

corresponden con las medias mensuales observadas en los 30 años de las bases de datos de las estaciones meteorológicas. En el caso de la temperatura media en las áreas de intervención también se corresponden con las medidas en las estaciones, aunque se debe tener en cuenta que en las estaciones se toma solo el punto sobre la estación y tiene un comportamiento local, mientras que en el caso de la salida del modelo se toma la media de la temperatura para toda el área analizada.

En la **Fig 18.** se ve la precipitación para los puntos de rejilla comprendidos por la Ciénaga de Zapata y Jardines de la Reina. En ambos casos se puede observar como la característica bimodal de la precipitación está presente en ambos casos, la cual está dada por la sequía de medio verano MSD Magaña et al (1999). De igual manera se puede apreciar que los órdenes de los valores de la variable son semejantes a los de las estaciones seleccionadas para representar la región.

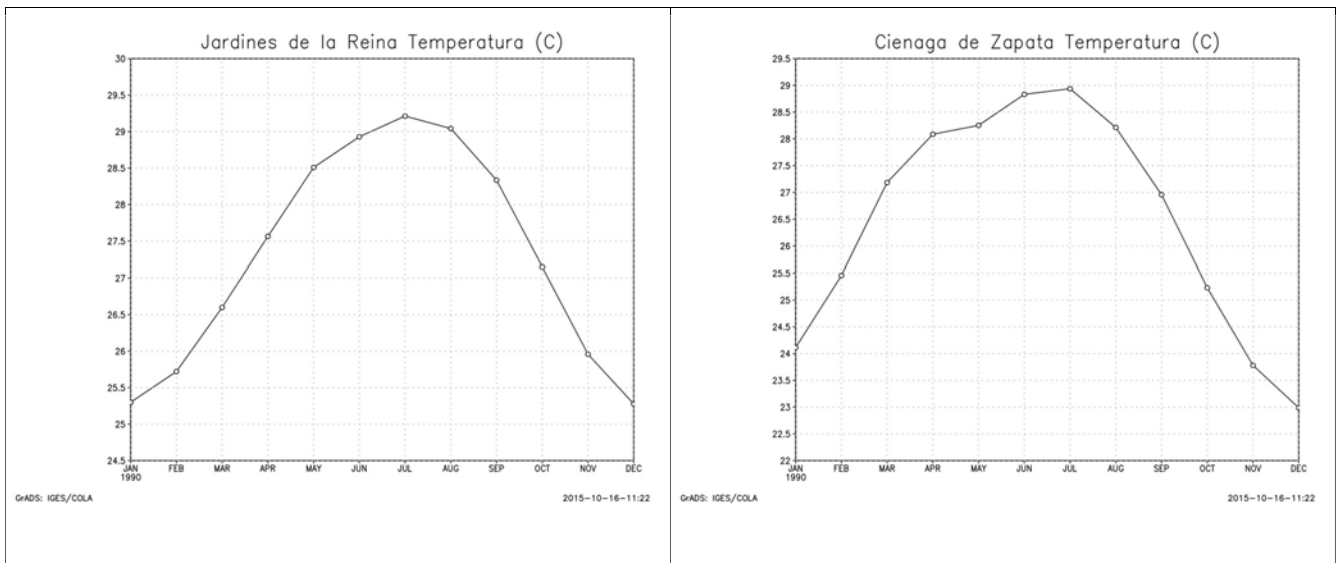


Fig 17. Comportamiento anual temperatura ERA-INTERIM Jardines de la Reina y Ciénaga de Zapata

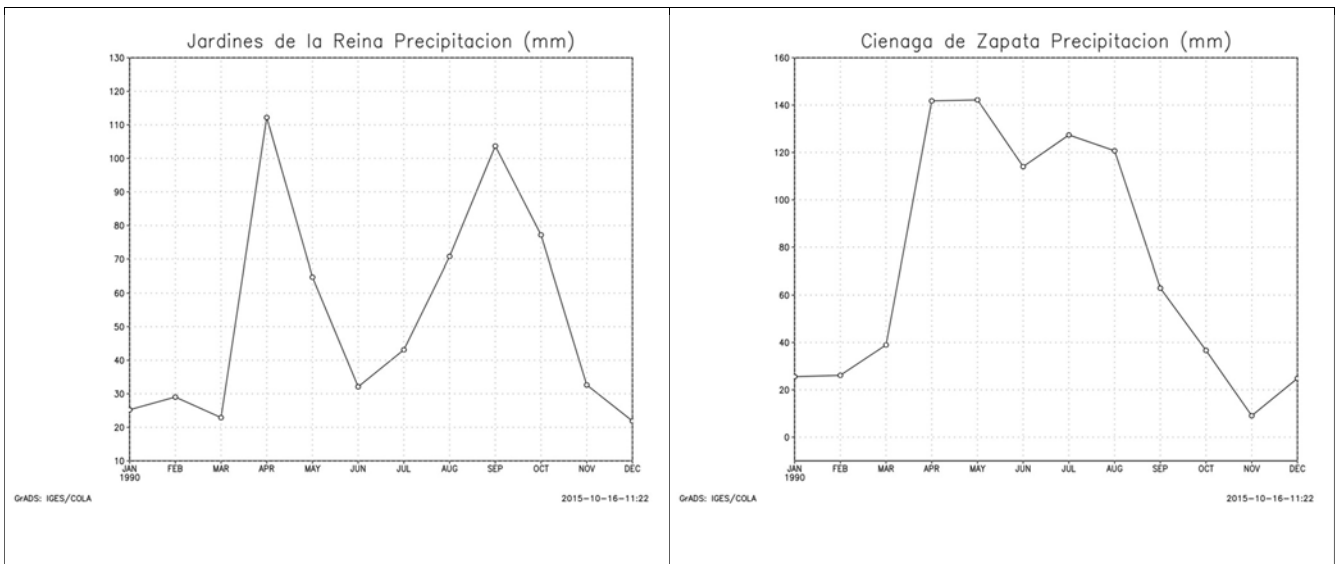


Fig 18. Comportamiento anual precipitación ERA-INTERIM Jardines de la Reina y Ciénaga de Zapata

Resultados.

Comportamiento a futuro de la temperatura y la precipitación.

La **Fig 19.** nos muestra el comportamiento a futuro de la precipitación para las dos áreas de estudio, y para las 5 realizaciones que hemos analizado en este informe. En conjunto creado a partir de los 6 experimentos de física perturbada y el obtenido a partir de la corrida alimentada con el modelo global ECHAM5, ambas bajo el escenario SRES A1B y las 3 realizaciones con los nuevos escenarios RCP 2.6, 4.5 y 8.5. Como se puede apreciar las temperaturas en todos los casos aumentan como era de esperar ya que en cualquier escenario que se analice la temperatura aumentará. Aunque sea el 2.6 con un nivel de forzamiento muy bajo y que comprende condiciones drásticas de reducción de gases de efecto invernadero. Aunque se observa también que el grado de calentamiento no es igual dependiendo del modelo y el escenario que se analice. En general el calentamiento a mediados de siglo estará entre los 2.5 y 3.5 grados para la zona de Jardines de la Reina y entre 3.5 y 4.5 grados de incremento para la zona de la Ciénaga de Zapata. Estos incrementos están dados con respecto a la temperatura media dada por los modelos para la línea base considerada en este caso como el período entre el 1980 y el 2005. Ya en el período correspondiente a las décadas del 2070-2080 la temperatura alcanzará entre unos 2.5 hasta los 4.5 para la zona de Jardines de la Reina mientras que para la Ciénaga de Zapata este incremento respecto al período base llegará hasta los 5 grados. Ya a finales del siglo este incremento alcanzará valores de 5.5 y 6.5 respectivamente para ambas zonas. Nótese que ya para ese momento las simulaciones que dan un menor incremento de temperatura a saber los RCP 2.6 y 4.5 dan una estabilización de la temperatura entre 2.5 a 4 grados para la zona de Jardines de la Reina y entre 3 y 4.5 grados para el área de la Ciénaga de Zapata. Ahora bien, este incremento de la temperatura proyectado por todas las simulaciones realizadas no será homogéneo en todo el dominio ni igual para cada período y franja de tiempo analizada.

La **Fig 20.** muestra los patrones de cambio espacial de temperatura para los 3 períodos analizados 2020-2040, 2040-2060, 2060-2080 para la zona de los Jardines de la Reina. En la misma se ven los resultados para el conjunto de los experimentos de parámetros perturbados, el modelo ECHAM5 estos primeros bajo el escenario de emisión A1B y los 3 restantes para los RCP 2.6, 4.5 y 8.5 respectivamente. Como se puede observar en todos los experimentos realizados se observa un incremento de la temperatura que va desde los 0.7 grados hasta más de 4 grados de temperatura dependiendo del período seleccionado y del escenario de emisión observado. Como era de esperar el escenario más crítico es el RCP 8.5 este escenario no presenta entre sus características ninguna medida de mitigación por lo que sería considerado un escenario “business as usual” aquí el incremento de temperatura es bastante homogéneo y superior a los 4 grados Celsius para todo el dominio en el tercer período analizado donde el incremento de la temperatura global comienza a ser

bastante notoria. Como regla general es el este último período donde se registran las mas altas temperaturas y son los escenarios dados por el modelo echam5 y el por le RCP 2.6 los que brindan un aumento de temperatura menor como era de esperar.

La **Fig 21.** es similar a la 20 pero en este caso para la región de la Ciénaga de Zapata. Para esta región el cambio en la temperatura sigue la misma tendencia que para la zona de Jardines de la Reina lo que aquí el aumento de temperatura es mayor sobre la masa de tierra mayor , siendo incluso mas homogéneo y sobre los 4 grados para el escenario RCP 8.5. como se puede observar de este grafico hay una marcada diferencia entre la parte norte y la parte sur de la Ciénaga de Zapata, como media general esperaremos una diferencia entre medio y 1 grado de temperatura entre estas zonas . Lo que puede tener implicaciones importantes para biodiversidad en esas zonas.

De las figuras 19, 20 y 21 podemos deducir que en cualquier escenario y bajo cualquier modelo que se use, la temperatura de ambas zonas se incrementara, también se puede concluir que este incremento no será homogéneo ni igual en dependencia del escenario utilizado y el modelo utilizado. Además se puede observar que para la zona de la Ciénaga de zapata una clara zonificación en el cambio de la temperatura siendo mayor para la parte norte de la Ciénaga de Zapata y menos para la parte sur.

Las figuras **22, 23 y 24** nos muestran el cambio en la precipitación para Jardines de la Reina y la Ciénaga de Zapata teniendo en cuenta los mismos periodos y modelos que para la figuras 19, 20 y 21 y los mismos escenarios y modelos analizados previamente. En cuanto el cambio en la precipitación como media para todo el período y ambas áreas estudiadas se puede observar que no hay una clara señal en cuanto al comportamiento de la misma, exepto una muy clara que nos muestra que para ambas zonas la mayoría de los modelos tiende como media a producir mas precipitación que la observada en la línea base 1980-2005, este aumento esta alrededor de los 5 mm/mes para el caso de Jardines de la Reina y de 2 mm/mes para la Ciénaga de Zapata, este incremento es muy difícil de contabilizar mediante estos gráficos por la propia característica de la variable pero de todas maneras la variabilidad propia de la precipitación seguirá presente en estas dos zonas. Es importante aclarar que este aumento de precipitación en ambas áreas esta en concordancia con el aumento previsto para la parte sur oeste de la isla de Cuba y las Bahamas por la mayoría de los modelos pero puede estar dado no porque las precipitaciones sean más abundantes sino por la presencia de más eventos extremos de precipitación lo que da al trasto con una mayor cantidad total de agua lo que repartida no uniformemente en el tiempo, lo que al final repercutirá también el la biodiversidad de estas regiones.

Las figuras 23 y 24 nos muestran por los tres períodos estudiados como estarán espacialmente distribuidas estas precipitaciones y podemos notar el aumento de las mismas para todos los modelos y las rabanadas de tiempo excepto para el modelo echam5 que muestra una ligera disminución de la

precipitación para algunas zonas de la Ciénaga de Zapata sobre todo para los dos primeros períodos de estudio. Lo otro que es importante recordar es que al usar una línea base 1980-2005 se tiene en cuenta dos de los períodos de sequía mas grande que ha atravesado nuestro país y esto puede sesgar la percepción del ligero aumento de la precipitación.

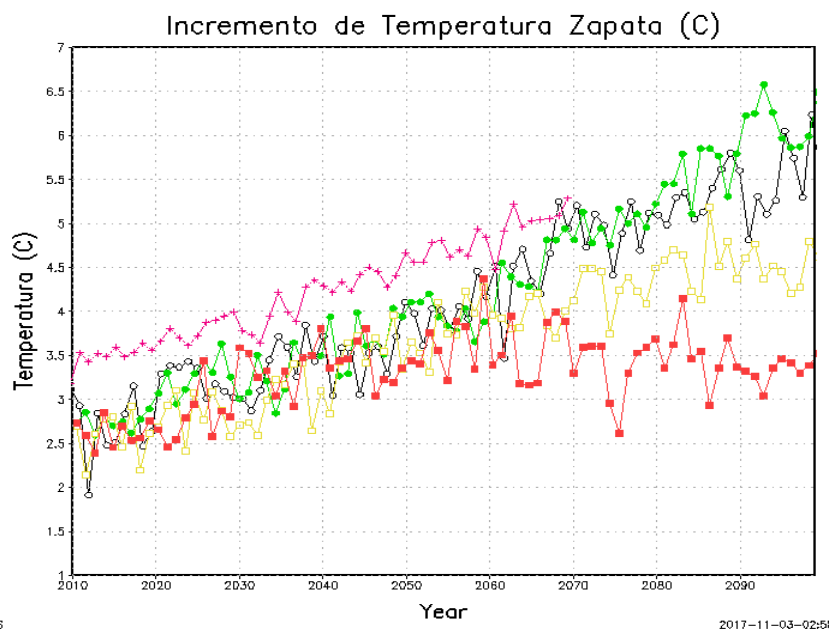
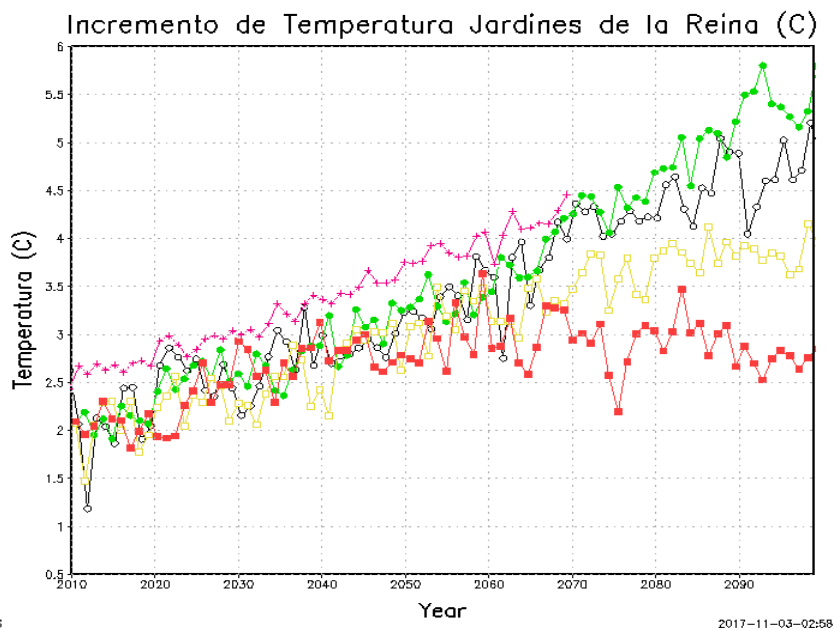


Fig 19. Temperatura media en Jardines de la Reina (panel superior) y Ciénaga de Zapata (panel inferior) para el período 2010-2099, bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (líneas roja, amarilla, verde, negra y rosada respectivamente).

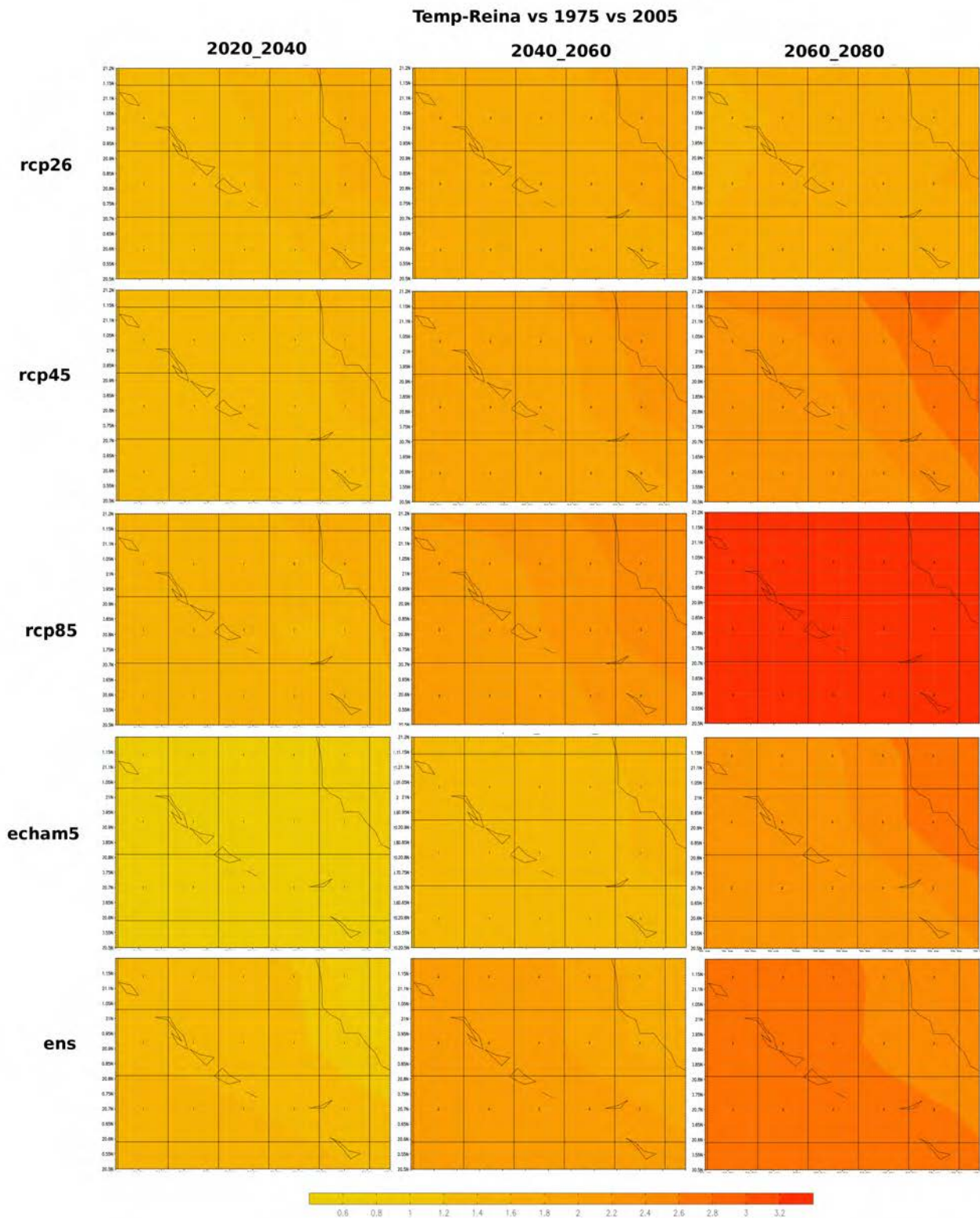


Fig 20. Cambio de temperatura en Jardines de la Reina para los períodos 2020-2040, 2040-2060 y 2060-2080 (paneles izquierdo, central y derecho respectivamente), bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (filas primera, segunda, tercera, cuarta y quinta).

Temp-Reina vs 1975 vs 2005

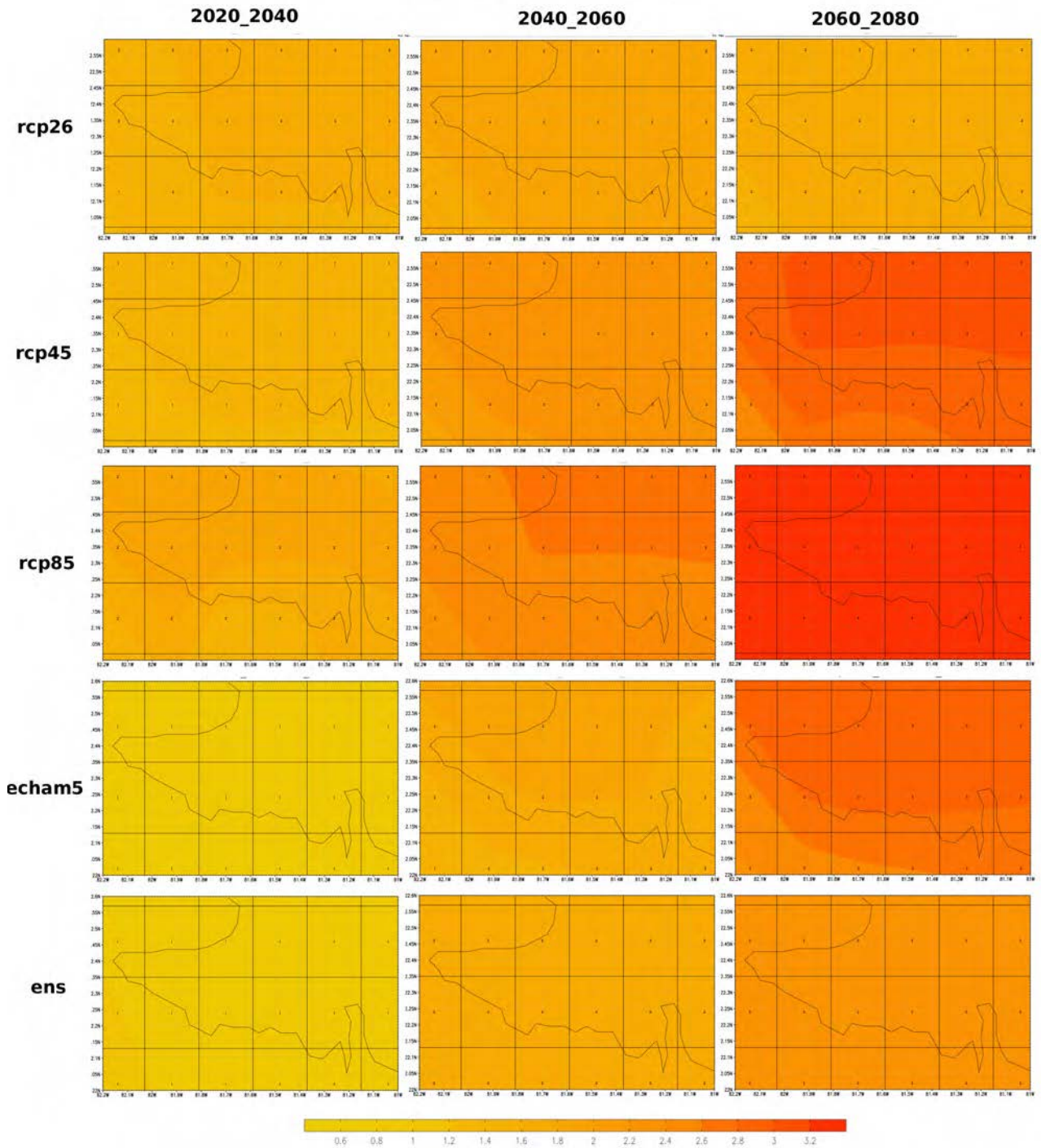
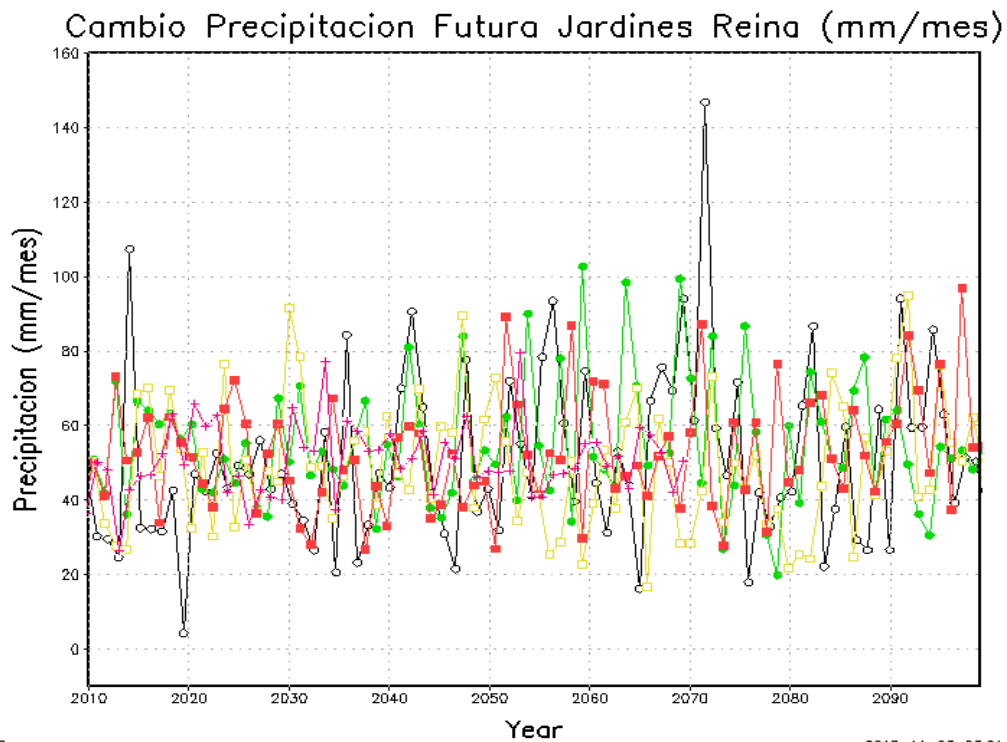
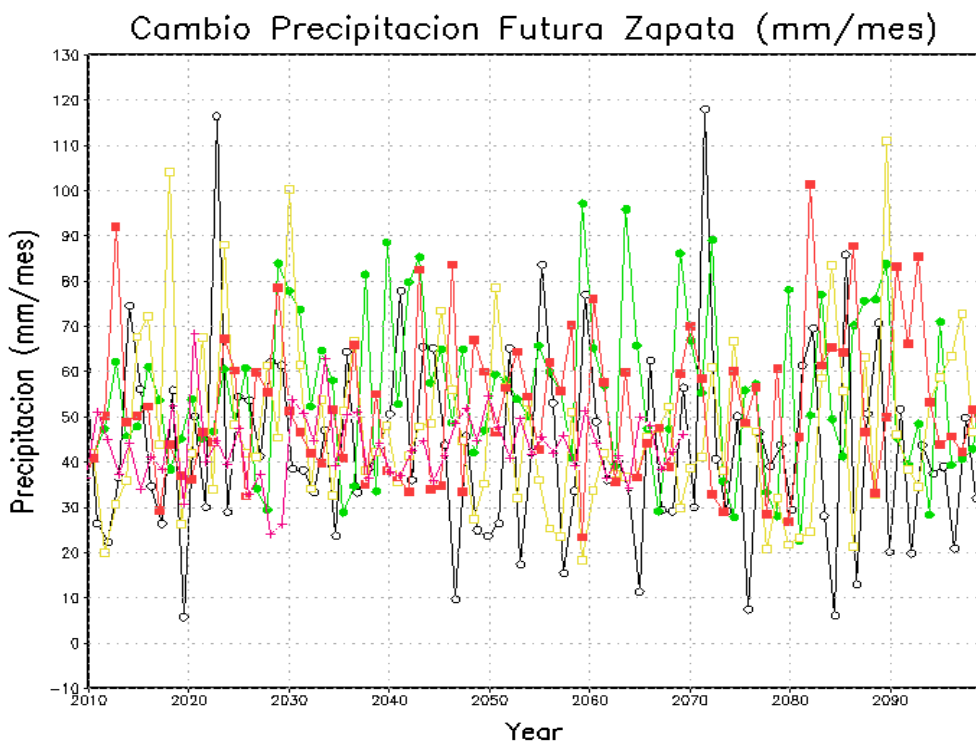


Fig 21. Cambio de temperatura en Ciénaga de Zapata para los períodos 2020-2040, 2040-2060 y 2060-2080 (paneles izquierdo, central y derecho respectivamente), bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (filas primera, segunda, tercera, cuarta y quinta).



GRADS: COLA/IGES

2017-11-03-03:21



GRADS: COLA/IGES

2017-11-03-03:21

Fig 22. Precipitación en Jardines de la Reina (panel superior) y Ciénaga de Zapata (panel inferior) para el período 2010-2099, bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (líneas roja, amarilla, verde, negra y rosada respectivamente).

Precip-Reina vs 1975_2005

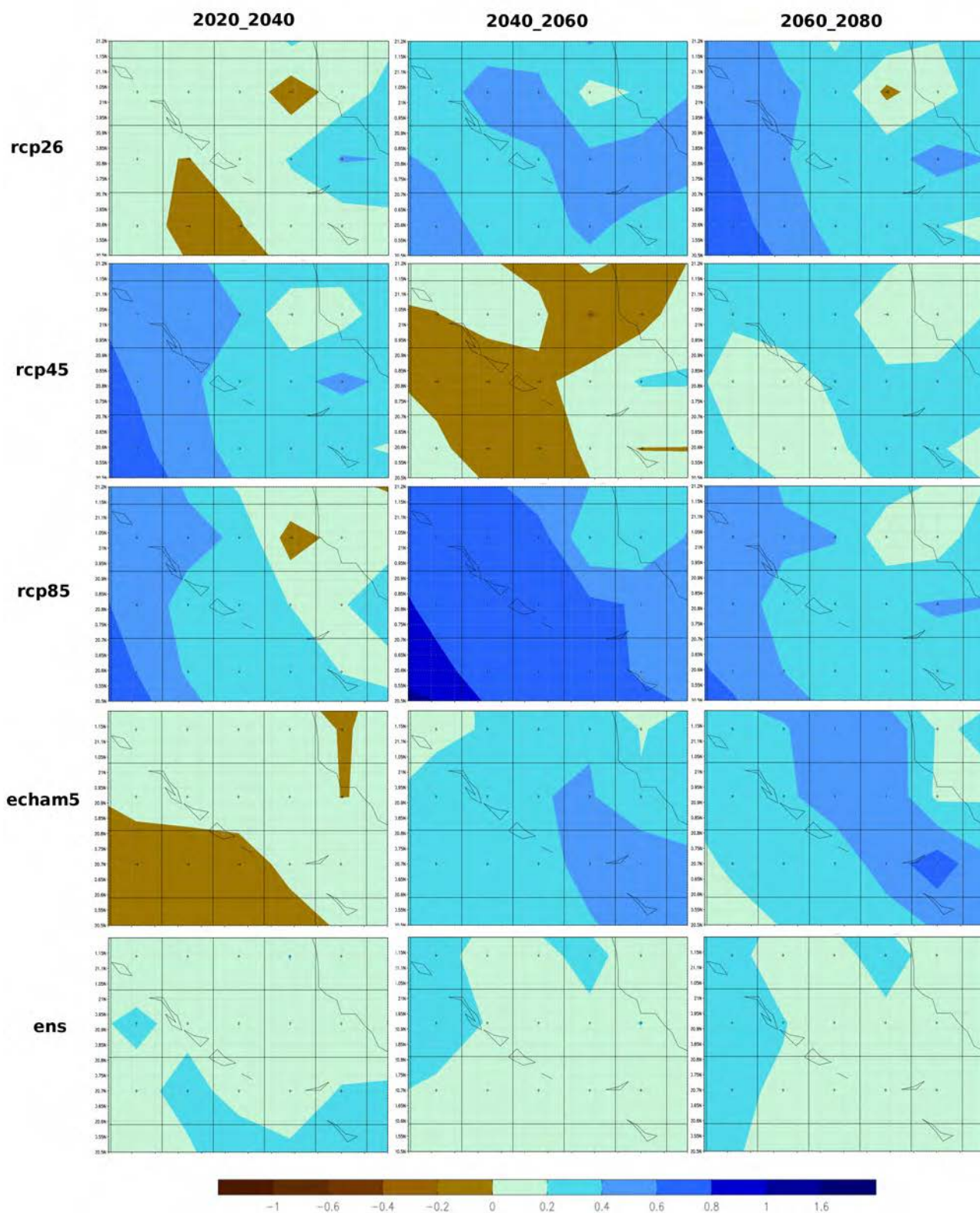


Fig 23. Cambio de precipitación en Jardines de la reina para los períodos 2020-2040, 2040-2060 y 2060-2080 (paneles izquierdo, central y derecho respectivamente), bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (filas primera, segunda, tercera, cuarta y quinta).

Precip-Zapata vs 1975_2005

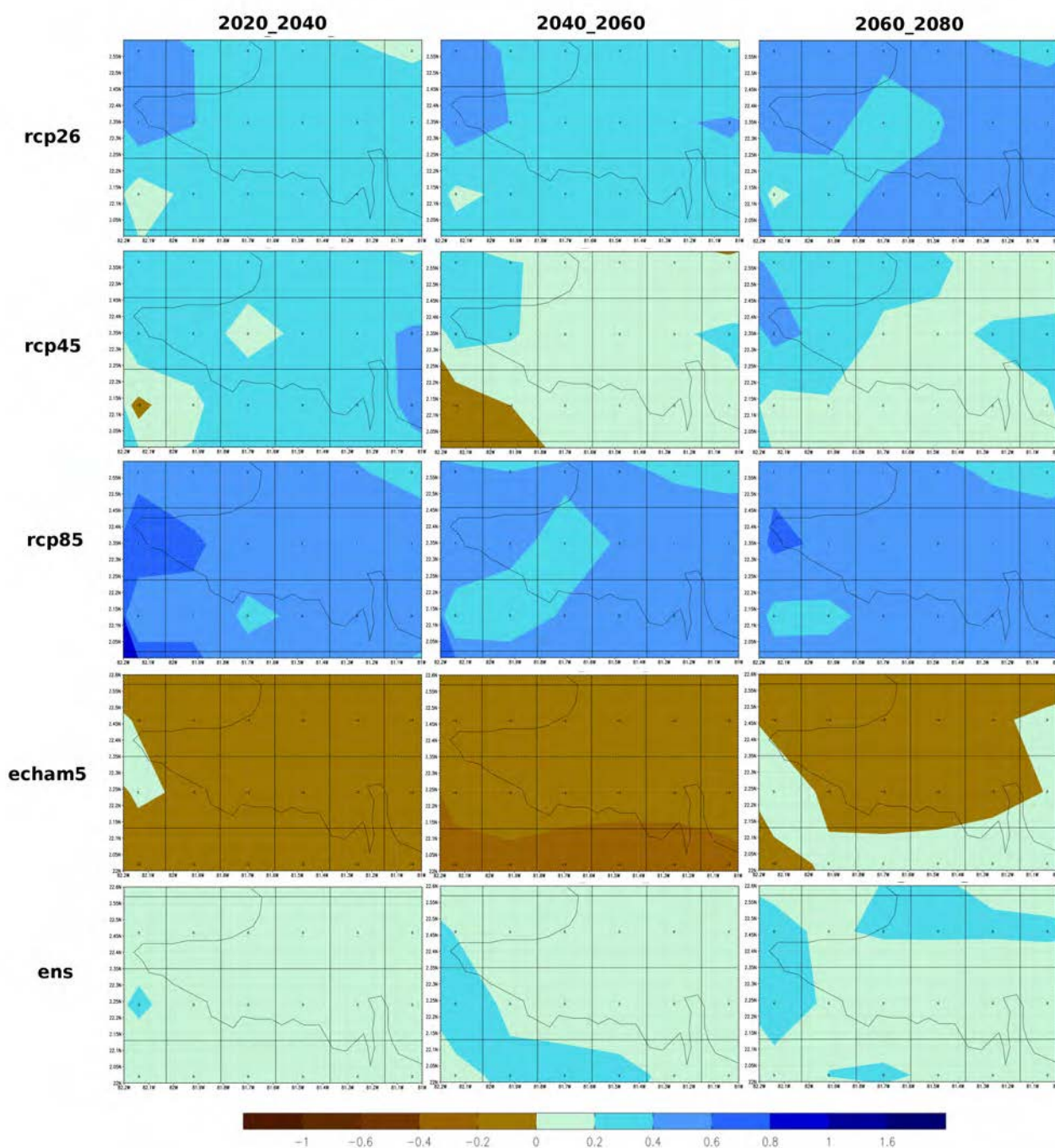


Fig 24. Cambio de precipitación en Ciénaga de Zapata para los períodos 2020-2040, 2040-2060 y 2060-2080 (paneles izquierdo, central y derecho respectivamente), bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (filas primera, segunda, tercera, cuarta y quinta).

Estacionalidad de la temperatura y la precipitación.

El otro factor importante a analizar es la estacionalidad tanto de la temperatura como de la precipitación. Es importante saber si los ciclos de la temperatura e hidrológicos sufrirán algún cambio a futuro como consecuencia del calentamiento global comprendido por todos los escenarios analizados. En la **Fig 25.** se muestra la estacionalidad de la temperatura para la zonas de Jardines de la Reina y la Ciénaga de Zapata para los 3 plazos de tiempo estudiados. Como se puede ver la forma de la temperatura(estacionalidad) no cambia sustancialmente en los dos primeros plazos de tiempo, solamente se desplaza hacia las temperaturas mas cálidas a medida que pasa el tiempo y de acuerdo con el escenario asociado para cada modelo. En para el caso de el tercer período analizado 2060-2080 se nota un cambio en el mes con máximo de temperatura pasando de agosto a septiembre, para el caso de los escenarios RCP2.6 y 4.5, esto solo se observa en la zona de Jardines de la Reina.

En cuanto a la estacionalidad de la precipitación **Fig 26.** se observa como en ambas áreas geográficas se mantiene la característica bimodal de la precipitación presente en gran parte del occidente cubano y siguiendo el mismo patrón del reanálisis en el capítulo3 **Fig 18.** Lo mas notable en ambas áreas es para el caso de Jardines de la Reina una segunda mitad mas lluviosa que lo normal. Mientras que en la caso de la Ciénaga de Zapata un aumento en la precipitación esperada para la sequía de medio verano. Lo que en algunos experimentos se traduce en la desaparición de la bimodalidad en la precipitación, esto se ve sobre todo en el caso del experimento RCP8.5.

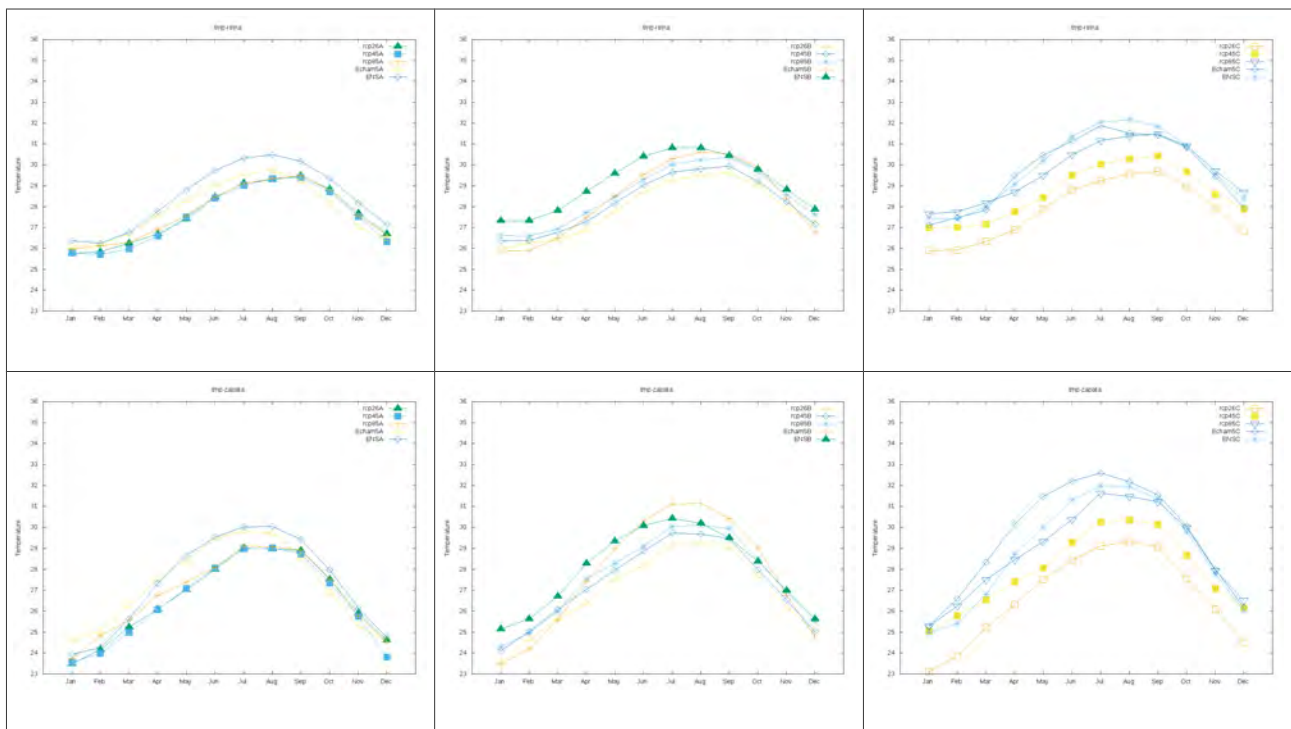


Fig 25. Estacionalidad de la temperatura media en Jardines de la Reina (panel superior) y Ciénaga de Zapata (panel inferior) para los períodos 2020-2040, 2040-2060 y 2060-2080 (paneles izquierdo, central y derecho respectivamente), bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de

parámetros perturbados (líneas amarilla, verde, azul oscuro, azul claro, naranja y verde respectivamente).

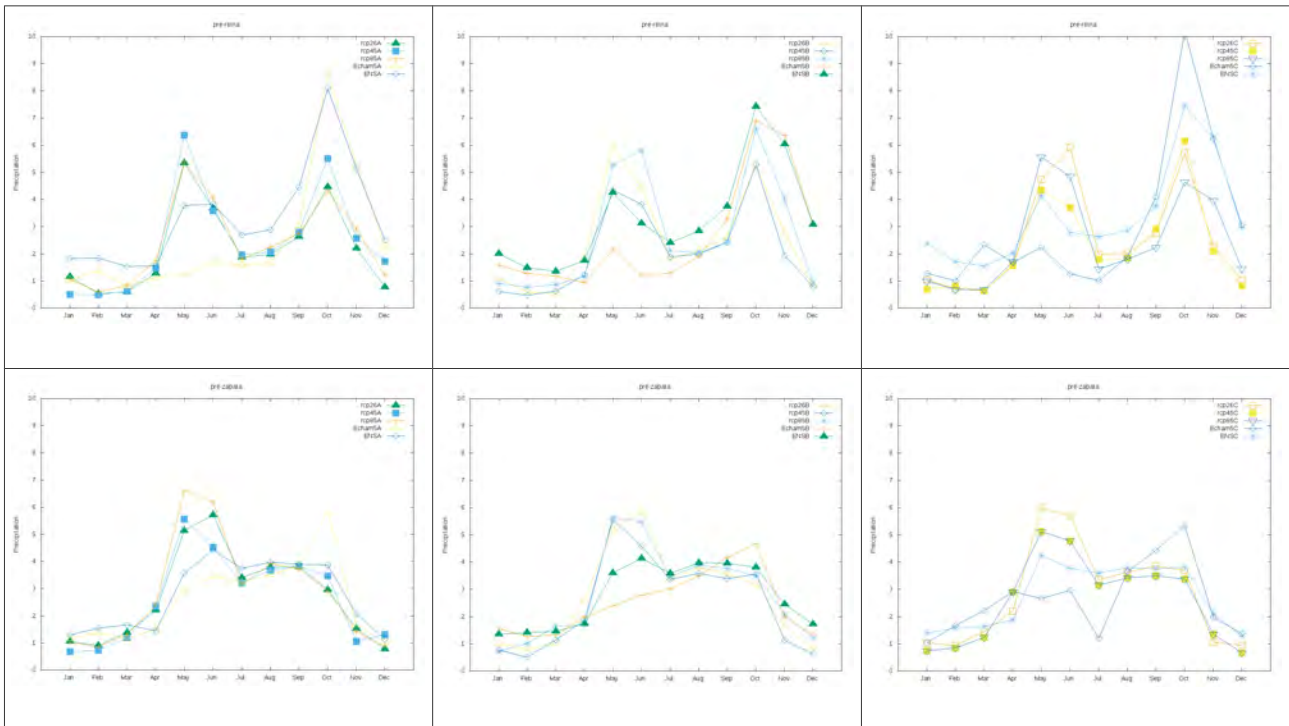


Fig 26. Estacionalidad de la temperatura media en Jardines de la Reina (panel superior) y Ciénaga de Zapata (panel inferior) para los períodos 2020-2040, 2040-2060 y 2060-2080 (paneles izquierdo, central y derecho respectivamente), bajo los RCP 2.5, 4.5, 8.5, ECHAM5 y ensemble de parámetros perturbados (líneas amarilla, verde, azul oscuro, azul claro, naranja y verde respectivamente).

4. Conclusiones y recomendaciones

La conclusión principal de este trabajo presentado es que se generaron 3 nuevos escenarios climáticos futuros de alta resolución para la región del Caribe, utilizando el Sistema de Modelado Regional PRECIS. Estos usando los nuevos escenarios RCP vienen a complementar los 9 antiguos con que se contaba en el instituto de Meteorología de Cuba y pone a nuestro país en un nivel privilegiado al contar con una gran cantidad de realizaciones a futuro contando con distintos modelos globales analizados, distintos modelos regionales, y distintos escenarios de emisión; tanto los antiguos SRES como los mas modernos RCP. Esto nos permite reducir grandemente las incertidumbres asociadas en la generación de estos escenarios usando la técnica de reducción de escala dinámica.

Actualmente cerca de 30 Tb de información agrupada en más de 200 variables meteorológicas están disponibles a nivel de medias diarias para el intervalo 1961-2100 para ser usadas por académicos, investigadores y tomadores de decisión. Un grupo de 27 variables incluyendo temperatura media, máxima, mínima, precipitación, presión, humedad relativa, las componentes zonal y meridional del viento y la radiación han sido sometidas a posprocesamiento y análisis y, están siendo usadas en disímiles proyectos de investigación y desarrollo.

Desde el punto de vista específico del proyecto se logro generar información a nivel local a la resolución del modelo para ser usada ya sea directamente o indirectamente por los investigadores, tomadores de decisión y publico en general.

Como conclusiones específicas tenemos:

1- El calentamiento para las dos áreas de estudio, La cienaga de Zapata y Jardines de la Reina es un hecho, independientemente de que escenario o modelo se tome todos indican un aumento de la temperatura que sera más acentuado o no en dependencia del modelo, escenario y período futuro a analizar.

2- Específicamente se espera para Jardines de la Reina un aumento de la temperatura entre 2.5 a 3,5 grados y de 2.5 a 4.5 para los períodos centrados en 2050 y 2080 respectivamente, llegando hasta los 5.5 grados de incremento a finales de siglo, siempre con respecto a la línea base 1980-2005.

3-Para el caso de la Ciénaga de Zapata se proyecta que esté entre los 3.5 a 4.5 grados y desde lo 4 hasta los 5 grados para los mismos períodos centrados en los años 2050 y 2080, en el caso de la península de Zapata el incremento a finales de siglo respecto a la línea base llegara hasta los 6.5 grados.

4-El incremento de la temperatura no sera homogéneo en todas las áreas y los periodos,

mostrándose como característica principal la diferencia entre la zonas norte y sur de la Ciénaga de Zapata donde la diferencias entre ambas puede llegar a ser hasta de 1.5 grados para algunos escenarios y modelos.

5-En cuanto a la precipitación el patrón es mas ruidoso y la principal conclusión es que de manera general se puede esperar un aumento de la precipitación para ambas áreas con respecto a la línea base seleccionada.

6-Este aumento es alrededor de 5 mm/mes para el caso de Jardines de la Reina y sobre los 2 mm/mes para la Ciénaga de Zapata. Aunque se reporte un ligero aumento de la precipitación, este estará condicionado por el aumento de eventos extremos de precipitación por lo que al final si se combina el aumento marginal de la precipitación con el drástico aumento de temperatura, tendremos para ambas zonas una disminución de la disponibilidad del agua.

Finalmente se recomienda hacer un estudio de índices que conjuguen varias variables meteorológicas y que tengan una influencia mas clara sobre le biodiversidad presente en las áreas de estudio que las mismas variables meteorológicas directas.

Bibliografía

Angeles, M.E., J.E. Gonzalez, D.J. Erickson, and J.L. Hernández (2007): Predictions of change in the Caribbean region using global general circulation models *Int. J. Climatol.*, 27, 555-569, doi:10.1002/joc.1416.

Bezanilla, Arnoldo. 2016 Escenarios climáticos de alta resolución sobre el Caribe usando el modelo PRECIS: Análisis preliminar sobre el comportamiento de dos fuentes renovables de energía en Cuba. Informe de Resultado Científico 45 pp, Instituto de Meteorología de Cuba.

Campbell JD, Taylor MA, Stephenson TS, Watson RA, Whyte FS (2010) Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *Int J Climatol.* doi:10.1002/joc.2200

Centella-Artola A., Taylor MA, Bezanilla-Morlot A, Martinez-Castro D, Campbell J, Stephenson T, and Vichot-Llano A (2015): Assessing the effect of domain size over the Caribbean region using the PRECIS regional climate model. *Clim. Dyn.* 44. 1901-1918. DOI 10.1007/s00382-014-2272-8.

Centella A., A. Bezanilla and K. Leslie (2007): Assessing the uncertainty of Climate Change in the Caribbean using the PRECIS outputs. Technical Report, Community Caribbean Climate Change Center, Belmopan, Belize.

Centella A., A Bezanilla, I. Borrajero, A. Vichot (2009): Escenarios Climáticos de Alta Resolución para la región de los Mares Interamericanos utilizando el Modelo PRECIS . Informe de Resultado Científico. Instituto de Meteorología. 53 pp.

Collins M., Booth, B.B.B., Harris G.R., Murphy J.M., Sexton, D. M.H., Webb, M.J. (2006): Towards quantifying uncertainty in transient climate change, *Clim.Dyn.*, 27 (2-3), 127-147

Diro GT, Rausher SA, Giorgi F, Tompkins AM (2012): Sensitivity of seasonal climate and diurnal precipitation over Central America to land and sea surface schemes in RegCM4. *Clim Res* 52:31–48

Fuentes-Franco, R.; Coppola, E.; Giorgi, F.; Pavia, E.G.; Tefera Diro, G.; Graef, F. Inter-annual variability of precipitation over Southern Mexico and Central America and its relationship to sea surface temperature from a set of future projections from CMIP5 GCMs and RegCM4 CORDEX simulations. *Clim. Dyn.* 2015, 45, 425–440.

Giorgi F, Jones C, Asrar G (2009) Addressing climate information needs at the regional level:the CORDEX framework. *WMO Bull* 58: 175–183

Jenkins G., J. Lowe. (2003): Handling uncertainties in the UKCIP02 scenarios of climate change Hadley Center Tech Note 44.

Jones R. G., Nogger M., Hassell D. C., Hudson D., Wilson S., Jenkins G., and Mitchell, J., (2004): Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Met Office Hadley Center, Exeter, UK, 40 pp.

Karmalkar AV., Taylor MA, Campbell J, Stephenson T, New M, Centella A, Bezanilla A, Charlery J (2012): A Review of Observed and Projected Changes in Climate for the Islands in the Caribbean. *Atmósfera*. 26, 283-309.

Martínez-Castro D., Porfirio da Rocha R, Bezanilla-Morlot A, Alvarez-Escudero L, Reyes J. P, Silva-Vidal Y, Arritt RW (2006): Sensitivity studies of the RegCM3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean Region. *Theor. Appl. Climatol*: 86, 1-4, p.5-22

McSweeney, C.F., Jones, R. G., and Booth, B.B.B (2012): Selecting ensemble members to provide regional climate change information, *J. Climate*, doi:10.1175/JCLI-D-11-00526.1, [http://405 dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00526.1](http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00526.1), 2012.

Murphy, J. M., D. M. H. Sexton, D. N. Barnett, G. S. Jones, M. J. Webb, M. Collins, and D. A. Stainforth, (2004): Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature*, 430, 768–772.

Nakicenovic, N., and R. Swart (eds.), (2000): Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

Planos E, R. Rivero y V. Guevara. Editores (2014): Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología. Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba, 430 pp.

Rivington M, Miller D, Matthews K B, Russell G, Buchan K. (2008): Evaluating Regional Climate Model estimates against site-specific observed data in the UK. *Climatic Change* 88(2):157–185.

Sanderson, B. M.: A Multimodel Study of Parametric Uncertainty in Predictions of Climate Response to Rising Greenhouse Gas Concentrations, *J. Climate*, 24, 1362–1377, doi:10.1175/2010jcli3498.1, 2011.

Simmons AJ, Burridge DM (1981): An energy and angular-momentum conserving vertical finite difference scheme and hybrid vertical coordinates. *Mon Weather Rev* 109:758–766

Soltura, E., A. González, R. Novo, G. Leiva, O. Vera, y E. Vázquez (2006): Mapa de potencial eólico de cuba. Aplicación del modelo de microescala WASP. Resultado científico técnico, INSMET, 47 pp.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012): An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498.

Taylor MA., A. Centella, J. Chalery, I. Borrajero, A. Bezanilla, A. Campbell, R. Rivero, T. Stephenson, E. Whyte, R. Watson (2007): Glimpses of the future. A briefing from the PRECIS Caribbean Climate Change Project, Caribbean Community Climate Change Center, Belmopan, Belize 24 pp.

Vichot-Llano A., Martínez-Castro D., Centella-Artola A., Bezanilla-Morlot A. (2014): Sensibilidad al cambio de dominio y resolución de tres configuraciones del modelo climático regional RegCM 4.3 para la región de América Central y el Caribe. *Revista de Climatología* 14 (<http://webs.ono.com/reclim11/reclim14e.pdf>)

Magaña V, Amador J. A, Medina S, (1999): The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12: 1577-1588.

Simmons A, Dee D, Uppala S, Kobayashi S (2007): ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. In: *ECMWF Newsl*, 110. ECMWF, p 29-35