | 234,3 | 240,5 | 229,7 | 237,1 | 249,4 | 263,3 | 245,5 |
| 75   | 258,9 | 251,0 | 261,7 | 255,4 | 242,6 | 235,6 | 238,6 | 233,3 | 244,6 | 238,8 | 252,9 | 233,2 | 245,6 |
| 76   | 254,5 | 257,1 | 233,8 | 229,1 | 246,0 | 213,7 | 227,2 | 246,1 | 253,6 | 240,0 | 252,2 | 249,4 | 241,9 |
| 77   | 269,3 | 270,8 | 248,9 | 248,3 | 231,6 | 221,8 | 238,6 | 237,0 | 230,7 | 237,2 | 248,9 | 265,3 | 245,7 |
| 78   | 258,4 | 267,6 | 256,4 | 253,6 | 233,7 | 200,6 | 230,0 | 206,7 | 242,8 | 242,0 | 242,1 | 241,5 | 239,6 |
| 79   | 260,4 | 271,2 | 244,8 | 242,2 | 234,1 | 215,5 | 233,0 | 239,3 | 229,1 | 234,6 | 247,0 | 246,0 | 241,4 |
| 1980 | 268,8 | 267,4 | 254,0 | 235,8 | 211,1 | 210,7 | 223,4 | 221,1 | 233,6 | 228,8 | 241,2 | 261,7 | 238,1 |
| 81   | 255,0 | 236,7 | 267,0 | 197,2 | 219,6 | 200,7 | 226,1 | 210,7 | 233,3 | 240,0 | 254,5 | 256,0 | 233,1 |
| 82   | 261,2 | 239,4 | 248,1 | 225,4 | 221,8 | 212,1 | 232,9 | 246,8 | 240,4 | 245,9 | 245,1 | 242,8 | 238,5 |
| 83   | 260,4 | 265,3 | 260,2 | 231,8 | 216,8 | 224,2 | 235,6 | 234,3 | 239,7 | 230,1 | 254,5 | 242,6 | 241,3 |
| 84   | 246,8 | 261,2 | 259,9 | 255,3 | 235,5 | 223,0 | 221,5 | 222,2 | 233,2 | 238,1 | 219,0 | 246,8 | 238,5 |
| 85   | 251,3 | 268,0 | 248,8 | 243,4 | 243,1 | 228,6 | 239,5 | 232,4 | 241,1 | 227,5 | 234,3 | 252,8 | 242,6 |
| 86   | 263,5 | 250,2 | 265,7 | 260,1 | 227,3 | 213,2 | 233,0 | 239,0 | 229,5 | 230,0 | 231,3 | 255,8 | 241,6 |
| 87   | 264,1 | 266,0 | 255,8 | 238,8 | 216,6 | 221,9 | 226,0 | 231,4 | 238,6 | 241,9 | 245,0 | 256,9 | 241,9 |
| 88   | 264,1 | 258,3 | 272,9 | 249,6 | 250,7 | 219,0 | 227,3 | 205,5 | 226,2 | 215,7 | 239,8 | 243,2 | 239,4 |
| 89   | 248,1 | 251,7 | 246,4 | 256,5 | 238,6 | 233,2 | 233,6 | 239,9 | 232,7 | 246,3 | 226,7 | 261,6 | 242,9 |
| 1990 | 245,3 | 247,1 | 229,5 | 234,1 | 228,9 | 222,3 | 236,4 | 231,3 | 237,1 | 235,1 | 238,9 | 247,7 | 236,1 |
| 91   | 258,4 | 260,8 | 248,4 | 240,6 | 247,0 | 221,0 | 225,3 | 234,2 | 232,9 | 235,6 | 242,3 | 246,9 | 241,1 |
| 92   | 259,5 | 254,8 | 244,6 | 236,4 | 227,3 | 218,3 | 235,1 | 228,9 | 231,9 | 246,7 | 231,7 | 255,4 | 239,2 |
| 93   | 258,6 | 251,6 | 254,4 | 232,5 | 217,2 | 213,7 | 233,3 | 235,0 | 235,0 | 230,0 | 215,0 | 250,0 | 235,5 |
| 94   | 261,0 | 253,0 | 248,0 | 242,0 | 231,0 | 217,0 | 227,0 | 216,0 | 220,0 | 224,0 | 232,0 | 255,0 | 235,5 |
| 95   | 262,7 | 270,0 | 251,0 | 246,0 | 254,0 | 248,0 | 227,0 | 220,0 | 246,0 | 230,0 | 235,0 | 254,0 | 245,3 |
| 96   | 260,0 | 248,0 | 261,0 | 257,0 | 227,0 | 204,0 | 221,0 | 237,0 | 230,0 | 233,0 | 230,0 | 255,0 | 238,6 |
| 97   | 248,0 | 229,0 | 256,0 | 252,0 | 223,0 | 227,0 | 237,0 | 249,0 | 240,0 | 245,0 | 253,0 | 267,0 | 243,8 |
| MEAN | 257,6 | 256,1 | 252,8 | 242,1 | 232,4 | 220,5 | 230,9 | 230,7 | 235,5 | 235,6 | 240,1 | 252,1 | 240,5 |
| DES  | 6,83  | 11,11 | 9,68  | 13,37 | 12,15 | 11,92 | 5,46  | 11,9  | 7,11  | 7,49  | 10,79 | 8,26  | 3,38  |

TABLA 9  
DATOS MENSUALES DE OLR (WATT/M2) DE LA PENINSULA DE PARAGUANA

|      | JAN   | FEB   | MAR   | APR   | MAY   | JUN   | JUL   | AUG   | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   | ANO   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1974 | 246,4 | 254,6 | 256,0 | 256,1 | 255,5 | 257,1 | 258,1 | 254,3 | 246,9 | 258,1 | 243,1 | 276,6 | 255,2 |
| 75   | 275,2 | 279,2 | 277,0 | 274,4 | 255,1 | 259,4 | 276,1 | 268,4 | 246,5 | 246,4 | 260,3 | 247,8 | 263,8 |
| 76   | 275,6 | 276,5 | 274,9 | 257,2 | 267,0 | 261,1 | 252,7 | 268,3 | 262,4 | 242,6 | 268,3 | 276,1 | 265,2 |
| 77   | 280,2 | 279,8 | 275,1 | 259,3 | 223,2 | 254,8 | 272,7 | 254,6 | 254,9 | 258,4 | 253,6 | 276,8 | 262,0 |
| 78   | 280,7 | 270,7 | 258,7 | 253,5 | 258,9 | 255,5 | 252,4 | 258,3 | 253,9 | 252,0 | 250,7 | 256,8 | 258,5 |
| 79   | 279,2 | 279,7 | 264,2 | 256,3 | 247,7 | 239,7 | 265,6 | 259,2 | 234,7 | 260,2 | 265,0 | 266,7 | 259,9 |
| 1980 | 275,1 | 276,3 | 272,1 | 260,2 | 241,4 | 260,3 | 264,4 | 257,9 | 257,8 | 251,5 | 262,3 | 269,7 | 262,4 |
| 81   | 279,8 | 257,9 | 267,2 | 242,4 | 230,8 | 238,6 | 260,2 | 254,3 | 255,1 | 246,2 | 259,9 | 249,8 | 253,5 |
| 82   | 270,2 | 273,2 | 274,4 | 252,3 | 233,4 | 253,8 | 246,7 | 266,9 | 251,5 | 238,7 | 263,6 | 256,6 | 256,8 |
| 83   | 279,2 | 279,1 | 276,8 | 254,7 | 239,3 | 249,2 | 255,0 | 263,5 | 259,8 | 252,9 | 268,5 | 266,9 | 262,1 |
| 84   | 275,5 | 269,8 | 275,6 | 274,2 | 264,6 | 254,2 | 252,5 | 249,6 | 244,9 | 241,3 | 240,0 | 267,3 | 259,1 |
| 85   | 274,0 | 277,6 | 271,4 | 269,2 | 249,3 | 239,2 | 258,5 | 261,5 | 263,1 | 229,9 | 257,9 | 259,2 | 259,2 |
| 86   | 278,9 | 273,1 | 276,6 | 239,1 | 241,5 | 251,1 | 258,4 | 257,6 | 242,3 | 240,6 | 260,6 | 275,7 | 258,0 |
| 87   | 278,4 | 282,2 | 270,2 | 249,3 | 232,9 | 249,3 | 237,7 | 256,1 | 255,4 | 249,0 | 261,5 | 270,1 | 257,7 |
| 88   | 277,0 | 268,4 | 282,7 | 261,3 | 267,2 | 263,3 | 265,9 | 234,1 | 236,2 | 236,1 | 243,2 | 260,8 | 258,0 |
| 89   | 265,2 | 268,7 | 271,0 | 270,3 | 247,4 | 244,5 | 252,7 | 269,6 | 233,6 | 245,6 | 260,1 | 279,5 | 259,0 |
| 1990 | 269,4 | 270,6 | 264,5 | 258,0 | 245,7 | 237,1 | 258,8 | 253,4 | 256,2 | 216,6 | 242,4 | 271,0 | 253,6 |
| 91   | 273,5 | 276,7 | 276,9 | 254,7 | 245,1 | 237,4 | 255,9 | 258,9 | 255,6 | 250,3 | 253,0 | 265,0 | 258,6 |
| 92   | 276,0 | 274,0 | 278,0 | 261,0 | 257,0 | 244,0 | 245,0 | 258,0 | 242,0 | 258,0 | 256,0 | 273,0 | 260,2 |
| 93   | 276,0 | 279,0 | 266,0 | 249,0 | 235,0 | 252,0 | 260,0 | 258,1 | 254,4 | 258,5 | 251,2 | 255,0 | 257,9 |
| 94   | 255,3 | 255,8 | 258,9 | 258,6 | 258,8 | 255,6 | 256,3 | 260,8 | 258,1 | 225,7 | 249,5 | 266,4 | 255,0 |
| 95   | 274,7 | 279,8 | 265,4 | 266,2 | 265,7 | 271,1 | 252,0 | 247,7 | 256,3 | 236,1 | 256,8 | 272,4 | 262,0 |
| 96   | 280,0 | 274,7 | 274,8 | 255,2 | 247,8 | 252,4 | 239,4 | 262,7 | 248,3 | 245,1 | 250,5 | 266,9 | 258,2 |
| 97   | 274,8 | 260,5 | 276,0 | 268,6 | 258,5 | 252,5 | 246,9 | 268,1 | 255,4 | 245,5 | 261,7 | 287,2 | 263,0 |
| MEAN | 273,8 | 272,4 | 271,0 | 258,4 | 248,7 | 251,4 | 256,0 | 258,4 | 251,1 | 245,2 | 255,8 | 267,2 | 259,1 |
| STD  | 7,91  | 7,83  | 6,8   | 8,8   | 12,14 | 8,71  | 9,05  | 7,67  | 8,28  | 10,76 | 8,0   | 9,43  | 7,97  |

TABLA 7

MEDIA MENSUAL DE PRECIPITACION (mm) DE LA PENINSULA DE PARAGUANA

|      | JAN  | FEB  | MAR  | APR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO   | SEP  | OCT   | NOV   | DEC   | TOTAL |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1974 | 69,3 | 24,4 | 16,2 | 16,1 | 19,2 | 1,7  | 13,9 | 13,7  | 50,  | 54,5  | 171,9 | 38,2  | 489,  |
| 75   | 33,4 | 18,6 | 6,4  | 3,3  | 19,6 | 8,   | 45,5 | 22,   | 59,8 | 104,9 | 118,9 | 168,4 | 608,9 |
| 76   | 40,9 | 28,8 | 17,9 | ,6   | 1,1  | 3,4  | 9,7  | 1,1   | 13,5 | 96,7  | 63,5  | 21,3  | 298,4 |
| 77   | 13,7 | 5,5  | 8,7  | 2,   | ,3   | 23,9 | 9,1  | 18,6  | 10,4 | 32,   | 71,   | 6,8   | 201,9 |
| 78   | 3,8  | 3,4  | 1,9  | 30,2 | ,4   | 19,1 | 36,4 | 4,    | 28,  | 38,5  | 45,7  | 12,1  | 223,5 |
| 79   | 18,3 | 1,5  | 3,6  | 37,6 | 34,8 | 61,1 | 8,2  | 1,7   | 20,3 | 11,   | 36,   | 48,7  | 282,7 |
| 1980 | 7,8  | 7,   | 2,6  | 3,   | 3,1  | 4,7  | 1,6  | 2,4   | 6,3  | 6,    | 14,1  | 13,7  | 72,3  |
| 81   | 3,   | 92,9 | ,1   | 64,  | 59,1 | 3,9  | 18,6 | 12,   | 90,7 | 6,2   | 36,7  | 12,   | 399,  |
| 82   | 3,2  | 3,8  | ,2   | 1,   | 51,2 | ,5   | 7,4  | 1,1   | 14,6 | 10,2  | ,4    | 42,9  | 136,2 |
| 83   | 4,2  | ,    | 31,1 | 22,2 | 1,6  | 11,3 | 19,1 | 3,7   | 5,7  | 29,1  | 1,6   | 5,7   | 135,4 |
| 84   | 9,6  | 1,5  | ,    | ,    | ,3   | 3,3  | 14,9 | 25,7  | 42,  | 19,6  | 52,6  | 16,6  | 186,1 |
| 85   | 22,3 | 2,3  | 3,1  | 6,5  | 14,8 | 1,6  | 14,  | 12,6  | 12,6 | 56,1  | 100,7 | 58,5  | 305,  |
| 86   | 1,6  | 1,4  | 4,2  | 1,   | 50,2 | 9,6  | 2,9  | 2,4   | 11,8 | 41,9  | 42,4  | 10,8  | 180,2 |
| 87   | 11,2 | 6,4  | 5,6  | 15,2 | 17,8 | 3,   | 10,  | 13,9  | 15,2 | 74,4  | 79,   | 29,2  | 280,8 |
| 88   | 3,5  | 8,1  | 18,6 | ,4   | ,    | 7,5  | 27,8 | 121,1 | 68,7 | 144,1 | 85,8  | 52,8  | 538,2 |
| 89   | 55,9 | 45,1 | 12,4 | ,1   | 3,4  | 7,3  | 20,5 | 4,3   | 60,6 | 5,3   | 63,7  | 27,9  | 306,5 |
| 1990 | 30,6 | 18,3 | 3,1  | 27,9 | 27,1 | 13,9 | 16,3 | 16,6  | 14,3 | 188,  | 117,2 | 59,7  | 533,  |
| 91   | 28,5 | 4,8  | 10,9 | 3,   | ,3   | 4,9  | 10,1 | 9,9   | 6,7  | 9,    | 92,1  | 60,6  | 240,7 |
| 92   | 2,5  | 19,2 | ,4   | 12,3 | 12,8 | 7,6  | 14,4 | 10,3  | 32,  | 16,5  | 102,1 | 54,6  | 284,6 |
| 93   | 10,6 | 5,6  | 1,5  | 13,4 | 56,8 | 8,2  | 7,8  | 4,9   | 23,6 | 2,7   | 38,5  | 20,9  | 194,4 |
| 94   | 18,  | 17,8 | ,4   | 2,4  | 1,   | 18,6 | 14,9 | 12,3  | 2,7  | 68,7  | 69,8  | 14,   | 230,6 |
| 95   | 13,7 | 1,8  | 34,1 | 2,3  | 1,2  | 3,1  | 64,7 | 72,9  | 63,1 | 94,5  | 24,   | 27,5  | 402,8 |
| 96   | 58,3 | ,8   | ,1   | ,    | 21,6 | 1,6  | 68,7 | 11,9  | 11,8 | 47,8  | 101,2 | 88,5  | 412,3 |
| 97   | 35,4 | 19,4 | 13,3 | 5,4  | 2,8  | 39,5 | 3,7  | 1,4   | 29,8 | 45,7  | 40,5  | ,9    | 237,9 |
| MED  | 20,8 | 14,1 | 8,2  | 11,2 | 16,7 | 11,1 | 19,2 | 16,7  | 28,9 | 50,1  | 65,   | 37,2  | 299,2 |
| DES  | 19,1 | 19,7 | 9,4  | 15,3 | 19,4 | 13,6 | 17,4 | 26,1  | 23,7 | 46,5  | 40,3  | 35,1  | 136,6 |

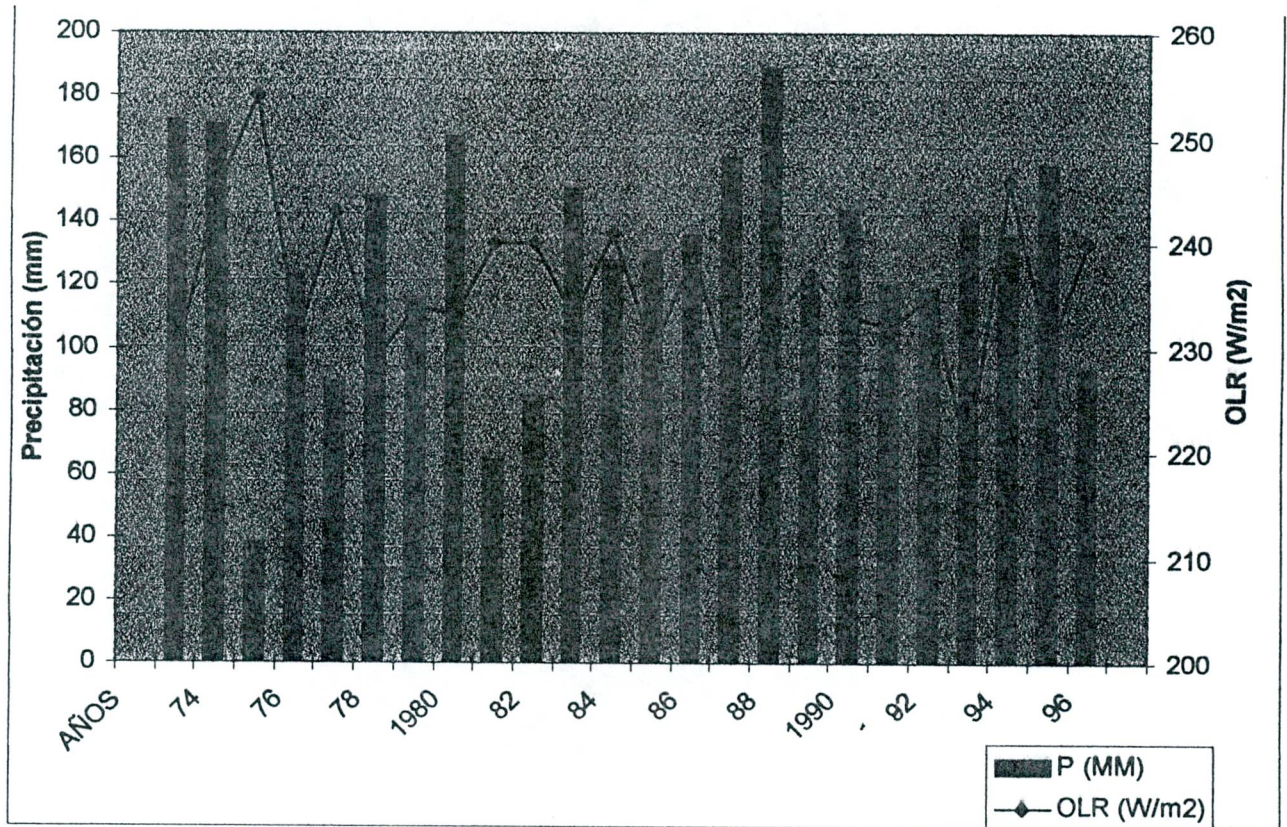
#### IV. G) DETERMINACIÓN DE UNA ANOMALÍA DE SEQUÍA:

Para ejemplificar la ocurrencia de una anomalía de sequía basado en los datos mensuales de  $P$  y de  $OLR$ , en los **Gráficos 1 y 2** (para el área de Guri y para el área de la Península de Paraguaná, respectivamente), se muestran que para un mes dado los valores de  $P$  (mm) por debajo de la media mensual y los valores de  $OLR$  ( $W/m^2$ ) por encima de la media mensual del período de registro significan una situación anómala de sequía. En los gráficos se puede observar que el desvío de estos valores puede caracterizar la magnitud de un déficit de lluvia en las respectivas áreas de estudio, por ejemplo el mes de septiembre 1976 para el área de Guri y el mes de noviembre 1983 para el área de la Península de Paraguaná se constata una evidente situación de sequía.

#### IV. H) RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL *INDISS* Y SU APLICACIÓN PARA CADA ÁREA DE ESTUDIO:

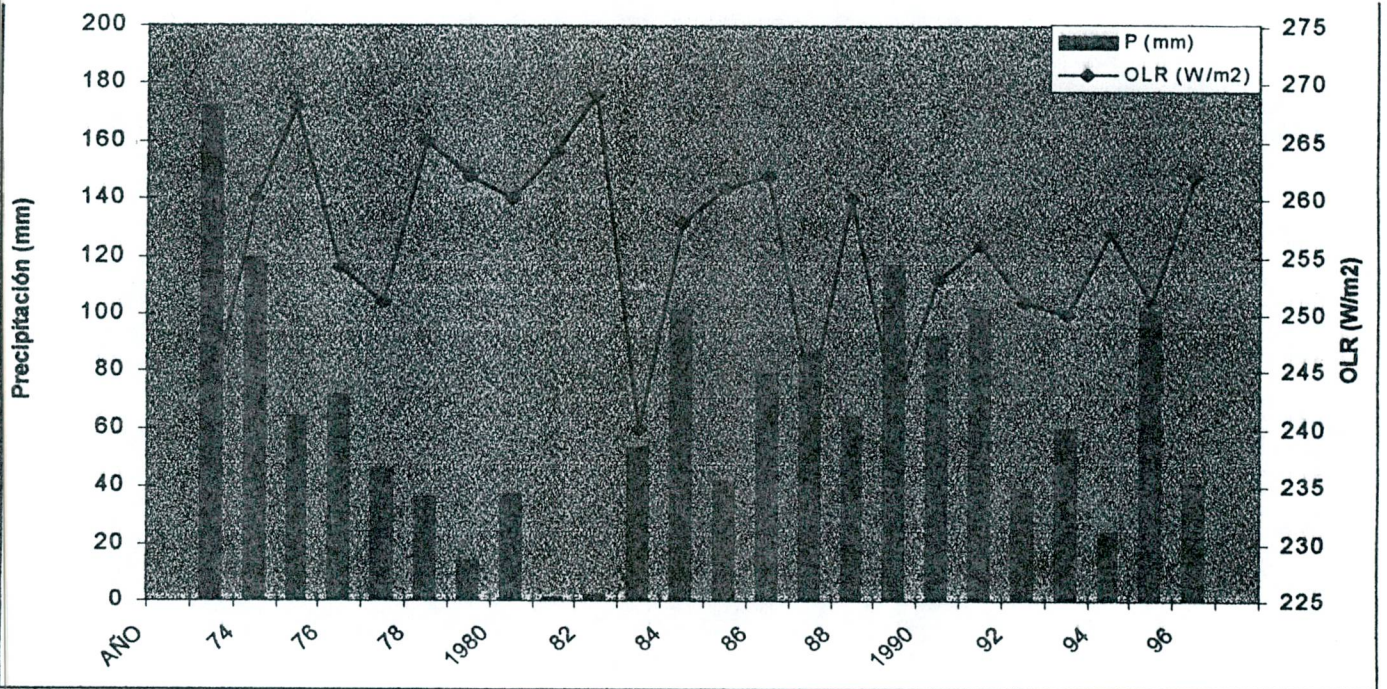
La combinación de las matrices de valores mensuales normalizados de  $P$  y  $OLR$  mediante las ecuaciones (3) y (4) propuestas en la definición del índice (subcapítulo IV.A), permitió calcular los valores *INDISS* mensuales para cada área de estudio, cuyos resultados se relacionan a continuación:

**Gráfico 1.-** Datos de *P* y *OLR* del mes de septiembre durante el período 1974 a 1997 en el área de Guri.



Observe que septiembre de 1976 con  $P = 38$  mm produjo un desvío por debajo de la media mensual de precipitación (129 mm); y con  $OLR = 254$  W/m<sup>2</sup> produjo un desvío por encima de la media mensual (234 W/m<sup>2</sup>), indicativos de un situación de escasez de lluvias y cielo despejado de nubes.

**Gráfico 2.-** Datos de  $P$  y  $OLR$  del mes de noviembre durante el período 1974 a 1997 en el área de la Península de Paraguaná.



Observe que noviembre de 1982 y 1983 con  $P = 0.4$  y  $1.6$  mm, respectivamente, produjo desvíos por debajo de la media mensual de precipitación ( $65$  mm); y con  $OLR = 264$  y  $269$   $W/m^2$ , respectivamente, produjo desvíos por encima de la media mensual ( $256$   $W/m^2$ ), indicativos de una situación de escasez de lluvias y cielo despejado de nubes.



temporadas nominales para el área de Guri, nos basaremos en algunas referencias de clasificación climática con el objeto de definir estas temporadas.

La media mensual de lluvia es usada para establecer una clasificación pluviométrica de un mes en una localidad tropical. Con base en la clasificación presentada en el Atlas Climatológico de Venezuela (1984), existen tres clases de clasificación pluviométrica que se muestran en el **Tabla 11**.

**Tabla 11.- Clasificación Pluviométrica de Venezuela.**

| TIPO DE MES | CARACTERÍSTICA                      |
|-------------|-------------------------------------|
| Lluvioso    | Precipitación mayor o igual a 50 mm |
| Transición  | Entre 26 y 49 mm                    |
| Sequía      | Precipitación menor o igual a 25 mm |

Fuente: Atlas Climatológico de Venezuela, 1984.

Esta clasificación puede ser aplicable a todas las regiones tropicales de Venezuela, que van desde los climas controlados por el flujo de los alisios hasta clima tropical lluvioso, y desde clima de altitud cero metros hasta climas de nieves perpetuas. Así mismo, esta clasificación se puede emplear para valores medios mensuales o para valores de meses específicos de años específicos, aunque es usada para medias mensuales de largo plazo.

Un criterio similar de clasificación climática es el empleado por Griffiths (1978), quien también indica que un umbral de 50 mm se clasifica como un mes lluvioso en un clima cálido tropical.

Por otro lado, Hidalgo (1995, 1999) utilizó dos umbrales de categorías secas a partir de la combinación de datos pluviométricos ( $P$ , mm) con datos satelitarios ( $OLR$ ,  $W/m^2$ ), y calificó como un mes regional tropical seco bajo régimen de subsidencia (cielo despejado y pocas lluvias) cuando  $P \leq 25$  mm y  $OLR \geq 253$   $W/m^2$ ; y un mes seco bajo régimen convectivo (cielo nublado con pocas lluvias) cuando  $P \leq 50$  mm y  $OLR < 253$   $W/m^2$ . Además determinó que una anomalía de sequía en temporada seca es más intensa que una anomalía de sequía en temporada de lluvia.

Basados en estas calificaciones, definimos un mes de sequía cuando el valor mensual de lluvia es  $\leq 50$  mm y  $OLR \geq 253$   $W/m^2$ .

Bajo estas premisas, se observa en las Tablas 6 y 8 de datos mensuales de  $P$  y  $OLR$  para el **área de Guri**, respectivamente, que los valores medio aritméticos de  $P$  son bajos de enero a abril ( $< 50$  mm), y valores medios aritméticos de  $OLR$  son altos de enero a marzo ( $\geq 253$   $W/m^2$ ), siendo entonces el lapso nominal de la temporada de verano de enero a marzo y la temporada de invierno de abril a diciembre.

Aceptando entonces de que en esta área existen dos temporadas nominales climáticas, el análisis de la Tabla 10 para el de área de Guri indica que los valores  $INDISS > 0$  o sequías pueden ocurrir en cualquier temporada del año, sin observar una periodicidad de las mismas de fácil deducción.

Eventos  $INDISS > 0$  de meses consecutivos pueden prolongarse desde una temporada de verano hasta temporada de invierno o viceversa, como están indicadas en la Tabla 10.

En oportunidades existen valores  $INDISS = 0$  que se pueden presentar entre dos eventos  $INDISS > 0$ , que por ser un evento muy corto de un mes, bien pudiera contribuir a prolongar aún más la duración de una sequía y en consecuencia sus efectos.

A pesar que en la **Tabla 10** se observa claramente los resultados del  $INDISS \geq 0$  y sus intensidades promedios identificadas en la leyenda al pié de la misma, es bueno resaltar los siguientes aspectos:

- a) Los  $INDISS$  individuales más altos fueron 232 (Junio 1974) y 257 (Septiembre 1976), dentro de unas sequías de cuatro (4) meses consecutivos.
- b) En meses aislados se pueden esperar valores altos de  $INDISS$ , y el valor más alto de un mes sin sequía precedente ni sequía antecedente ocurrió en Octubre de 1992 ( $INDISS = 149$ ) y dentro de una temporada de invierno.
- c) El valor más bajo de un mes aislado sin sequía precedente ni antecedente fue de 5 (Noviembre de 1991), y ocurrió en temporada de invierno.
- d) Las sequías con valores promedios  $INDISS$  más altos y más prolongadas fueron:
  - d.1) De abril a agosto 1974,  $INDISS = 110$ ; *Is* Moderada y *Ds* Extraordinaria.
  - d.2) De agosto a noviembre 1976,  $INDISS = 141$ ; *Is* Moderada y *Ds* Muy Larga.
  - d.3) De julio a noviembre 1982,  $INDISS = 110$ ; *Is* Moderada y *Ds* Extraordinaria.Estas son las mayores intensidades resultantes en esta área de estudio y todas ellas ocurrieron en temporada de invierno.
- e) Las sequías más prolongadas, como las de los años 1975, 77 y 87, no presentaron valores tan altos y fueron aquellas con *Is* Leves.
- f) De esta Tabla 10 también se extrae información que los valores promedios  $INDISS$  más bajos corresponden al rango de clasificación de *Is* Muy Leves y de corta duración. Estas sequías ocurrieron tanto en temporada de verano como en temporada de invierno.

2) Resultados del *INDISS* para el área de la Península de Paraguaná:

El resultado de los cálculos de valores *INDISS* y sus intensidades promedios de valores *INDISS* > 0 para el área de la Península de Paraguaná se muestra en la **Tabla 12**.

TABLA 12  
 INDICE DE SEVERIDAD DE SEQUIAS (*INDISS*) E INTENSIDADES PROMEDIOS PARA EL  
 AREA PENINSULA DE PARAGUANA

|      | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DEC |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1974 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 75   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 76   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 77   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 78   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 79   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1980 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 81   | 0   | 0   | 30  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 82   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 83   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 84   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 29  | 0   | 0   |
| 85   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 86   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 87   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 36  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 88   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 89   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1990 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 91   | 0   | 0   | 0   | 12  | 54  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 92   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 19  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 93   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 94   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 95   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 96   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 75  | 38  | 4   | 0   | 0   |
| 97   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

*I*<sub>s</sub> = Muy Leve (0 -49);

*I*<sub>s</sub> = Leve (50 - 99);

*I*<sub>s</sub> = Moderado (100 - 149);

*I*<sub>s</sub> = Severo (150 - 199);

*I*<sub>s</sub> = Muy Severo (200 - 249);

*I*<sub>s</sub> = Extremo (250 - 299);

Asimilando los criterios establecidos para el análisis del *INDISS* en el área de Guri, en el área de la Península de Paraguaná se puede determinar las dos temporadas nominales basados en la definición de clasificación climática establecida anteriormente. Entonces de las Tablas 7 y 9 de datos mensuales de *P* y *OLR*, respectivamente, para el área de la

Península de Paraguaná se observa que los valores medios aritméticos de  $P$  son bajos de diciembre a septiembre y los valores medios aritméticos de  $OLR$  son altos de enero-abril, de julio-agosto y de noviembre - diciembre. Se establece particularmente que de enero a septiembre es la temporada de verano, con categoría seca bajo régimen convectivo durante los meses de mayo, junio y septiembre de acuerdo a los valores de  $OLR < 253 \text{ W/m}^2$ . La temporada de invierno iría de octubre a diciembre, con una categoría húmeda bajo régimen de subsidencia en diciembre por su valor de  $OLR > 253 \text{ W/m}^2$ .

Definiéndose entonces que la temporada de verano va de enero a septiembre y la temporada de invierno va de octubre a diciembre, el análisis de la **Tabla 12** de valores  $INDISS > 0$  para el área de la Península de Paraguaná se observa también que las sequías pueden ocurrir en cualquier temporada del año. De igual forma estas sequías pueden prolongarse desde una temporada a otra. Semejante a las observaciones de la Tabla 10 para el área de Guri, existen valores  $INDISS = 0$  de un mes intercalados entre dos sequías que pueden prolongar la duración de las mismas.

Como se observa claramente en la **Tabla 12**, en el área de la Península de Paraguaná se produjeron las mayores intensidades de sequías con relación al área de Guri, pues alcanzaron *Is* Intensas y Muy Intensas. De esta Tabla 12 es bueno resaltar los siguientes aspectos:

- a) El valor  $INDISS$  individual más alto fue 316 (noviembre 1983 y diciembre 1997), dentro de un período de sequías de 11 meses y 3 meses consecutivos, respectivamente.
- b) El valor más alto de un mes aislado sin sequías precedentes ni antecedente fue de 242 (julio de 1977) en una temporada de verano.
- c) El valor más bajo de un mes aislado fue 19 (agosto 1992) en una temporada de verano.

- d) Las sequías más prolongadas fueron las de *Is* Moderada. Estas sequías ocurrieron tanto en verano como en invierno.
- e) Las sequías con los mayores valores promedios *INDISS* y más prolongadas fueron:
- e.1) De agosto 1983 a junio 1984: *INDISS* = 151; *Is* = Intensa y *Ds* = Extraordinaria.
- e.2) De abril a junio 1995: *INDISS* = 217, *Is* = Muy Intensa y *Ds* = Larga.

#### IV.1) NÚMERO DE OCURRENCIAS DEL *INDISS* SEGÚN DURACIÓN, INTENSIDAD Y FRECUENCIA:

Según los criterios de clasificación propuestos en las Tablas 1, 2 y 3 (subcapítulo IV.C), donde se define: *Ds* = como la duración en meses consecutivos de *INDISS* > 0 cuando le antecede o le precede por lo menos un mes de *INDISS* = 0; *Is* = como la media aritmética de meses consecutivos de *INDISS* > 0 como indicador de la severidad de la sequía; y *Fs* = como la frecuencia (%) de ocurrencia de una sequía de una determinada duración durante el período de registro, para el análisis del número de ocurrencias de un tipo de sequía se observa que estas no están confinadas a un año sino a un período de varios años.

Durante el período de registro, para el área de Guri el número de ocurrencia de *INDISS* > 0 según su *Ds*, *Is* y *Fs* se presentan en la **Tabla 13**:

**Tabla 13** .- Número de ocurrencia *INDISS* > 0 para el área de Guri según su Ds, Is y Fs (%).

| Ds / Is                       | Muy Corta (1 mes) | Corta (2 meses) | Larga (3 meses) | Muy Larga (4 meses) | Extraordinaria ( $\geq 5$ meses) |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| Muy Leve (0 - 49)             | 11                | 7               | 3               | 0                   | 0                                |
| Leve (50 - 99)                | 8                 | 4               | 5               | 3                   | 8                                |
| Moderada (100 - 149)          | 3                 | 3               | 0               | 1                   | 2                                |
| Intensa (150 - 199)           | 0                 | 0               | 0               | 0                   | 0                                |
| Muy Intensa (200 - 249)       | 0                 | 0               | 0               | 0                   | 0                                |
| Extraordinaria ( $\geq 250$ ) | 0                 | 0               | 0               | 0                   | 0                                |
| <b>TOTAL</b>                  | 22                | 14              | 8               | 4                   | 10                               |
| <b>Fs (%)</b>                 | 15,28             | 7,29            | 3,7             | 1,74                | 4,17                             |

Para el cálculo de la frecuencia se considero el espacio muestral del período de registro 288 meses (12 meses x 24 años). La ecuación aplicada fue la siguiente:

$$Fs(\%) = 100 \times Nf / Nr - (Nr / Np + 1)$$

Donde Nf es el número de veces en que una sequía ocurrió durante el registro, por ejemplo ocurrieron 14 sequías de 2 meses; Nr es el periodo de registro o espacio muestral; Np es la duración de la sequía correspondiente y el factor + 1 es el mínimo limite que separa una sequía de otro, por ejemplo un mes *INDISS* = 0.

La fracción  $Nr / Np + 1$  es el número máximo posible en que una sequía puede ocurrir durante el registro. Para el caso de sequías de 2 meses pueden ocurrir un máximo de 96 sequías de esta duración en 288 meses.

Partiendo de la tabla de clasificación de sequías según su frecuencia (Tabla 3), de la **Tabla 13** se observa que:

- a) Las sequías de un mes son Poco Frecuentes (15,28 %) durante el período de registro.
- b) Las sequías Cortas (2 meses) a Extraordinarias ( $\geq 5$  meses) son Muy Poco Frecuentes ( $< 10$  %).

Así mismo, de la Tabla 13 se extrae información que:

- a) Las sequías mas prolongadas son las de Leve intensidad.
- b) Las sequías más numerosas son las de un mes de duración y de Muy Leve intensidad.
- c) Las sequías Leves resultan ser las más numerosas sin considerar su duración.

Para el área de la **Península de Paraguaná** el número de ocurrencia del *INDISS*  $> 0$  según su duración, intensidad y frecuencia se reflejan en la **Tabla 14**:

**Tabla 14.-** Número de ocurrencia de *INDISS*  $> 0$  para el área de la Península de Paraguaná según su *Ds*, *Is* y *Fs* (%).

| <b>Ds / Is</b>                | <b>Muy Corta (1 mes)</b> | <b>Corta (2 meses)</b> | <b>Larga (3 meses)</b> | <b>Muy Larga (4 meses)</b> | <b>Extraordinaria (<math>\geq 5</math> meses)</b> |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|
| Muy Leve (0 - 49)             | 5                        | 1                      | 1                      | 0                          | 0                                                 |
| Leve (50 - 99)                | 5                        | 3                      | 6                      | 2                          | 1                                                 |
| Moderada (100 - 149)          | 6                        | 7                      | 4                      | 2                          | 3                                                 |
| Intensa (150 - 199)           | 5                        | 3                      | 2                      | 0                          | 1                                                 |
| Muy Intensa (200 - 249)       | 1                        | 1                      | 1                      | 0                          | 0                                                 |
| Extraordinaria ( $\geq 250$ ) | 0                        | 0                      | 0                      | 0                          | 0                                                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>22</b>                | <b>15</b>              | <b>14</b>              | <b>4</b>                   | <b>5</b>                                          |
| <b>Fs (%)</b>                 | <b>15,28</b>             | <b>7,8</b>             | <b>6,48</b>            | <b>1,74</b>                | <b>2,08</b>                                       |

De acuerdo a la clasificación de las sequías según su frecuencia, de la **Tabla 14** se observa que:

- a) Al igual que en el área de Guri, las sequías Muy Cortas son Poco Frecuentes (15,28 %) durante el registro
- b) Las sequías Cortas (2 meses) a Extraordinarias ( $\geq 5$  meses) son Muy Poco Frecuentes, y se observa que con relación al área de Guri, las sequías de 4 meses son más frecuentes y las de duración extraordinaria son menos.

De la Tabla 14 también se observa lo siguiente:

- a) Las sequías más prolongadas y numerosas son las de Moderada intensidad, a diferencia del área de Guri que son Leves.
- b) Las sequías más numerosas de un mes son las Moderadas. En el área de Guri son las Muy Leves.
- c) En esta área ocurren sequías Intensas y Muy Intensas a diferencia del área de Guri en donde no se observó este tipo de sequías.

#### IV. J) CRITERIOS DE VALIDACIÓN DEL *INDISS*:

Para la validación del *INDISS* se establecieron dos criterios los cuales pudieran servir como referencias de los efectos de una sequía; a saber:

- 1) La posibilidad de obtener la información más completa de otra variable climática indicadora de sequía.
- 2) La posibilidad de obtener información más completa sobre alguna actividad productiva relevante en cada área de estudio. Esto con el objeto de establecer efectos de las sequías sobre su productividad.

Del primer criterio se recopiló información de datos de Tina de Evaporación (Evaporación en mm) para cada área de estudio.

Del segundo criterio se consiguió la siguiente información:

- a) Para el **área de Guri** se obtuvieron datos sobre caudales de un río aguas arriba de la Embalse de Guri (central hidroeléctrica), los cuales fueron proporcionados por la empresa CVG-EDELCA, por considerarlo como la mayor actividad productiva más importante de la zona.
- b) Para el **área de la Península de Paraguaná** se buscó información en la prensa regional del Estado Falcón, para establecer cual actividad productiva pudiera ser afectada por las sequías. La búsqueda de esta información se hizo en la hemeroteca de la Biblioteca Nacional en Caracas, donde se consiguieron dos periódicos regionales (El

periódicos regionales (El Falconiano y Médano). De esta revisión se observó que el suministro de agua a la población constituye el problema más grave durante la temporada de verano. A partir de esta información se solicitaron datos sobre los embalses ubicados cerca del área de estudio a la empresa HIDROFALCON, escogiéndose al embalse El Isiro por ser el más importante de la zona. HIDROFALCON nos proporcionó los datos de cotas mensuales de algunos años del período de registro establecido del referido embalse.

Cabe señalar, que con estas informaciones se considerará una validación cualitativa del *INDISS*.

#### IV.K) VALIDACIÓN CUALITATIVA DEL *INDISS* SEGÚN LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS:

##### **A) Validación cualitativa del *INDISS* con la variable climática Evaporación.**

Adicional a las visitas para solicitar información sobre datos de *P*, se solicitó información de datos de evaporación como otra posible variable indicadora de sequías. Los resultados de la obtención de la información para las áreas de estudio se detallan a continuación:

- 1) Para el **área de Guri** se obtuvo información de 14 estaciones meteorológicas con Tina de Evaporación cuyos datos mensuales se encuentran en el Anexo 1 (archivo OLRLLGU). Para efecto de nuestro análisis, se calculó la desviación normalizada de evaporación, donde los valores positivos pueden indicar una posible anomalía de sequía, sobre todo en la temporada de verano, en virtud que la radiación solar es mayor y por consiguiente mayor debe ser la evaporación. Como es una validación cualitativa, los datos de la desviación normalizada para el área de Guri se reflejan en la **Tabla 15** sólo con los signos positivos.

**Tabla 15.-** Desviación normalizada positiva de evaporación para el área de Guri y sus coincidencias con las anomalías de sequías.

| AÑO  | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1974 |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |
| 75   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 76   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |
| 77   |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 78   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 79   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1980 |     |     |     |     |     |     | +   | +   |     |     |     |     |
| 81   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 82   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 83   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 84   |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |
| 85   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 86   |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |
| 87   |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |     |
| 88   |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |
| 89   |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |
| 1990 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |
| 91   |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |
| 92   |     |     | +   | +   |     |     |     |     | +   |     | +   |     |
| 93   |     |     | +   | +   |     | +   |     |     |     |     |     | +   |
| 94   |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 95   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |
| 96   |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |
| 97   |     |     |     |     | +   |     | +   |     |     |     |     |     |

**Nota:** El sombreado sólo considera ocurrencia de sequías, más no la intensidad.

Observando la Tabla 15, existe una gran coincidencia entre los valores o signos positivos de la desviación normalizada de evaporación y las sequías detectadas

por  $INDISS > 0$ , con la excepción de los años 1981 y 1985 donde se detectaron sequías pero la desviación normalizada indica que la evaporación estuvo por debajo de la media mensual durante el período de registro.

- 2) Para el área de la Península de Paraguaná, se recopiló información de evaporación sólo de tres estaciones meteorológicas, cuyos datos mensuales se encuentran en el Anexo 1 (archivo OLRLPP). En la **Tabla 16** se muestran los signos positivos resultantes de los cálculos de la desviación normalizada de evaporación.

**TABLA 16**  
DESVIACION NORMALIZADA POSITIVA DE EVAPORACION PARA LA PENINSULA DE PARAGUANA Y SUS COINCIDENCIAS CON ANOMALIAS DE SEQUIAS

|      | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DEC |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1974 | +   | +   | +   | +   | +   |     |     | +   | +   | +   | +   | +   |
| 75   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |
| 76   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 77   |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     | +   |     |
| 78   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +   | +   |
| 79   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1980 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 81   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 82   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 83   |     |     | +   |     | +   | +   | +   |     |     |     |     |     |
| 84   |     |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |
| 85   |     |     |     |     |     | +   |     |     |     | +   |     |     |
| 86   |     |     |     |     | +   |     |     |     | +   | +   |     |     |
| 87   |     |     |     |     |     |     |     | +   |     |     | +   |     |
| 88   |     | +   | +   |     |     |     | +   |     | +   |     |     |     |
| 89   |     |     |     |     |     | +   | +   |     |     |     |     |     |
| 1990 |     | +   |     | +   | +   | +   |     |     |     |     |     |     |
| 91   |     |     |     |     |     | +   |     |     |     |     |     |     |
| 92   |     | +   |     | +   |     | +   | +   |     |     |     |     |     |
| 93   |     |     | +   | +   |     |     |     |     |     |     |     | +   |
| 94   | +   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 95   |     |     | +   |     |     |     | +   |     |     |     |     |     |
| 96   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | +   | +   |
| 97   | +   | +   | +   |     |     | +   | +   |     | +   |     |     |     |

**Nota:** El sombreado sólo considera ocurrencia de sequía, más no la intensidad.

Se observa en la Tabla 16 que para ciertos años del período de registro existe una ligera coincidencia entre los valores positivos de la desviación normalizada y meses consecutivos de  $INDISS > 0$  (Tabla 12), como por ejemplo los años 76, 77, 78, 84 y 93. Es el caso que para los años 81 y 82  $INDISS$  detectó sequías pero no así la evaporación; los años 74 y 97 aparentemente fueron secos de acuerdo a los signos positivos de la desviación normalizada, pero  $INDISS$  no se detectó sequías que pudieran ser consideradas.

#### **B) Validación cualitativa del $INDISS$ con una actividad productiva:**

**B.1)** Para el área de Guri, los caudales de un río aguas arriba del Embalse de Guri reviste gran importancia económica, por cuanto repercute en la eficiencia del suministro de energía eléctrica (hidroeléctrica) a diferentes industrias y empresas básicas del sector aluminio, del hierro y sus derivados establecidas en la zona, así como también a la industria petrolera y otras industrias del resto del país, contribuyendo de esta forma con el 70% del servicio de energía eléctrica a nivel nacional (4% PIB). El suministro de energía promedia anualmente unos 66.400 GWh, equivalente a 394.000 barriles de petróleo por día (Rodríguez, 1997). Como datos significativos, esta central hidroeléctrica es la segunda a nivel mundial en capacidad instalada y la octava en volumen de agua embalsada. El principal río que alimenta el embalse es el río Caroní con un caudal promedio anual de 4.700 m<sup>3</sup>/s, cuyo comportamiento se tomará como base de validación cualitativa del  $INDISS$ . La

decisión de tomar este indicador se debió a que una sequía prolongada o escasez de precipitaciones puede ocasionar una baja en sus caudales que redundaría en una disminución de la cota del embalse y por ende en una disminución de la capacidad instalada de la central hidroeléctrica para satisfacer las demandas del servicio.

Los datos de los caudales del río Caroní fueron suministrados por la empresa CVG-EDELCA. A partir de estos datos de caudales se calculó la desviación normalizada donde los valores positivos y negativos significan los desvíos con relación al promedio mensual durante el registro de 24 años (1974 a 1997). En tal sentido, para realizar la comparación con la Tabla 10 de valores *INDISS* > 0, es nuestro interés sólo reflejar los signos negativos de la desviación normalizada, pues son indicativos de bajos caudales del río por debajo del promedio. En la Tabla 17 se reflejan la comparación de los valores (signos) negativos resultantes de la desviación normalizada con los *INDISS* > 0 sólo identificados con el sombreado indicativo de sus ocurrencias más no su intensidad.

TABLA 17  
DESVIACION NORMALIZADA NEGATIVA DE CAUDALES DEL RÍO CARONÍ EN EL ÁREA  
DE GURI Y SUS COINCIDENCIAS CON ANOMALÍAS DE SEQUÍAS.

|      | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DEC |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1974 |     |     | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 75   |     | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 76   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |
| 77   |     |     | -   |     |     |     |     |     | -   |     |     |     |
| 78   |     |     |     |     | -   |     |     | -   |     |     |     | -   |
| 79   |     |     | -   |     |     |     |     |     | -   |     |     | -   |
| 1980 |     |     |     | -   |     |     |     | -   |     | -   |     |     |
| 81   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 82   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |
| 83   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |
| 84   | -   |     |     |     |     | -   | -   |     |     |     |     |     |
| 85   |     |     | -   | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 86   |     | -   |     |     | -   |     |     |     | -   |     |     |     |
| 87   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 88   |     |     |     |     |     | -   | -   |     |     |     |     |     |
| 89   |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |     |     |     |
| 1990 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 91   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |     | -   |
| 92   |     |     | -   | -   | -   | -   |     |     | -   |     | -   |     |
| 93   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 94   |     |     | -   |     |     |     |     |     |     |     | -   |     |
| 95   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |     |     |
| 96   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 97   |     |     |     |     | -   |     |     |     |     |     |     |     |

Nota: El sombreado sólo considera ocurrencia de sequía, más no la intensidad.

Se observa en la Tabla 17 que existe gran coincidencia de  $INDISS > 0$  y el régimen de aguas bajas del río Caroní, con excepción del año 1992 donde no se detectaron sequías de consideración.

Para analizar los posibles efectos de sequías detectadas por el  $INDISS$  sobre la disminución de los caudales del río Caroní, se debe considerar el comportamiento del  $INDISS > 0$  durante los meses anteriores o el año anterior. Esta apreciación se basa en una observación realizada por Ramírez (1998), donde establece que por motivo de las sequías el suministro de agua a un acueducto puede disminuir su producción en un 30%, relacionando esta situación con el comportamiento de las lluvias del año anterior que pueden llegar a ser insuficientes para aumentar los caudales de la cuenca que llenan los embalses de donde se abastece el acueducto.

**B.2) Para el área de la Península de Paraguaná,** tal como se señaló anteriormente, la escasez en el suministro de agua a la población constituye un problema de índole social muy importante, por lo que la información adquirida sobre las cotas del embalse El Isiro se toma como referencia para la validación del *INDISS*. A partir de estos datos se calcularon las desviaciones normalizadas cuyos signos negativos (indicativos de cotas bajas por debajo del promedio mensual durante el registro) se reflejan en la **Tablas 18.**

**TABLA 18**  
**DESVIACION NORMALIZADA NEGATIVA DE COTAS DEL EMBALSE EL ISIRO PARA LA**  
**PENINSULA DE PARAGUANA Y SUS COINCIDENCIAS CON ANOMALÍAS DE SEQUÍAS**

|      | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DEC |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1974 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 75   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 76   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 77   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |     |
| 78   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 79   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1980 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 81   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 82   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 83   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 84   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 85   | -   |     |     |     |     |     |     |     |     | -   |     |     |
| 86   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 87   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 88   |     |     |     |     |     |     | -   | -   |     |     |     |     |
| 89   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1990 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 91   |     |     | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 92   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 93   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 94   | -   | -   | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 95   |     |     | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 96   | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 97   | -   | -   | -   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

**Nota:** El sombreado sólo considera ocurrencia de sequías, más no la intensidad. Se sombreadó los datos suministrados.

No se pudo validar el *INDISS* con los niveles de las cotas del embalse El Isiro, quizás debido a la deficiencia de la información de las cotas o no sea este un buen indicador.

IV.L) COMPARACIÓN DE LA OCURRENCIA DEL *INDISS* > 0 ENTRE EL ÁREA DE GURI Y EL ÁREA DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ:

Para comparar la ocurrencia de anomalías de sequías (*INDISS* > 0) entre las áreas de Guri y Península de Paraguaná se reflejaron los meses coincidentes sin considerar las intensidades. Los resultados se muestran en la **Tabla 19**.

**Tabla 19.-** Relación de coincidencia del *INDISS* > 0 entre las áreas de estudio (enero 1974 a diciembre 1997).

| Mes/<br>Año    | Enr | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1974           |     |     |     | G   | G   | GP  | GP  | G   |     | G   |     | G   |
| 75             | G   |     | GP  | GP  | G   | GP  | G   | G   | G   | G   | G   |     |
| 76             |     |     |     | P   | GP  | P   | P   | GP  | GP  | G   | GP  | P   |
| 77             | GP  | GP  |     | GP  | G   | G   | GP  | G   | P   | GP  | G   | GP  |
| 78             | GP  | GP  | G   | G   | P   |     | G   | P   | GP  | GP  | G   |     |
| 79             | GP  | GP  |     |     | G   |     | GP  | GP  |     | P   | GP  |     |
| 1980           | GP  | GP  | GP  | P   | P   | P   | P   | P   | GP  | P   | P   | GP  |
| 81             | GP  |     | GP  |     |     |     | P   |     |     | GP  | GP  | G   |
| 82             | GP  | P   | P   |     |     | P   | G   | GP  | GP  | GP  | GP  |     |
| 83             | GP  | GP  | G   |     |     |     | G   | GP  | GP  | GP  | GP  | P   |
| 84             | P   | GP  | GP  | GP  | GP  | P   |     |     |     | P   |     | P   |
| 85             |     | GP  | P   | P   | GP  | G   | GP  | P   | GP  |     |     |     |
| 86             | GP  | P   | GP  | G   |     | P   | GP  | GP  |     |     | P   | P   |
| 87             | GP  | GP  | GP  | G   |     | GP  |     | G   | GP  | G   | G   | GP  |
| 88             | GP  | G   | G   | GP  | GP  | P   |     |     |     |     |     |     |
| 89             |     |     |     | GP  | GP  | G   | G   | GP  |     | GP  | P   | GP  |
| 1990           |     |     |     |     |     | G   | GP  |     | GP  |     |     |     |
| 91             |     | GP  |     | GP  | GP  | G   | P   | P   | P   | P   | G   |     |
| 92             | GP  | G   | P   |     | P   |     | G   | GP  |     | GP  |     | G   |
| 93             | GP  | GP  |     |     |     | P   | GP  | GP  | GP  | P   | P   |     |
| 94             | G   | G   |     | GP  | GP  | G   | P   | P   | P   |     |     | GP  |
| 95             | GP  | GP  | G   | GP  | GP  | GP  |     |     | G   |     | P   | GP  |
| 96             | G   | P   | GP  | GP  |     | P   |     | GP  | P   | GP  |     | G   |
| 97             |     |     | G   | GP  | P   | G   |     | GP  | G   | GP  | GP  | GP  |
| Total<br>coin. | 13  | 11  | 7   | 10  | 8   | 4   | 7   | 10  | 9   | 9   | 6   | 8   |

G = sequía para el área de Guri; P = sequía para el área de la Península de Paraguaná;  
GP = coincidencias de las sequías entre las áreas

De la **Tabla 20** se extrae la siguiente información:

- A) Se observa que hubo ocurrencia de 153 de anomalías de sequías o *INDISS* > 0 en el área de Guri y 151 en el área de la Península de Paraguaná durante el período de registro, por lo que los totales de ocurrencia se estiman como muy cercanos.
- B) Tomando en cuenta los totales mensuales de coincidencias, durante el período de registro hubo 102 coincidencias, aproximadamente el 67 % entre las anomalías de sequías registradas, eventos estos que eran de esperarse.

## V.- CONCLUSIONES:

Del estudio del desarrollo del *INDISS* se concluye:

- 1) El uso de los datos de lluvias medidos con pluviómetros ( $P$ , mm) y de datos *OLR* ( $W/m^2$ ) medidos desde satélites, pueden ser combinados para desarrollar un índice de severidad de sequías (*INDISS*) en áreas tropicales.
- 2) De acuerdo a los valores obtenidos de *INDISS*  $> 0$ , se observó que las anomalías de sequías pueden ocurrir en cualquier temporada del año (invierno o verano).
- 3) Las sequías no son periódicas.
- 4) Los mayores valores individuales *INDISS* ocurren durante la temporada de invierno en las dos áreas de estudio.
- 5) De acuerdo a la clasificación de las sequías según su duración e intensidad, para el área de Guri las sequías van desde muy leves a moderadas, y para el área de la Península de Paraguaná van desde muy leves a muy intensas, observándose la influencia del clima característico en cada una de ellas: en Guri el clima es húmedo y en la Península de Paraguaná es seco.
- 6) La aplicación del *INDISS* en un área tropical tiene la tendencia a concordar con otra variable indicadora de sequía como la evaporación; aunque para el área de Guri dejó de funcionar durante los años 1981 y 1985 donde esta variable no indicó probable sequía. Igual caso sucedió en el área de la Península de Paraguaná durante los años 1981, 1982 y 1996.

- 7) Resultó difícil analizar la forma en que el *INDISS* pudiera predecir una afectación sobre una actividad económica, pues las variables escogidas (caudales de un río y cotas de un embalse) no consideraron sus fuentes de aprovisionamiento que se encontraban fuera de las áreas de estudio.
- 8) El empleo de datos de precipitación, como un buen indicador de escasez de lluvias, y su combinación con el dato satelitario *OLR*, como un buen indicador de cielo despejado o casi sin nubes, prueba que sus resultados arrojan una buena concordancia o coincidencias de situaciones de sequías en las dos áreas de estudio, tomando en cuenta sus diferencias climáticas y condiciones de recolección de los datos de precipitación.

**VI.- RECOMENDACIONES:**

- 1) Para resaltar el procedimiento de combinar datos pluviométricos con datos satelitarios se debe continuar el estudio del *INDISS* e ir sustituyendo los datos de precipitación convencionales con los que se están aportando por los satélites, mediante estudios comparativos previos de estos dos métodos (combinación propuesta con los netamente satelitarios), en virtud de los problemas que se están confrontado en la adquisición de la información pluviométrica tradicional.
- 2) Para la validación del *INDISS* con un factor económico se debe mejorar y formalizar la recolección de este tipo de dato, es decir, de manera sistemática y a largo plazo. Resulta más fácil conseguir datos meteorológicos que datos económicos, que en nuestro caso fue insuficiente.

## VII.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRUBER, A. & ARKIN P, A. "Reviews of Modern Climate Diagnostic Technique: Satellite Data in Climate Diagnostics". Geneve, Switzerland, Nov. 1992.
2. HIDALGO, L.G. "Monthly Characterisation of the Tropical Weather Combining Satellite and Raingauge Data". Meteorology, Appl. 2, 167 – 169. 1995.
3. JANOWIAK, J. ET AL. "Atlas of Outgoing Longwave Radiation Derived from NOAA Satellite Data". NOAA Atlas N° 6. 1985.
4. JEHN, K. H. "Summary report of the Workshop Conference on Meteorological Drought". Texas, Atmospheric Science Group. The University of Texas, USA. 1966.
5. RANGO, A. & DAVIS, G. "Hidrological Drought-Severity Index and Water Resources Management". Report N° 7, National Science Foundation GP-4743. Penn. State University, USA. 1967.
6. SUBRAHMANYAM, V. P. "Valoración y extensión de la sequía continental". Ginebra, Organización Meteorológica Mundial. 1974.
7. VILA, Marco Aurelio. "Las Sequías en Venezuela". Fondo Editorial Común. Caracas, Venezuela. 1975.

8. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Special Environmental Report N° 5. Drought Lectures presented at the 26° session of the WMO Executive Committee. Geneve, Switzerland. 1975.
9. ....Climate System Monitoring Project. Report on Drought and Countries affected by Drought During 1974 – 1985. Geneva, Switzerland. 1986.

