

Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia

ANA CECILIA MUÑOZ¹

*Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Cartago, Costa Rica*

Walter Fernández, Jorge A. Gutiérrez y Eladio Zárate

*Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias,
Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas,
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

(Recibido 20 de enero 2002, Aceptado 24 de marzo 2002)

ABSTRACT

The monthly wind distributions of 22 stations located in different regions of Costa Rica are analyzed. It is found that these distributions respond to the wind behavior at the synoptic scale and its interaction with topography. The stations which show the greater wind speeds are identified, as well as the range of variation of the wind speed and the predominant wind direction through the year. This analysis indicates that the stations located at barlovent, with respect to wind direction, have lower speeds than the ones located at sotavent. The station La Tejona, located near Arenal reservoir, shows the maximum values, reaching a speed of 37.1 km/h in February. The stations located in the Central Valley also show relatively high wind speeds. In the majority of the analyzed stations, the predominant wind direction corresponds to the Trade winds.

The influence of the sea breeze (mesoscale wind) and the equatorial westerlies (synoptic scale wind) is observed at the stations of Puntarenas, Damas, Pindeco and Palmar Sur.

The rainfall distributions at the same 22 stations, used for the wind distributions, are also analyzed with the purpose to establish if exist any relationship among these variables. The results show differences between the Pacific Watershed and the Caribbean Watershed. The majority of the analyzed stations in the Pacific Watershed show an opposite behavior between wind and rainfall. This clearly establish the influence of the Trade winds intensity in the production of rainfall and identify, in this region, a dry season and a rainy season. This behavior is not observed in the Caribbean Watershed.

1. Introducción

En Costa Rica se han realizado algunos estudios del viento (e.g., Zárate, 1977, 1978, 1980; ICE, 1980), los cuales analizan el comportamiento de esta variable en regiones específicas del país. En algunos casos se estudia el viento en relación con la precipitación (e.g., Zárate, 1977, 1981; Chacón y Fernández, 1984; Galo et al., 1996). Otros trabajos han discutido en forma general la posibilidad de la explotación de la energía eólica en Costa Rica (ICE, 1979, 1985; DSE, 1982; EES, 1984; Vindas, 1989), en los cuales se utilizaron los valores promedio mensual de la velocidad del viento, con registros pequeños y solo para pocos lugares del país. Además, existen otros

estudios en los que se analizaron los datos del viento con objetivos específicos para estudiar la modificación sufrida por el viento en superficie, por la construcción de un embalse (Fernández et al., 1986) o con fines de Ingeniería.

Los estudios del comportamiento del viento son necesarios como base a la utilización de energía eólica. Esta fuente de energía no convencional hasta la fecha no ha sido muy explotada por el hombre en escala comercial. En Costa Rica la principal fuente de energía es la energía hidroeléctrica y aunque la energía eólica no se considera una sustitución o una comparación con el potencial hidroeléctrico con el que tiene el país, ésta puede representar una fuente de energía complementaria.

Costa Rica presenta una topografía compleja que

¹ Corresponding author address: Ana Cecilia Muñoz, Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
E-mail: cmunoz@itcr.ac.cr

incluye valles, mesetas y montañas de más de tres mil metros, lo que favorece el desarrollo de diversos fenómenos atmosféricos y permite que se presenten diferentes climas en las regiones del país. El principal rasgo orográfico es un sistema montañoso central que la atraviesa de noroeste a sureste. Este eje montañoso es una continuación de las cordilleras centroamericanas.

La interacción de los vientos sinópticos con la compleja topografía y la generación de vientos locales son factores muy importantes en los regímenes de lluvia que se observan. En general, la cadena montañosa que atraviesa longitudinalmente el país, lo divide en dos vertientes que se caracterizan por regímenes de precipitación muy diferentes: Vertiente del Pacífico y Vertiente del Caribe. Ambos regímenes presentan diferencias en cuanto a su distribución mensual y en las horas en que ocurre la lluvia. La Vertiente del Pacífico es menos lluviosa que la del Caribe y se caracteriza por una estación seca y otra lluviosa bien definidas. En la Vertiente del Caribe no se puede decir que existe una estación completamente seca, solamente se presenta una disminución relativa de la lluvia durante los meses de febrero y abril, septiembre y octubre (Campos y Castro, 1992).

En este trabajo se analiza la distribución a lo largo del año, de la magnitud de la velocidad del viento a una altura de 10 m sobre el suelo. También, se examina la posible relación de esta variable con la precipitación. Un estudio previo sobre el tema fue realizado por Zárte (1977). El presente trabajo actualiza y complementa dicho estudio. Además, este trabajo complementa otros de los autores sobre la distribución horaria de la magnitud del viento en Costa Rica (Muñoz et al., 2002a) y sobre el potencial de energía eólica en Costa Rica (Muñoz et al., 2002b).

Las estaciones escogidas para realizar el presente estudio se muestran en la Tabla 1, la cual brinda información acerca de su ubicación y del período utilizado para obtener el valor promedio de la velocidad y de la precipitación. La Figura 1 muestra la ubicación de las estaciones en las diferentes regiones climáticas del país.

2. Principales sistemas de viento: una breve revisión

Para analizar y comprender mejor el comportamiento del viento local en las estaciones analizadas en este estudio, es necesario conocer los principales sistemas de viento que afectan a Costa Rica.

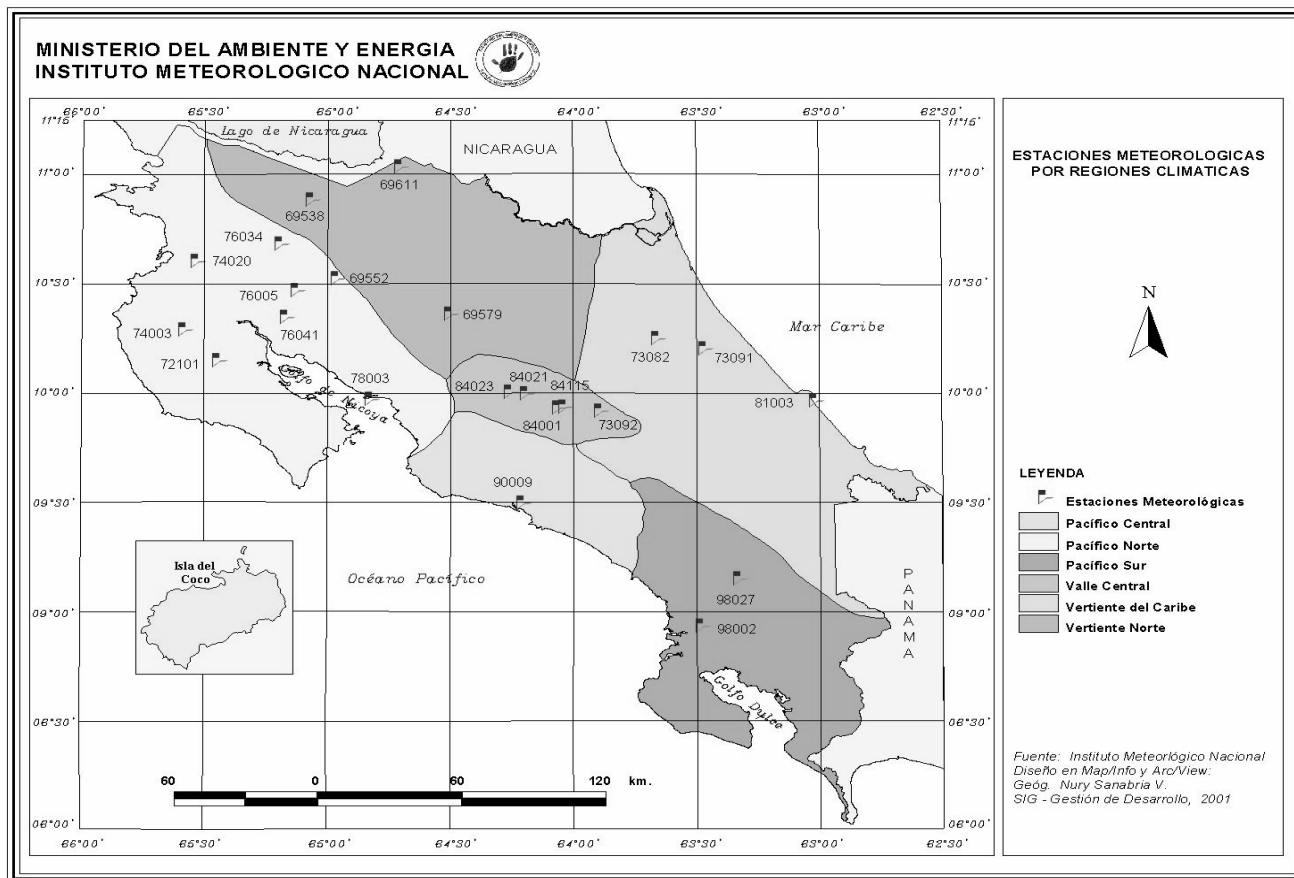


Figura 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas en las diferentes regiones climáticas.

MUÑOZ: Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia

Tabla 1: Estaciones meteorológicas que miden la velocidad del viento y la lluvia utilizadas en este estudio. Con excepción de la estación La Tejona operada por el ICE, las demás, pertenecen al IMN.

ESTACIÓN	N°	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTITUD MSNM	DISTANCIA DESDE EL SUELO AL MEDIDOR DE VIENTO	PERIODO DE REGISTRO (VIENTO)	PERIODO DE REGISTRO (LLUVIA)
AEROP. JUAN SANTAMARIA	84021	10° 00'	84° 12'	932	10	1974 - 97	1956-98
COBAL	73082	10° 15'	83° 40'	55	10	1971 - 76	1970-76
COOP. TIERRA BLANCA	73092	09° 55'	83° 54'	2100	10	1986 - 90	1972-88
DAMAS	90009	09° 30'	84° 13'	6	4	1983 - 93	1984-98
HACIENDA EL CARMEN	73091	10° 12'	83° 29'	15	10	1981 - 96	1972-98
FABIO BAUDRIT	84023	10° 01'	84° 16'	840	10	1974 - 93	1961-98
FORTUNA	76034	10° 40'	85° 12'	430	10	1976 - 86	1976-94
LA PACÍFICA	76005	10° 25'	85° 05'	15	10	1983-87	1952-95
LA TEJONA	69552	10° 31'	84° 58'	640	10	1976-83	1974-79
LIBERIA	74020	10° 36'	85° 32'	85	9	1974 - 94	1975-98
LIMÓN	81003	9° 57'	83° 01'	5	10	1971 - 98	1941-98
LOS CHILES	69611	11° 02'	84° 43'	40	10	1991 - 93	1986-94
NICOYA	72101	10° 09'	85° 27'	120	8	1971 - 84	1939-98
PALMAR SUR	98002	08° 57'	83° 28'	16	8	1974 - 92	1941-94
PINDECO	98027	09° 08'	83° 20'	397	9	1985 - 93	1984-98
PUNTARENAS	78003	09° 59'	84° 46'	3	10	1971 - 93	1958-98
SANTA CLARA	69579	10° 21'	84° 31'	170	10	1971 - 93	1973-98
SANTA CRUZ	74003	10° 16'	85° 35'	54	10	1984 - 93	1950-96
SABANILLA	84115	09° 57'	84° 03'	1200	9	1985 - 93	1982-96
SAN JOSÉ	84001	09° 56'	84° 05'	1172	10	1971 - 81	1888-97
TABOGA	76041	10° 22'	85° 12'	10	6	1983 - 87	1989-98
UPALA	69538	10° 54'	85° 01'	50	10	1983 - 87	1961-94

Por este motivo en esta sección se hace una revisión general, sin entrar en mayores detalles, de los principales sistemas de vientos que afectan al país. Se agrupan en dos categorías:

Vientos de escala sinóptica, tales como los vientos alisios, los oestes sinópticos y los oestes ecuatoriales (Zárate, 1977).

Vientos de mesoescala, en los cuales se consideran las brisas de mar y tierra y las brisas de valle y montaña, las ondas de montaña y los vórtices de sotavento.

2.1 Vientos sinópticos

Vientos alisios

Costa Rica está ubicada en la zona tropical norte del hemisferio occidental, región que se encuentra bajo la influencia de los vientos alisios. La dirección media de estos vientos es del este-noreste en el hemisferio norte, casi perpendicular al sistema montañoso del país.

Aunque el viento predominante en Costa Rica es el flujo alisio, existen otros regímenes de viento con componente del oeste que lo interrumpen (Zárate, 1977). Los mismos son:

Oestes sinópticos de la troposfera baja y media

Son aquellos vientos con componente del oeste presentes en la troposfera media y baja y que afectan todo el territorio nacional. Se manifiestan como consecuencia de la presencia de disturbios ciclónicos localizados en el Mar Caribe y el norte y noreste de América Central, tales como bajas presiones, tormentas tropicales o huracanes. Debido a la influencia de estos vientos en la Vertiente del Pacífico se pueden presentar temporales o veranillos según sea el espesor de la capa húmeda, cuyo tope está definido por la isolínea de humedad relativa del 50%, y de la cortante vertical del viento. También estos vientos son los responsables de las lluvias intensas en la Vertiente del Pacífico, cuando une su efecto a las barreras orográficas de América Central.

Oestes ecuatoriales en la troposfera baja

Estos vientos, de escala sinóptica, afectan las costas del Pacífico y el Valle Central del territorio costarricense. Se producen debido al desplazamiento de la vaguada ecuatorial, del Ecuador hacia el hemisferio norte, lo que causa que el viento con componente inicial del este se desvíe hacia la baja presión y adquiera componente del oeste entre el Ecuador y la vaguada tropical. Los oestes ecuatoriales afectan la costa occidental de Centro América, principalmente desde abril hasta octubre.

2.2 Vientos de mesoescala

Son tipos de circulación de escala media que se asocian a las características de la superficie o de la topografía de la región y son inducidas en forma térmica, como las brisas de mar y tierra, de valle y montaña, ó en forma mecánica, como las ondas de montaña y vórtices de sotavento. (Atkinson, 1981).

Brisas de mar y tierra

La diferencia en las capacidades de respuesta de las áreas de tierra firme y del océano al campo de radiación origina un gradiente de temperatura, el cual produce en la atmósfera una inestabilidad baroclínica. Genera un sistema de circulación atmosférica conocido como brisa de mar en el día y brisa de tierra en la noche. Durante el día, la superficie terrestre se calienta más que la superficie del mar y como la densidad decrece hacia arriba, las superficies de densidad constante tienen una pendiente hacia arriba de la tierra al mar. Debido a que las superficies isobáricas son usualmente casi horizontales, los dos conjuntos de líneas se intersectan para formar un campo solenoidal en el plano vertical (efecto baroclínico). Este campo origina un sistema de circulación consistiendo de una corriente hacia la tierra adyacente a la superficie y un retorno más débil arriba. Debido al efecto de Coriolis el viento en superficie va rotando hacia la derecha en el hemisferio norte tendiendo a hacerse paralelo a la costa. El efecto es más pequeño en latitudes bajas. Varios factores, tales como el viento prevaleciente de gran escala, la topografía, la irregularidad de la costa y la estabilidad de la atmósfera pueden afectar la brisa de mar.

La brisa de tierra responde a una circulación contraria a la brisa de mar. El viento en superficie, fluye, durante la noche, desde la tierra hacia el mar. La brisa de tierra no es tan intensa como la brisa de mar, ni en velocidad ni en altura de desarrollo, ya que la fuente de calor es menor.

Brisas de montaña y valle

Los vientos de montaña y de valle poseen un mecanismo similar al de las brisas de mar y tierra.

En el día, la radiación absorbida por la ladera de una montaña, permite que el aire sobre la pendiente esté más caliente que el de la atmósfera libre, a la misma altitud. Estas diferencias generan gradientes de temperatura y de presión, los cuales producen vientos pendiente arriba en la montaña durante el día y pendiente abajo en la noche.

En un valle, cada ladera produce un sistema de brisas, pero en general, durante el día se tendrán brisas ladera arriba en la capa superficial y sus corrientes de retorno más arriba. Como resultado se presenta una

corriente de subsidencia sobre el valle, estableciendo un gradiente de temperatura entre la región central y externa del valle, y una circulación a lo largo del eje y hacia el interior del valle, llamada brisa del valle.

Ondas de montaña

Las circulaciones atmosféricas que resultan del flujo de aire que pasa sobre los cerros y las montañas pueden alcanzar diferentes escalas. El tamaño de una circulación está frecuentemente relacionada con el tamaño del obstáculo, pero también se debe considerar la velocidad del viento y la estabilidad vertical de la atmósfera.

Las ondas generadas se presentan debido principalmente a las oscilaciones verticales del aire inducidas por el obstáculo. El aire es forzado a subir, pero las fuerzas restauradoras debido a la gravedad hacen que el aire tienda a alcanzar su nivel original. Dado que las partículas tienen también un movimiento horizontal, éstas se moverán con un patrón de ondas en un plano vertical.

El flujo de aire sobre las montañas puede clasificarse en dos categorías: las ondas que ocurren sobre las montañas, llamadas ondas de montaña y los vórtices que ocurren a sotavento de la orografía.

El número de Froude permite hacer una

clasificación de los flujos orográficos y se calcula a partir de la expresión:

$$Fr = u/Nh$$

donde: “u” es la velocidad del fluido, “h” es la altura del obstáculo, y “N”, una medida de estratificación, es la medida de Brunt-Väisälä:

$$N^2 = g/q_0 (dq/dz)$$

donde: “g” es la aceleración de la gravedad, y “q” es la temperatura potencial.

En experimentos realizados en el laboratorio se ha observado que si el número de Froude es mayor que uno, el aire tiende a subir y a llegar a la cima del obstáculo, en lugar de evitar la orografía, generando así las ondas de montaña (Gutiérrez, 2000).

Cuando el número de Froude es menor que uno, el aire tiende a rodear el obstáculo, evitando pasar por encima, generando así vórtices a sotavento de la orografía. Los vórtices a sotavento se presentan cuando el número de Froude es inferior a 1 y superior a 0.1, (Gutiérrez, 2000).

La formación de estos vórtices a sotavento responden a un mecanismo baroclínico, el cual genera vorticidad horizontal y ésta a su vez genera vorticidad

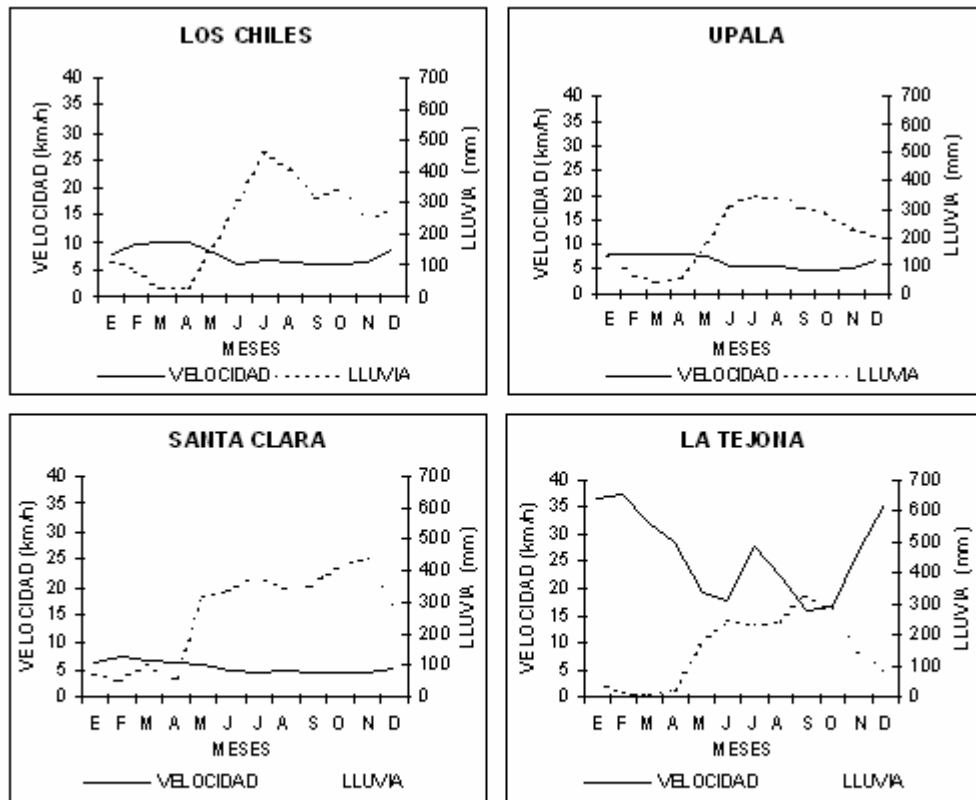


Figura 2: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Los Chiles (viento: 1991-93, lluvia: 1986-94), Upala (viento: 1983-87, lluvia: 1961-94), Santa Clara (viento: 1971-93, lluvia: 1973-98) y La Tejona (viento: 1976-83, lluvia: 1974-79).

vertical cuando el flujo pasa por el obstáculo. A su vez a sotavento de la orografía, se presentan flujos de retorno.

La formación de ondas de montaña se favorece cuando hay presencia de una capa húmeda estable profunda y un flujo aproximadamente perpendicular al obstáculo. Estas ondas producen fuertes vientos en superficie a sotavento de las montañas (citado por Campos y Castro, 1992).

3. Distribución estacional del viento y de la precipitación

En los meses comprendidos entre noviembre y abril, aumenta la velocidad del viento debido al incremento de los vientos alisios, inhibiendo el desarrollo y avance de las brisas de mar del Pacífico. Además hay un aumento en la cortante vertical del viento que inhibe la convección.

En la Vertiente del Pacífico, la velocidad del viento es mayor durante los meses de la época seca. Este comportamiento opuesto entre la velocidad del viento y la cantidad de lluvia, permite justificar el desarrollo de la energía eólica en nuestro país, como un acertado complemento al desarrollo de la energía hidroeléctrica, durante los meses en los cuales disminuye la precipitación.

A continuación, se presenta una descripción del comportamiento mensual de la velocidad del viento y la lluvia, para cada una de las estaciones consideradas en este estudio.

Zona Norte

Las estaciones Los Chiles, Upala y Santa Clara (San Carlos), ubicadas en la Zona Norte, muestran una distribución mensual de la velocidad bastante uniforme, con una leve tendencia a aumentar la magnitud de la velocidad en los meses de febrero o marzo, así como en julio o agosto (Figura 2). Santa Clara reporta valores de la velocidad entre 4.5 y 7.2 km/h, con dirección N y las estaciones de Los Chiles y Upala presentan valores entre 6.1 y 9.9 km/h, y 4.7 y 8 km/h respectivamente, con dirección E, SE (viento alisio).

Para las tres estaciones la distribución del promedio mensual de la precipitación, difiere un poco, de estación a estación y se nota que no existe una época seca bien definida (Figura 2). La precipitación aumenta desde mayo hasta julio alcanzando valores máximos entre 300 y 500 mm, en julio, aunque en Santa Clara el máximo se alcanza en septiembre. El máximo de precipitación que se

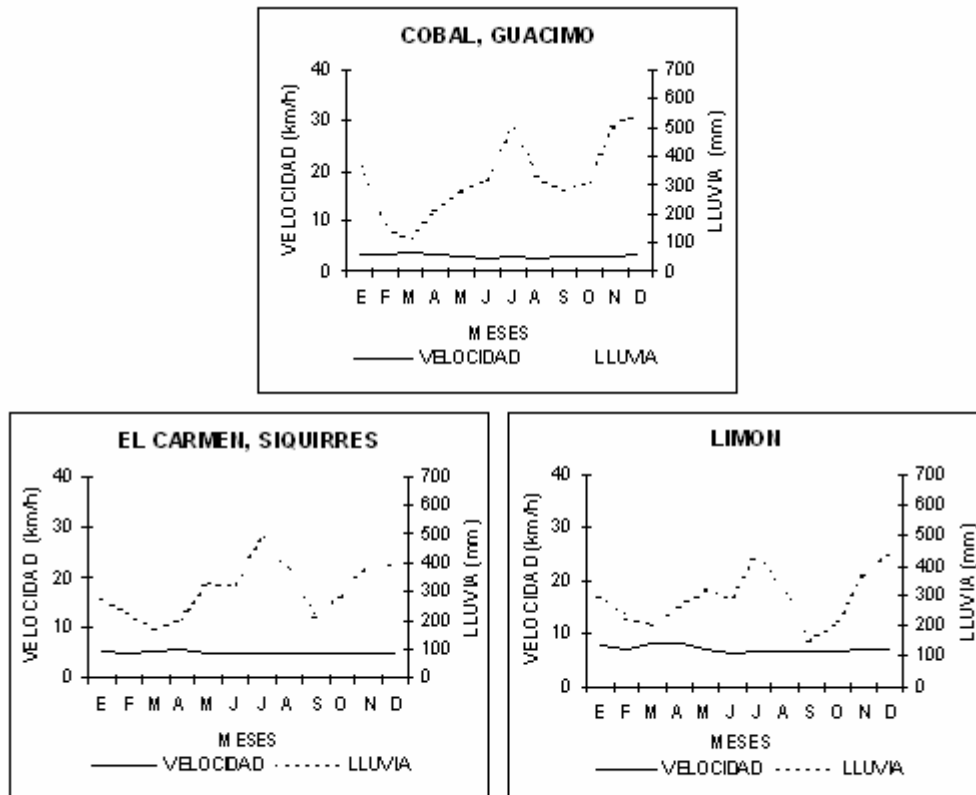


Figura 3: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Cobal (viento: 1971-76, lluvia: 1970-76), El Carmen (viento: 1981-96, lluvia: 1972-98) y Limón (viento: 1971-98, lluvia: 1941-98).

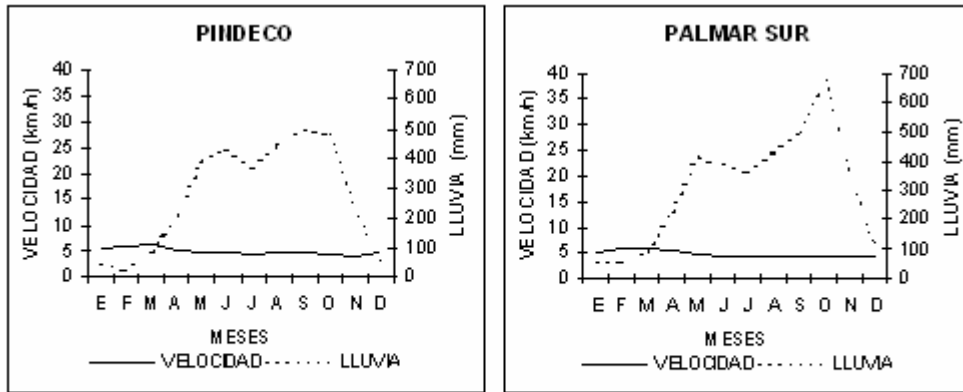


Figura 4: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Pindeco (viento: 1971-76, lluvia: 1970-76) y Palmar Sur (viento: 1974-92, lluvia: 1941-94)

encuentra en el este del Caribe, cerca de las costas de Centro América y durante los meses de verano, es consistente con las circulaciones cruzadas asociadas al flujo en la región de salida de la corriente en chorro de bajo nivel en los alisios, descritos por Amador, 1998.

La estación La Tejona de acuerdo al trazado de la divisoria de aguas utilizado en la Figura 1, se localiza en la región Pacífico Norte, sin embargo para su análisis está considerada dentro de las estaciones de la Zona Norte (Figura 2). Esta estación presenta los valores más altos de la velocidad, debido a que la región del Arenal se encuentra en una depresión tectónica entre las Cordilleras de Guanacaste y Tilarán y también a factores locales como la disminución de la rugosidad producida por el lago y las brisas inducidas por éste (Fernández et al, 1986). La distribución mensual de la velocidad muestra valores altos a partir de diciembre, alcanzando un máximo en febrero; luego los valores disminuyen hasta junio, aumentan en julio y descienden nuevamente hasta alcanzar un mínimo en septiembre. La rapidez promedio mensual varía entre 15.8 y 37.1 km/h y la dirección predominante es del E, asociada al viento alisio.

Esta estación presenta una época seca entre febrero y abril, luego se da un aumento en la precipitación, alcanzando en septiembre un máximo alrededor de 330 mm (Figura 2).

Región Caribe

Las estaciones Cobal (Guácimo), El Carmen (Siquirres) y Limón, ubicadas en la Región Caribe muestran una distribución anual de la velocidad del viento muy regular con valores casi constantes durante todo el año (Figura 3).

Las dos primeras estaciones reportan velocidades entre 2.7 y 5.6 km/h, con dirección predominante E, NE (viento alisio) y la estación Limón, valores alrededor de 7

km/h y con dirección predominante del E durante todo el año.

La distribución promedio mensual de la precipitación en estas estaciones es similar. Se observan valores máximos entre 400 y 560 mm entre los meses de julio y diciembre, en las estaciones Cobal y Limón y valores mínimos en los meses de marzo y septiembre, en Limón.

Además, no presentan una época seca bien definida a través del año. El máximo de lluvia en julio, está asociado aparentemente a la corriente en chorro en bajo nivel, como se mencionó (Amador, 1998) y el máximo en diciembre está asociado con las incursiones de los frentes fríos en la región, que inducen temporales en el Caribe.

Pacífico Sur

La distribución de la velocidad promedio mensual en las estaciones Pindeco y Palmar Sur, ubicadas en la región del Pacífico Sur, es muy regular a través del año, (Figura 4). La velocidad alcanza valores de 6 km/h, con dirección SO, O en Pindeco y valores de 5.5 km/h, con dirección O en Palmar Sur. Las direcciones SO y O del viento, son producto de las brisas de mar en la época seca y una combinación de la brisa del mar y los oestes ecuatoriales en la época lluviosa (Zárate, 1978). En estas estaciones aunque la distribución de la velocidad promedio mensual es uniforme a través del año, el patrón de la distribución de la precipitación es diferente para cada estación. (Figura 4). La precipitación aumenta entre marzo y junio, luego de presentar un mínimo en julio, correspondiente al veranillo, la precipitación alcanza un máximo de 500 mm y 700 mm en septiembre, respectivamente.

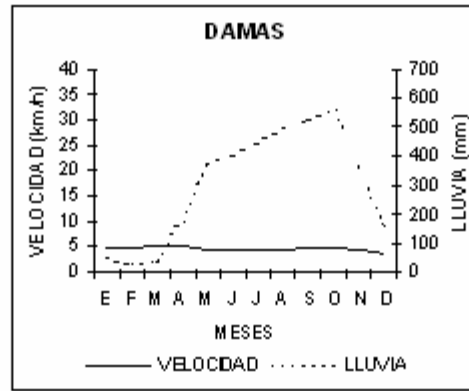


Figura 5: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Damas (viento: 1983-93, lluvia: 1984-98).

Pacífico Central

La estación Damas, ubicada en la región del Pacífico Central intermontano, muestra una distribución anual de la rapidez promedio mensual muy regular (Figura 5). La velocidad posee valores entre 3.8 y 5.1 km/h con dirección predominante del sur.

El patrón de la distribución de la precipitación

muestra un incremento a partir de marzo hasta alcanzar un máximo cercano a los 600 mm en el mes de octubre.

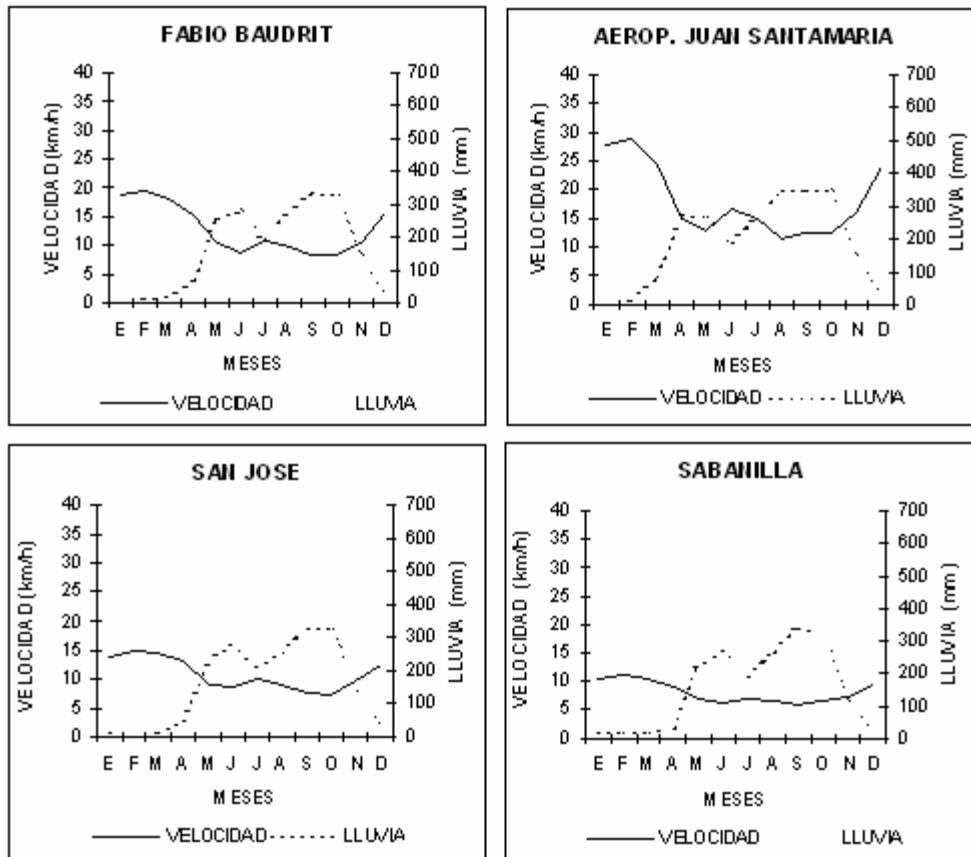


Figura 6: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Fabio Baudrit (viento: 1974-93, lluvia: 1981-98), Aeropuerto Juan Santamaría (viento: 1974-97, lluvia: 1956-98), San José (viento: 1971-81, lluvia: 1888-97) y Sabanilla (viento: 1985-93, lluvia: 1982-96).

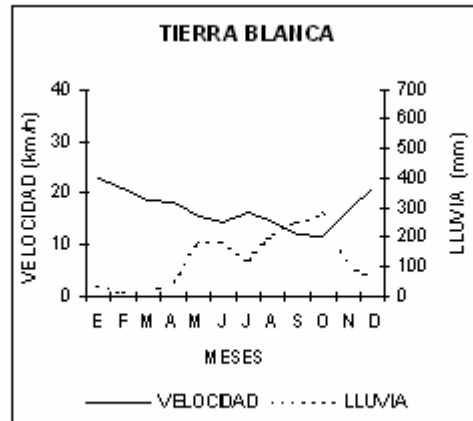


Figura 7: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estación Coop. Tierra Blanca (viento 1986-90, lluvia 1972-88)

Valle Central

En el Valle Central, las estaciones Estación Experimental Fabio Baudrit, Aeropuerto Juan Santamaría, San José y Sabanilla, presentan una distribución de la velocidad del viento irregular a través del año, (Figura 6). En estas estaciones los valores más altos de la

velocidad se observan en los primeros meses del año, alcanzando un máximo en el mes de febrero, debido a un refuerzo del viento alisio. Los valores disminuyen en mayo y junio, aumentan nuevamente en julio y alcanzan los mínimos en septiembre u octubre.

La velocidad promedio mensual para este grupo de estaciones varía entre 5.9 y 28.7 km/h y la dirección

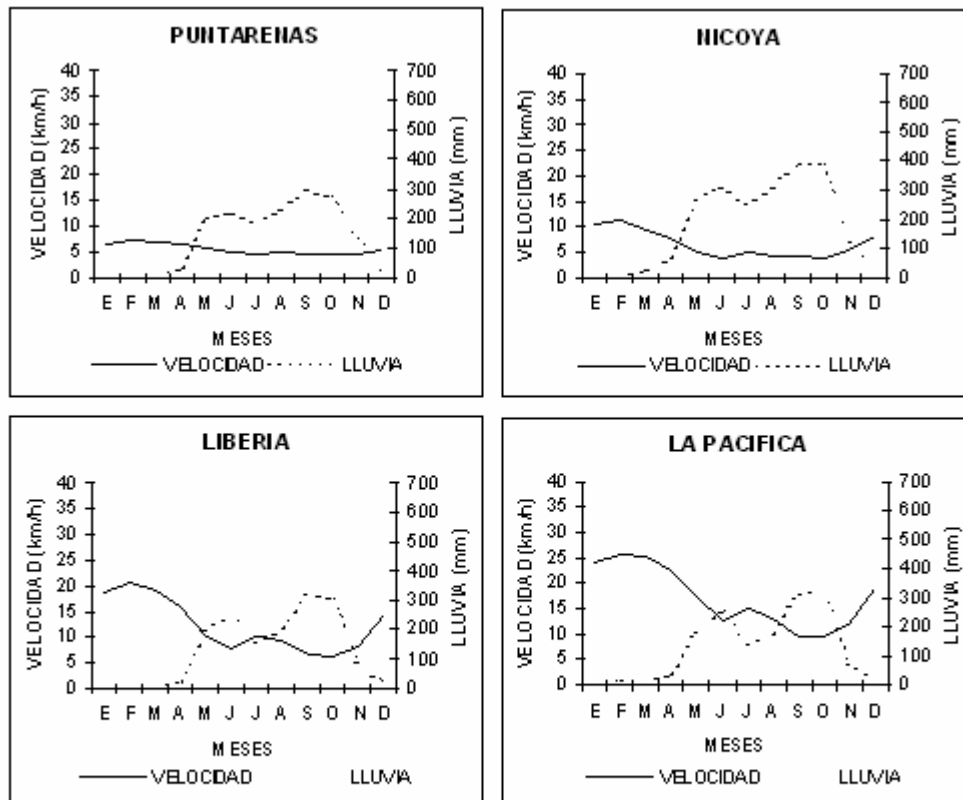


Figura 8: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Puntarenas (viento: 1971-93, lluvia: 1958-98), Nicoya (viento: 1971-84, lluvia: 1939-98), Liberia (viento: 1974-94, lluvia: 1975-98) y La Pacífica (viento: 1983-87, lluvia: 1952-95)

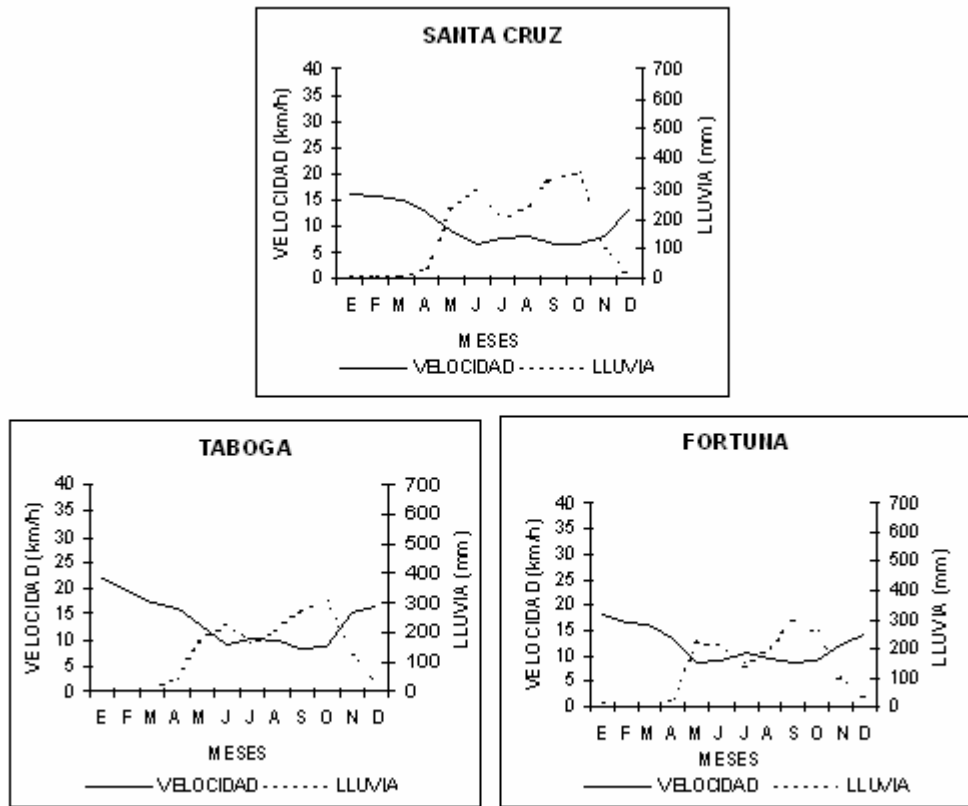


Figura 9: Distribución mensual de la velocidad del viento y de la lluvia en las estaciones Santa Cruz (viento: 1984-93, lluvia: 1950-96), Taboga (viento: 1983-87, lluvia: 1989-98) y Fortuna (viento: 1976-86, lluvia: 1976-94)).

predominante del viento es la del E, NE, correspondiente al viento alisio. Sabanilla posee los valores más bajos y Aeropuerto Juan Santamaría, los más altos.

La estación Coop. Tierra Blanca, posee una distribución anual de la velocidad promedio mensual, similar a la de las estaciones anteriores, con la diferencia de que la rapidez disminuye de enero a junio (Figura 7). La velocidad alcanza valores entre 11.4 y 22.5 km/h, con dirección predominante del este (viento alisio).

En todas estas estaciones se observa claramente un patrón de distribución de la lluvia opuesto al de la velocidad, es decir existe un aumento de precipitación cuando la rapidez del viento tiende a disminuir. Las estaciones Fabio Baudrit, Aeropuerto Juan Santamaría, San José y Sabanilla, muestran una época seca bien definida durante los meses de diciembre a marzo y con valores de cero precipitación (Figura 6). Durante los meses de lluvia se observa un incremento en el mes de junio y valores máximos, entre 300 y 350 mm en los meses de septiembre u octubre. En la estación Coop. Tierra Blanca, la distribución de la precipitación varía con respecto a las estaciones anteriores, ya que en los primeros meses del año hay presencia de lluvias, disminuyendo en febrero y marzo (Figura 7).

Pacífico Norte

En la región del Pacífico Norte, se ubican las estaciones: Puntarenas, Nicoya, Liberia, La Pacífica, Santa Cruz, Taboga y Fortuna (Bagaces).

La estación Puntarenas muestra una distribución anual de la velocidad promedio mensual muy regular. (Figura 8). Las velocidades poseen valores entre 4.5 y 7.2 km/h con dirección predominante del sur. De acuerdo a Zárate (1978), durante la época seca los vientos del sur corresponden a las brisas de mar y en la época lluviosa son producto de la combinación de la brisa de mar y los oestes ecuatoriales. En esta estación, la precipitación aumenta entre marzo y junio. Luego de presentar un mínimo en julio, se alcanza un máximo de 300 mm entre septiembre y octubre.

Las estaciones Nicoya, Liberia y La Pacífica muestran distribuciones de la velocidad promedio mensual muy similares entre sí. (Figura 8). Los valores más altos de la rapidez del viento se presentan a partir del mes de diciembre alcanzando un máximo en el mes de febrero, producto del refuerzo del viento alisio, luego los valores disminuyen hasta junio, aumentan en el mes de julio y decrecen nuevamente, hasta alcanzar valores mínimos en septiembre. La velocidad promedio mensual en esta región

del país varía entre los 3.6 y 25.7 km/h. Nicoya muestra los valores más bajos y La Pacífica los más altos.

La dirección predominante del viento en estas estaciones es del N, NE, lo que se asocia con vientos alisios fuertes.

Las estaciones antes mencionadas, muestran distribuciones de la precipitación muy semejantes entre sí. (Figura 8). En todas las estaciones se aprecia una época seca bien definida entre diciembre y marzo y se observa un incremento en la precipitación a partir de abril, y hasta junio. Los valores mínimos se presentan en julio y se alcanzan valores máximos entre 300 y 400 mm, en los meses de septiembre u octubre.

Las estaciones Santa Cruz, Taboga y Fortuna (Bagaces), ubicadas también en la región del Pacífico Norte, poseen una distribución anual de la velocidad promedio mensual similar a las estaciones anteriores (Figura 9).

Estas estaciones a diferencia de las otras, presentan una disminución de la rapidez entre enero y junio, aumenta en el mes de julio y alcanza los valores mínimos en septiembre y octubre. En estas estaciones se observan valores entre 6.4 y 22 km/h con dirección N-NE y NO para la estación de Fortuna, debido quizás a la presencia de brisas de montaña o vientos de retorno al pasar el flujo de aire a través del volcán Rincón de la Vieja.

Estas estaciones poseen una distribución mensual de la precipitación bastante similar (Figura 9). Se observa una época seca bien definida entre diciembre y marzo y luego la precipitación aumenta a partir de abril y hasta junio. En julio se nota una disminución y luego se alcanza un valor máximo, entre 300 y 400 mm, en septiembre u octubre. Además, se puede apreciar que cuando existe un aumento en la magnitud de la velocidad del viento, la precipitación disminuye y cuando hay una reducción en la magnitud de la velocidad del viento, la precipitación aumenta.

4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que la distribución mensual de la velocidad del viento en nuestro país, responde al comportamiento del viento a escala sinóptica y a su interacción con la orografía.

Entre los meses de mayo y junio y también entre septiembre y octubre, los vientos alisios se debilitan debido a los sistemas de baja presión en el Golfo de México y en el Caribe. En julio y a principios de agosto, se observa un aumento del viento alisio y la disminución de la brisa húmeda del Pacífico. A partir del mes de noviembre y hasta marzo, se nota un incremento en la velocidad del viento alisio. Estos vientos aumentan desde noviembre, debido a la presencia de empujes polares desde latitudes medias, con ello el aumento del gradiente meridional de la presión sobre América Central y el

Caribe.

El análisis de la distribución mensual de la velocidad del viento, permite caracterizar esta variable, en las diferentes regiones del país.

En la región Zona Norte, las estaciones muestran una distribución bastante uniforme y similar entre sí, con valores que varían entre 4.5 y 10 km/h.

Las estaciones de la Región Caribe presentan una distribución uniforme, con valores casi constantes. Se observa que la velocidad disminuye conforme la estación se aleja de la costa, y varía entre 3 y 7.5 km/h.

En la región Pacífico Sur, la distribución es bastante uniforme y similar para todas las estaciones. La velocidad alcanza valores de 5 ó 6 km/h.

La estación Damas, ubicada en la región Pacífico Central, muestra una distribución uniforme, con valores alrededor de 4 km/h.

En la región Valle Central, la distribución es variable a través del año. De diciembre a abril y también en julio con valores altos y en septiembre y octubre con valores mínimos. La velocidad varía entre 5.8 y 28.7 km/h. La estación Tierra Blanca presenta un patrón de distribución diferente a las estaciones anteriores: la rapidez disminuye a partir de enero. La velocidad alcanza un valor de 22.5 km/h.

En la región Pacífico Norte, las estaciones Liberia y Nicoya, presentan una distribución muy parecida a las del Valle Central, velocidades altas en diciembre, en los primeros meses del año y en julio; velocidades bajas en septiembre y octubre. Puntarenas es la única estación de esta región que muestra una distribución regular, con valores alrededor de 5 km/h. Santa Cruz, Taboga, Fortuna y Nuevo Tronadora, tienen una distribución diferente: la velocidad disminuye a partir de enero, aumenta en julio y los valores mínimos se producen en septiembre y octubre.

Se observa claramente que las estaciones ubicadas a barlovento, con respecto al viento alisio, reportan velocidades menores que otras localizadas a sotavento. La estación La Tejona posee los máximos valores. Las estaciones ubicadas en la región Valle Central también presentan magnitudes del viento relativamente altas.

La dirección predominante del viento, en la mayoría de las estaciones analizadas, corresponde a la del flujo alisio; en las estaciones Puntarenas (Pacífico Norte), Damas (Pacífico Central), Pindeco y Palmar Sur (Pacífico Sur), se observa la influencia de la brisa de mar, al presentar vientos del S, O y SO.

Todas las estaciones del Valle Central y Pacífico Norte, excepto Puntarenas y Taboga (ubicadas cerca de la costa), muestran en el tercer trimestre una disminución apreciable de la magnitud de la velocidad del viento, entre los meses de abril y mayo, así como un aumento significativo en el cuarto trimestre, entre los meses de noviembre y diciembre. Estas variaciones coinciden con la época de transición de la época lluviosa y seca,

respectivamente.

De acuerdo con el análisis de las estaciones consideradas en este estudio, La Tejona presenta los valores más altos de velocidad y las de la región Pacífico Sur, los más bajos.

En Costa Rica no existe una relación general entre la distribución mensual de la lluvia y la velocidad del viento en superficie. En la mayoría de las estaciones de la Vertiente del Pacífico se observa un comportamiento opuesto entre la lluvia y la velocidad del viento. Durante los meses en los cuales la magnitud de la velocidad aumenta, existe una disminución de la lluvia y viceversa. Al descender la velocidad del viento alisio, la brisa del Pacífico aumenta y con ella el transporte de humedad. Este factor, unido a la existencia del sistema montañoso del país, favorece la presencia de las lluvias.

Este comportamiento opuesto entre la lluvia y la velocidad del viento, no se aprecia en las estaciones de la Vertiente del Caribe, pero, permite identificar una época seca y otra lluviosa en la Vertiente del Pacífico.

Agradecimientos

Los autores están agradecidos con Rafael Enrique Chacón por sus valiosos comentarios y sugerencias. También, expresan su agradecimiento al Instituto Meteorológico Nacional y al Instituto Costarricense de Electricidad por haber proporcionado los datos utilizados en este trabajo.

RESUMEN

Se estudia la distribución mensual del viento en 22 estaciones ubicadas en diferentes regiones del país. Se encuentra que esta distribución responde al comportamiento del viento en la escala sinóptica y a su interacción con la orografía. Se identifican las estaciones que presentan mayor velocidad del viento, así como el rango de variación de la rapidez y la dirección predominante a través del año. Este análisis lleva a establecer que las estaciones ubicadas a barlovento, con respecto a la dirección del viento, reportan velocidades menores que las ubicadas a sotavento. La estación La Tejona, ubicada cerca del embalse de Arenal, presenta los valores máximos, alcanzando una velocidad de 37.1 km/h en el mes de febrero. Las estaciones ubicadas en el Valle Central también muestran magnitudes del viento relativamente altas. La dirección predominante del viento, en la mayoría de las estaciones analizadas corresponde al viento Alisio, sistema de viento de escala sinóptica.

En las estaciones Puntarenas, Damas, Pindeco y Palmar Sur, se observa la influencia de la brisa de mar, (viento de mesoescala) y de los oestes ecuatoriales (vientos de escala sinóptica).

También, se analiza la distribución mensual de la lluvia en las mismas 22 estaciones seleccionadas para estudiar la distribución mensual de la velocidad del viento, con el propósito de establecer si existe alguna relación entre esas variables. Los resultados muestran diferencias entre la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe. La mayoría de las estaciones analizadas en la Vertiente del Pacífico muestran un comportamiento opuesto entre el viento y la lluvia, estableciendo claramente la influencia de la velocidad del viento Alisio en la producción de la lluvia e identificando en esta región, una época seca y otra lluviosa. En la Vertiente del Caribe, no se aprecia este comportamiento.

Referencias

- Amador, J. A., 1998: "A climate feature of the Tropical Americas: The Trade Wind Easterly Jet", *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, Vol. 5, No. 2.
- Atkinson, B.W., 1981: *Meso-scale Atmospheric Circulations*, London-New York: Academic Press, 495 pp.
- Campos, M. y Castro, V., 1992: El clima a sotavento de las montañas de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos*, N°2.
- Chacón, R. E., y Fernández, W., 1984: "Temporal and spatial rainfall variability in the mountainous region of the reventazón river basin, Costa Rica", *Journal of Climatology*, Vol. 5.
- EES., 1984: "Non conventional energy sources. Wind energy".. Electrowatt Engineering Services Ltd. Volume I.
- DSE., 1982: "Diagnóstico sobre energía eólica". San José, C.R.: Dirección Sectorial de Energía.
- Fernández, W., Chacón, R. E., Melgarejo, J., 1986: "Modifications of air flow due to the formation of a reservoir", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol.25.
- Galo, E.R., Fernández, W. y Zárate E., 1996: Efectos de mesoescala del temporal de 29 de octubre al 3 de noviembre de 1985 sobre Costa Rica.
- Gutiérrez, Jorge A., 2000: Seminario regional de formación profesional para instructores meteorológicos nacionales de la AR III y AR IV. Lima, Perú.
- ICE., 1979: "Fuentes de energía no convencionales". San José, C. R.: Instituto Costarricense de Electricidad.
- ICE., 1980: "Análisis preliminar del viento en Costa Rica". San José: Instituto Costarricense de Electricidad.
- ICE., 1985. "Fuentes de energía no convencionales". San José: Instituto Costarricense de Electricidad.
- Muñoz, A.C., W. Fernández, J.A. Gutiérrez y E. Zárate, 2002a: Distribución horaria de la magnitud del viento en Costa Rica. *Tópicos Meteorológico y Oceanográficos*,
- Muñoz, A.C., W. Fernández, J.A. Gutiérrez y E. Zárate, 2002b: Potencial de energía eólica en Costa Rica. *Tópicos Meteorológico y Oceanográficos*,
- Vindas, Carlomagno., 1989. Estudio preliminar para la instalación de una planta eólica de generación eléctrica en Costa Rica. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Costa Rica.
- Zárate, H. Eladio, 1977: "Principales sistemas de vientos que afectan a Costa Rica y sus relaciones con la precipitación". Tesis de grado. Escuela de Física. Universidad de Costa Rica.

- Zárate, H. Eladio, 1978: "Comportamiento del viento en Costa Rica". Nota de investigación #2. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Zárate, H. Eladio, 1980: "El viento en San José". Nota técnica. San José, C. R.: Instituto Meteorológico Nacional.
- Zárate, H. Eladio, 1981: "Regímenes de lluvia y vientos en Limón, Costa Rica". Informe Semestral. San José. Instituto Geográfico Nacional.