

SIMULACION DEL CLLJ POR EL MODELO WRF

Propiedades climatológicas de la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ)

La CLLJ es reconocida como una característica climática dominante de la región de los Mares Intra Americanos (IAS) y de la piscina de aguas cálidas del hemisferio occidental (WHWP) -de la cual forman parte el mar Caribe y América Central-, presenta una estructura muy particular tanto horizontal, vertical y estacionalmente: consiste de un máximo del viento zonal con un promedio anual de 11 m/s, pero que varía estacionalmente entre 7 m/s y de 13 m/s) en la troposfera baja (verticalmente más fuerte en 925 hPa), localizado en el centro del mar Caribe (figura 1), específicamente en el cuadrante definido por las coordenadas 12.0°N - 16.0°N, 76°O - 71°O.

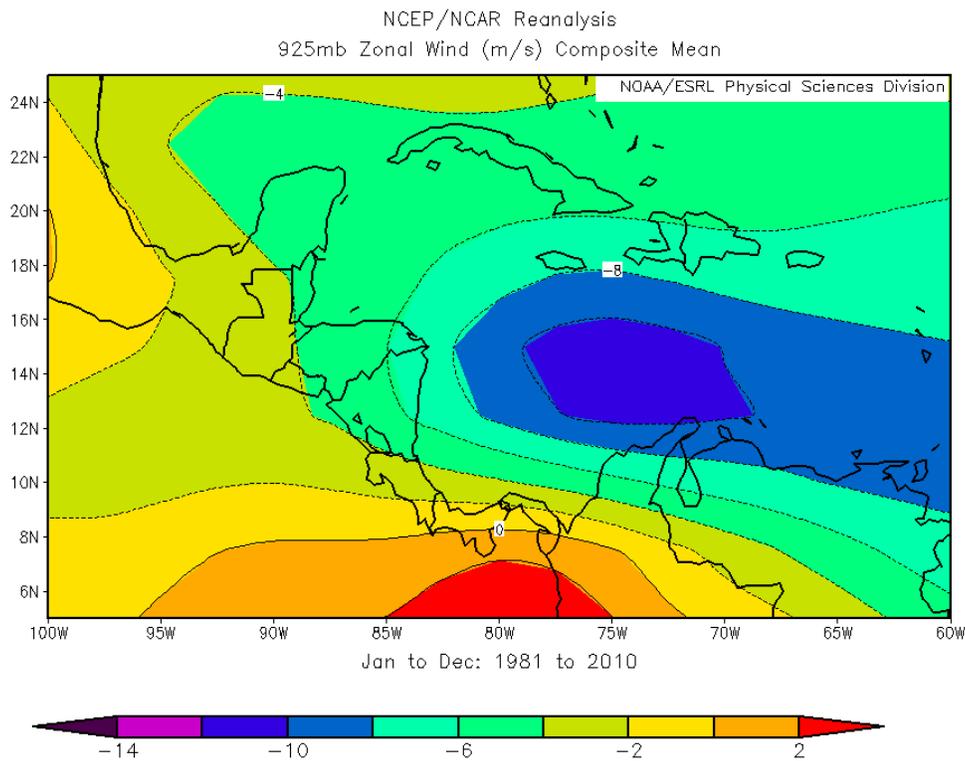


Figura 1. Climatología anual (1981-2010) de las isotacas de la componente zonal del viento (m/s) usando el reanálisis del NCEP/NCAR. Valores negativos (positivos) indican viento del este (oeste).

El ciclo anual de la magnitud del viento (figura 2) presenta un comportamiento bi-modal, con máximos (mínimos) en el verano y el invierno (otoño y la primavera). La magnitud de este chorro es mayor (menor) en el verano (otoño) que en el invierno (primavera). La importancia de la CLLJ estriba en su fuerte asociación y modulación con la temporada de lluvias en América Central y las islas del Caribe (Amador 1998, 2008; Mora & Amador, 2000; Muñoz et al. 2007; Taylor et al., 2002; Wang 2007;) principalmente con la sequía estival (conocida localmente como veranillo), así como con las intensas lluvias del otoño de la Zona de Confluencia Intertropical. Nótese en la figura 3 el ciclo anual de las precipitaciones en ciudad de Guatemala, la cual también muestra un carácter bimodal, caracterizado por una temporada seca entre noviembre y abril, y una temporada lluviosa entre mayo y octubre. En la temporada lluviosa se presentan máximos en junio y setiembre, y un mínimo intermedio entre julio y agosto, que corresponde a la sequía estival, conocida como veranillo o

canícula. El mínimo de lluvia asociado a la canícula ocurre simultáneamente con el máximo estival de la CLLJ, es decir, se establece un patrón de proporcionalidad inversa (correlación negativa) entre el CLLJ y la temporada lluviosa. Se ha observado que cuando la CLLJ es anómalamente fuerte (viento alisio más fuerte que lo normal) disminuye el total anual de la lluvia sobre el mar Caribe (Cook & Vizy 2010), sin embargo, por el contrario aumenta en la costa Caribe de Centroamérica, lo cual se atribuye al mayor transporte de humedad, al efecto de la convergencia friccional de gran escala a la salida del CLLJ y al ascenso orográfico por las pendientes orientales de las cordilleras centroamericanas. Por efecto Foehn de este flujo intensificado ocasiona también la disminución (aumento) de la humedad y la lluvias (temperaturas) en la costa Pacífica de Centroamérica (Amador 1998; Cook & Vizy 2010).

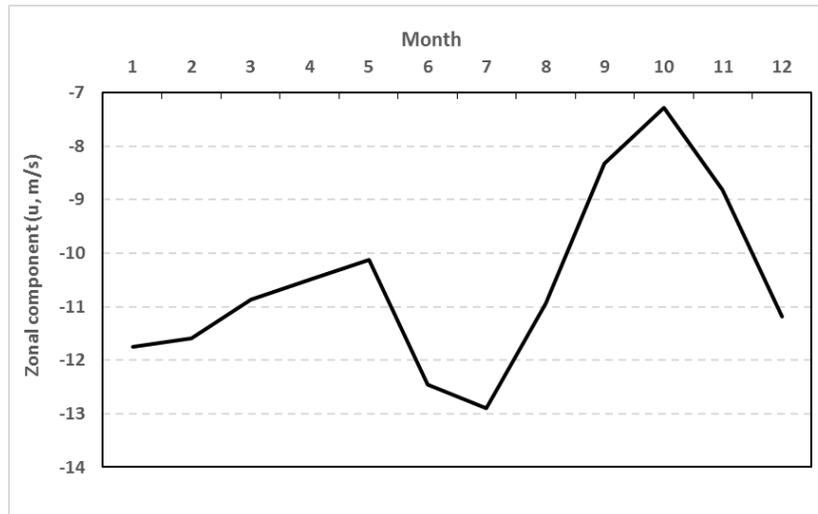


Figura 2. Ciclo anual de la componente zonal del viento (m/s) en 925 hPa en la zona del CLLJ, usando el reanálisis del NCEP/NCAR (NNRP) del periodo climatológico 1981-2010. Valores negativos (positivos) indican viento del este (oeste).

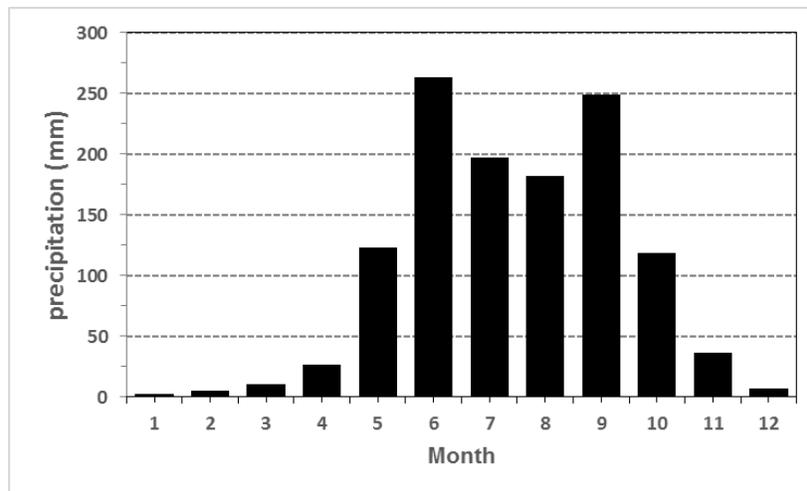


Figura 3. Ciclo anual de la lluvia (mm) en la ciudad de Guatemala para el periodo climatológico 1981-2010. Fuente: INSIVUMEH.

También se sabe que la CLLJ está correlacionada con otras señales atmosféricas y oceánicas, como por ejemplo ciclo de EL Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la temporada de ciclones tropicales, tanto la del Atlántico norte como la del Pacífico oriental (Amador et al.1999, 2000, 2006; Amador 2008; Wang 2007; Whyte et al., 2008). Por estas razones se desea examinar la evolución futura de la CLLJ en el contexto de los escenarios de cambio climático simulados por los modelos climáticos regionales. Específicamente se quiere investigar las variaciones que experimentaría en el mediano plazo (2061-2070) la CLLJ con respecto al clima actual, usando la regionalización del modelo WRF con el forzamiento del modelo climático global “Community Climate System Model (CCM4) del NCAR/UCAR.

En la actualidad existen varios estudios que utilizaron los escenarios de emisiones SRES (Nakicenovic, 2000) del IPCC en modelos climáticos regionales para examinar las proyecciones futuras en la región de Centroamérica y el Caribe (Castro et al., 2006; Taylor et al., 2013), sin embargo, quizá muy pocos (Oglesby, 2016) lo han hecho con los nuevos escenarios RCP (van Vuuren et al. 2011). Más aun, es posible que aún no se haya realizado un estudio relativo específicamente a las proyecciones del CLLJ usando los nuevos escenarios RCP’s. Campbell et al. (2010) presentaron un estudio con un enfoque similar usando el modelo PRECIS, pero con los escenarios SRES. En el presente estudio el modelo regional Weather Research and Forecasting (WRF/NCAR, Skamarock et al., 2008) es utilizado para simular la manifestación futura (2011-2010 y 2061-2070) del CLLJ bajo el escenario de emisiones RCP8.5.

Metodología

En general el esquema experimental es similar al seguido por Oglesby (2016), sin embargo con algunas diferencias en los dominios y la simulación de los periodos: histórico, línea base y futuro.

La tabla 1 muestra las especificaciones paramétricas de la simulación y el dominio del WRF.

WRF version	3.5		
Levels	29		
Time step	adaptive		
SW radiation	Dudhia		
LW radiation	RRTM		
Cumulus	Kain-Fritsch		
Microphysics	WSM5		
Boundary layer	YSU		
Surface layer	MM5 similarity		
Land-surface	Noah LSM		
SST update	TRUE		
GCM forcing	CCSM4-NCAR		
RCP-IPCC	8.5		
Domains		delta(km)	SNXWE
	d01	36	60x80
	d02	12	111x105
	d03	4	165x156

Tabla 1. Especificaciones y parametrizaciones del modelo WRF. Se incluyen los 3 dominios con sus respectivas resoluciones horizontales.

La tabla 2 es un resumen de los experimentos realizados con el WRF y en la figura 4 se puede apreciar el área geográfica cubierta por los 3 dominios. El dominio más externo (interno) es el de menor (mayor) resolución.

Scenario	Run name	Years	Climatology	Change	Offset
Historical	NNRP reanalysis	2001-2010	2001-2010 (HS)		
CCSM4_RCP8.5	Model baseline	2011-2020	2011-2020 (BL)	FT - BL	BL - HS
	Model future	2061-2070	2061-2070 (FT)		

Tabla 2. Descripción de los experimentos realizados con el WRF



Figura 4. Dominios del proyecto centrado en Guatemala, con resoluciones horizontal de 36 km, 12 y 4 km. Por razones obvias el análisis del CLLJ se concentró en el dominio de 36 km.

El escenario histórico (2001-2010) permite hacer comparaciones entre las simulaciones del WRF (forzado con el reanálisis del NNRP) y las observaciones climáticas de estaciones meteorológicas o con climatologías en formato de rejilla (grid), esto con el fin de evaluar la habilidad del modelo en reproducir el clima actual. Adicionalmente, uno o más escenarios de cambio climático fueron dinámicamente reducidos; cada uno de estos escenarios incluye dos simulaciones: la primera es para un período cercano al comienzo de las proyecciones de cambio climático (es decir, "el clima presente" o línea de base), y el segundo para un período de la misma duración 50 años después (es decir, "mediados de siglo"). El escenario de línea base (2011-2020) si bien está etiquetado como de clima presente, no significa que corresponde con el clima real de ese periodo, más bien representa condiciones que son similares, en un sentido climatológico, a las experimentadas a comienzos del siglo XXI. El escenario de clima futuro (2061-2070) representa las condiciones que son similares, en un sentido climatológico, a aquellas que se experimentarían a mediados del siglo XXI si el escenario RCP8.5 resultara ser cierto.

De acuerdo con la tabla 2, se han calculado dos conjuntos de datos más, los del “cambio” que se refieren a la diferencia entre el escenario futuro y el de línea base, y los de “offset” que son las diferencias entre el escenario de línea base (forzado por el CCM4) y el escenario histórico (forzado por el reanálisis NNRP).

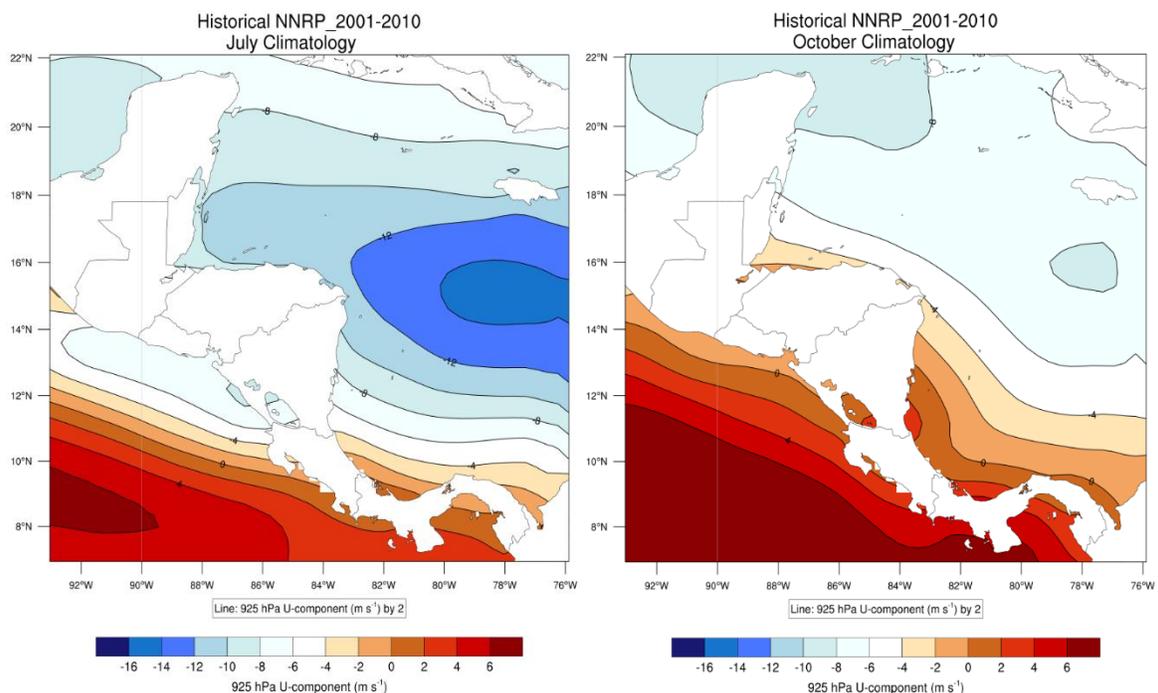
Es importante tener en cuenta que cualquier simulación de un modelo (sea este regional o global) es solo una realización de un posible clima en el futuro, a partir de las condiciones iniciales dadas y condiciones de contorno especificadas, el cual no se puede esperar que simule el clima de cualquier año específico, más bien, debe ser interpretado como un año representativo en un momento determinado del futuro.

Resultados

Evaluación del modelo

La verificación se realizará en una forma cualitativa a la simulación histórica del ciclo anual y el campo espacial horizontal, ambos de la componente zonal de viento en 925 hPa.

La figura 5 muestra que el modelo WRF logra capturar razonablemente bien la posición e intensidad del núcleo de máxima intensidad del CLL, patrón que es muy coherente con el conocimiento actual del comportamiento del CLLJ. Respecto al máximo de julio, el modelo ubica el núcleo en las coordenadas 15°N - 78°O, con una velocidad de 14 m/s a 16 m/s. Este núcleo muestra un gradiente más fuerte al sur que al norte. Con respecto a octubre, que es el mes en que es mínima la intensidad del CLLJ, las velocidades disminuyen en un 50% con respecto a las de julio, además de que el núcleo se ha fraccionado en dos, uno en la posición ya conocida, y el otro al sur del golfo de México. En julio se puede apreciar un segundo máximo (8 m/s a 10m/s) en la costa Pacífica de Nicaragua, el cual desaparece por completo en octubre. En la climatología de invierno ese máximo del Pacífico



(no hay figura) reaparece en su máxima amplitud y es conocido localmente como el chorro de Papagayo.

Figura 5. Variación horizontal de la componente zonal media del viento en el nivel de 925 hPa en el periodo histórico (2001-2010). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el reanálisis NNRP.

En términos de la variación horizontal de viento con la simulación del modelo para la línea base (clima actual con el forzamiento del modelo global CCSM4), el modelo simuló más amplio espacialmente y de mayor intensidad al núcleo del CLLJ, tanto en verano como en otoño. El máximo de julio está ahora entre 16 m/s y 18 m/s, mientras que el de octubre entre 12 m/s y 14 m/s. Lo anterior significa que hubo un aumento de 2 m/s a 4 m/s con respecto al periodo histórico. Esto bien podría significar un sesgo del modelo hacia velocidades más altas, aunque tampoco puede descartarse que sea parte de la misma variabilidad climática, la cual pudo haber experimentado una intensificación del CLLJ en la segunda década del siglo XXI. En julio el chorro de Papagayo se observa con velocidades de 14-16 m/s, que son más altas que las de la simulación histórica. En octubre el Papagayo también aparece mejor definido y con una mayor velocidad que en el periodo histórico.

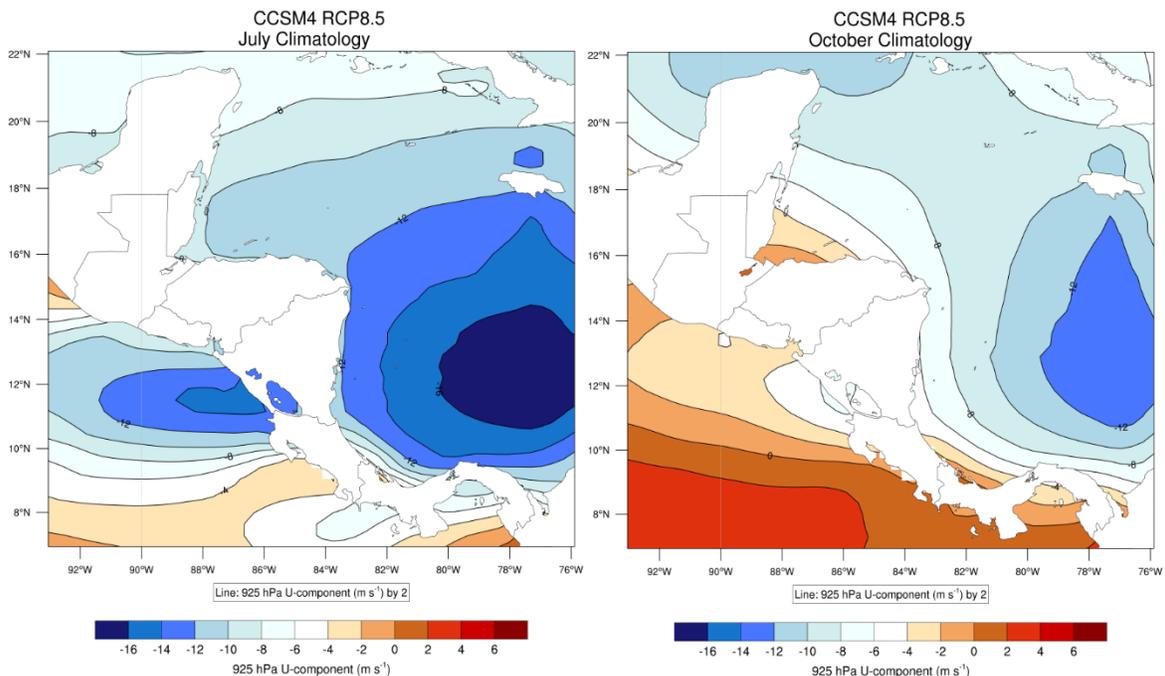


Figura 6. Variación horizontal de la componente zonal media del viento en el nivel de 925 hPa en el periodo de línea base (2011-2010). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4-NCAR y el RCP8.5.

La figura 7, correspondiente al ciclo anual de la componente zonal del viento en 925 hPa –según el experimento para el periodo histórico- también muestra un patrón muy consistente con el comportamiento real del CLLJ. Se observa una variación estacional muy marcada, con el extremo alto en verano (julio) y el bajo en el otoño (octubre). El máximo de octubre es de 14 m/s y el mínimo de octubre de 8 m/s. Un máximo y un mínimo secundario se presentan en el invierno (enero) y la primavera (mayo), respectivamente. No obstante, el ciclo anual en el periodo de línea base (figura 7) muestra cambios muy significativos con respecto al histórico, por ejemplo presenta una menor

variabilidad o rango (3.6 m/s vs 6.7 m/s) y cambios en la ubicación de los extremos, particularmente durante el otoño e invierno, por ejemplo el mínimo extremo de octubre se convirtió en un mínimo secundario, y el máximo secundario que había en el invierno es ahora el mínimo extremo. El único que permaneció invariable fue el máximo absoluto de julio, pero con una mayor magnitud. En promedio anual la magnitud del CLLJ aumentó en poco más de 1 m/s.

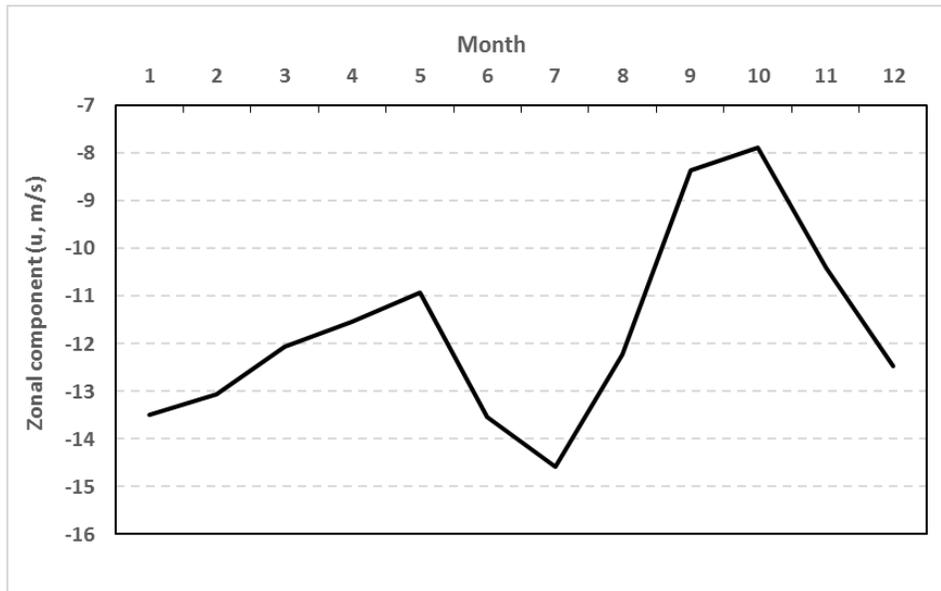


Figura 7. Variación mensual de la componente zonal (u, m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N, 78°O, para el periodo 2001-2010. Fuente: WRF forzado con el reanálisis NNRP.

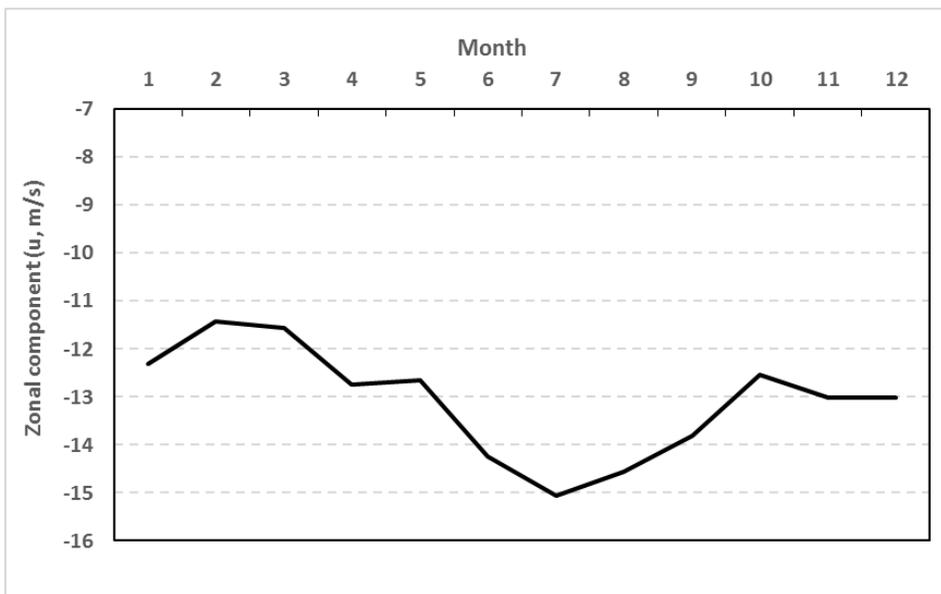
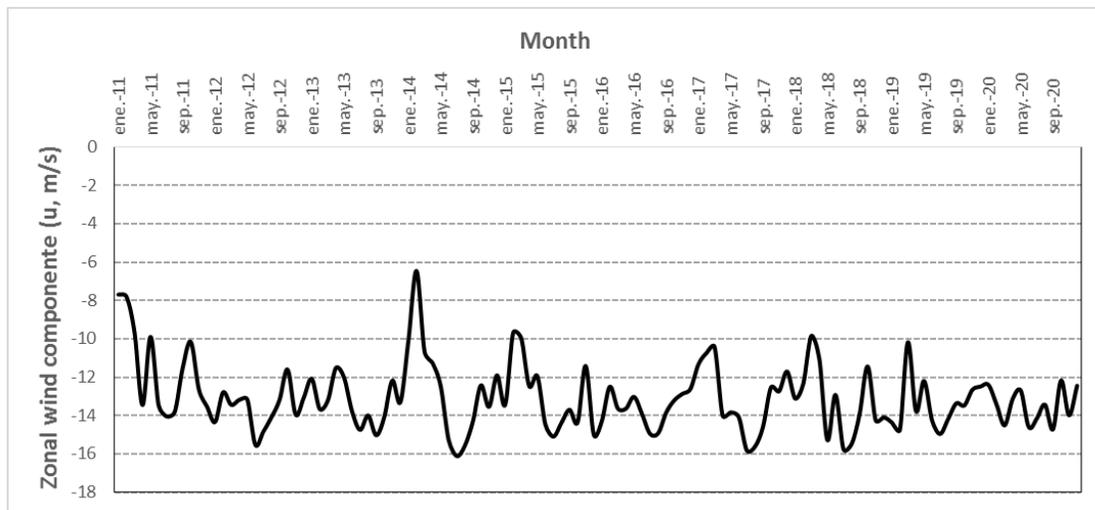
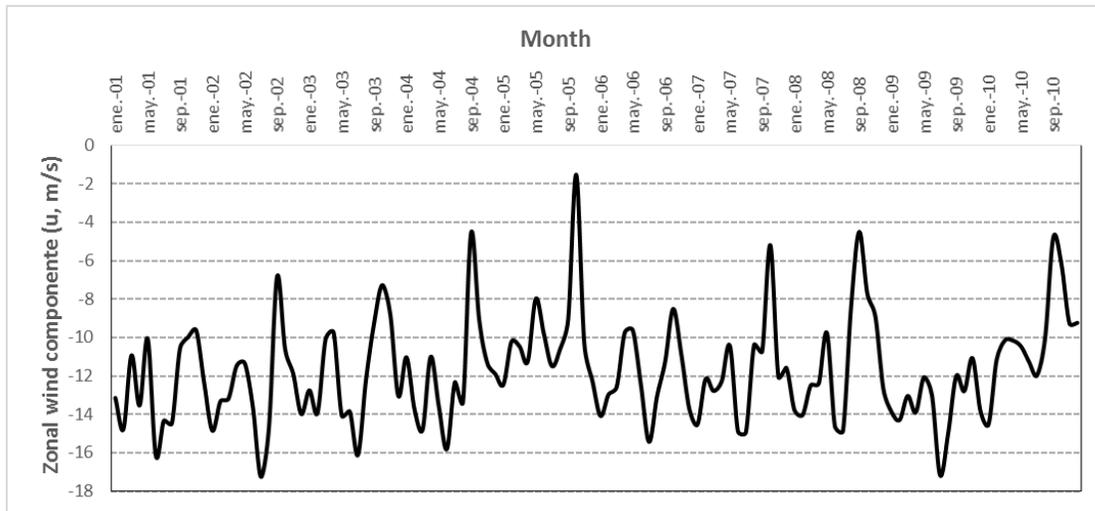


Figura 8. Variación mensual de la componente zonal (u, m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N, 78°O, para el periodo de línea base 2011-2020. Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.



Cambio climático futuro

Tal como se citó anteriormente, el escenario de cambio futuro se llevó a cabo utilizando solamente un escenario de emisiones, el RCP8.5, que asume una nula mitigación y por lo tanto el escenario con las más altas emisiones. Al igual que con la sección anterior, en ésta se describirán las variaciones de los patrones espaciales así como del ciclo anual.

La siguiente figura es la proyección de mediados de siglo, donde sigue siendo evidente y prominente el núcleo de velocidades altas asociados al CLLJ. La intensidad de ese núcleo no parece haber experimentado cambio alguno con respecto a la climatología de la línea base (figura 9 y 10, izquierda), pero sí de un aumento con respecto al escenario histórico. El chorro de Papagayo sí experimentó una mayor intensificación, lo cual se puede confirmar por la mayor área espacial de las isotacas cerradas. A diferencia de julio, en octubre (figura 9 y 10, derecha) sí se observó un aumento en la intensidad del CLLJ con respecto a los dos periodos anteriores.

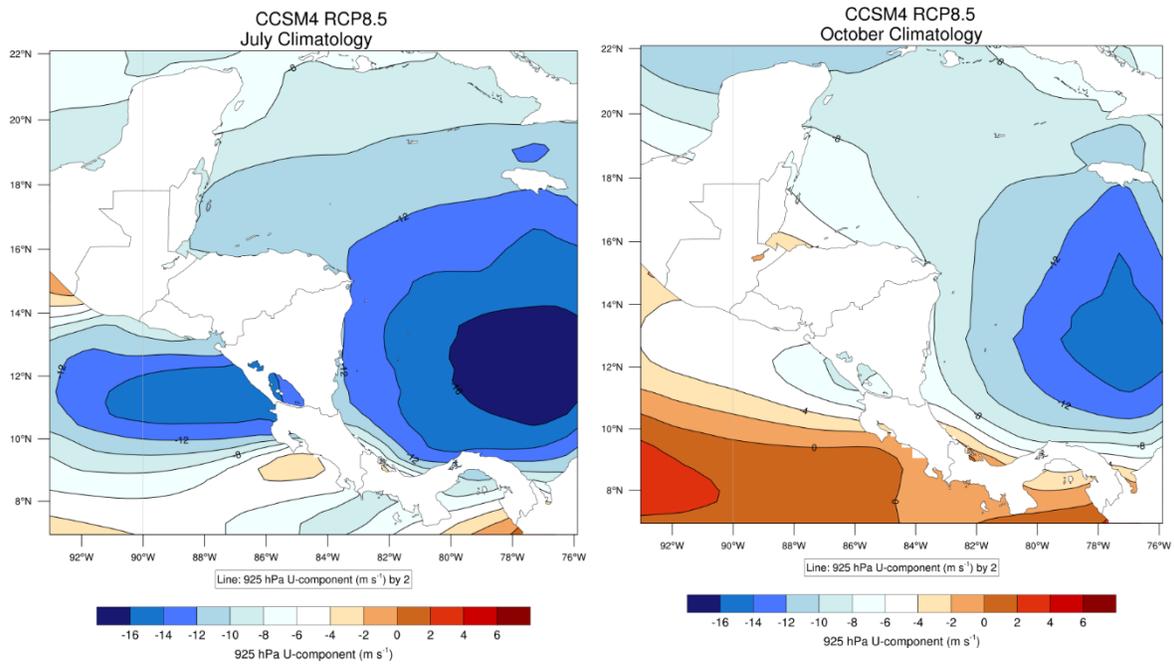


Figura 9. Variación horizontal de la componente zonal media del viento en el nivel de 925 hPa en el periodo de futuro (2061-2070). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4-NCAR y el RCP8.5.

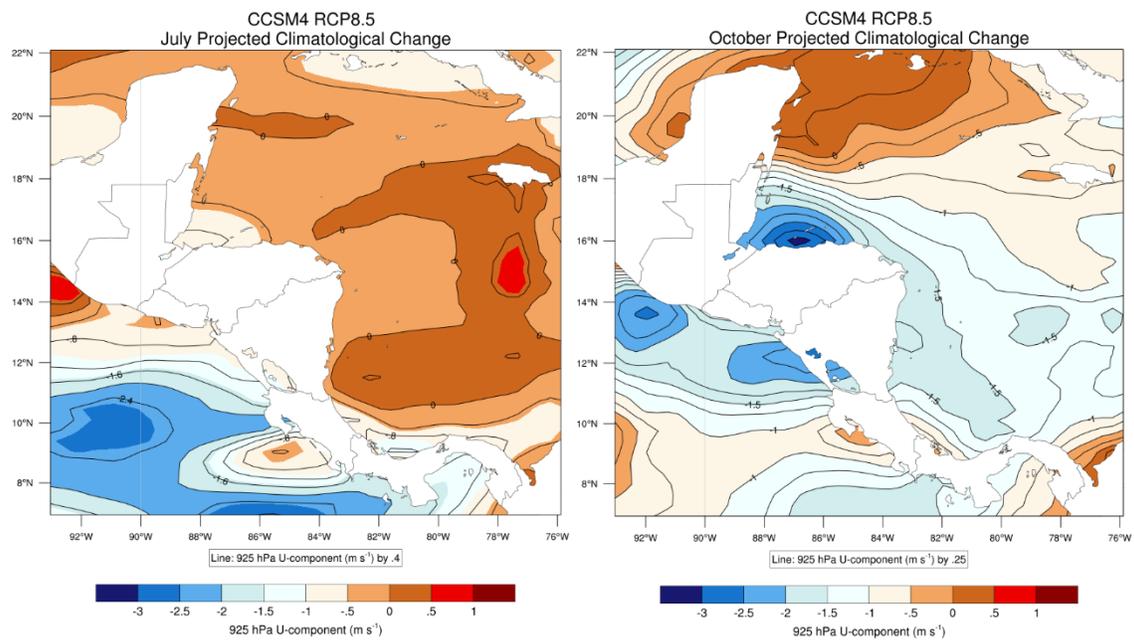


Figura 10. Cambio de la componente zonal media del viento en 925 hPa entre la simulación de futuro y la línea base (FT – HS). A la izquierda (derecha) el mes de julio (octubre). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4-NCAR y el RCP8.5.

El ciclo anual proyectado para mediados de siglo (figura 11) presenta velocidades que oscilan entre 12 m/s y 16 m/s, variabilidad que es aún más baja que la del periodo de clima presente y el histórico. (figuras 7 y 8). Esta condición se debe al aumento en la intensidad del mínimo del otoño y la poca o nula variación del máximo de verano. La figura 12 muestra la diferencia entre los escenarios de futuro y el de línea base, donde se puede observar que la intensidad del CLLJ manifiesta un aumento poco significativo (0 – 1.5 m/s) con respecto al clima presente, salvo un leve debilitamiento del máximo del verano. Al calcular el cambio con respecto al periodo histórico (2001-2010), para el cual el modelo WRF ha sido forzado con el reanálisis NRP, igualmente se observa un aumento en la velocidad del CLLJ, no obstante se notan diferencias más significativas en la primavera y el otoño, en los cuales los aumentos llegan hasta los 6 m/s.

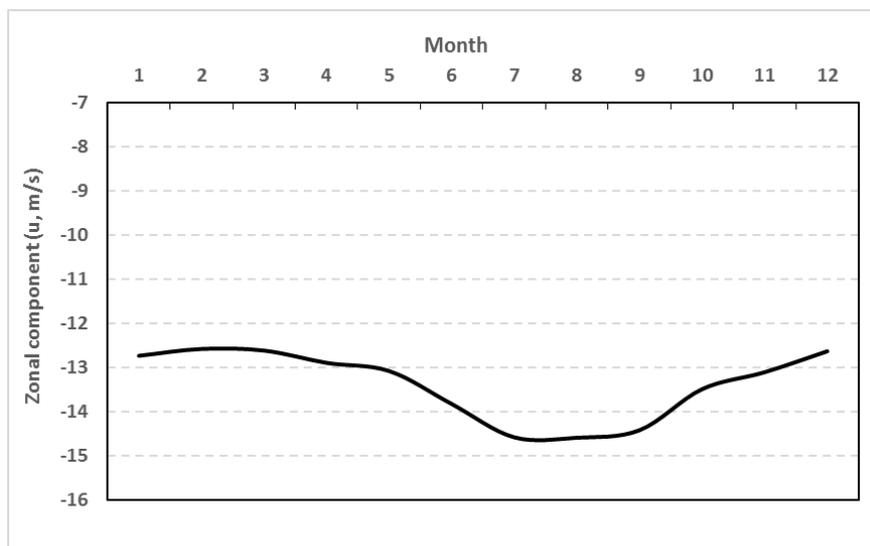


Figura 11. Variación mensual de la componente zonal (u , m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N , 78°O , para el escenario futuro (2061-2070). Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.

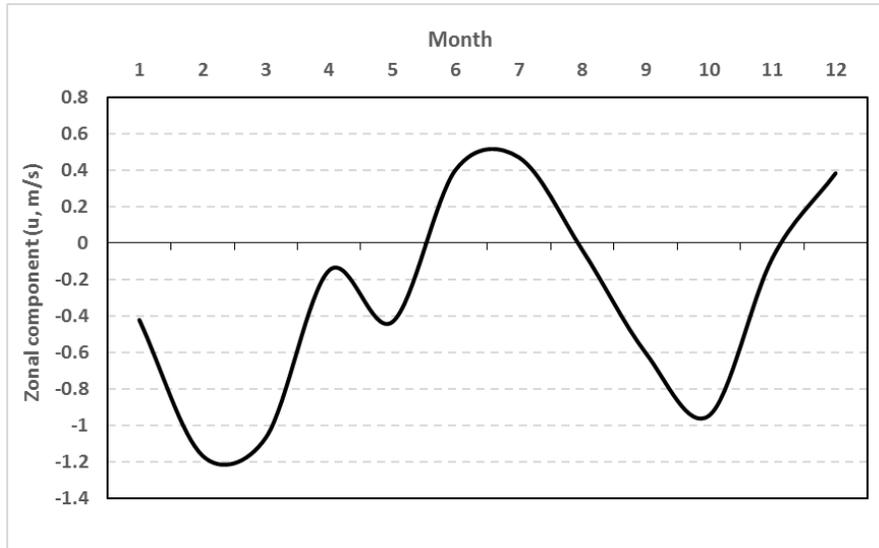


Figura 12. Cambio entre el escenario futuro (2061-2070) y el de línea base (2011-2020) de la componente zonal (u , m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N , 78°O . Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.

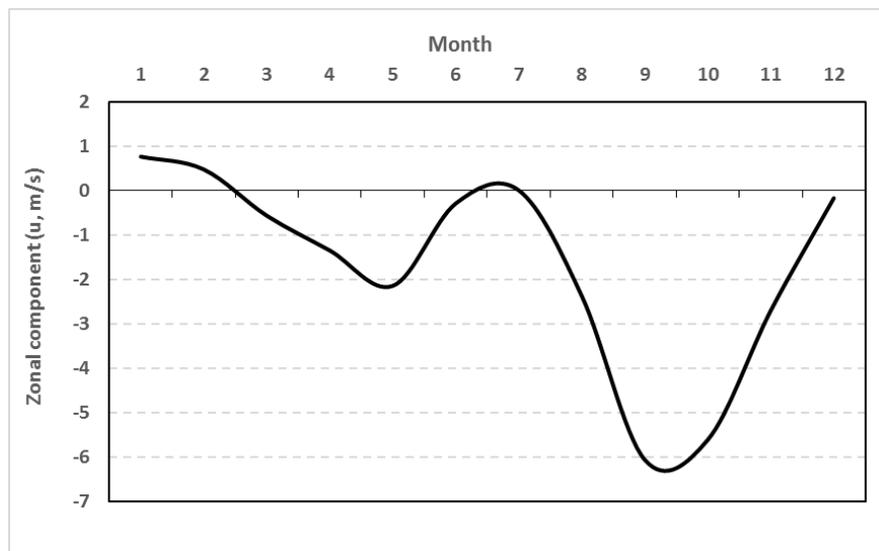


Figura 12. Cambio entre el escenario futuro (2061-2070) y el histórico (2001-2010) de la componente zonal (u , m/s) del viento para el nivel de 925 hPa en el punto 15°N , 78°O . Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.

Como bien es sabido, el CLLJ influye significativamente en la temporada de lluvias de Centroamérica, en este sentido el incremento en la intensidad del CLLJ proyectado por el modelo WRF tiene el efecto de ocasionar una disminución significativa en el ciclo anual de la lluvia de la ciudad de Guatemala (ubicada a sotavento de la dirección de los vientos del este). Según la figura 13 las

disminuciones llegan hasta un 50% en meses como julio y setiembre. Esto significa que el veranillo o canícula sería más intenso que en el clima actual, incluso se podría interpretar que se extendería a setiembre.

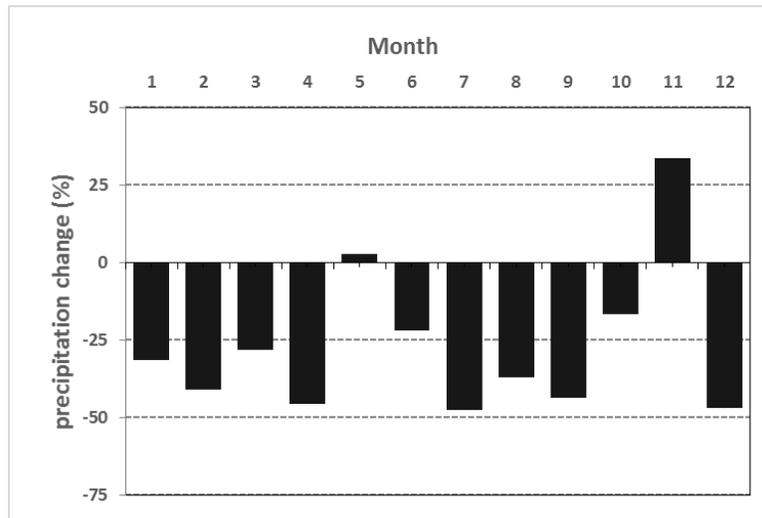
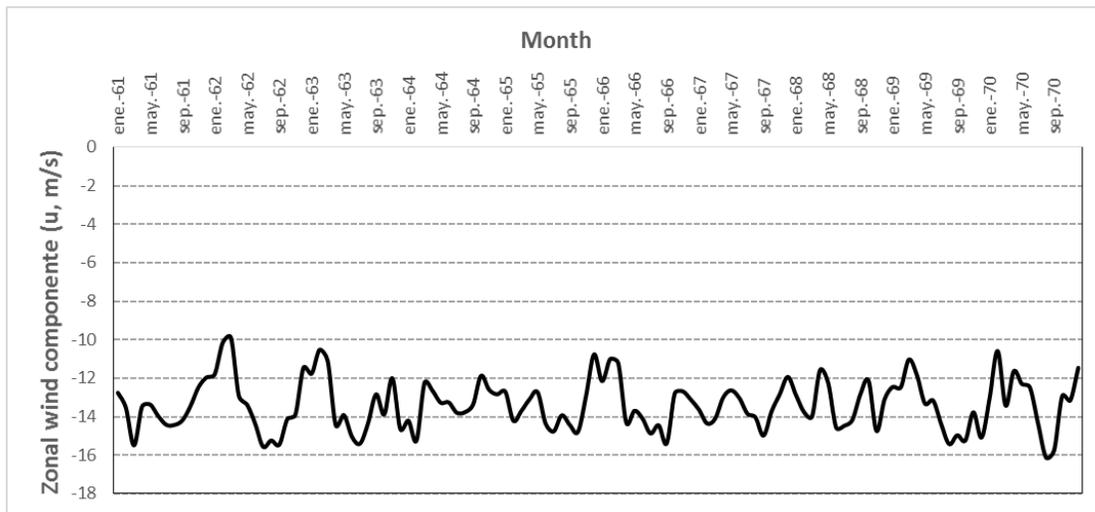


Figura 13. Cambio entre el escenario futuro (2061-2070) y el de línea base (2011-2020) de la lluvia en la ciudad de Guatemala. Fuente: WRF forzado con el modelo global CCSM4 y el RCP8.5.



REFERENCIAS

Mora, I. & J.A. Amador. 2000. El ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. *Top. Meteor. Oceanogr.* 7: 1–20. Available at the Instituto Meteorológico Nacional. (<http://www.imn.ac.cr/publicaciones/index.html>), San José, Costa Rica.

Chunzai Wang, 2007. Variability of the Caribbean Low-Level Jet and its relations to climate. *Clim. Dyn* (2007) 29:411–422.

- Muñoz, E., Busalacchi, A.J., Nigam, S. and Ruiz-Barradas, A., 2007. Winter and summer structure of the Caribbean Low-level Jet. *Journal of Climate*, 21, 1260–1276.
- Amador, J.A., 2008. The Intra-Americas Sea Low-level Jet, overview and future research. *Annals of the New York Academy of Science*, 1146, 153–188. doi: 10.1196/annals.1446.012
- Amador, J.A. and Magaña, V.O., 1999. Dynamics of the low level jet over the Caribbean Sea. In: *Preprints, 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*. American Meteorological Society, Dallas, Texas, 868–869.
- Taylor MA, Enfield DB, Chen AA. 2002. The influence of the tropical Atlantic vs. the tropical Pacific on Caribbean Rainfall. *Journal of Geophysical Research* 107(c9).
- Campbell JD, Taylor MA, Stephenson TS, Watson RA, Whyte FS. 2010. Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of Climatology* 31: 1866–1878.
- Castro DM, da Rocha RP, Benzanilla-Morlot A, Alvarez-Escudero L, Reyes-Fernandez JP, Silva-Vidal Y, Artritt RW. 2006. Sensitivity studies of the RegCM3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean region. *Theoretical and Applied Climatology* 86: 5–22.
- Diro, G.T., Rauscher, S.A., Giorgi, F. and Tompkins, A.M. (2012) Sensitivity of Seasonal Climate and Diurnal Precipitation over Central America to Land and Sea Surface Schemes in RegCM4. *Climate Research*, 52, 31-48.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grubler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Raihi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z. 2000. IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K., 2011. The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 109 (1-2), 5-31.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X-Y., Wang, W. and Powers, J.G. (2008) A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, 113 p.
- Gent, P.R., Danabasoglu, G., Donner, L.J., Holland, M.M., Hunke, E.C., Jayne, S.R., Lawrence, D.M., Neale, R.B., Rasch, P.J., Vertenstein, M., Worley, P.H., Yang, Z.-L. and Zhang, M. (2011) The Community Climate System Model Version 4. *Journal of Climate*, 24, 4973-4991.
- Oglesby, R. , Rowe, C. , Grunwaldt, A. , Ferreira, I. , Ruiz, F. , Campbell, J. , Alvarado, L. , Argenal, F. , Olmedo, B. , del Castillo, A. , Lopez, P. , Matos, E. , Nava, Y. , Perez, C. and Perez, J. (2016) A High-Resolution Modeling Strategy to Assess Impacts of Climate Change for Mesoamerica and the Caribbean. *American Journal of Climate Change*, 5, 202-228.



REGIONAL CLIMATE CHANGE CONSORTIUM

FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

**Changes in the seasonality of precipitation and temperature in the mid-century under a RCP8.5 scenario for Colombia
(Project BID – UNL)**

**José Franklyn Ruiz Murcia
Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies
IDEAM – Colombia**

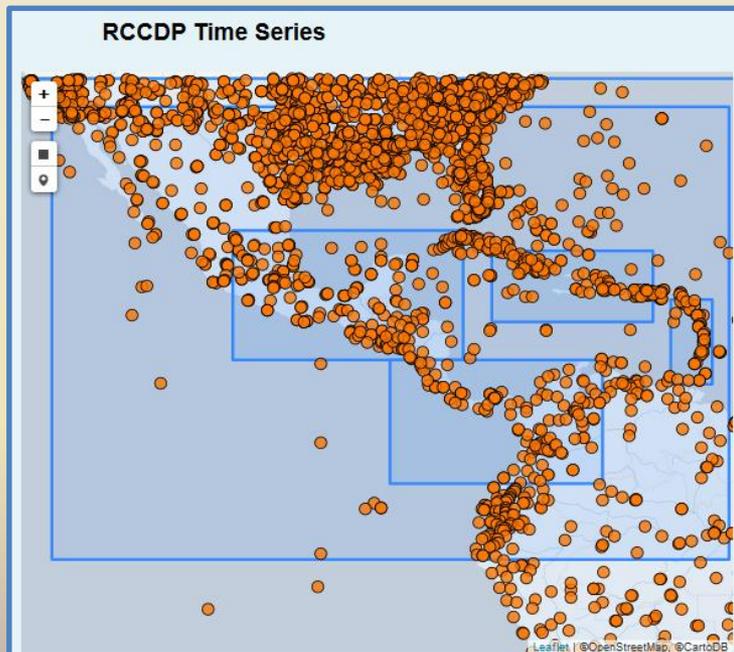
BACKGROUND

Research Articles

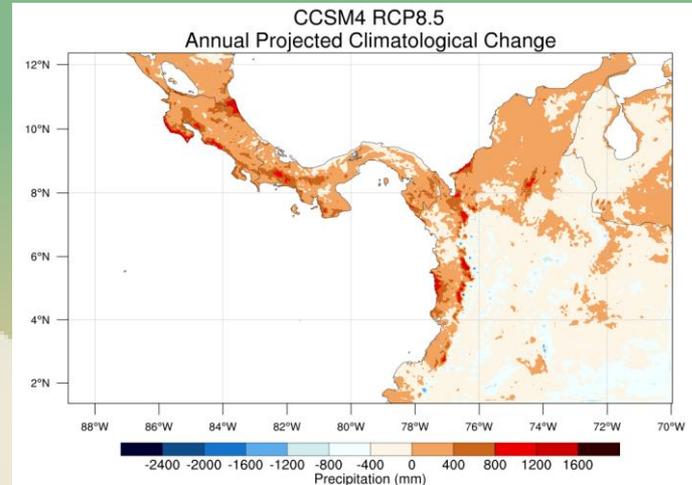
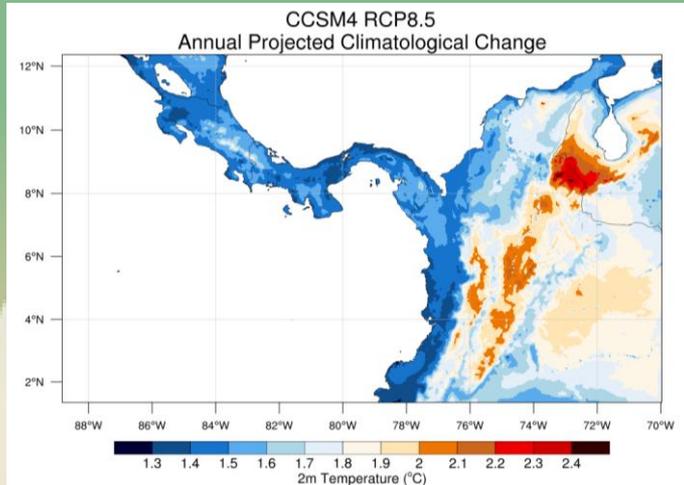
- o Oglesby, R., Rowe, C., Grunwaldt, A., Ferreira, I., Ruiz, F., Campbell, J., Alvarado, L., Argenal, F., Olmedo, B., del Castillo, A., Lopez, P., Matos, E., Nava, Y., Perez, C. and Perez, J. 2016: A High-Resolution Modeling Strategy to Assess Impacts of Climate Change for Mesoamerica and the Caribbean, *American Journal of Climate Change*, 5, 202-228. 

Latin American and Caribbean (LAC) Consortium Downscaling Simulations

Project	Domains		Scenarios	Runs	Years	Climatology	Change	Offset
Mesoamerica	d01	d04	Historical	NNRP	1991-1993	1991-1993 (HS)		
	d02	d05	CCSM4_rcp85	Baseline	2006-2010	2006-2010 (BL)	FT - BL	BL - HS
	d03	d06		Future	2056-2060	2056-2060 (FT)		



		Mesoamerica	
WRF version	3.3		
Levels	27		
Time step	adaptive		
SW radiation	Dudhia		
LW radiation	RRTM		
Cumulus	Kain-Fritsch		
Microphysics	WSM5		
Boundary layer	YSU		
Surface layer	MMS similarity		
Land-surface	Noah LSM		
SST update	true		
Domains	d01	(36km)	[207 × 177]
name (delta) [SN × WE]	d02	(12km)	[552 × 375]
	d03	(4km)	[564 × 321]
	d04	(4km)	[393 × 177]
	d05	(4km)	[519 × 306]
	d06	(4km)	[210 × 102]



Priority areas



Agriculture and food security



Disaster risk reduction



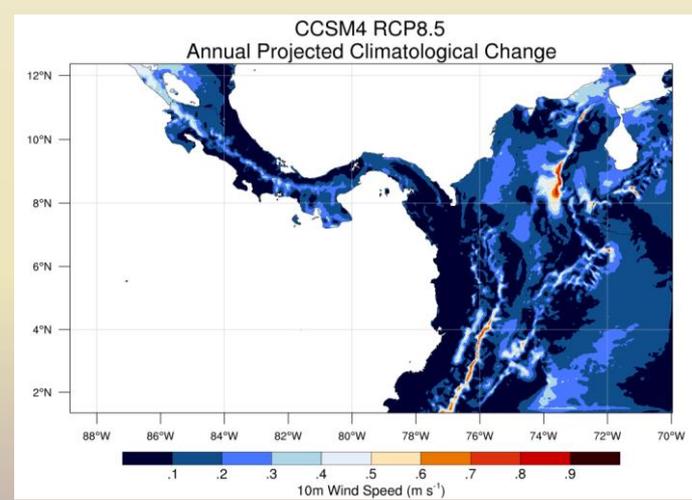
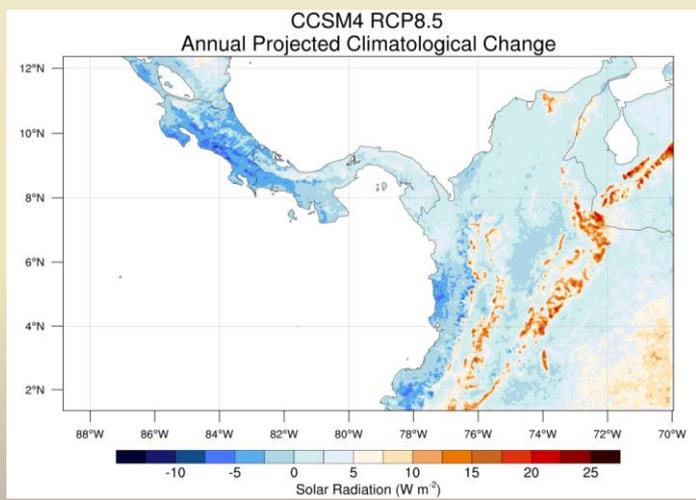
Energy

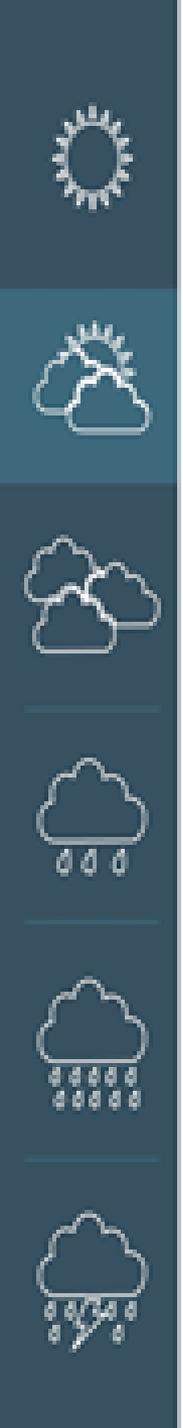


Health

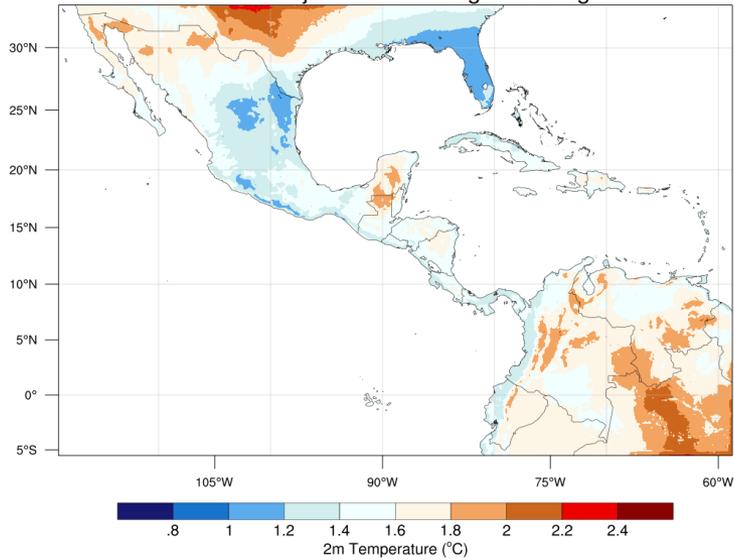


Water

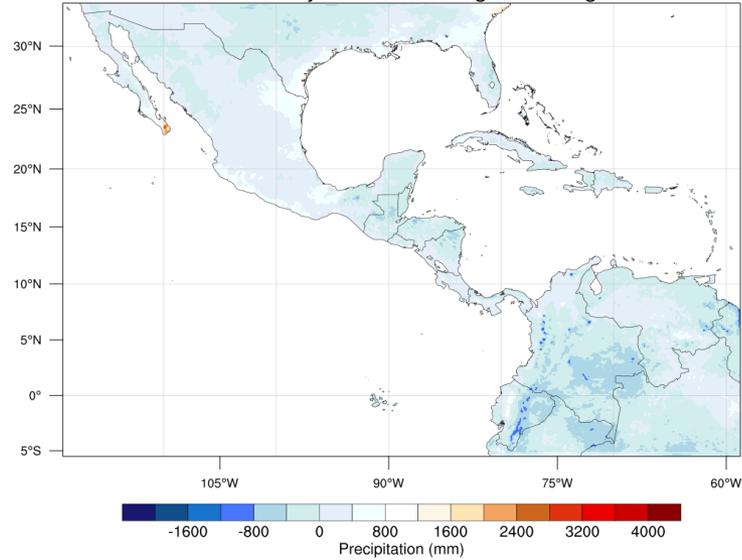




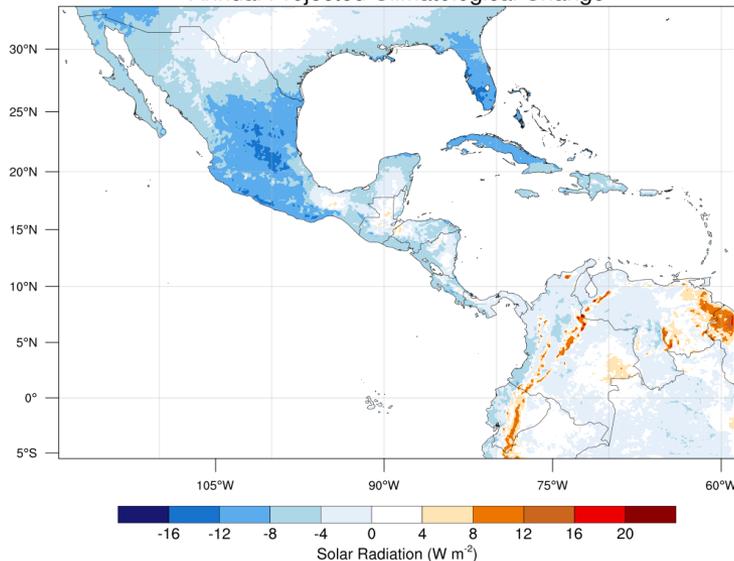
CCSM4 RCP8.5
Annual Projected Climatological Change



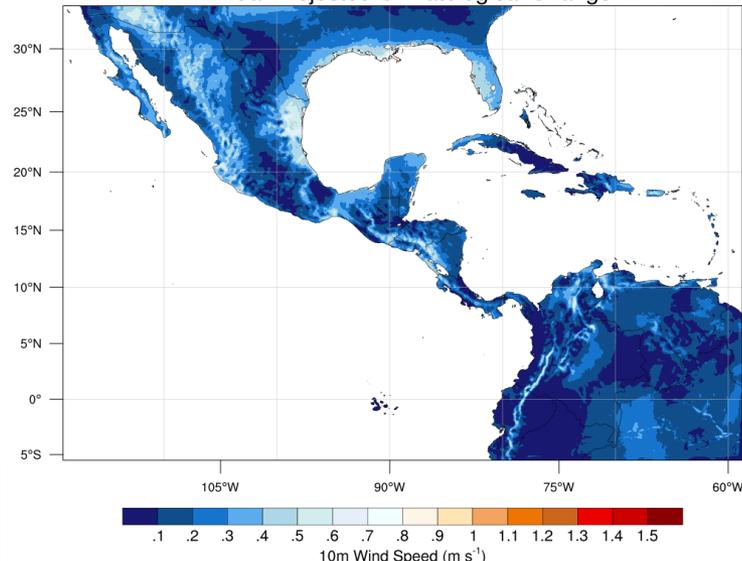
CCSM4 RCP8.5
Annual Projected Climatological Change



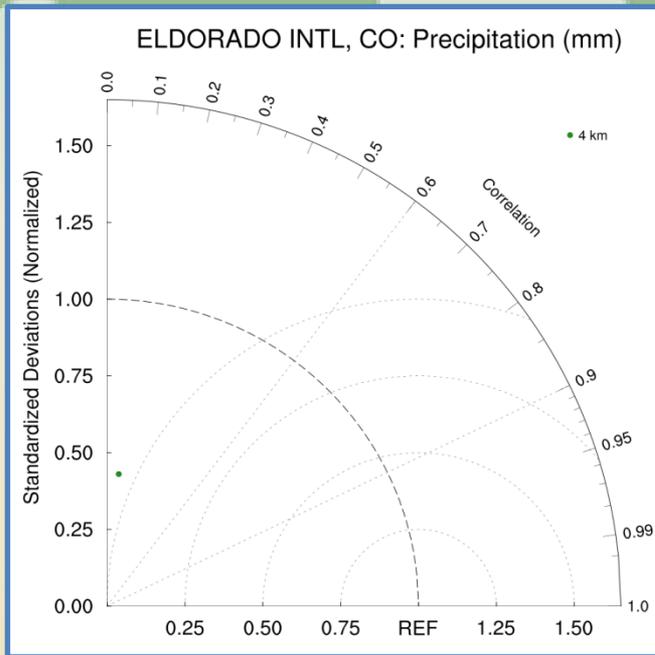
CCSM4 RCP8.5
Annual Projected Climatological Change



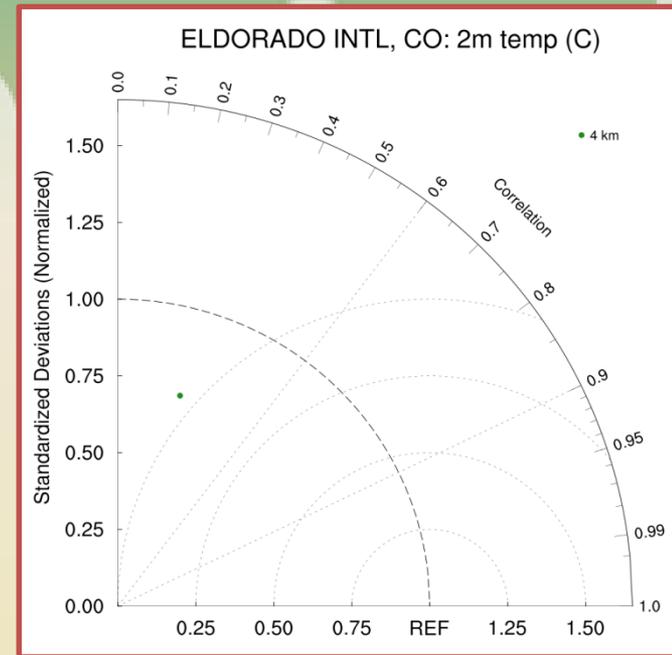
CCSM4 RCP8.5
Annual Projected Climatological Change



VERIFICATION FOR RAINFALL AND TEMPERATURE NNRP



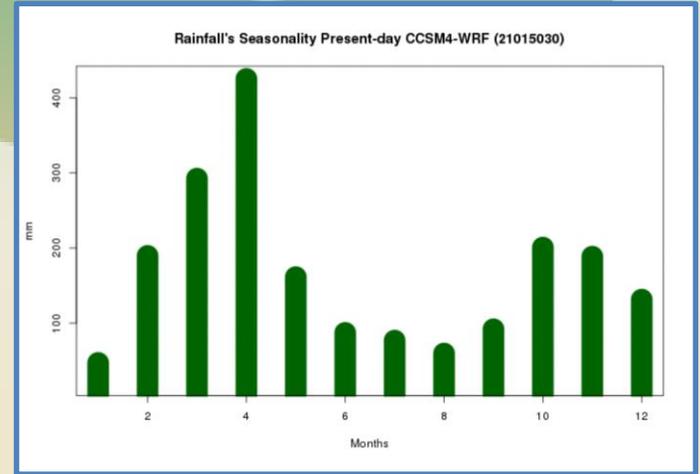
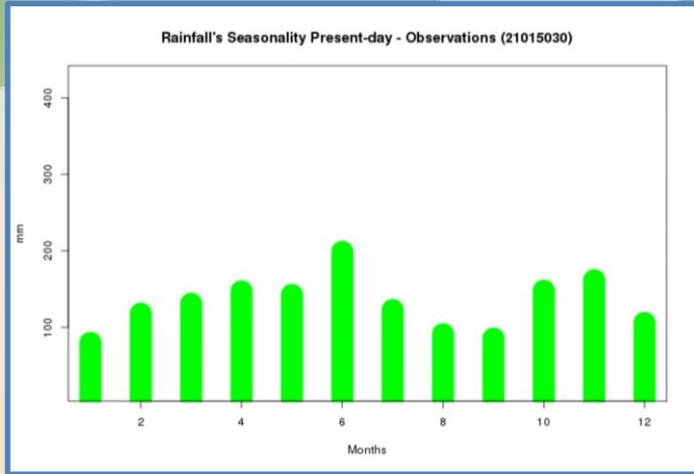
ELDORADO INTL	CO: Precipitation (mm)	
N=1096/1096	Obs	4km
Mean	1.71	2.47
Std. Dev.	8.95	3.86
Bias		0.75
MAE		3.14
RMSE		9.46
Correlation		0.087
Elev (m)	2548	2264
Dist (km)		1



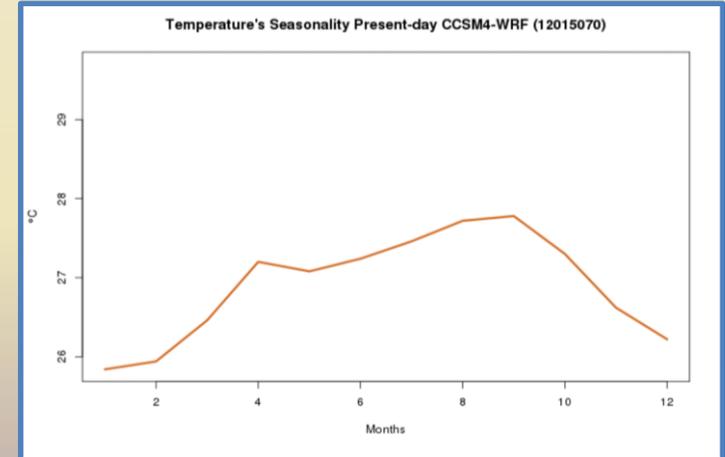
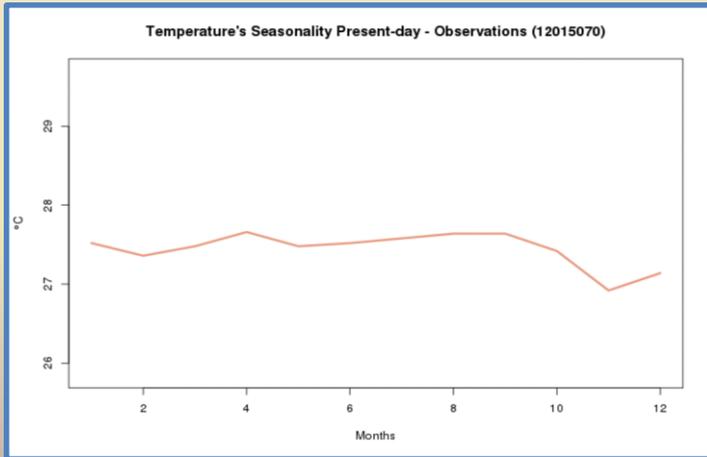
ELDORADO INTL	CO: 2m temp (C)	
N=1053/1096	Obs	4km
Mean	13.54	15.42
Std. Dev.	1.22	0.87
Bias		1.89
MAE		2
RMSE		2.28
Correlation		0.279
Elev (m)	2548	2264
Dist (km)		1

SEASONAL CYCLE (Región: Sinú – San Jorge - Porce)

Precipitation



Temperature



Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment

Aavudai Anandhi,¹ Allan Frei,^{1,2} Donald C. Pierson,³ Elliot M. Schneiderman,³ Mark S. Zion,³ David Lounsbury,³ and Adao H. Matonse¹

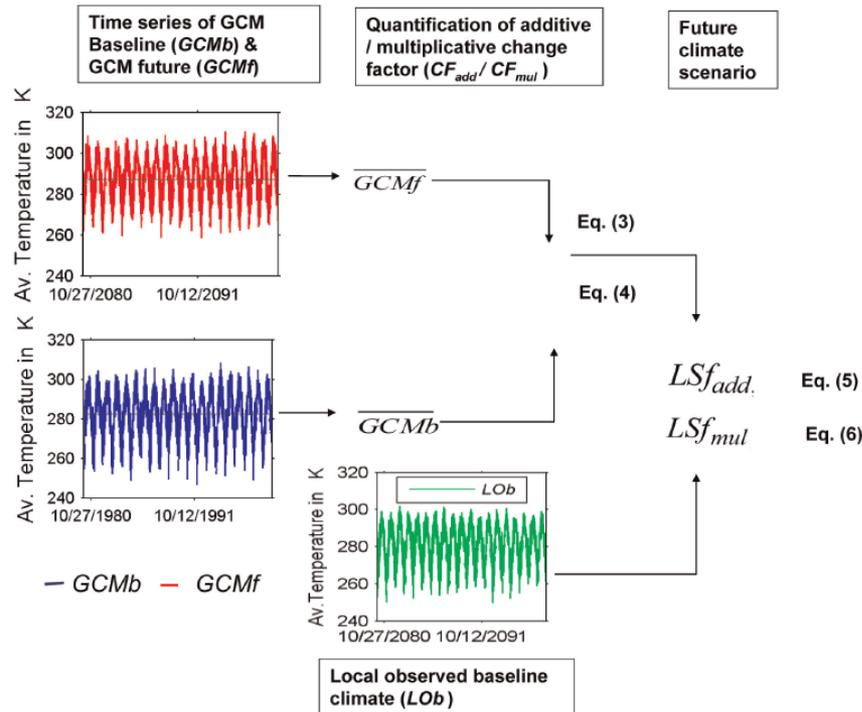


Figure 1. Methodology to estimate future scenarios using "Single additive" and "Single multiplicative" change factors.

$$\overline{GCMb} = \sum_{i=1}^{Nb} GCMb_i / Nb$$

$$\overline{GCMf} = \sum_{i=1}^{Nf} GCMf_i / Nf$$

$$CF_{add} = \overline{GCMf} - \overline{GCMb}$$

$$CF_{mul} = GCMf / GCMb$$

$$LSf_{add,i} = LOb_i + CF_{add}$$

$$LSf_{mul,i} = LOb_i \times CF_{mul}$$

Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment

Aavudai Anandhi,¹ Allan Frei,^{1,2} Donald C. Pierson,³ Elliot M. Schneiderman,³ Mark S. Zion,³ David Lounsbury,³ and Adao H. Matonse¹

$$\overline{GCMb} = \sum_{i=1}^{Nb} GCMb_i / Nb$$

Average CCSM4 Present-day

$$\overline{GCMf} = \sum_{i=1}^{Nf} GCMf_i / Nf$$

Average CCSM4 Mid-Century

$$CF_{add} = \overline{GCMf} - \overline{GCMb}$$

Applied to temperature (CCSM4)

$$CF_{mul} = GCMf / GCMb$$

Applied to precipitation (CCSM4)

Mid-century adjusted with observations in Present-day

$$LSf_{add,i} = LOb_i + CF_{add}$$

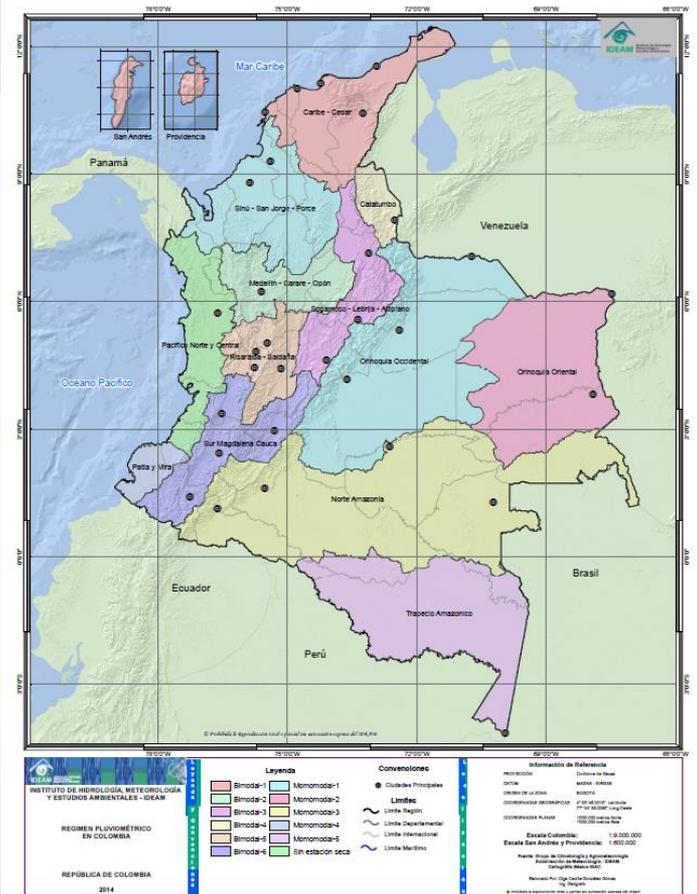
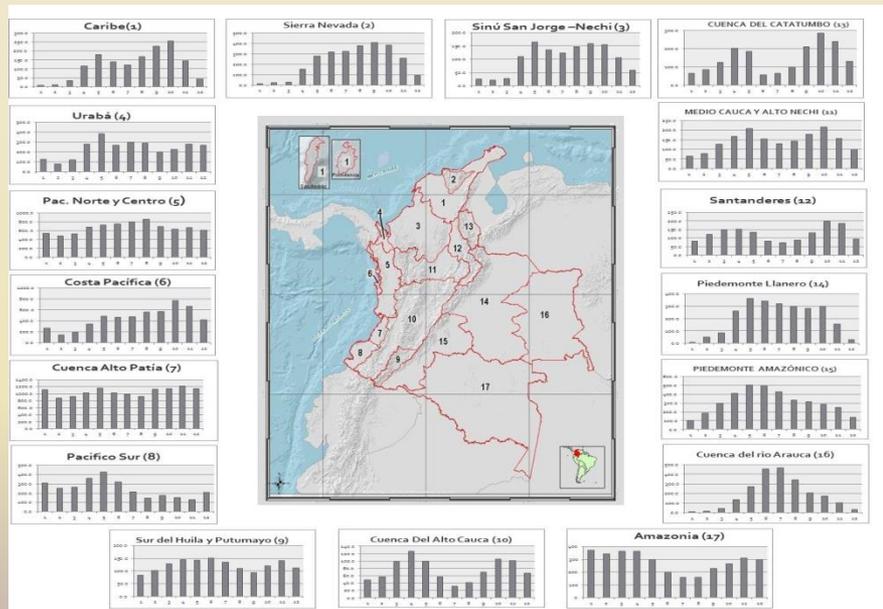
Applied to temperature (CCSM4)

$$LSf_{mul,i} = LOb_i \times CF_{mul}$$

Applied to precipitation (CCSM4)

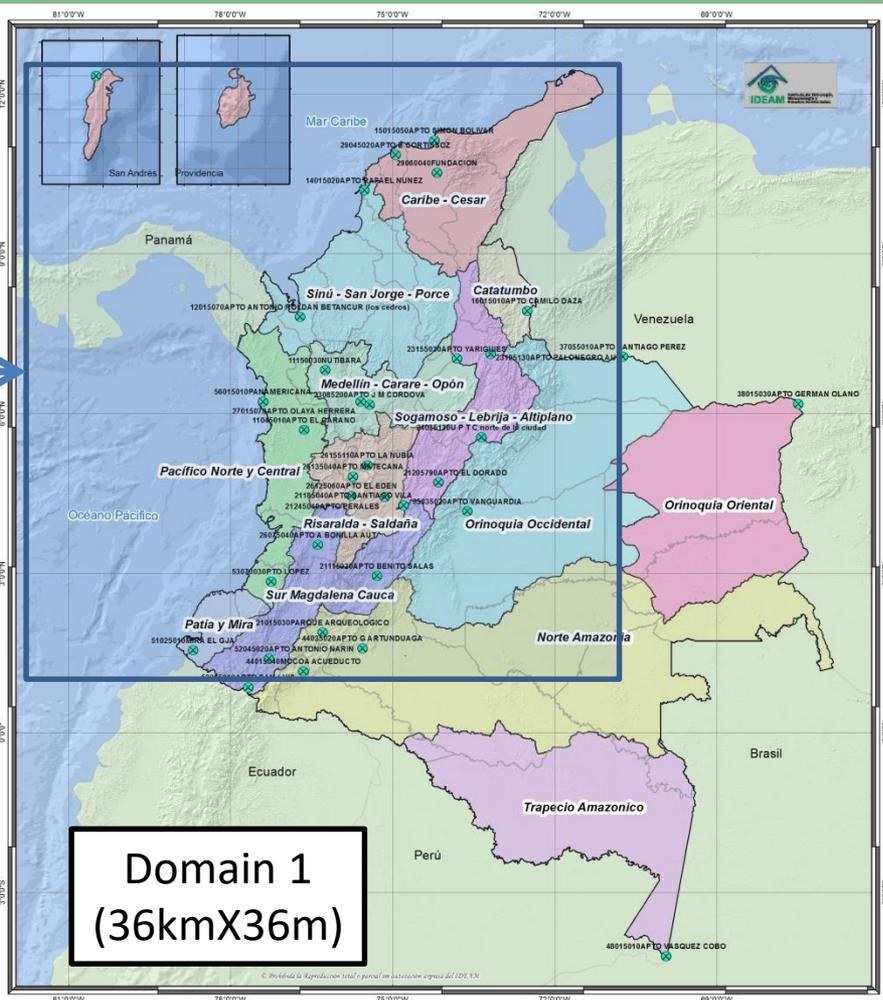
REGIONALIZACIÓN DE COLOMBIA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, A TRAVÉS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Guzmán D.; Ruíz, J. F.; Cadena M.
Subdirección de Meteorología – IDEAM
(2014)





Domain 4
(4kmX4m)



Domain 1
(36kmX36m)



INSTITUTE OF HYDROLOGY, METEOROLOGY AND ENVIRONMENTAL STUDIES - IDEAM

RAINFALL HOMOGENEOUS REGION

REPUBLIC OF COLOMBIA
2014

Legend

 Bimodal-1	 Monomodal-1
 Bimodal-2	 Monomodal-2
 Bimodal-3	 Monomodal-3
 Bimodal-4	 Monomodal-4
 Bimodal-5	 Monomodal-5
 Bimodal-5	 Sin estación seca

Conventions

● Estación

Límite Región

Límite Departamental

Límite Internacional

Límite Marítimo

Reference Information

PROJECTION: Conforming to Geoid

DATA: BASICA - OROGAS

ORIGIN OF THE AREA: BOGOTÁ

GEOGRAPHICAL COORDINATES: 4° 20' 46.3215" Lat North
77° 04' 46.0289" Long West

FLAT COORDINATES: 1590.000 meters North
1590.000 meters East

Scale Colombia: 1:9.000.000

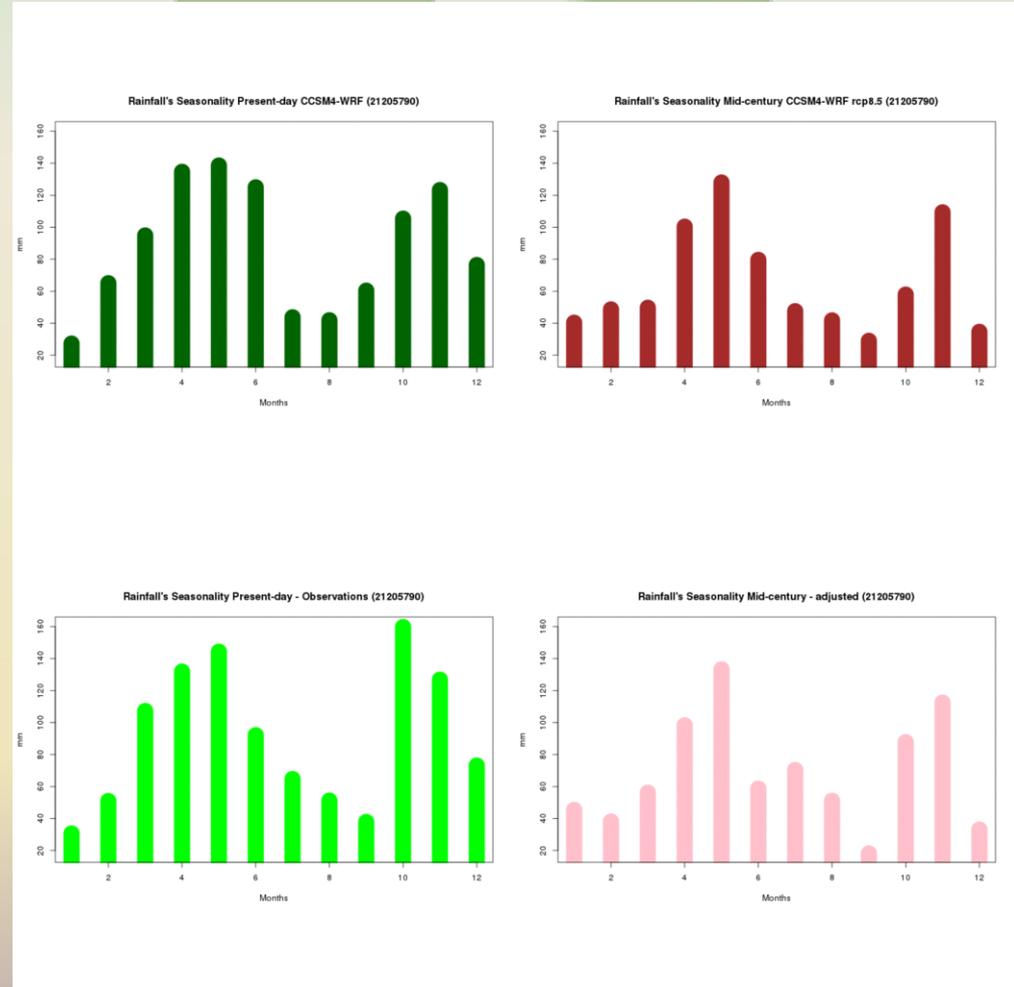
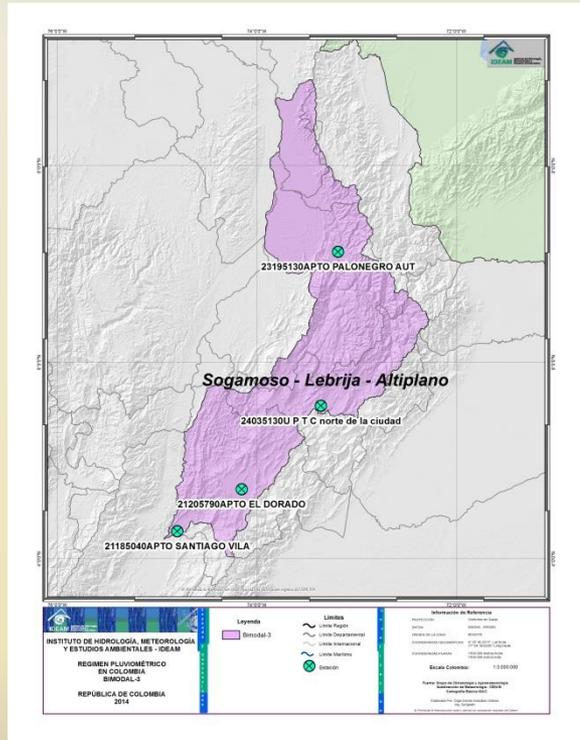
Source: Climatology and Agroclimatology Group
Subdirección de Meteorología - IDEAM
Basic Cartography IGAC

Produced by: Sandra Milena Herrera Aguirre
Cartografía Engineer and Geoscientist

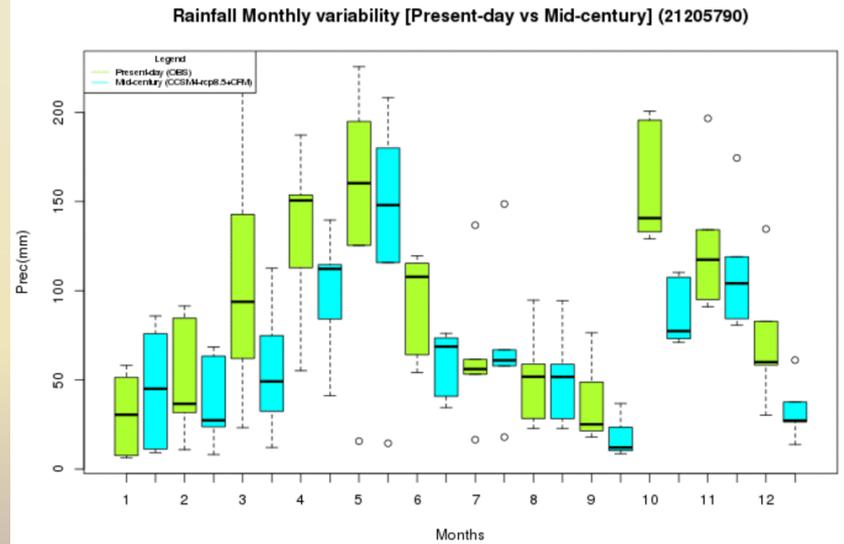
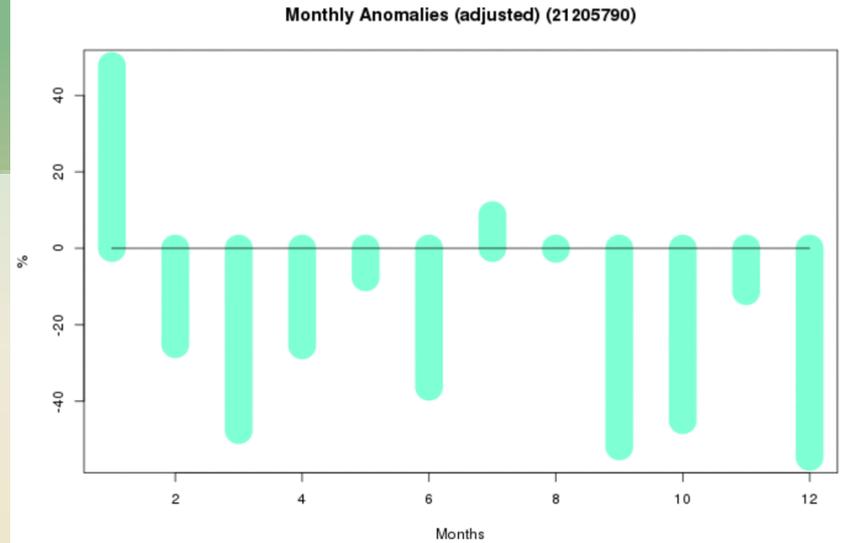
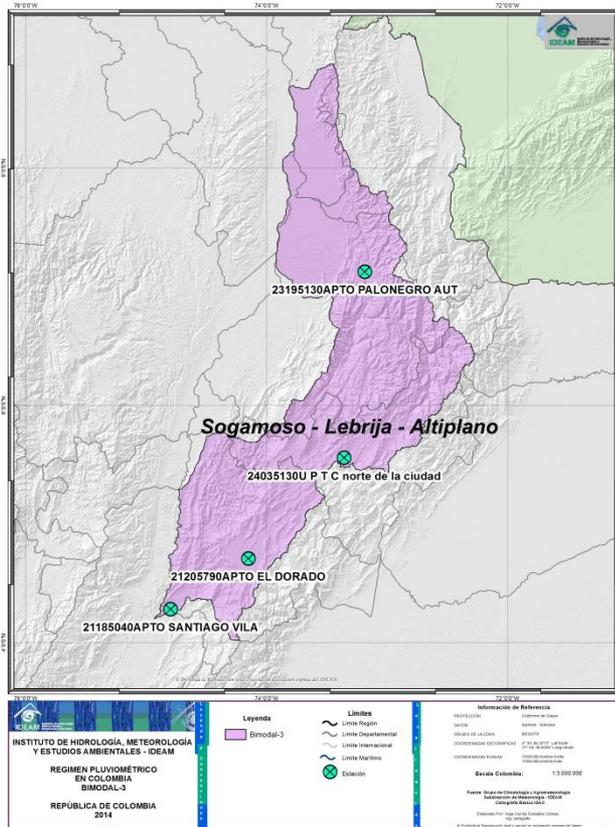
© 2014 IDEAM. Todos los derechos reservados. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra.



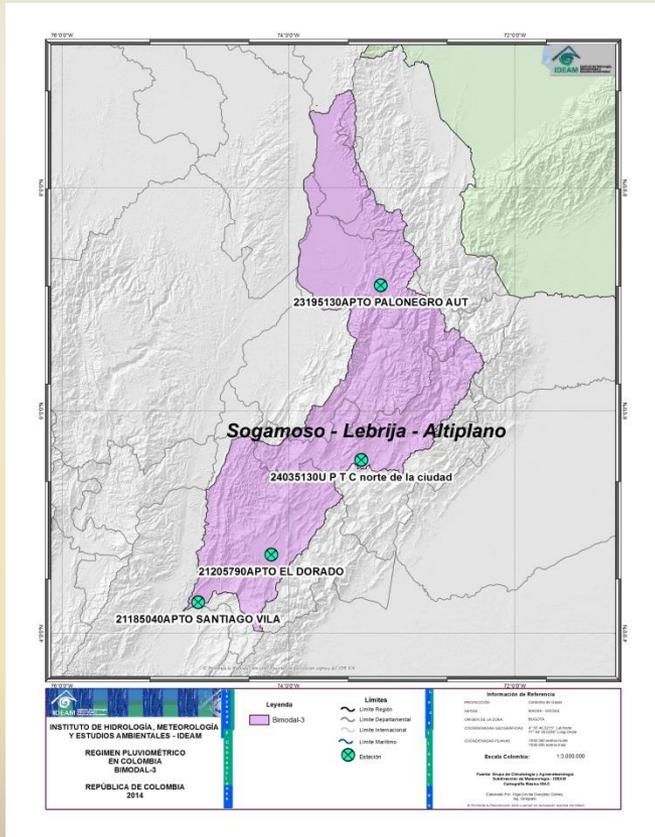
Comparison between Present-day and Mid-century simulated by CCSM4 (downscaling WRF) and adjusted with Change Factor Methodology Case: Precipitation



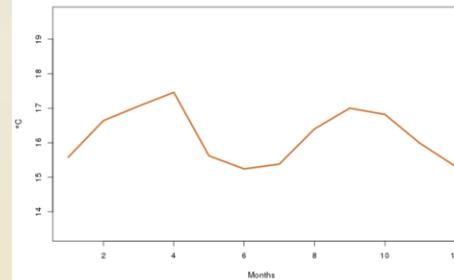
Climate Change given by the simulation adjusted Case: Precipitation



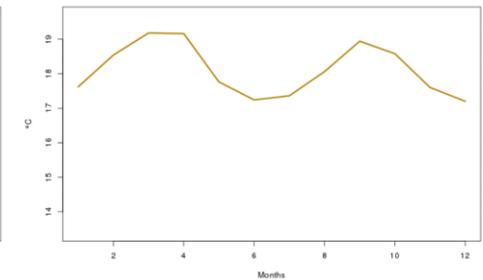
Comparison between Present-day and Mid-century simulated by CCSM4 (downscaling WRF) and adjusted with Change Factor Methodology Case: Temperature



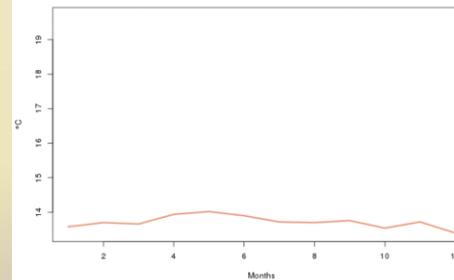
Temperature's Seasonality Present-day CCSM4-WRF (21205790)



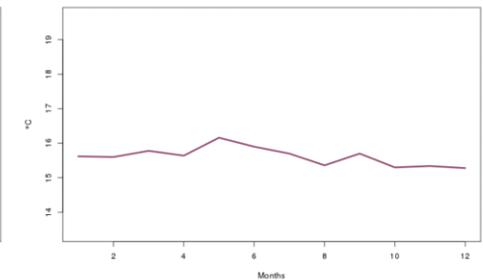
Temperature's Seasonality Mid-century CCSM4-WRF rcp8.5 (21205790)



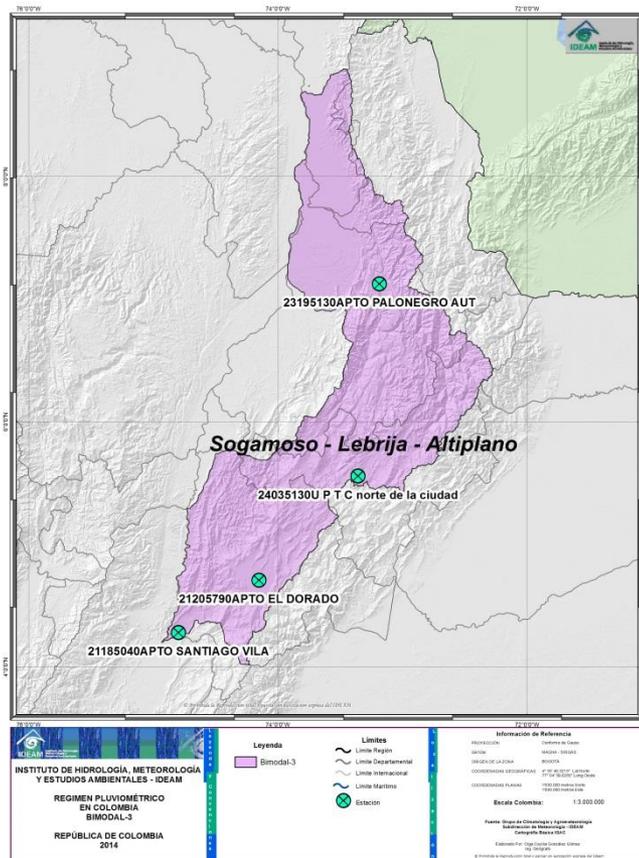
Temperature's Seasonality Present-day - Observations (21205790)



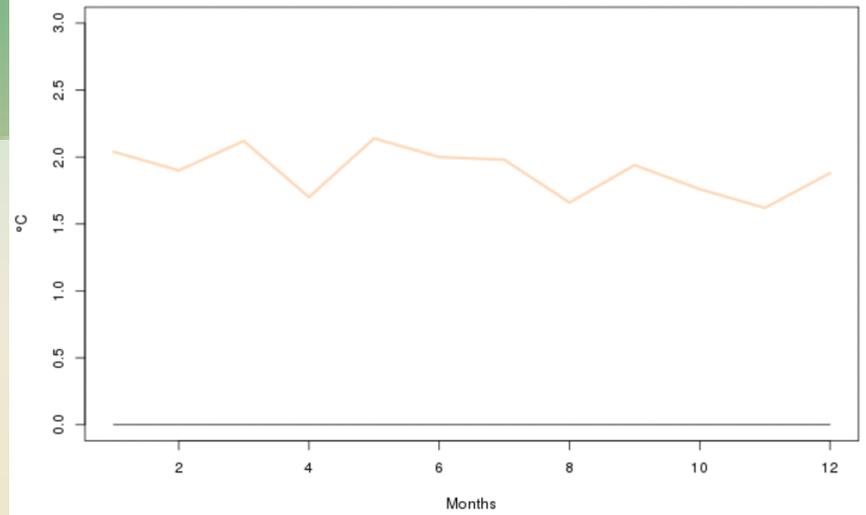
Temperature's Seasonality Mid-century - adjusted (21205790)



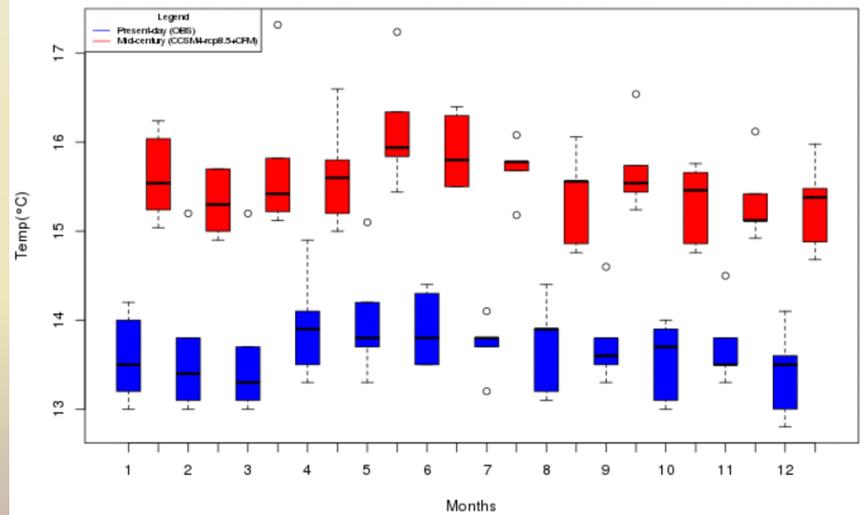
Climate Change given by the simulation adjusted Case: Temperature



Monthly Anomalies (adjusted) (21205790)

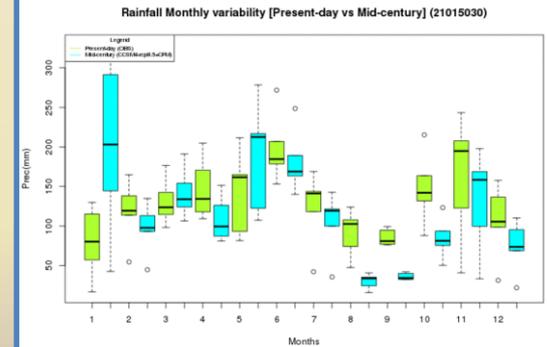
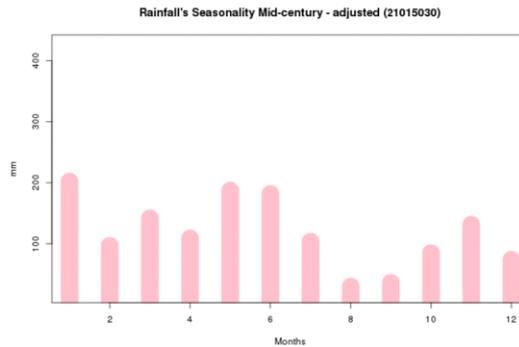
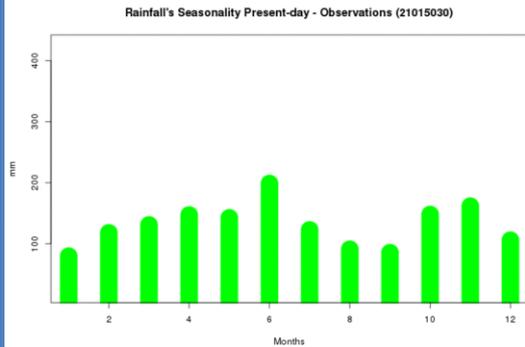
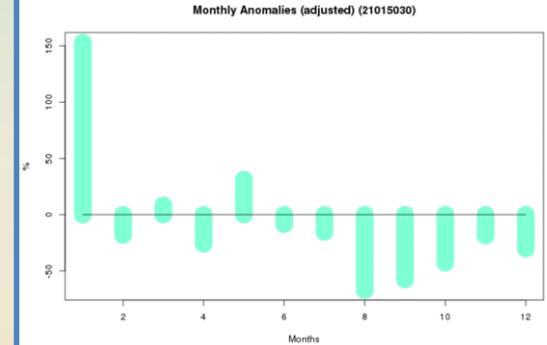
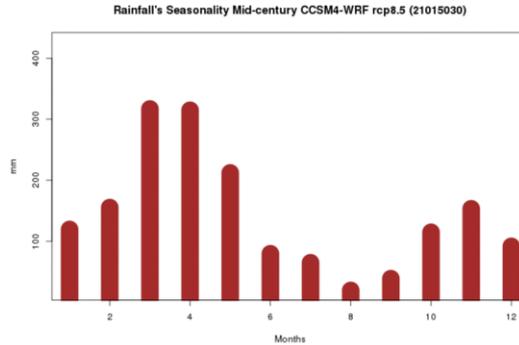
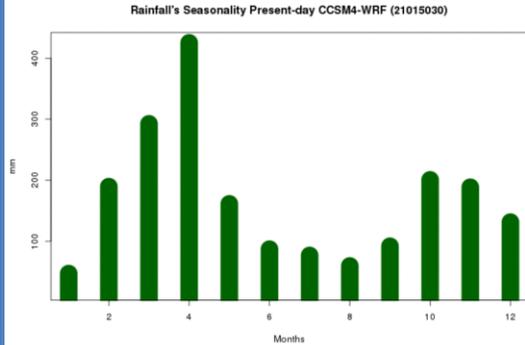


Temperature Monthly variability [Present-day vs Mid-century] (21205790)



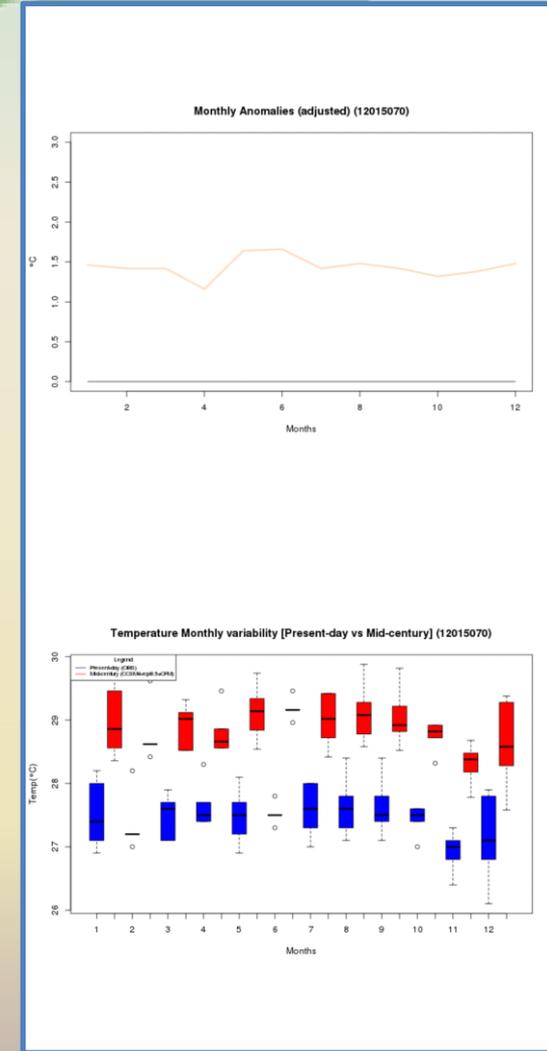
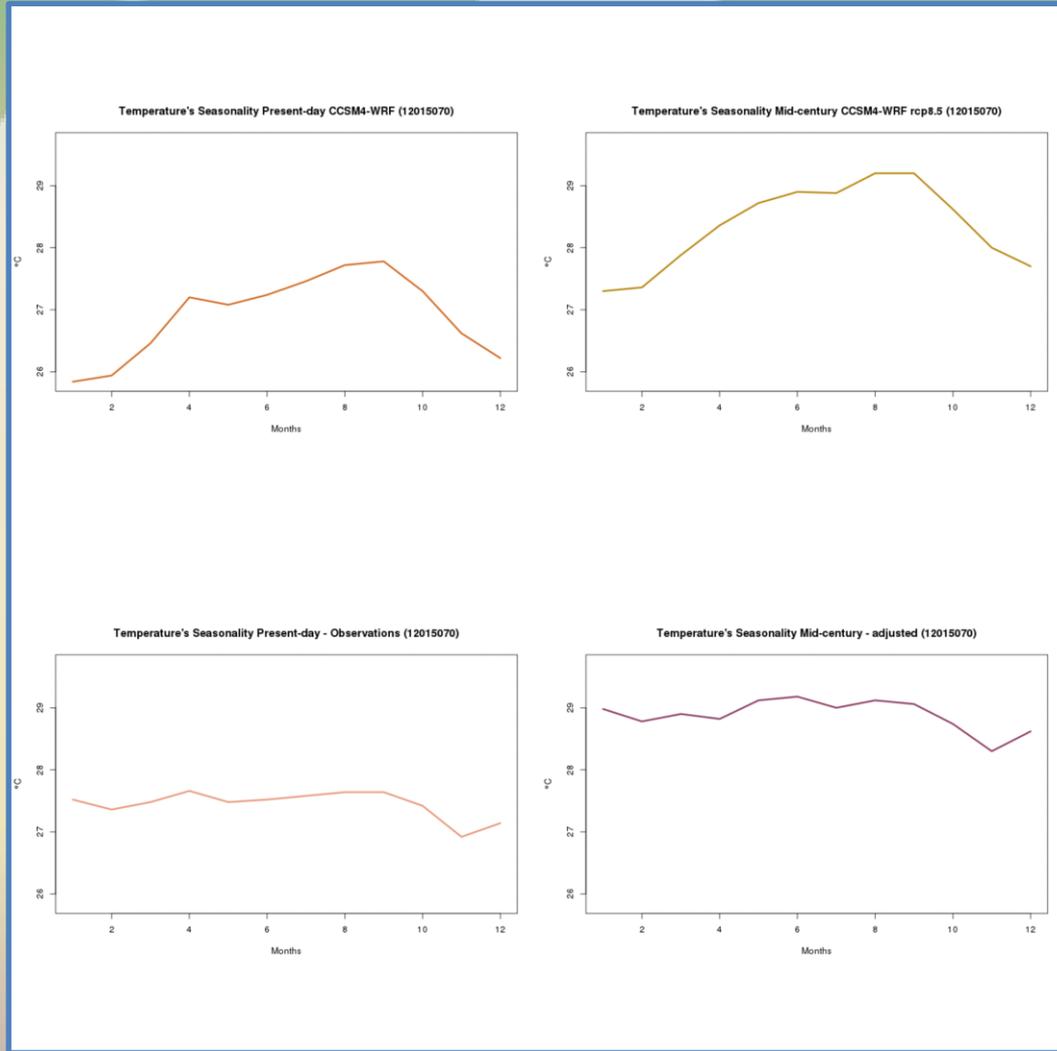
SEASONAL CYCLE (Región: Sinú – San Jorge - Porce)

Case: Precipitation



SEASONAL CYCLE (Región: Sinú – San Jorge - Porce)

Case: Temperature



Changes in precipitation (%)

RAINFALL HOMOGENEOUS REGION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
Archipelago de San Andrés	-17	-80	-27	4	-43	-19	22	6	46	-9	80	28	-1
Caribe - Cesar	23	-44	20	53	-23	65	85	-19	44	133	21	23	32
Catatumbo	-38	-47	-86	167	-66	-47	73	-29	28	-36	-1	170	7
Medellín - Carare - Opón	20	-14	-4	8	-22	-5	9	11	15	3	-6	9	2
Norte Amazonia	120	-27	11	-12	30	-17	1	-53	-50	-43	-3	-4	-4
Orinoquia Occidental	170	-89	-43	58	-3	-21	30	7	-22	5	-31	1	5
Orinoquia Oriental	23	-91	-84	19	5	-1	13	12	10	-24	-45	170	1
Pacífico Norte - Central	-45	65	24	20	7	7	4	-21	-7	-12	-23	27	4
Patía - Mira	0	-24	-8	43	0	6	0	0	0	0	7	-37	-1
Risaralda - Saldaña	6	-8	-5	-27	-22	-31	-11	-3	-31	-32	-34	-37	-20
Sinú - San Jorge - Porce	33	-13	-35	10	-10	21	13	41	28	33	8	-16	10
Sogamoso -Lebrija - Altiplano	43	-12	-27	-12	-23	-22	46	-24	-41	-5	-14	-37	-11
Sur Magdalena Cauca	4	-9	2	-11	-15	-33	-2	-27	-70	-43	-23	-18	-21
Trapezio Amazónico	5	-26	-1	-10	17	-67	-21	48	-19	-13	-15	-27	-11
COLOMBIA	25	-30	-19	22	-12	-12	19	-4	-5	-3	-6	18	0

Above normal

Near Normal

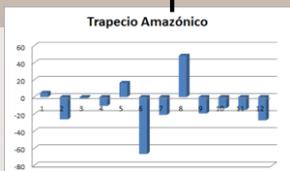
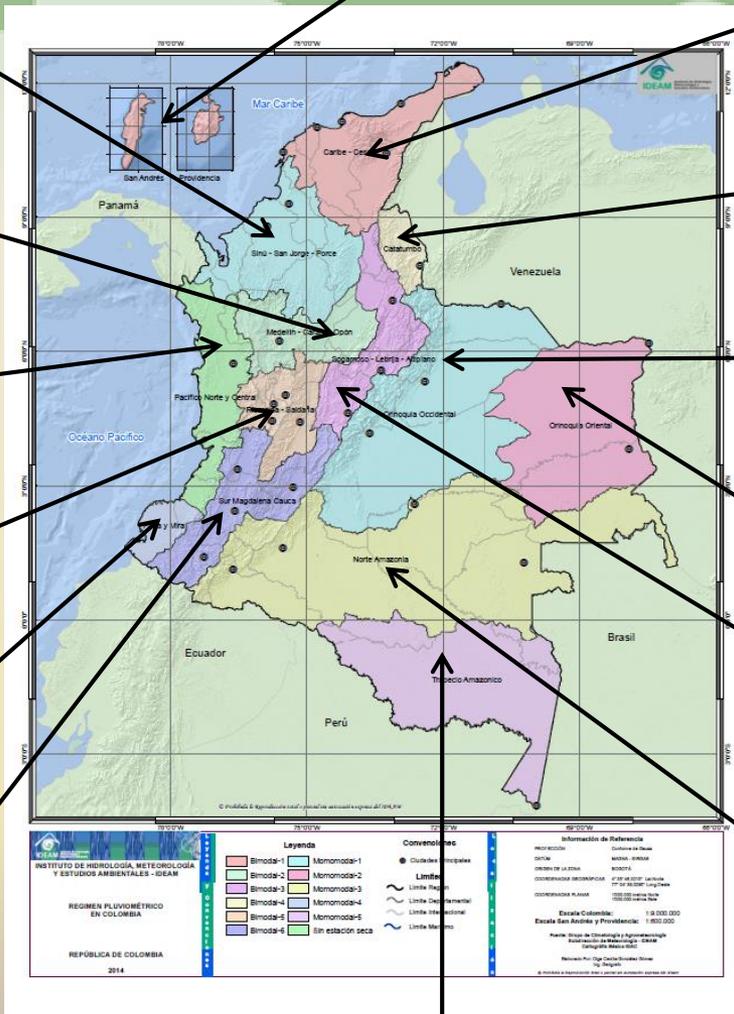
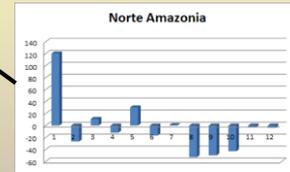
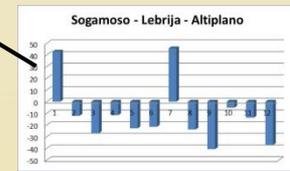
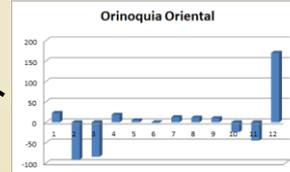
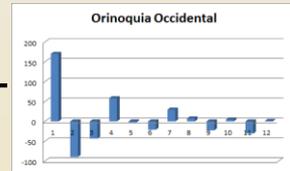
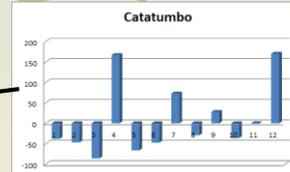
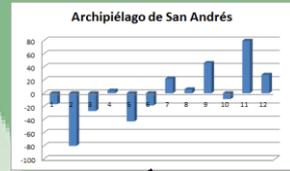
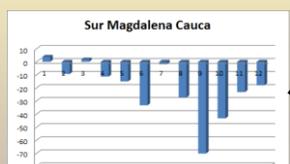
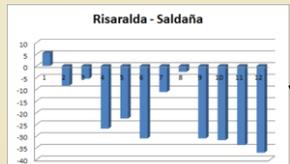
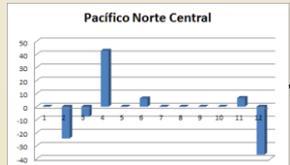
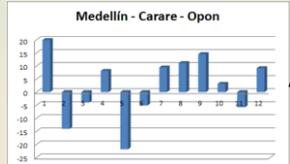
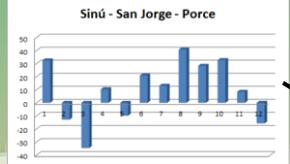
Below normal

Changes in Temperature (°C)

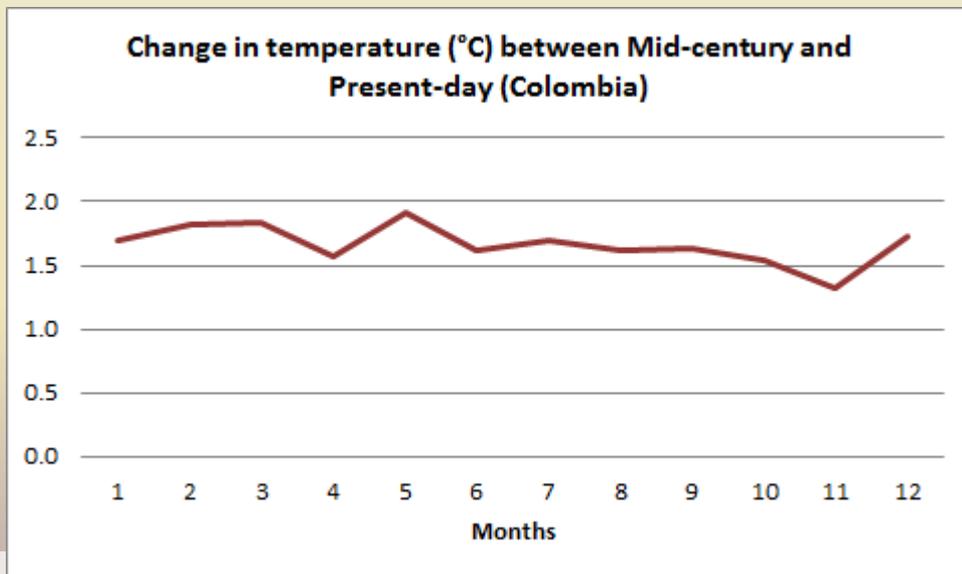
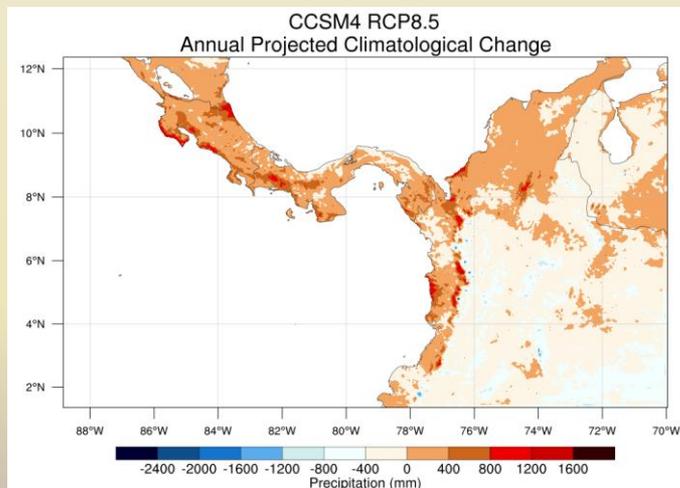
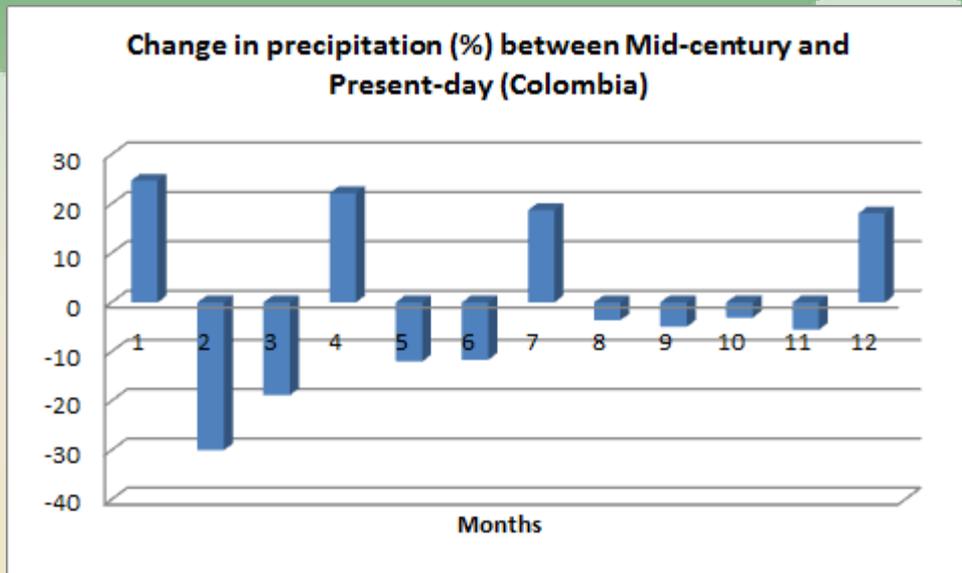
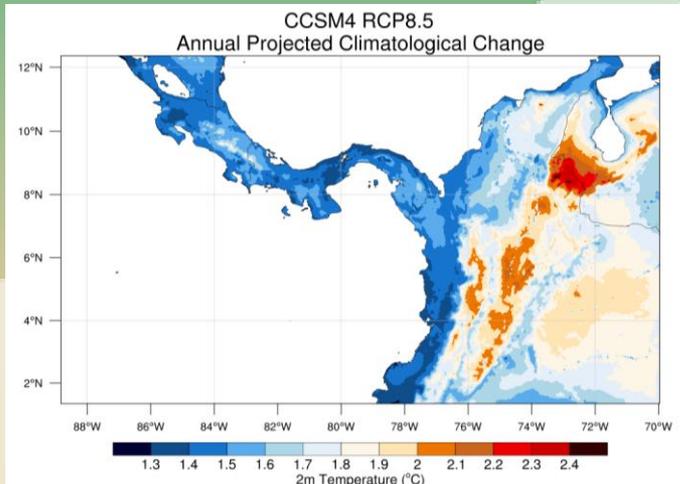
RAINFALL HOMOGENEOUS REGION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
Archipelago de San Andrés	1.4	1.4	1.4	1.1	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3
Caribe - Cesar	1.6	1.6	1.6	1.1	1.9	1.4	1.6	1.7	1.5	1.2	1.4	1.6	1.5
Catatumbo	2.3	1.9	2.3	1.6	2.2	1.6	1.5	1.7	1.6	2.1	2.1	2.1	1.9
Medellín - Carare - Opón	1.8	1.8	1.9	1.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.4	1.6	1.9	1.8
Norte Amazonia	1.6	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.7	1.7	1.8	1.6	1.2	1.6	1.7
Orinoquia Occidental	1.8	2.4	2.3	1.9	2.1	1.6	1.6	1.5	1.9	1.8	1.3	1.9	1.8
Orinoquia Oriental	1.8	2.5	2.5	2.1	1.9	1.1	1.7	1.6	1.5	1.5	0.3	1.4	1.7
Pacífico Norte - Central	1.4	1.5	1.4	1.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.3	1.5	1.4
Patía - Mira	1.4	1.5	1.4	1.3	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.2	1.0	1.7	1.4
Risaralda - Saldaña	1.9	1.9	1.9	1.7	2.4	2.2	2.1	1.8	1.9	2.0	2.0	2.2	2.0
Sinú - San Jorge - Porce	1.5	1.4	1.4	1.2	1.6	1.7	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4
Sogamoso -Lebrija - Altiplano	1.8	1.8	2.1	1.8	2.3	2.1	2.0	1.7	1.9	1.7	1.6	1.9	1.9
Sur Magdalena Cauca	1.8	1.8	1.9	1.7	2.2	2.0	1.9	1.6	1.7	1.8	1.7	2.0	1.8
Trapezio Amazónico	1.6	2.0	1.8	1.6	2.0	1.6	2.2	1.8	1.8	1.4	0.5	1.6	1.6
COLOMBIA	1.7	1.8	1.8	1.6	1.9	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.7	1.7

> 1.5°C

CHANGES IN RAINFALL (%) Mid-century vs Present-day



CONCLUSIONS





THANK YOU

