

MODELO ESPACIAL DE DÍAS DE LLUVIA EN COSTA RICA MEDIANTE ANÁLISIS DE VALORES PUNTUALES Y EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Erik Gerardo Orozco Orozco¹, 

1. Universidad de Costa Rica, Carrera de Gestión Integral del Recurso Hídrico Sede de Occidente San Ramón, Costa Rica, erik.orozco@ucr.ac.cr

Recibido: 25/09/2024 Aceptado: 14/01/2025

RESUMEN: El presente estudio, plantea mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, un modelo espacial de la distribución de días con lluvia mayor a 1 mm en el año, esto en consideración con la correlación que se determinó para este parámetro climático con la precipitación media anual en el caso de Costa Rica. Existe una gran potencialidad de este modelo climático espacial, aunque inicialmente fue construido para la gestión de la infraestructura vial, tiene una gran aplicación como parte de la planificación y construcción de proyectos de infraestructura civil en general, así como para evaluar la planificación de las técnicas agrícolas. Así mismo, bajo estas premisas, es posible presentarlo como parte de un modelo de gestión de riesgo, producto de pérdidas por lluvias en diversas actividades, o la evaluación de zonas con mejores potenciales para instaurar distintas actividades en función de la disponibilidad de agua durante el año y del clima esperado. Como resultado principal se logró la asignación de valores puntuales del modelo a sitios en donde por la escasez de información meteorológica, no se dispone de datos. Estos en general coinciden con los sitios de mayores y menores precipitaciones en el país muchos de los cuales actualmente presentan una alta tasa de desarrollo de infraestructura.

PALABRAS CLAVES: Días de lluvia, precipitación, clima de Costa Rica.

ABSTRACT: This study, using Geographic Information Systems, proposes a spatial model for the distribution of days with rainfall greater than 1 mm per year. This takes into account the correlation determined for this climate parameter with average annual precipitation in Costa Rica. This spatial climate model has great potential; although it was initially constructed for road infrastructure management, it has broad applications in the planning and construction of civil infrastructure projects in general, as well as for evaluating the planning of agricultural techniques. Likewise, under these premises, it is possible to present it as part of a risk management model, resulting from rainfall losses in various activities, or the evaluation of areas with the greatest potential for establishing different activities based on water availability throughout the year and the expected climate. The main result was the assignment of specific model values to sites, where data are unavailable due to the scarcity of meteorological information. These generally coincide with the sites with the highest and lowest rainfall in the country, many of which currently have a high rate of infrastructure development.

Keywords: Rain days, precipitation, Costa Rica's climate.

INTRODUCCIÓN

Costa Rica es un país que a pesar de su poca extensión (apenas 52.000 km²), presenta una gran variabilidad climática en su territorio. Sin embargo, como ocurre generalmente en países en vías de desarrollo, la información de la cual se dispone para análisis de clima es muy generalizada para las distintas regiones, y escasa en la mayoría de los casos. Esta variabilidad genera la necesidad de refinar algunos de los modelos de clima existentes en el país, los cuales en muchos casos presentan problemas como la falta de homogeneidad, así como la carencia de una buena precisión. Por ejemplo, se encuentran en el valle central oriental de Costa Rica, separadas a una distancia no mayor a 30 km, las localidades de Cartago y la parte alta del Parque Nacional Tapantí. En el primer caso, en El Tejar se registran lluvias anuales promedio menores a los 1.500 mm, coincidiendo con las zonas de menor registro pluviométrico en el año; mientras que en Tapantí, por su parte llegan a los 7.000 mm, con promedios mensuales de más de 500 mm, siendo uno de los mayores del país. La realización de mapas con información precisa constituye una base de gran utilidad para la aplicación en diversas áreas relacionadas con el tema de la disponibilidad hídrica, sea esta en función de su escasez, o más bien de excesos. Desarrollar modelos mediante Sistemas de Información Geográfica, corresponde con una de las herramientas, además de la propiamente estadística, que permiten obtener resultados más confiables, ya que en materia de clima la variable geográfica está directamente relacionada.

OBJETIVO: *Elaborar un modelo de días con lluvia en el año para Costa Rica, mediante información regional del Instituto Meteorológico Nacional y el uso de los sistemas de información geográfica.*

MARCO TEÓRICO

Uno de los aspectos que genera mayor importancia para definir el clima de Costa Rica es el patrón de vientos, y este presenta una explicación que básicamente proviene de la escala regional. Durante los meses de invierno del Hemisferio Norte (de noviembre a abril) la ZCIT se ubica cercana a los cinco grados de latitud norte. El alisio tiene dirección del noreste y así, el Pacífico no tiene una influencia directa por este sistema, por lo que se encuentra bajo régimen estacional seco. Solamente se dan fuertes vientos en el Valle Central y en las planicies Guanacastecas, producto de la entrada de los alisios del noreste y su recorrido a través de las cordilleras por entre los pasos (zonas de baja elevación) (figura 1). En ciudades como Liberia, Cañas y Bagaces alcanzan velocidades de hasta 25 km/h (Muñoz, 2001). Para el caso del Valle Central en estos meses de la época seca se tienen vientos de entre 15 y 20 km/h. En algunas zonas del cantón central de la provincia de Alajuela se llegan a tener velocidades cercanas a los 30 km/h. Como se verá más adelante influye de forma directa en el patrón de lluvias y nubosidad de la zona montañosa del caribe.

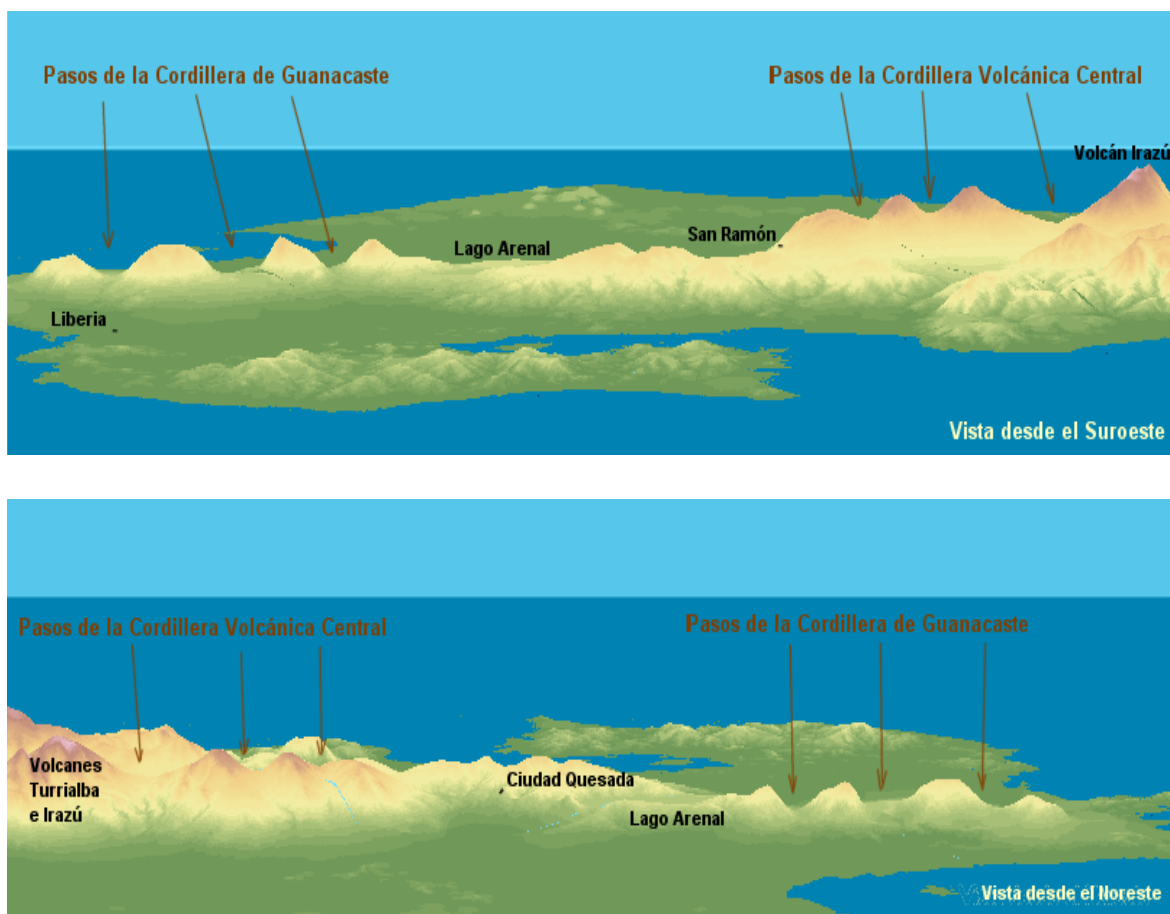


Figura 1.- Pasos de montaña en Costa Rica vistos desde ambas costas (Fuente: Orozco, 2007).

A finales del mes de abril y principios de mayo, la ZCIT migra hacia latitudes mayores al norte y con ello se da un cambio de dirección de los vientos que afectan el país. Ahora el alisio del sur tiene una dirección suroeste, con lo cual se da un choque directo con la costa Pacífica de Costa Rica y con ello trae las lluvias a esta zona del país (figuras 2 y 3). La estación lluviosa en la Vertiente del Pacífico avanza de sur a Norte, de ahí que zonas como la Península de Osa y el Valle del General tengan una mayor precipitación que la Península de Nicoya y la llanura Guanacasteca.

Solano y Villalobos (2000) realizaron un estudio en donde se categorizaba el clima de Costa Rica. Para ello dividieron el país en una serie de zonas y subzonas, las cuales presentaban comportamientos regularmente homogéneos.

En la tabla 1 se presentan los datos más relevantes sobre el bosquejo de regionalización climática elaborada por Solano y Villalobos (2000), así como los valores incluidos del estudio de precipitación media anual y días de lluvia mayores a 1 mm. Se observa que existen zonas, como la RC1, en donde se registran los mayores promedios tanto de días de lluvia como de precipitación anual. Esto hace suponer que podría darse en el caso del país alguna correlación importante que permita asociar las dos variables de forma analítica.

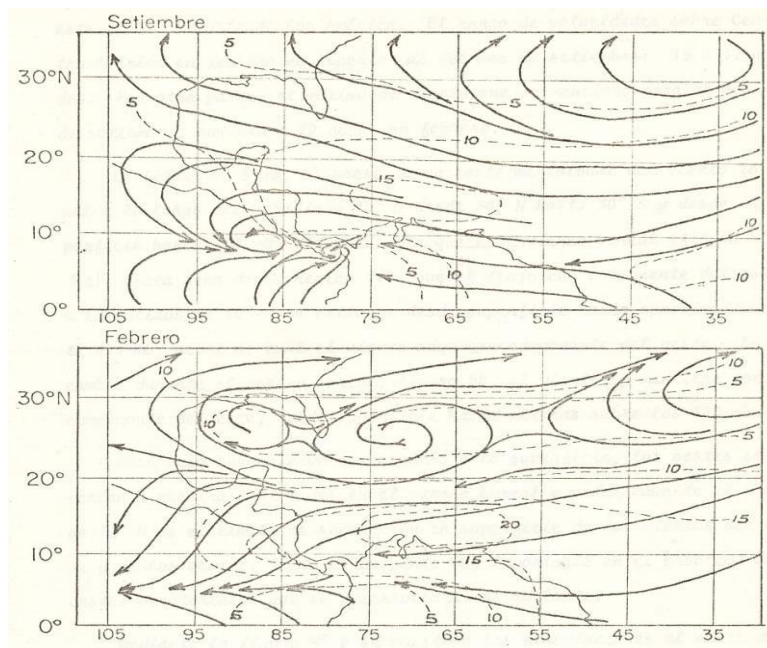


Figura 2: Líneas de flujo del viento e isotacas (líneas de igual velocidad del viento) en nudos (1 nudo equivale a 1,85 km/hr) para los meses de setiembre (presencia de los oestes ecuatoriales) y febrero (presencia del aliso del noreste y del sureste) (Fuente: Atkinson, 1970. Tomado de Zarate, 1977).

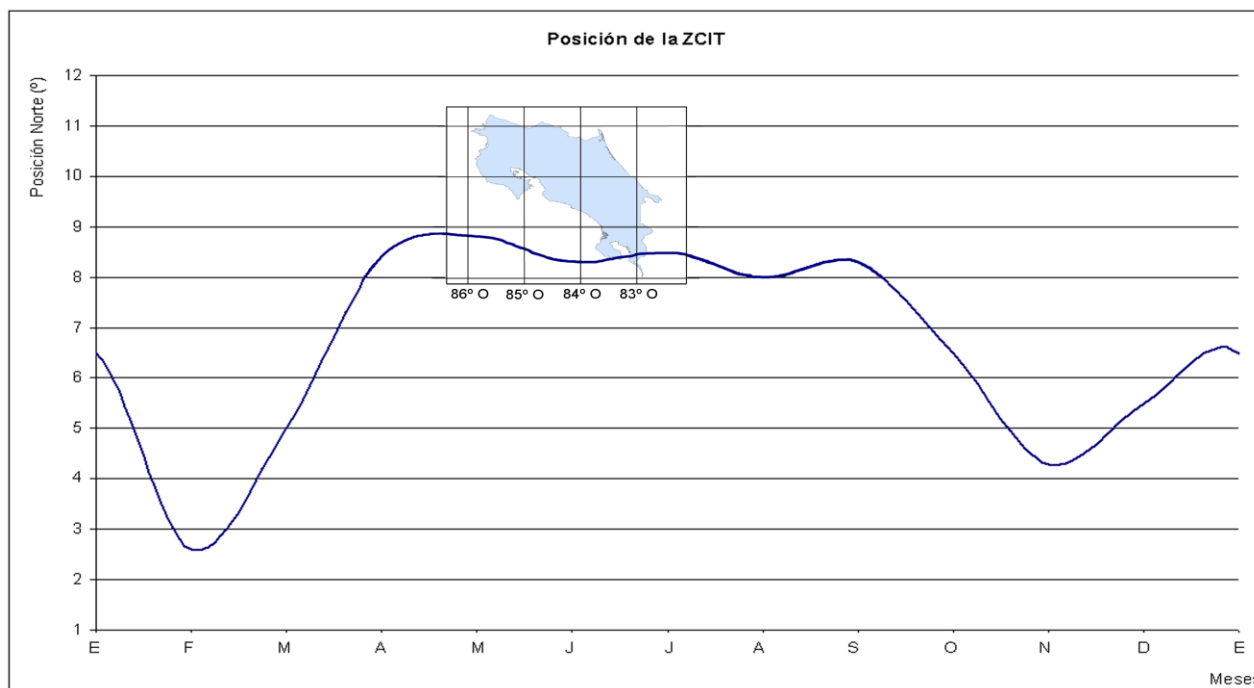


Figura 3: Posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a través del año en el meridiano 90° Oeste (Orozco, 2007).

En la figura 4 se presenta el bosquejo de zonificación climática que estos autores realizaron para el país. Se observa en él la presencia de siete regiones principales, y cada una con entre tres y cinco subzonas distintas según corresponda con la variabilidad climática.

Como parte del estudio de Orozco (2007) se construyó un modelo de precipitación promedio anual en Costa Rica. Para ello se utilizaron los datos que se publicaron por Barrantes (2003), y se le dio un tratamiento de mejora en la distribución mediante la topografía del país.

En la figura 5 se presenta el mapa de precipitación media anual en Costa Rica, publicado en el estudio de Orozco (2007), el cual define con una precisión de 250 mm el valor de las láminas de lluvia anual esperada en promedio para todo el país. Aquí se observan los contrastes, en donde en zonas bastante cercanas se presentan precipitaciones extremas, tanto en sequía como en excedente de lluvia, lo cual está muy asociado a regímenes de días de lluvia.

Tabla 1.- Datos sobre precipitación media anual y días de lluvia en Costa Rica. Tomado de Solano y Villalobos (2000).

Subregión	Nombre	Lugares Representativos	Precipitación anual (mm)	Días de lluvia en el año
RN1	Faldas Orientales de las Cordilleras de Guanacaste y Tilarán	Cuatro Bocas, Aguas Claras, Bijagua, Fortuna, Chachagua, Pocosol.	3.100	225
RN2	Faldas del Norte de la Cordillera Volcánica Central	Florencia, Ciudad Quesada, Buena Vista, Aguas Zarcas, Venecia, Río Cuarto, San Miguel, Cariblanco.	3.768	226
RN3	Llanuras de Guatuso	Upala, Caño Negro, Los Chiles, San Rafael, San Jorge	2.722	204
RN4	Llanuras de San Carlos	Boca Arenal, Muelle, Altamira, San Jorge, Chambacú, Tres Amigos, Boca de San Carlos.	3.020	184

RN5	Llanuras de San Carlos	La Virgen, Chillante, Puerto Viejo, El Muelle, La Trinidad.	3.710	193
RC1	Cuenca de los Río Macho, Grande de Orosi y Pejibaye	Tapantí	4.150	248
RC2	Faldas del Caribe del Macizo Irazú - Turrialba y de la Cordillera de Talamanca – Valle del Reventazón	Coliblanco, Pacayas, Turrialba, La Suiza, Pacuare, Platanillo, Moravia de Chirripó, Matama, Valle de Talamanca, San José Cabécar	2.300	190
RC3	Llanura de Tortuguero	Colorado, Tortuguero	4.860	226
RC4	Llanuras de Santa Clara y Matina, y Cuenca del Río Banano	Guápiles, Roxana, Guácimo, Pocora, Siquirres, Batán Matina, Puerto Limón.	3.844	201
RC5	Al Sur de la Cuenca del Río Banano	Pandora, Cahuita, Amubri, Sixaola.	2.470	166
VC1	Valle Central Occidental	San José, Alajuela, Heredia, Naranjo, Grecia.	1.950	129
VC2	Valle Central Oriental	Cartago, Orosí, Cachí, El Guarco.	2.016	128
VC3	Faldas de la Cordillera Volcánica Central	Zarcero, Rancho Redondo, San José de la Montaña.	2.820	147
RMS1	Cuenca alta de los Ríos Turrubares y Tulín, y el Valle de Candelaria	Turrubares, Puriscal, Acosta, Jorco, Frailes, La Lucha, San Cristóbal	2.370	149
RMS2	Cuenca Alta del Río Pirris	El Empalme, San Pedro de León Cortés, Tarrazú, Dota.	2.190	147
PN1	Subregión Occidental de la Península de Nicoya	Cabo Velas, Bahía Ballena, Santa Cruz, Nicoya, Hojancha, Carmona, Florida, Belén, Nosara, San Gabriel, La Fresca, Cóbano, Cabuya, Paquera, Lepanto, Punta Coyote.	2.385	99
PN2	Subregión Central del Pacífico Norte	La Cruz, Puntarenas, Santa Rosa, Liberia, Bagaces, Cañas, La Juntas, Filadelfia.	1.800	97
PN3	Base y Faldas de las Cordilleras de Guanacaste y Tilarán	Los Inocentes, Los Guayabos, Río Naranjo, Hacienda Tenorio, Tierras Morenas, Tilarán, Arenal, Monteverde.	2.462	173

PN4	Cuenca Baja de los Ríos Barranca y Grande de Tárcoles	Miramar, San Mateo, Orotina, Tárcoles	2.637	111
PC1	Valle de Parrita	Jacó, Herradura, Parrita, Playa Hermosa, Gamalotillo, Tulín, Esterillos, Punta Judas.	3.122	140
PC2	Cuenca del Río Naranjo, Quepos	Esterillos Este, Isla Damas, Quepos, Playa Savegre	3.689	163
PC3	Cuenca del Río Barú, Dominical	Playa Matapalo, Dominical, Portalón, Tierras Morenas, Tinamaste, Punta Uvita	3.923	148
PS1	Valle del General y de Coto Brus	San Isidro, Volcán Buenos Aires, Potrero Grande, San Vito.	3.050	175
PS2	Valle de Diquís	Puerto Cortés, Palmar, Sierpe	3.710	174
PS3	Valle de Coto Colorado	Golfito, Coto, Neily.	4.820	220
PS4	Península de Osa	Sirena, Corcovado, Rincón de Osa, Puerto Jiménez.	4.282	192
PS5	Faldas del Pacífico de la Cordillera de Talamanca	Buena Vista, Alto San Juan, San Jerónimo, Canaán, Esperanza, Fila Tigre, Río Barú, Mellizas, Río Sutu.	3.320	211

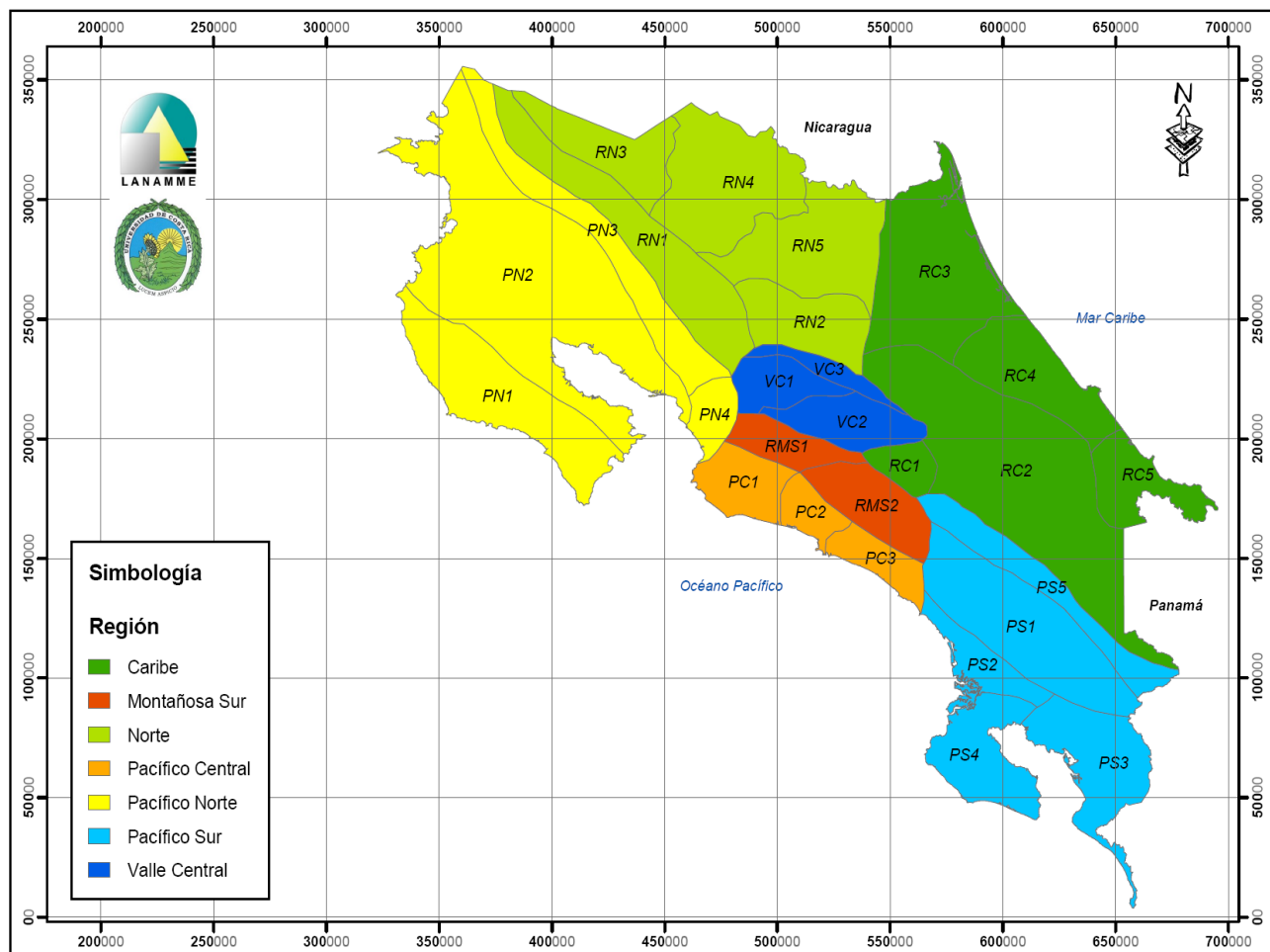


Figura 4.- Zonificación climática de Costa Rica elaborada por Solano y Villalobos (2000).

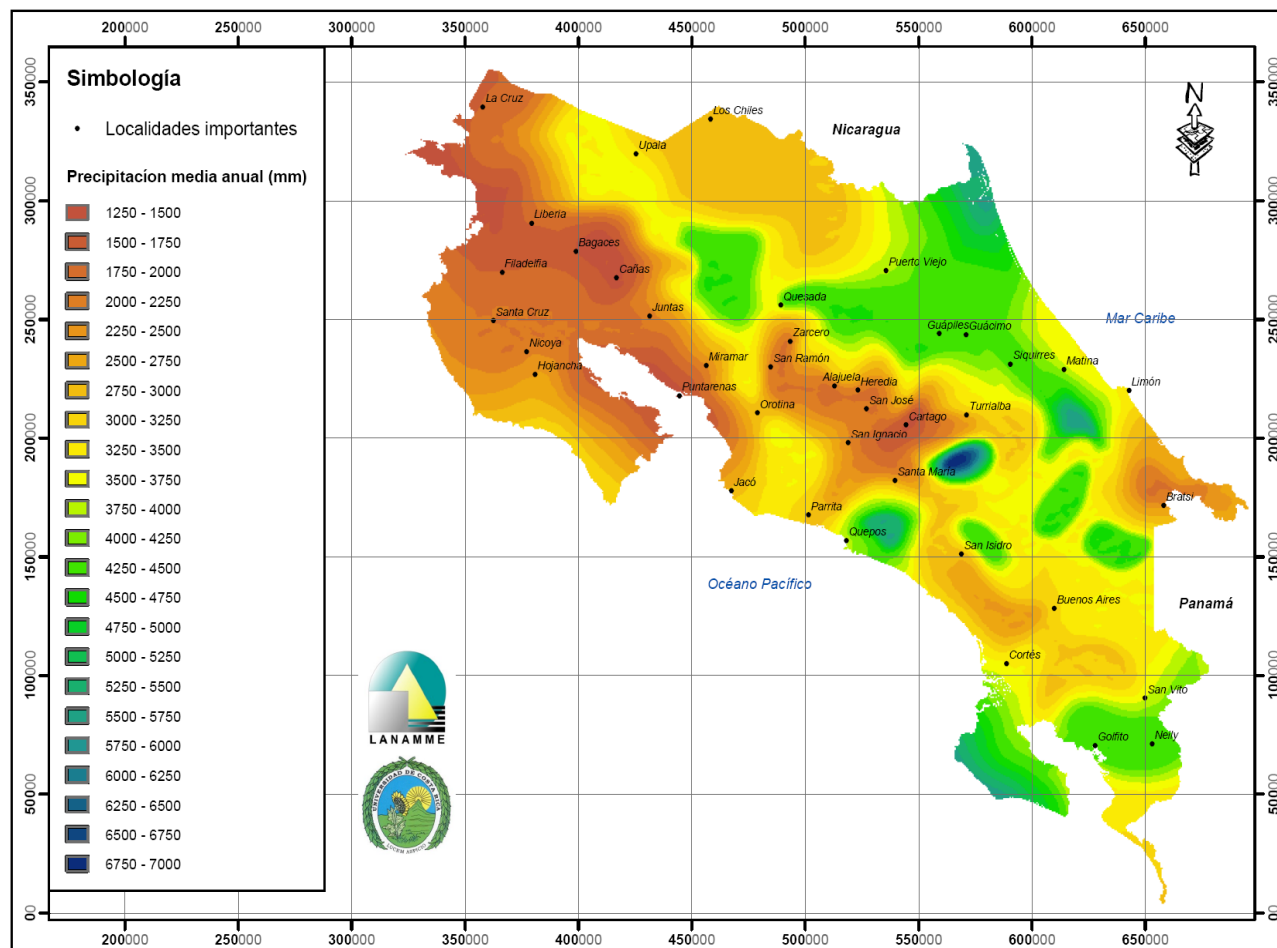


Figura 5.- Precipitación media anual para Costa Rica. Fuente Orozco (2007).

METODOLOGÍA

La metodología empleada consistió en un análisis de correlación de la precipitación media anual con los distintos valores zonales de medición de días con lluvia, en sitios que representan las regiones del país definidas por Solano y Villalobos (2002). Con estos datos, se generaron cuatro grupos de zonas con correlaciones semejantes, lo cual a nivel físico se interpreta como regiones climáticas relativamente homogéneas.

Con el uso de los sistemas de información geográfica, fue posible generar un modelo espacial a partir de las correlaciones estimadas que generaron las variaciones de los días de lluvia en función de la precipitación de forma zonal. Así mismo, se analizaron y se homogenizaron las condiciones de frontera. Estas reflejaron que los valores calculados para los bordes en que coinciden las zonas son similares, lo cual genera evidencia de que la correlación es adecuada. En la figura 6 se presenta el marco metodológico que se utilizó para obtener el resultado buscado.

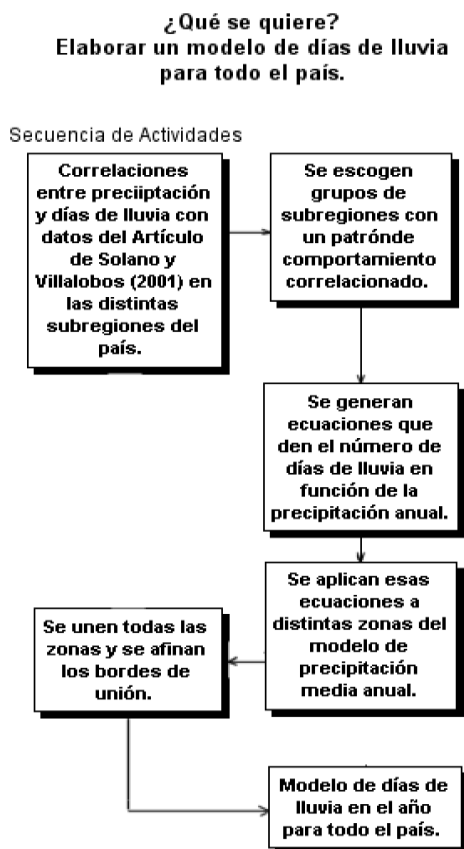


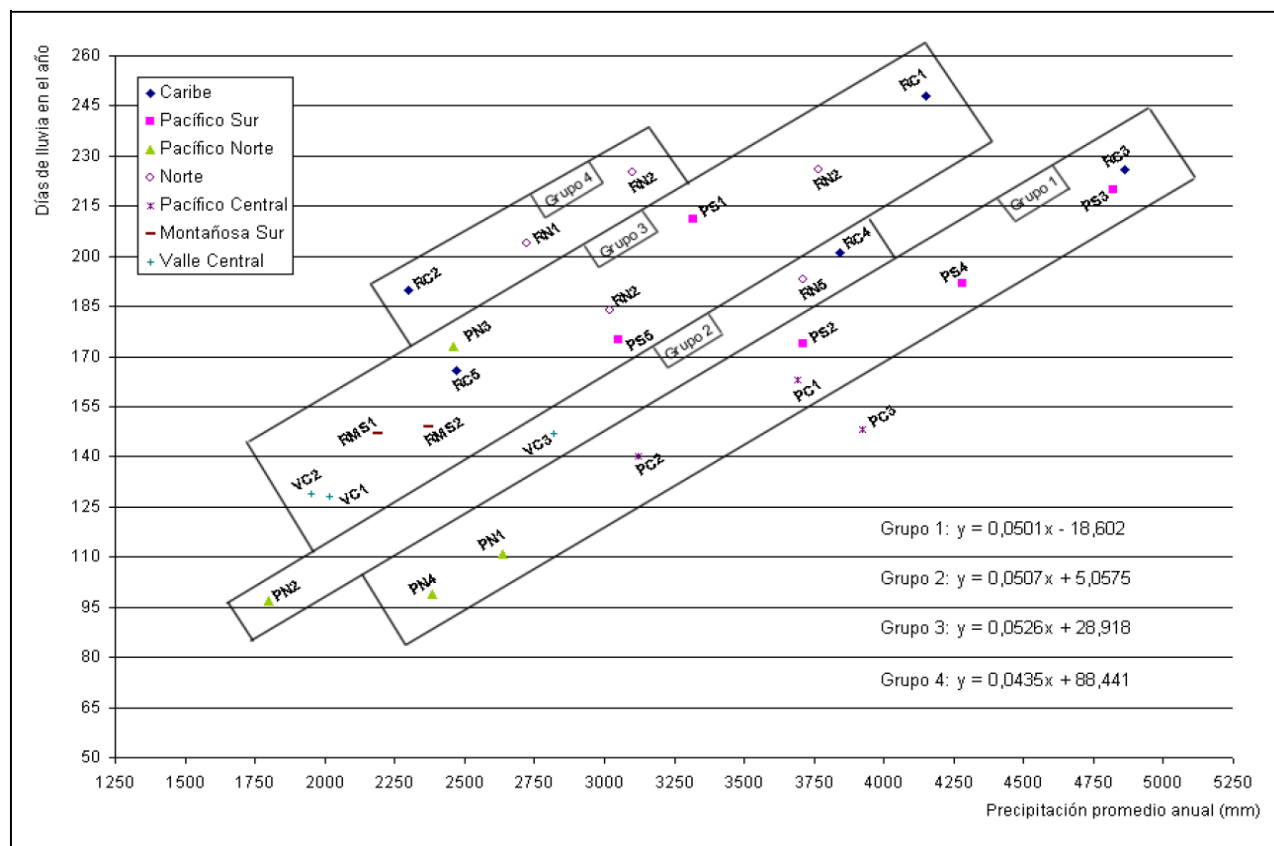
Figura 6.- Marco metodológico seguido en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como punto de partida es importante analizar la correlación que se presentó para las variables de días de lluvia y precipitación. Se observa que existe evidencia que de acuerdo con la forma que se plantearon las correlaciones que se presentan en la figura 7, que estas corresponden bastante bien con una función lineal.

Un aspecto de gran relevancia es que las pendientes de las distintas correlaciones lineales son muy semejantes. Esto refleja que, en el caso que se analiza para Costa Rica, los datos corresponden a la parte intermedia de la curva de distribución teórica de los días de lluvia en el año (curva polinomial que converge a 365 para precipitaciones muy elevadas), y por eso un ajuste lineal genera resultados adecuados dentro del rango de análisis.

En la figura 8 se presenta la curva analítica teórica esperada para el país, y lo que serían las correlaciones encontradas de los datos base. Se presentan los datos asociados a los gráficos *Costa Rica Húmedo* como el promedio entre los grupos 3 y 4 de la figura 7. Así mismo se presenta el gráfico de *Costa Rica Seco* como el promedio asociado a los grupos 1 y 2 de la figura 7.



El modelo espacial generado mediante el SIG, el cual es de tipo raster, se presenta en la figura 9.

Sobre el modelo espacial de días de lluvia mayor a 1 mm en el año, elementos destacables son lo siguientes:

- La zona con lluvias más frecuentes en el país es la de Tapantí, en la cual se registran cifras de días con lluvia en promedio cercanas a los 300, lo cual equivale a un 80% de los días del año con precipitaciones. Basado en los días de lluvia y la cantidad de precipitación que existe en esta zona, se tiene que hay diariamente en promedio casi 25 mm de precipitación. Este el valor de lluvias que se tiene en un mes de época seca con mucha lluvia en el Pacífico Central y Norte.
- Otra de las zonas con gran cantidad de días de lluvia es la del lago Arenal. Aquí se registran promedios de 260 días en el año de precipitaciones, lo que equivale a un 70% como mínimo.
- El Valle Central está en el segundo grupo de zonas con menor cantidad de días de lluvias. Apenas tiene un 35% de lo días de año con precipitaciones, y esto se traduce numéricamente en cantidades cercanas a los 130 días.
- La cota inferior de días la tiene la región del Golfo de Nicoya y la Llanura Guanacasteca, en donde menos de 100 días al año se dan lluvias, lo que equivale a un porcentaje cercano o inferior en algunos casos a un 30%.
- La mayor parte de la región Caribe registra un porcentaje mayor al 50% de los días del año con lluvias. No obstante, en las partes altas de las cuencas de los Ríos Matina y Bananito, se registran porcentajes con días de lluvias superiores al 70%. En el Pacífico, se tienen como dato más común un porcentaje mayor al 40%, lo que significa aproximadamente 150 días.

Básicamente en este mapa y con estas diferencias notables de color es que se pueden apreciar los dos regímenes de lluvias del país. La diferencia radica en que en el Caribe no existe una marcada época seca, mientras que en el Pacífico en la mayoría de las zonas se tienen períodos con meses secos. Cabe destacar que este número de meses secos aumenta hacia el norte de la costa del Pacífico de Costa Rica, siendo mínimo en la Península de Osa.

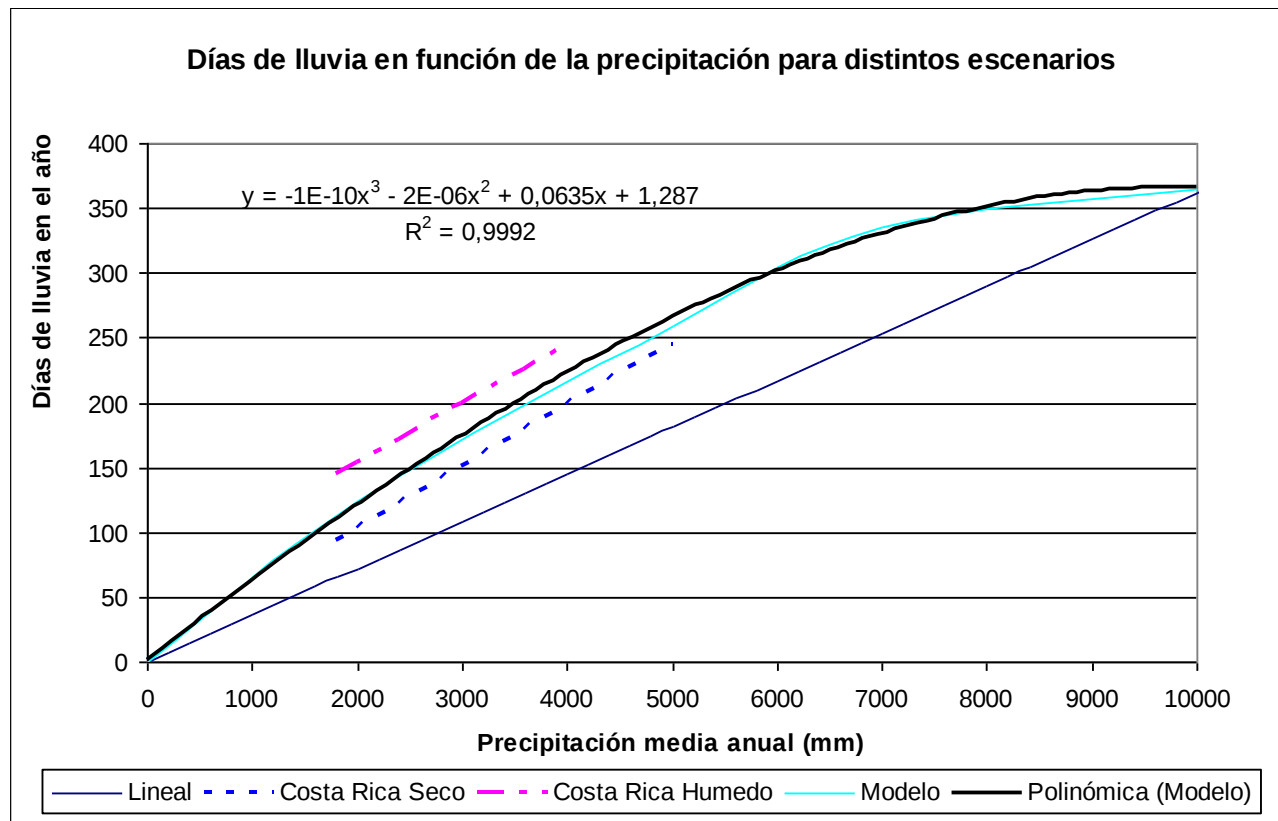


Figura 8.- Curva teórica sugerida para Costa Rica y su relación con las curvas calculadas con los datos base.

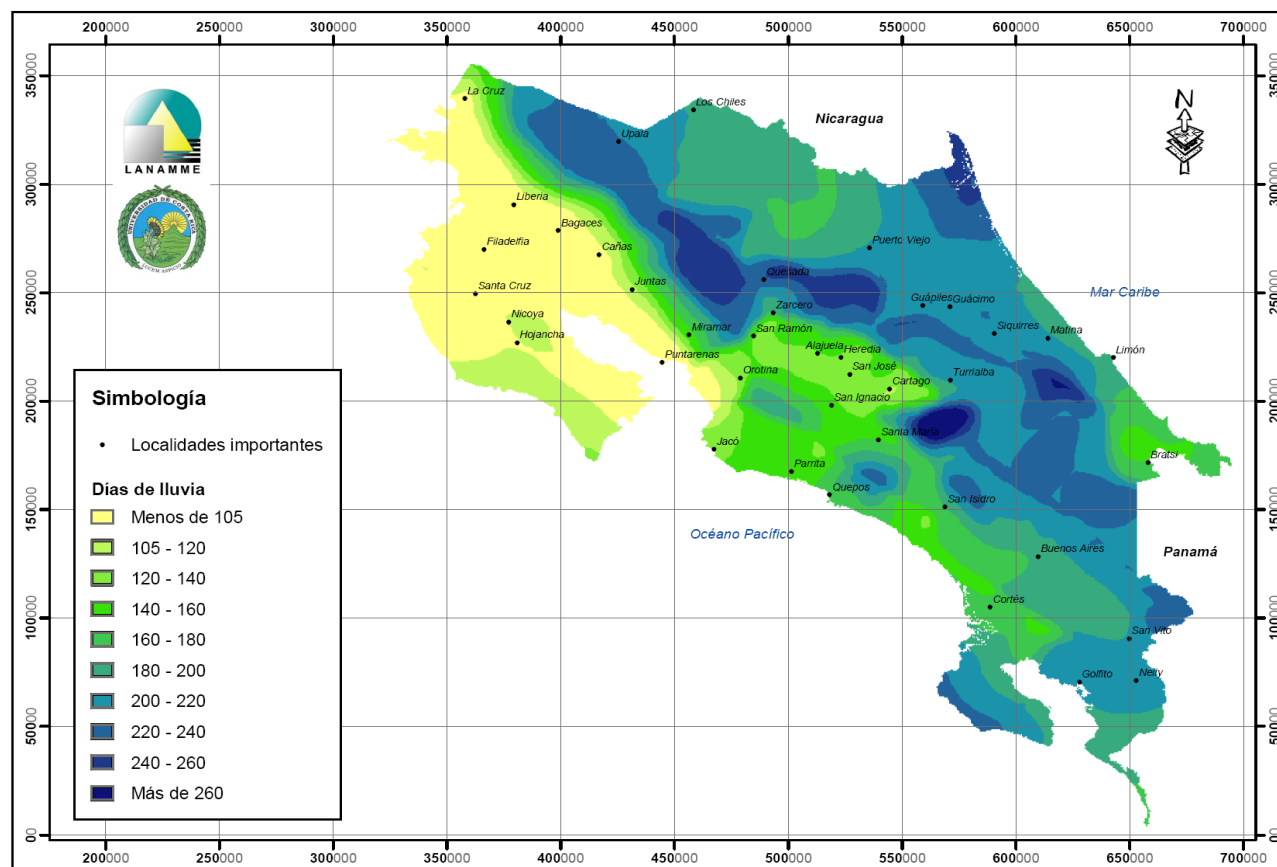


Figura 9.- Modelo espacial de días de lluvia en Costa Rica.

APLICACIONES

Este modelo puede ser de gran utilidad en el país, dado que al ser utilizado en conjunto con una zonificación de los meses secos y de la época lluviosa permitiría determinar el comportamiento climático promedio durante el año, lo cual es un gran insumo para la programación de obras civiles, así como la estimación de días laborables con condiciones climáticas específicas durante el año, conduciendo a la realización de análisis más exactos de riesgos económicos.

Adicionalmente, el modelo también permite incluir la variable calculada en el análisis de la disponibilidad de agua, así como la determinación y caracterización de zonas según factores naturales como la recarga de acuíferos y deslizamientos producto de alta exposición a humedad durante algunas épocas del año.

RECOMENDACIONES

Sería conveniente a partir de la distribución de lluvia esperada en el país construir dos modelos básicos a escala nacional que generen insumos en el tema de la planificación hídrica del país.

El primero es un mapa con la precipitación esperada para un año húmedo, el cual sería con una probabilidad de excedencia de un 10%. El otro es un mapa de la precipitación esperada para un año seco, el cual presente una probabilidad de excedencia de un 90%.

Junto con estos insumos, es conveniente determinar los días de lluvia asociados a una precipitación esperada para años húmedos y secos, para las cuales se dispone ya de correlaciones asociadas que permitan determinar esta variable con la cual se podrían refinar los análisis de riesgo, así como la planificación del recurso hídrico.

REFERENCIAS

Alfaro Martínez, E. (1993). *Algunos aspectos del clima en Costa Rica en las últimas décadas y su relación con fenómenos a escala sinóptica y planetaria* [Unpublished undergraduate thesis]. Universidad de Costa Rica.

Alfaro Ocampo, M. del R. (1981). *Algunos aspectos de la precipitación en Costa Rica* [Unpublished undergraduate thesis]. Universidad de Costa Rica.

Barrantes, J. (1986). *Atlas climatológico de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional y Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Campos Ortiz, M. (1995). *Efectos de la topografía sobre el clima a sotavento de la Cordilleras Volcánica Central, Tilarán y Guanacaste*. Universidad de Costa Rica.

Instituto Meteorológico Nacional. (1988). *Catastro de las series de precipitaciones medidas en Costa Rica*.

Muñoz Moya, A. C. (2001). *Distribución espacio – temporal del viento y del potencial de energía eólica en Costa Rica* [Unpublished undergraduate thesis]. Universidad de Costa Rica.

Solano, J., & Villalobos, R. (2000). *Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional.

Vargas Ulate, G. (1994). *El clima de Costa Rica: Contraste de dos vertientes*. Editorial Guayacán.

Zarate Hernández, E. (1977). *Principales sistemas de vientos que afectan a Costa Rica y sus relaciones con la precipitación*. Universidad de Costa Rica.