

Determinación de la sembrabilidad en Cuba empleando un modelo unidimensional de nubes

Seedability determination in Cuba using one-dimensional cloud model

MSc. Ismael Pomares Ponce[✉], Lic. Dayán Nieves Pérez, Lic. Leonardo Jiménez Pearce

Centro Meteorológico de Camagüey, Instituto de Meteorología, Cuba

Resumen

En el presente trabajo, como entrada a un modelo unidimensional estacionario de nube cúmulo, se utilizaron los datos del reanálisis NCEP/NCAR de 2005 a 2009, para simular los sondeos aerológicos en una rejilla situada sobre Cuba (19.5 a 23.5° y de -85 a -74°), con una resolución de 9 puntos en latitud y 12 puntos en longitud. Para ello, se emplearon los valores diarios de las 18Z de la altura geopotencial, la temperatura y el viento (zonal y meridional) de los niveles mandatorios de 1 000 hPa a 10 hPa, y de la humedad relativa de 1 000 hPa a 300 hPa. Con el empleo del modelo unidimensional estacionario de nube cúmulo se calculan los topes máximos de las nubes sembradas y no sembradas con radios de 0.5 km, 1.0 km, 1.5 km, 2.0 km y 2.5 km. A partir de esta información se determina el índice de *sembrabilidad* y se obtiene su distribución espacio-temporal sobre el territorio nacional. Esta distribución indica las zonas con mayores potencialidades para la realización de trabajos de siembra de nubes que se sitúan, preferentemente, en la región occidental de junio a agosto, aunque en el resto del país también existen niveles de sembrabilidad altos durante estos meses. El conocimiento de las potencialidades de siembra y de su distribución espacio-temporal permite la utilización efectiva del avión laboratorio y los recursos necesarios con miras a la realización de las campañas y(o) los experimentos de incremento de la lluvia.

Palabras clave: modelo de nubes, siembra de nubes, Cuba

Abstract

In the present work, as input to a one-dimensional stationary cumulus cloud model, the NCEP/NCAR reanalysis data from 2005 to 2009 are used to simulate aerological soundings in grids points located over Cuba (19,5 to 23,5° and from -85 to -74°). These points have a resolution of 9 points in latitude and 12 points in longitude. To do this, the 18Z daily values of geopotential height, temperature as well as zonal and southern winds at mandatory levels from 1000 to 10 hPa and relative humidity from 1000 to 300 hPa were used. With the use of the one-dimensional

✉ Autor para correspondencia: *Ismael Pomares Ponce*, Centro Meteorológico de Camagüey, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: ismael.pomares@insmet.cu

Recibido: 4 de febrero de 2016

Aceptado: 26 de abril de 2016

stationary cumulus cloud model were obtained the seeded and unseeded cloud top with 0,5, 1, 1,5, 2 and 2,5 km cloud radius. From this information, seedability index is determined and its spatial and temporal distribution is obtained over the country. This distribution indicates areas with the greatest potential to carry out cloud seeding works which are preferably located in the western region from June to August, but the rest of the country there are also high seedability levels during these months. Seeding potential knowledge and its spatiotemporal distribution allows effective use of the laboratory aircraft and the necessary resources for the realization of campaigns and (or) experiments increase in rain.

Key words: cloud model, cloud seeding, Cuba

Introducción

La modelación desempeña un papel fundamental en la profundización y el desarrollo del conocimiento de los procesos que ocurren en las nubes. En este sentido, se destaca la modelación de nube cúmulo a través de los modelos unidimensionales. Estos modelos han alcanzado un amplio uso en actividades relacionadas con la siembra de nubes, puesto que la eficiencia y la rapidez computacional en su ejecución permiten emplearlo con fines diferentes ([Pomares, 2007](#)).

La OMM ([WMO, 1981](#)), recomienda la utilización de modelos en los experimentos de modificación artificial del tiempo. Esta organización establece que los modelos de nubes pueden aplicarse en el planeamiento y la justificación de las campañas operativas y(o) experimentos mediante la modelación de los procesos que ocurren en las nubes, de ser estas sembradas, y en la determinación de la eficiencia del proceso ([Pomares & Nieves, 2012](#); [Nieves, 2014](#)). Asimismo, se utilizan durante la realización de las campañas, en la toma de decisiones, así como en la evaluación y el análisis posoperacional de las nubes sembradas mediante la modelación de sus características específicas. También resultan útiles para el estudio de las condiciones existentes en determinadas regiones que

favorezcan la realización de campañas operativas y(o) experimentos de modificación artificial del tiempo mediante la evaluación del efecto de la siembra. Los modelos son primordiales en la interpretación de la evidencia observacional, con vistas a estimar el potencial de sembrabilidad de un tipo de nube, o sea, su respuesta a la aplicación del reactivo en un área geográfica de interés.

Los modelos numéricos unidimensionales han tenido un amplio uso como modelos operativos. De hecho, en la literatura pueden encontrarse numerosos ejemplos ([Bruintjes, 1999](#)) en los cuales estos se emplearon durante y después de la conclusión de varios experimentos ([Weinstein & MacCready, 1969](#); [Hirsch, 1972](#); [Silverman et al., 1994](#); [Woodley et al., 2003](#)).

La sequía prolongada que afectó a Cuba de 2004 a 2005 determinó que las altas instancias del gobierno decidieran la continuación de las campañas y(o) experimentos de lluvia provocada en el país. El reinicio de esta actividad a partir de 2005 impuso la necesidad de emplear numerosas herramientas que contribuyeran a su desarrollo exitoso; entre estas, puede citarse un modelo unidimensional estacionario de nubes cúmulos ([Hirsch, 1972](#); [Clavijo & Pérez, 1992](#)) que se puso a punto ([Pomares, 2007](#)) con miras a determinar la sembrabilidad y utilizarlo

en la toma de decisiones. Esta herramienta permite analizar la variación vertical de la estructura de la nube, y su amplio uso se debió sobre todo a su eficiencia y la rapidez computacional en su ejecución, que permiten su aplicación en diversos campos. El modelo de nubes seleccionado fue desarrollado por [Hirsch \(1972\)](#); es una variación del modelo de Weinstein-Davis e incorpora las parametrizaciones de microfísica propuestas por [Kessler \(1969\)](#).

Como parte de la ejecución del proyecto de incremento de las precipitaciones, resulta imprescindible conocer las potencialidades para la siembra en los distintos sitios del país, donde un aumento de los procesos de sequía haría necesario aplicar los procedimientos para el incremento artificial de la lluvia.

El objetivo de este trabajo es estimar el potencial de sembrabilidad de las nubes cúmulos a lo largo del territorio nacional y, en particular, evaluar las condiciones favorables o no para la realización de experimentos y(o) campañas de siembra de nubes, así como determinar las regiones más favorables para la realización de esta actividad.

Materiales y Métodos

En esta investigación se emplearon los datos primarios del reanálisis del período 2005-2009 a las 18Z, obtenidos del sitio <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.pressure.html> de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), y se estableció una rejilla inicial con un paso de 2.5° que cubría todo el territorio nacional entre los 19.5° y 23.5° N, y entre los 74° y 85° W.

Teniendo en cuenta que los datos del reanálisis se distribuyen en una rejilla de 2.5°x2.5°, y que Cuba es una isla larga y estrecha, con vistas a obtener una mejor resolución espacial de los datos primarios, estos se interpolaron a un paso de rejilla

de 0.50 en latitud y 1o en longitud. Se empleó el Método Bessel de interpolación, el cual está implementado en el software GRADS (The Grid Analysis and Display System) desarrollado en el Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center ([Doty, 1992](#)). Como resultado, se obtuvo una rejilla de 9 puntos en latitud y 12 en longitud, para un total de 108 puntos.

Los datos primarios corresponden a la altura geopotencial, la temperatura y las velocidades zonal y meridional del viento en los niveles de 1 000 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa, 250 hPa, 200 hPa, 150 hPa, 100 hPa, 70 hPa, 50 hPa, 30 hPa, 20 hPa y 10 hPa; además, se incluye la humedad relativa de 1000 hPa a 300 hPa. Con estos datos y empleando el software GRADS se constituyeron los sondeos del aire superior para los 108 puntos de la rejilla. Se obtuvieron 197 208 ficheros de perfiles de los sondeos correspondientes a cada día de los cinco años para el horario referido, en el formato de entrada al modelo unidimensional estacionario de nube cúmulo empleado en la descripción que aparece en [Pomares \(2007\)](#).

Para el cálculo de la temperatura del punto de rocío se emplearon las ecuaciones siguientes:

$$Tr = 237.3 * \left(\frac{7.5 * T + X}{1779.75 - X} \right) \quad (1)$$

donde:

$$X = 0.43429 * (237.3 + 7) \ln \left(\frac{Hr}{100} \right) \quad (2)$$

T es la temperatura (°C) y Hr es la humedad relativa (%).

La velocidad del viento se calculó por la ecuación:

$$VV = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3)$$

donde:

U es la velocidad del viento zonal

V es la velocidad del viento meridional

La dirección del viento se calculó a partir de las relaciones siguientes, teniendo en cuenta el signo de las componentes zonal y meridional del viento.

$$U = -VV\text{sen}(D) \quad (3)$$

$$V = -VV\text{cos}(D) \quad (4)$$

donde: D es la dirección del viento

En el modelo de nube se procedió a variar algunas características de las parametrizaciones y especificidades de los procesos, con miras a representar el comportamiento de las nubes que se desarrollan sobre el área de interés. Las entradas al modelo son la presión ambiental, la temperatura, la humedad relativa y la velocidad vertical del viento, obtenidas del sondeo. Además, se tienen en cuenta los parámetros específicos de la corrida siguientes:

1. El paso de integración en la vertical se toma igual a 100 m.
2. El radio inicial de la nube; en este caso, se seleccionaron radios de 0.5, 1.0 km, 1.5 km, 2.0 km y 2.5 km.
3. La temperatura de glaciación y el contenido de agua de nube umbral para la autoconversión a gotas de lluvia (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros fijados en el programa que determinan el comportamiento de la nube como natural o sembrada

Tipo de nubes	Temperatura de glaciación (°C)	Contenido de agua Umbral (g/kg)
Nube natural	-20	2.00
Nube sembrada	-5	2.00

Como resultado de las corridas del modelo se obtienen las alturas topes de las nubes sembradas y no sembradas, y la diferencia de alturas entre ambas para los cinco radios de nubes especificados. Asimismo, el efecto de la siembra se define como la diferencia entre la altura máxima de la nube observada y la pronosticada por el modelo de nube. Se considera que existen condiciones para la siembra cuando la diferencia entre los topes máximos de una nube sembrada y una no sembrada (natural) alcanza una altura mayor o igual a 500 m ([Simpson & Wiggert, 1969](#); [Pomares, 2007](#)). La condición anterior se denomina sembrabilidad positiva.

Por último, se calcula el potencial de sembrabilidad (índice de sembrabilidad), que es la relación entre el número de casos con sembrabilidad positiva con respecto al número total de casos en un mes. En el presente trabajo se categoriza el índice de sembrabilidad como: bajo, entre 0 y 0.29; medio, entre 0.3 y 0.59; y alto, entre 0.6 y 1.

Resultados y Discusión

La figura 1 muestra las potencialidades de siembra para nubes con radio de 0.5 km. Se observa que de noviembre a abril no son meses favorables para el desarrollo de campañas de siembra, puesto que, en el mejor de los casos, la sembrabilidad alcanza el valor de 0.10 (noviembre, en la región oriental), abarcando la totalidad de la provincia de Guantánamo, gran parte de Santiago de Cuba y zonas de la provincia de Holguín. Octubre y mayo alcanzan valores de sembrabilidad bajos a medios, con valores de 0.38 en Guantánamo.

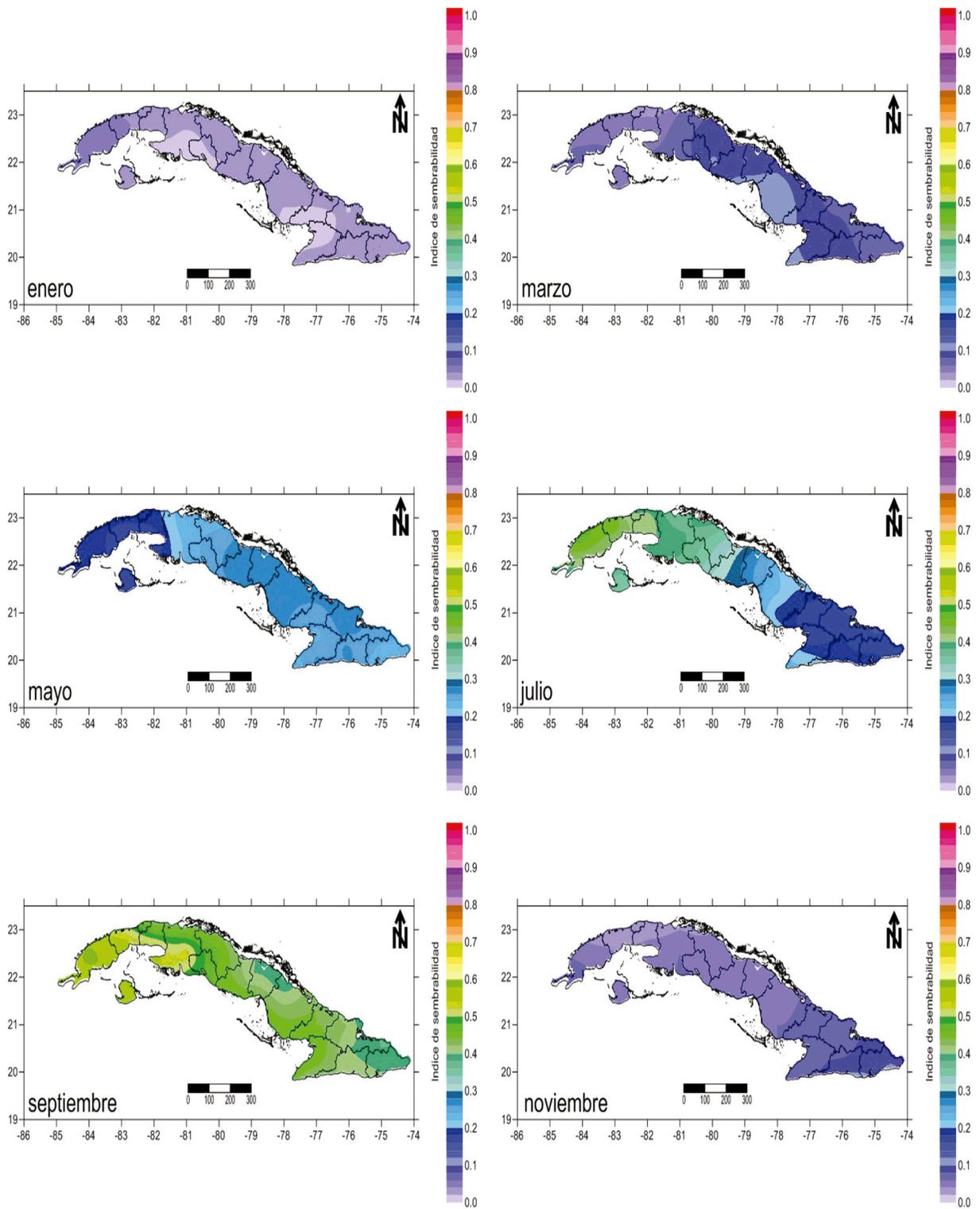


Figura 1. Sembrabilidad para nubes con radio de 0.5 km. A la izquierda, de arriba hacia abajo, aparecen enero, mayo y septiembre; a la derecha, marzo, julio y noviembre

Mejores resultados se obtienen en septiembre y agosto, cuando las potencialidades de siembra se incrementan hasta cerca de 0.59, en septiembre; en este caso, en la provincia de Pinar del Río, el sur de las provincias de Mayabeque, Artemisa y la mayor parte de Matanzas. Para el resto del país, este valor se encuentra entre 0.36 y 0.43. En julio, las mayores oportunidades de siembra están en la región occidental del país, mientras que en la región centro-oriental el índice de sembrabilidad no supera el valor de 0.3.

La figura 2 muestra la distribución del índice de sembrabilidad calculado para nubes de 1.0 km de radio en el territorio nacional. Se aprecia que las peores opciones para la siembra se presentan de octubre a abril. En mayo se alcanzan índices de sembrabilidad de aproximadamente 0.5 en la provincia de Granma y parte de Santiago de Cuba, mientras que en el resto del país los valores se mantienen por debajo de esta cifra; los mínimos aparecen en la región occidental y no superan 0.4 de las oportunidades de siembra.

De junio a agosto se presentan las mejores posibilidades para la influencia activa. En julio, el modelo predice una mayor cantidad de días en que resulta eficaz la aplicación del reactivo. Las regiones más favorecidas se extienden desde el occidente de la provincia de Villa Clara hasta Pinar del Río, y el índice de sembrabilidad alcanza los valores máximos en la actual provincia de Artemisa (superiores a 0.9). Las demás provincias, asimismo, presentan opciones de siembra favorables, por encima de 0.7, con excepción de una zona pequeña al norte de Holguín donde el índice supera ligeramente a 0.6. No obstante, el modelo predice condiciones favorables para la realización de acciones de siembra de nubes.

En septiembre, la situación no es muy diferente, aunque los valores del índice de sembrabilidad varían ligeramente; las provincias occidentales son también las que muestran mayor cantidad de días con mejores oportunidades de siembra. De igual modo, junio y agosto presentan un comportamiento similar; en este último mes, por lo general, ocurren los valores más bajos de los cuatro meses del período.

Las potencialidades de siembra para nubes con radio de 1.5 km (Figura 3) indican que de noviembre a marzo se presenta un índice de sembrabilidad bajo, que apenas sobrepasa 0.2 en algunas zonas (La Habana, en marzo; Guantánamo-Santiago de Cuba, en noviembre). En mayo, las salidas del modelo pronostican un incremento de 0.36 a 0.4 de las posibilidades de siembra; los valores más elevados (por encima de 0.38) se concentran en las provincias orientales, el centro-sur de Camagüey y desde el norte de las provincias centrales hasta el sur de Mayabeque, así como al sur de la Isla de la Juventud. Octubre exhibe oportunidades de siembra similares a mayo.

Las mayores potencialidades aparecen de junio a septiembre, cuando el índice de sembrabilidad alcanza valores altos en todo el territorio nacional; las mejores opciones se presentan en junio. En julio, la región occidental logra mejores condiciones de sembrabilidad, pero en septiembre se invierte esta situación, o sea, es en parte de Ciego de Ávila, Camagüey y las provincias orientales donde se presentan las mayores potencialidades para la influencia activa.

En junio, julio, agosto y septiembre aparecen las mejores condiciones para la siembra de nubes; el occidente y el centro del país son las regiones más favorecidas, con posibilidades de siembra en más de 0.80.

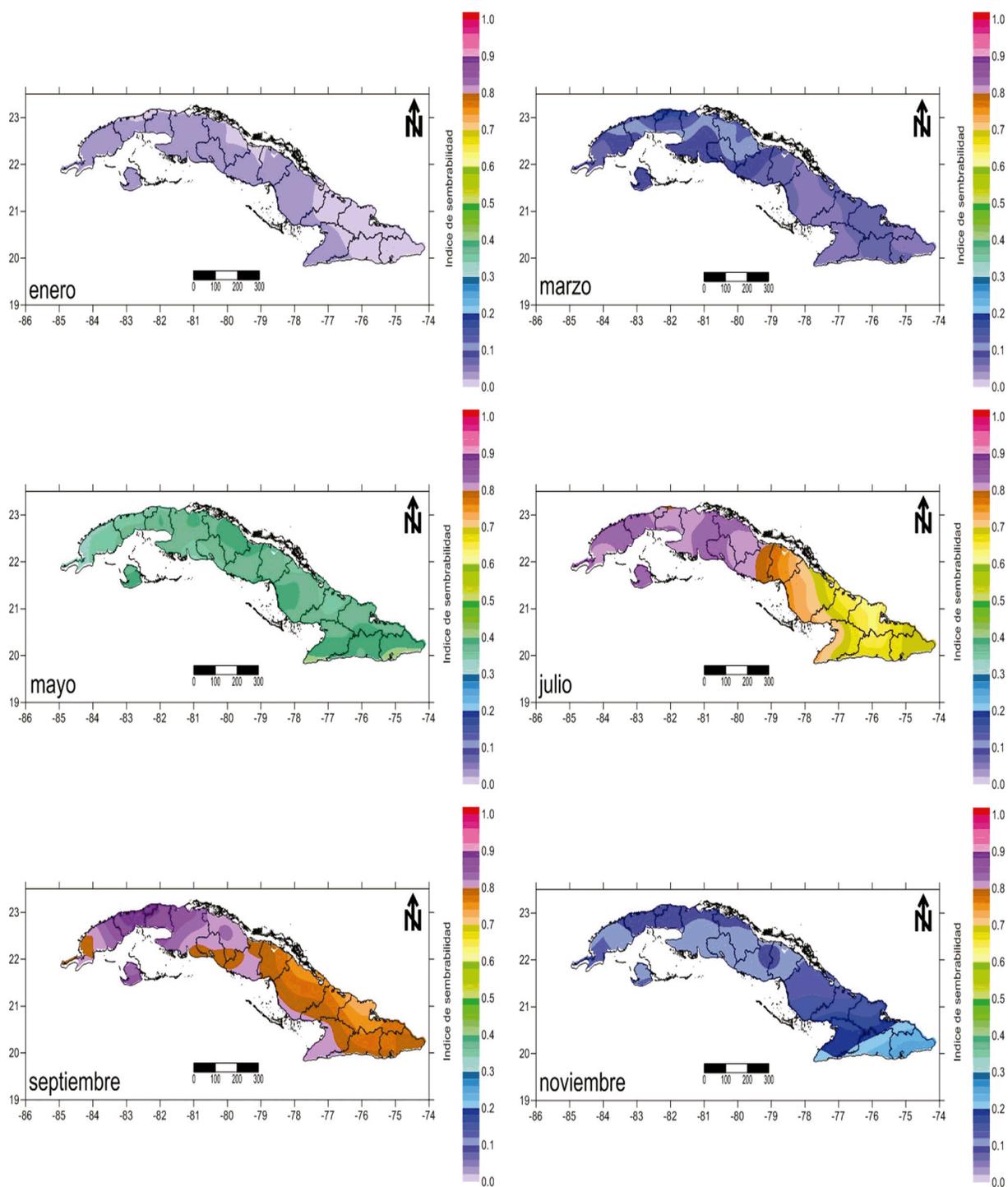


Figura 2. Sembrabilidad para nubes con radio de 1.0 km. A la izquierda, de arriba hacia abajo, aparecen enero, mayo y septiembre; a la derecha, marzo, julio y noviembre

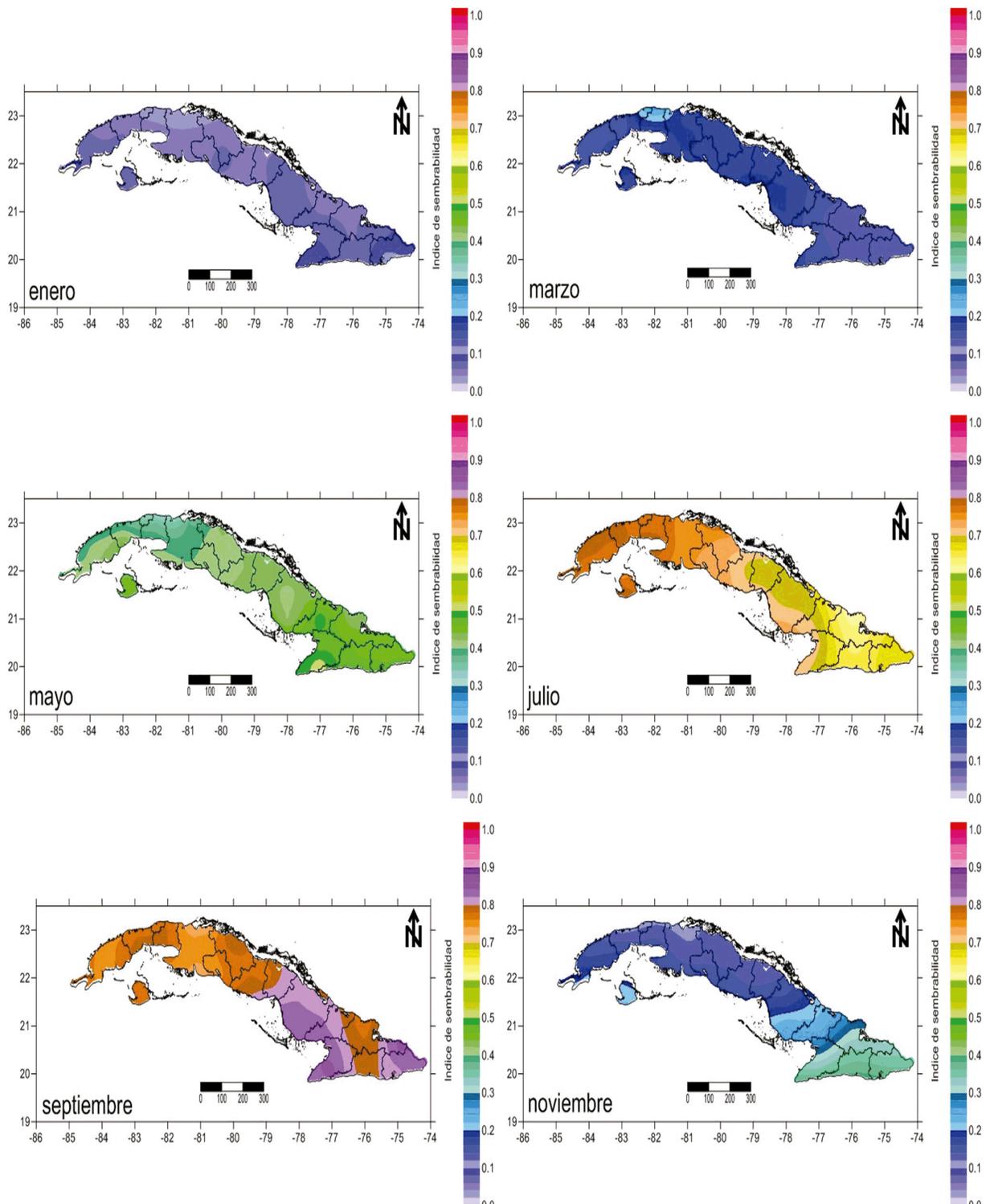


Figura 3. Sembrabilidad para nubes con radio de 1.5 km. A la izquierda, de arriba hacia abajo, aparecen enero, mayo y septiembre; a la derecha, marzo, julio y noviembre

Desde la región oriental hasta la provincia de Ciego de Ávila, el índice de sembrabilidad es alto, fluctúa entre 0.60 y 0.86, es decir, durante estos meses existen condiciones favorables en todo el país para la realización de campañas de siembra de nubes.

La figura 4 muestra que las potencialidades de siembra en enero y marzo son bajas; asimismo, ocurre un comportamiento semejante en diciembre, febrero y abril. Por los valores que toma el índice de sembrabilidad, solo entre uno y ocho días se presentan nubes favorables para ser sembradas. Además, en mayo y noviembre, el índice de sembrabilidad para las provincias orientales oscila entre valores bajos y medios.

En mayo y noviembre, el índice de sembrabilidad varía de valores bajos a medios, con salidas del modelo que indican la presencia de nubes con radio de 2.0 km, y existen mejores opciones para la siembra desde Camagüey a las provincias orientales.

La sembrabilidad alta para nubes con radio de 2.5 km aparece en junio y septiembre, con las mejores condiciones de siembra en las provincias de Granma, Holguín, Las Tunas y Camagüey, donde pueden alcanzarse valores mayores a 0.7 (Figura 5). La situación para el resto del país, en estos meses, también son favorables, el mínimo se observa sobre las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. Para el tipo de nubes analizado en noviembre, la distribución de los valores de sembrabilidad es de medios a bajos, con las mejores opciones en las provincias del sur oriental (> 0.35), que disminuyen a medida que se avanza hasta Matanzas; al norte de este territorio se obtienen las peores condiciones para la siembra de nubes (0.15). Hacia el occidente existe un ligero incremento de la sembrabilidad, pero no llega a alcanzar niveles medios.

En los meses restantes, las potencialidades para la siembra son escasas. Del análisis de la información obtenida, las mejores condiciones para efectuar campañas de siembra se presentan de junio a agosto; durante estos meses, el índice de sembrabilidad alcanza valores elevados, que incluso superan 0.90. Las nubes con radios entre 1.0 km y 1.5 km reaccionan con mayor vigor a la siembra. La región occidental es donde las potencialidades de siembra son mayores, aunque en los meses señalados, el índice de sembrabilidad, por lo general, permanece alto en todo el país.

Para las nubes con radio de 0.5 km, las potencialidades de siembra son de medias a bajas para el período lluvioso. Las regiones occidental y central presentan las mejores probabilidades para la siembra, más altas en Pinar del Río (~ 0.43) y menores en el oriente del país (~ 0.25). En el período poco lluvioso, las oportunidades de siembra son mínimas y no llegan a 0.10 en ninguna región del país.

Las figuras 6a y b muestran la sembrabilidad media multianual para nubes con radio de 1.0 km en los períodos lluvioso y poco lluvioso. Para el primero, se aprecia que las potencialidades de siembra son altas para todo el territorio nacional, con índices de sembrabilidad entre 0.6 y 0.75, que se extienden desde Pinar del Río hasta Sancti Spíritus, el borde sur de Ciego de Ávila-Camagüey, el municipio especial de Isla de la Juventud y casi toda la provincia de Granma. En el segundo, las oportunidades de siembra son mínimas y, como en el caso anterior, no alcanzan 0.1 en ninguna región del país.

Las figuras 6c y d muestran la sembrabilidad media multianual para nubes con radio de 1.5 km en los períodos lluvioso y poco lluvioso.

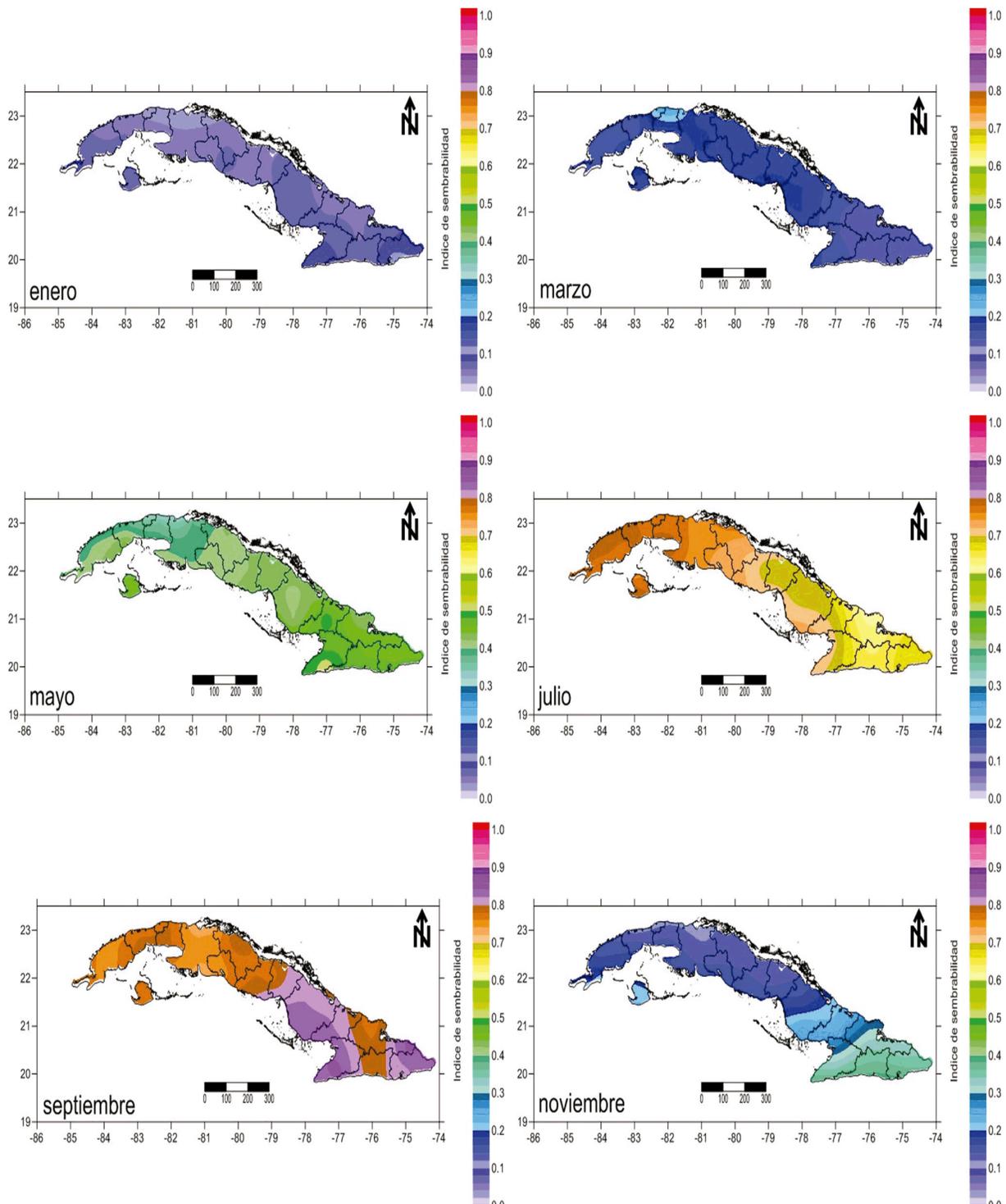


Figura 4. Sembrabilidad para nubes con radio de 2.0 km. A la izquierda, de arriba hacia abajo, aparecen enero, mayo y septiembre; a la derecha, marzo, julio y noviembre

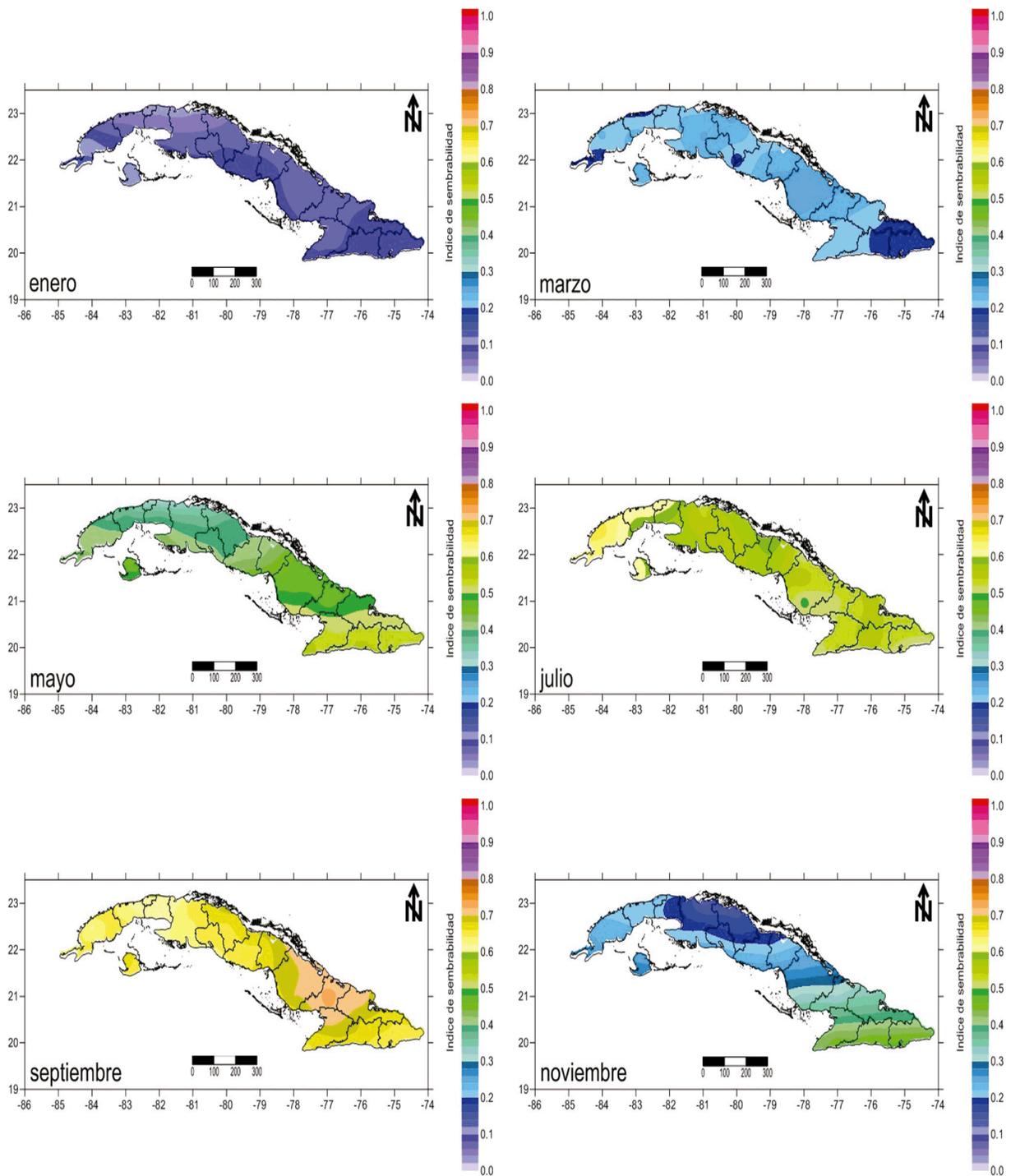


Figura 5. Sembrabilidad para nubes con radio de 2.5 km. A la izquierda, de arriba hacia abajo, aparecen enero, mayo y septiembre; a la derecha, marzo, julio y noviembre

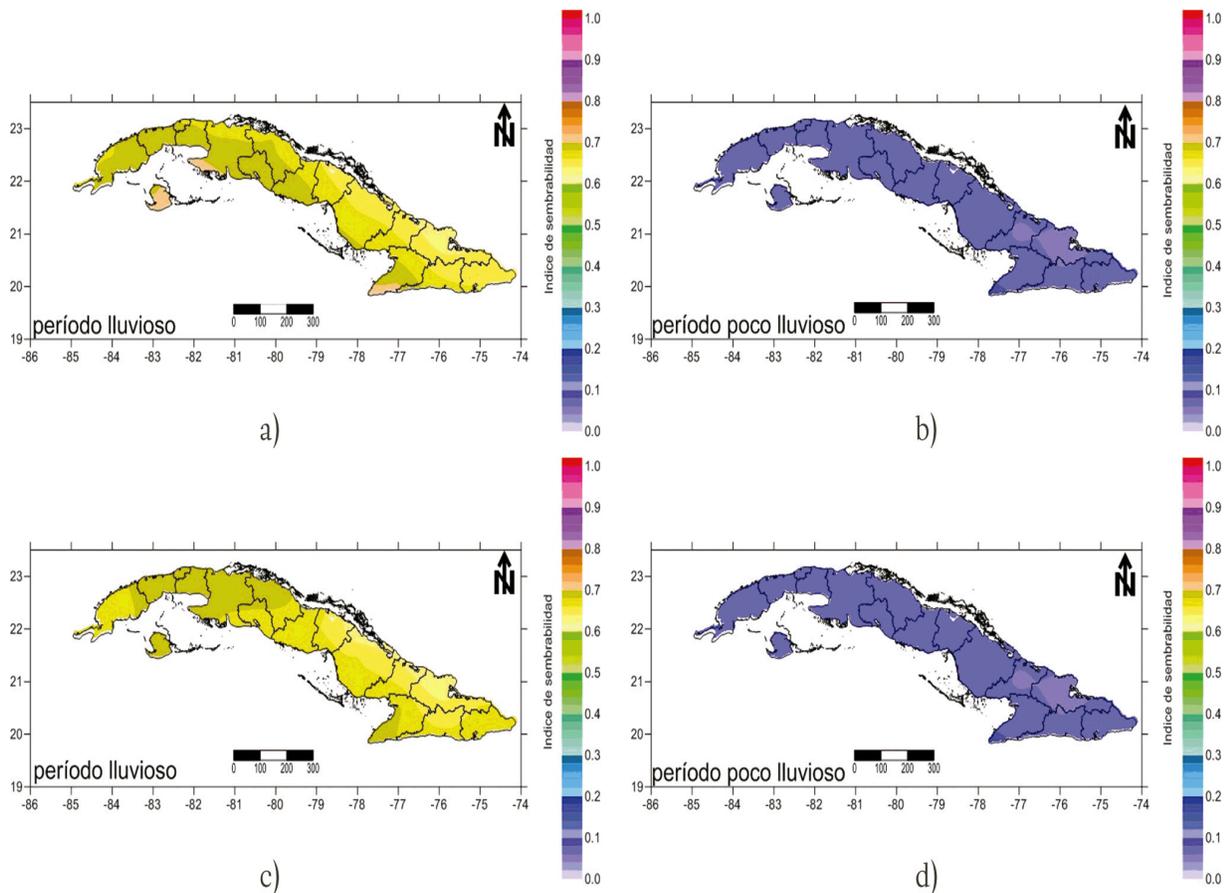


Figura 6. Sembrabilidad para nubes de radio de 1.0 km (a y b) y para nubes de 1.5 km (c y d) para el período lluvioso y poco lluvioso

Para el primero, las potencialidades de siembra son altas en todo el país (mayor a 0.60) y se concentran, fundamentalmente, desde Villa Clara hasta Pinar del Río, la Isla de la Juventud, el territorio sur de las provincias de Sancti Spíritus hasta Las Tunas y la parte occidental de la provincia de Granma. En el segundo, las oportunidades de siembra son mínimas y alcanzan 0.10 en regiones de Villa Clara, Cienfuegos y Matanzas, así como en zonas de Santiago de Cuba y Guantánamo.

Las figuras 7a y b muestran la sembrabilidad media multianual para nubes con radio de 2.0 km en los períodos lluvioso y poco lluvioso.

En el primero, existen condiciones favorables para la siembra de nubes en todo el territorio nacional, con las mejores opciones sobre Guantánamo, Granma, Las Tunas, el centro-sur de Camagüey, el noroccidente de Villa Clara, el sur de la Isla de la Juventud y las zonas de Santiago de Cuba, Guantánamo y Artemisa; en estos lugares, el índice de sembrabilidad supera 0.70. En el segundo, se alcanza un poco más de 0.18 de sembrabilidad para las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma; el resto del país se sitúa por debajo de este valor.

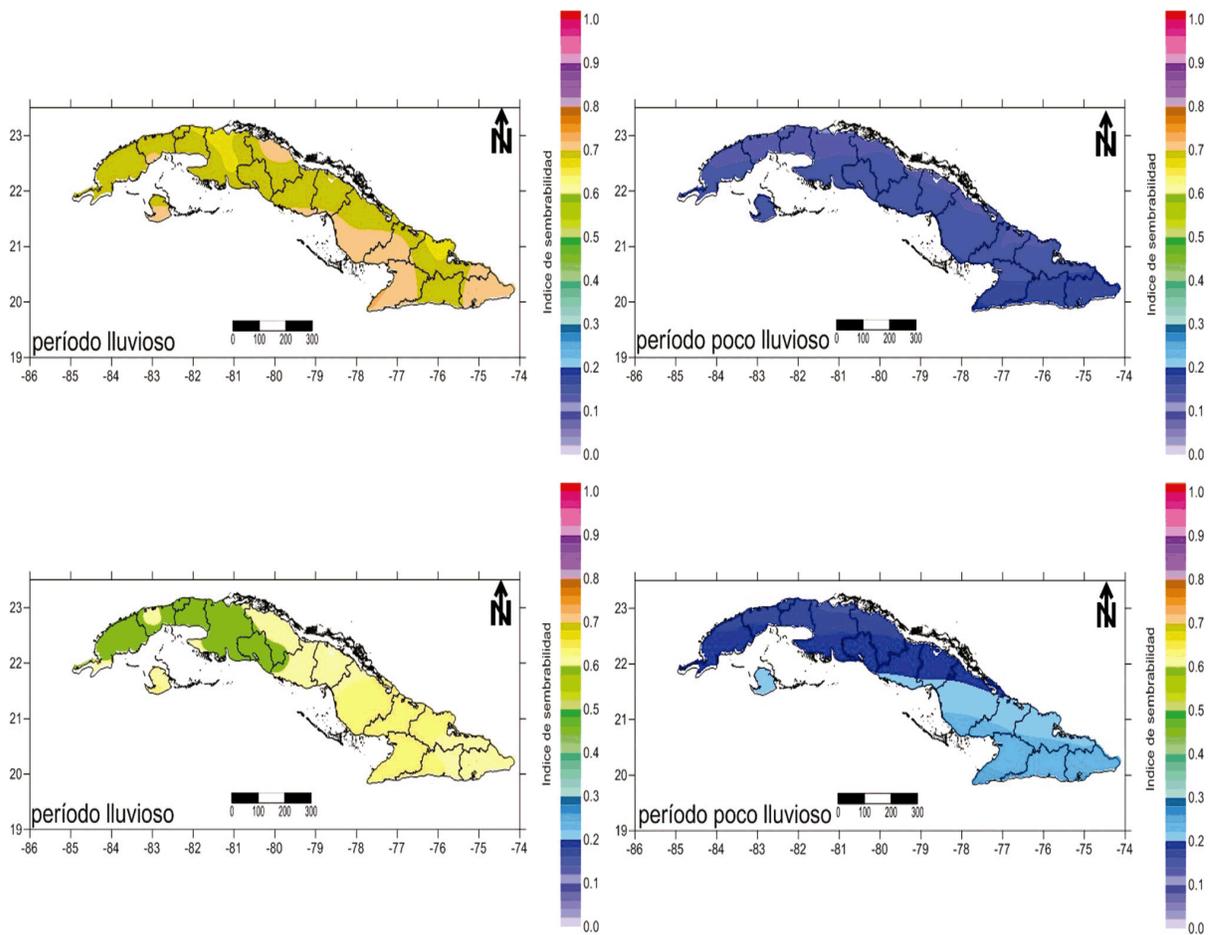


Figura 7. Sembrabilidad para nubes de radio de 2.0 km (a y b) y para nubes de 2.5 km (c y d) para los períodos lluvioso y poco lluvioso

Las figuras 7c y d muestran la sembrabilidad media multianual para nubes con radio de 2.5 km en los períodos lluvioso y poco lluvioso. Las nubes con crecimientos favorables después de la siembra, por encima de 0.60 casos, se obtienen en Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, las cinco provincias orientales y la Isla de la Juventud, con los valores máximos sobre Granma, Las Tunas y parte de Holguín.

En el período poco lluvioso, las mejores oportunidades para la siembra se obtienen en las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba, Granma y sur de Las Tunas y Camagüey, con valores que apenas alcanzan el valor de 0.25.

Conclusiones

- De las corridas del modelo a escala mensual se obtiene que las mejores condiciones para la siembra de nubes se presentan en la región occidental, donde con mayor frecuencia se alcanzan índices de sembrabilidad altos. De junio a agosto resulta la etapa más favorable para la realización de las campañas operativas. Las nubes con radios entre 1.0 km y 1.5 km presentan mayores potencialidades al ser sembradas; lo contrario ocurre para las nubes con radio 0.5 km.

- Al analizar los resultados del período lluvioso, las nubes con radio de 2.0 km reaccionan mejor a la siembra, con excepción de las nubes con radio 0.5 km; el resto presenta índices de sembrabilidad entre medio a alto. La región occidental exhibe las mejores potencialidades para la siembra de nubes, pero para radios entre 2.0 km y 2.5 km, la región oriental resulta más favorecida. En el período poco lluvioso, el índice de sembrabilidad es siempre bajo; los valores de sembrabilidad más altos (hasta 0.25) se obtienen para nubes de 2.5 km en la región oriental.

Referencias

- Bruintjes, R. T. 1999. "A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(5): 805–820, ISSN: 0003-0007, 1520-0477.
- Clavijo, A. & Pérez, C. A. 1992. *Modelo numérico de nubes convectivas. CLOUD:BAS*. Informe científicotécnico, Camagüey, Cuba: Centro Meteorológico de Camagüey, p. 23.
- Doty, B. E. 1992. *Grid Analysis and Display System (GrADS)*. version 1.3.1, [Linux - Mac OS X], USA: COLA, Available: <<http://www.m.monsoondata.org/grads/downloads.html>>, [Consulted: October 27, 2016].
- Hirsch, J. H. 1972. "A numerical cloud model. Its use during Project Cloud Catcher". In: *III Conference on Weather Modification*, Rapid City, South Dakota: American Meteorological Society, pp. 182–185.
- Kessler, E. 1969. *On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations*. (ser. Meteorological monographs, no. ser. 32), vol. 10, Boston: American Meteorological Society, 84 p., ISBN: 978-1-935704-36-2, Available: <<https://www.amazon.com/distribution-continuity-atmospheric-circulations-Meteorological/dp/B0007DQFF4>>, [Consulted: October 27, 2016].
- Nieves, D. 2014. *Evaluación de la sembrabilidad de nubes cúmulos congestus en la provincia de Camagüey*. Trabajo de Diploma, La Habana, Cuba: INSTEC, 48 p.
- Pomares, I. 2007. *Modelo unidimensional estacionario de nubes cúmulos*. Tesis de Maestría, La Habana, Cuba, 49 p.
- Pomares, I. & Nieves, D. 2012. *Modelo unidimensional de nube cúmulo para el pronóstico de la sembrabilidad, análisis del comportamiento de la variable en Venezuela*. Informe científico-técnico del Proyecto: Diseño e Implementación de un Programa Piloto para la Estimulación de las Precipitaciones, Fase II, Caracas, Venezuela, p. 18.
- Silverman, B. A.; Hartzell, C. L.; Woodley, W. L. & Rosenfeld, D. 1994. *Thailand Applied Atmospheric Resources Research Program*. no. R-94-03, Denver, Colorado: U. S. Department of the Interior, p. 58, Available: <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PDABN444.pdf>, [Consulted: October 27, 2016].

- Simpson, J. & Wiggert, V. 1969. "Models of precipitating cumulus towers". *Monthly Weather Review*, 97(7): 471–489, ISSN: 0027-0644, 1520-0493, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0471:MOPCT>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0471:MOPCT>2.3.CO;2).
- Weinstein, A. I. & MacCready, P. B. 1969. "An Isolated Cumulus Cloud Modification Project". *Journal of Applied Meteorology*, 8(6): 936–947, ISSN: 0021-8952, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0936:AICCMP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0936:AICCMP>2.0.CO;2).
- WMO (World Meteorological Organization). 1981. *The uses of numerical models in weather modification research and operations*. PEP report, no. 24, Geneva: World Meteorological Organization, p. 30.
- Woodley, W. L.; Rosenfeld, D. & Silverman, B. A. 2003. "Results of On-Top Glaciogenic Cloud Seeding in Thailand. Part I: The Demonstration Experiment". *Journal of Applied Meteorology*, 42(7): 920–938, ISSN: 0894-8763, 1520-0450, DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<0920:ROOGCS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<0920:ROOGCS>2.0.CO;2).