

Estacionalidad y tendencias en el clima y la vegetación de un fragmento semi-urbano de bosque seco en el municipio San Francisco, estado Zulia

JR Ferrer-Paris
Laboratorio de Ecología Espacial, Centro de Estudios Botánicos y
Agroforestales
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Borrador
Versión de 10 de marzo de 2015

A quien pueda interesar

Este documento es generado utilizando las funciones de **Sweave** desde una sesión de *R* (R Development Core Team, 2010), por tanto todas las tablas y figuras se generan y actualizan automáticamente a partir de los datos suministrados. Para acceso al código fuente en *R* y los archivos de datos contacte al primer autor. Dentro de *R* utilizamos los paquetes *rgeos* (Bivand & Rundel, 2012); *igraph0* (Csardi & Nepusz, 2006); *rgdal* (Keitt *et al.*, 2012); *RColorBrewer* (Neuwirth, 2011); *raster* (Hijmans & van Etten, 2012); *sp* (Pebesma & Bivand, 2005); *chron* (James & Hornik, 2011).

1. Introducción

Los bosques secos de la cuenca del Lago de Maracaibo han sufrido una alta tasa de deforestación, fragmentación y transformación y se estima que sólo se mantiene el 12 % de la cobertura original (Portillo-Quintero *et al.*, 2012). Uno de los fragmentos remanentes más emblemáticos está ubicado en el sector conocido como La Sibucara o Caujarito, a unos 20km

al sur de la ciudad de Maracaibo entre los terrenos del Jardín Botánico de Maracaibo, la Base Aérea Rafael Urdaneta y el Aeropuerto Internacional “La Chinita”. La situación de este fragmento es vulnerable pues tiene una extensión reducida, y está rodeado por una matriz de actividades intensivas (viviendas, infraestructura, ganadería, etc.), pero a la vez tiene un valor estratégico por su ubicación dentro de la Zona Protectora de Maracaibo, entre los municipios Maracaibo y San Francisco, y con un gran potencial de uso recreacional, educativo y científico (ARQUILUZ, C.A., 2005).

No es posible establecer la extensión original de la vegetación boscosa natural, pero existe evidencia de que esta área estuvo sometida a explotación por pastoreo y otros usos durante muchos años (Martínez, 1968; Zambrano & Fuenmayor, 1977). En la década de 1950 se inicia la construcción del Aeropuerto Internacional La Chinita, el cual sería inaugurado oficialmente en marzo de 1969. A partir de 1975 se inician las operaciones en la Base Aérea Rafael Urdaneta (Hernández & Parra, 1999).

Los reglamentos aeronáuticos establece una serie de restricciones en las actividades y edificaciones que se pueden realizar en sus inmediaciones, los cuales son reafirmados en el reglamento de uso de la Zona Protectora del Área Metropolitana de la ciudad de Maracaibo (Gaceta Oficial, 1989). Esta situación ha limitado la intervención humana dentro de este fragmento en los últimos 40 años, permitiendo el desarrollo y regeneración de la vegetación natural. Sin embargo, la cara norte de este fragmento constituye una excepción notable.

Durante los años 1979 a 1983 se produjo una intervención importante por la creación del Jardín Botánico de Maracaibo (JBM), inaugurado oficialmente en 1982, que alteraría el paisaje natural e introduciría una serie de especies vegetales exóticas. Durante gran parte de los años 80 estuvo considerado entre los 8 principales jardines botánicos de Venezuela, entre los que destacaba por su programa pionero de formación en horticultura, pero la continuidad de sus operaciones sufrió crónicamente por la falta de apoyo institucional y la declinación progresiva de personal técnico y profesional (Huber *et al.*, 1998). Para 1992 habían cesado casi por completo las actividades básicas de mantenimiento y cuidado de las áreas verdes (Hernández & Parra, 1999). A partir de esta fecha se observaron procesos de transformación natural de la vegetación en las áreas abandonadas, con intervenciones puntuales por actividades de baja intensidad realizadas por vecinos y residentes (extracción forestal, pastoreo y cultivos focalizados, (Chourio, N., com. pers.)).

Los esfuerzos de la Fundación Jardín Botánico de Maracaibo por recuperar el área con el apoyo de instituciones públicas y privadas se concretaron entre 2012 y 2013 con un Plan de Rehabilitación Integral del JBM. En estos años se realizaron obras de intervención y limpieza para la habilitación básica y mantenimiento de 20 hectáreas de jardín y la rehabilitación de la infraestructura de servicios y algunas estructuras recreativas que permitieron la apertura parcial acompañada de diversas labores de difusión y promoción (FJBM, 2014).

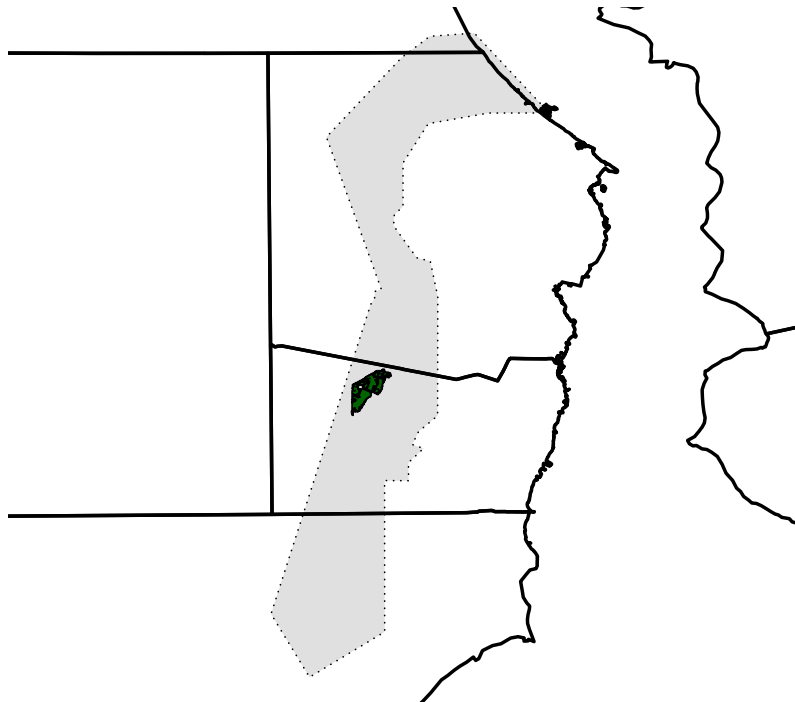
El contraste entre la vegetación natural de las inmediaciones del aeropuerto y la vegetación manejada, abandonada y posteriormente recuperada dentro del JBM puede aportar datos útiles para futuros esfuerzos de recuperación y restauración en ecosistemas secos de la cuenca del lago de Maracaibo. Entre 1973 y 1974 se realizó un estudio de la vegetación de la zona y se desarrolló una florula local para caracterizar el bosque antes de la intervención que significó el desarrollo del JBM (Zambrano & Fuenmayor, 1977). Lamentablemente no se han encontrado documentos o estudios posteriores que permitan evaluar el impacto de la

introducción de especies y los cambios en la composición florística de las áreas intervenidas durante el periodo inicial de funcionamiento del JBM, y aún no se ha realizado una revisión y evaluación de las muestras recuperadas del herbario del JBM, actualmente depositadas en el Herbario de la Facultad de Agronomía, HERZU (FJBM, 2014). Actualmente diversas instituciones, entre ellas La Universidad del Zulia (LUZ) y el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), están promoviendo estudios locales sobre la cobertura vegetal, y la fauna de vertebrados de la zona, entre otros (Cardozo-Urdaneta *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2011; González *et al.*, 2012; Larreal *et al.*, 2012; Ortega *et al.*, 2013; Quintero *et al.*, 2013).

El objetivo del presente estudio es caracterizar el clima y la fenología de la vegetación en este importante fragmento boscoso a partir de datos de estaciones climáticas y sensores remotos, a fin de sentar una línea base para estudios futuros. Los datos recabados permiten señalar tendencias temporales previas al año 2012, y que pueden ayudar a entender las transformaciones que ha sufrido la zona en el pasado reciente y que podría sufrir en el futuro cercano.

2. Métodos

2.1. Área de estudio



El área de estudio está ubicada entre $10^{\circ}33'51.00''$ y $10^{\circ}35'24.00''$ de latitud norte y $-71^{\circ}44'1.40''$ y $-71^{\circ}42'40.40''$ de longitud oeste, en la Depresión de Maracaibo (región B, sub-región B1, del mapa de Vegetación de Huber & Alarcón, 1988). La vegetación consiste en arbustales xerófilos espinosos y bosques xerófilos bajos, deciduos, pertenecientes a la provincia fitogeográfica del Caribe Meridional, dentro del denominado distrito fitogeográfico zuliano.

Estimados recientes de cobertura boscosa basada en imágenes de satélite LandSat sugieren que para el año 2000 el área de estudio contaba con dos fragmentos que sumaban 2.224 km² o 222.4 hectáreas con porcentaje de cobertura arborea mayor a 40 % (Hansen *et al.*, 2013). En el periodo 2000 a 2012 se produjo un aumento notable de la cobertura boscosa en el área del JBM, y se incrementó el área total de los fragmentos en un 14.2 %. Trazamos un polígono con un área total de 253.8 *ha* alrededor de estos fragmentos para delimitar el área de estudio

Falta colocar parroquia y municipio en la ubicación, linderos, etc...

2.2. Datos de estación meteorológica

La estación meteorológica 804070 (también referida como 80407, o con el serial nacional 1015) está ubicada en el Aeropuerto Internacional La Chinita en Maracaibo (N10°34' W71°44', 65 msnm), dentro del área de estudio. La estación cuenta con un registro histórico desde 1959 hasta el 2013, pero los datos previos a 1973 provienen de una ubicación diferente (antiguo Aeropuerto Grano de Oro).

Para el presente análisis considero la serie de tiempo de mediciones diarias desde el primero de junio de 1973 hasta 31 de diciembre de 2013, descargada a través del enlace http://www.tutiempo.net/clima/Maracaibo-La_Chinita/804070.htm, y verificada con los promedios y totales anuales publicados para el periodo 1961 a 1990 (CLICOM, 1993). La serie presenta valores vacíos en las mediciones, de temperatura y precipitación para 17.8 % y 21.6 % de los días, respectivamente, especialmente en la segunda mitad de la década de los 80.

Para el análisis de la estacionalidad utilizo los datos del periodo 2000 a 2011, agregados en periodos de 16 días comparables con los datos de la serie de tiempo de mediciones realizadas con sensores remotos.

2.3. Datos de sensores remotos

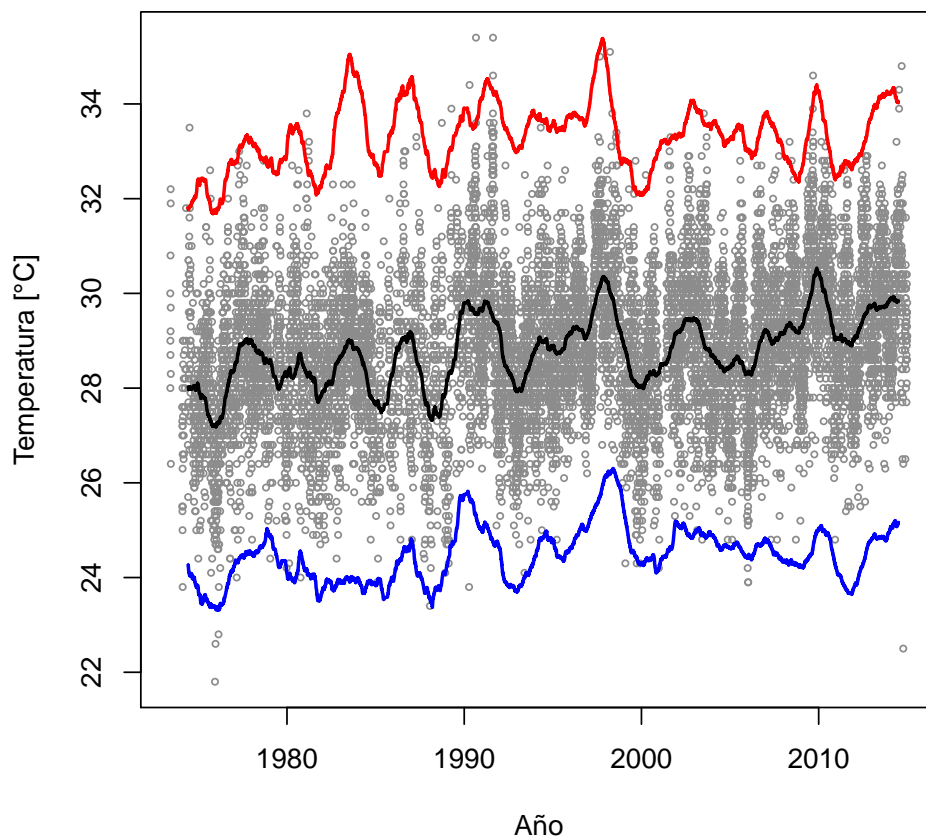
Utilizamos productos generados a partir de los sensores Modis Terra y Aqua y disponibles en ? para caracterizar la temperatura de la superficie de la tierra, índice de vegetación, índice de área foliar y área fotosintéticamente activa, emisividad y albedo, evapotranspiración, etc. Con estos datos generamos series de tiempo para el periodo de 2000 a 2011.

Enfocamos la comparación en diez píxeles que corresponden con el parche de bosque seco, y diez píxeles representativos de las áreas aledañas con distinto tipo de uso de la tierra.

3. Resultados y Discusión

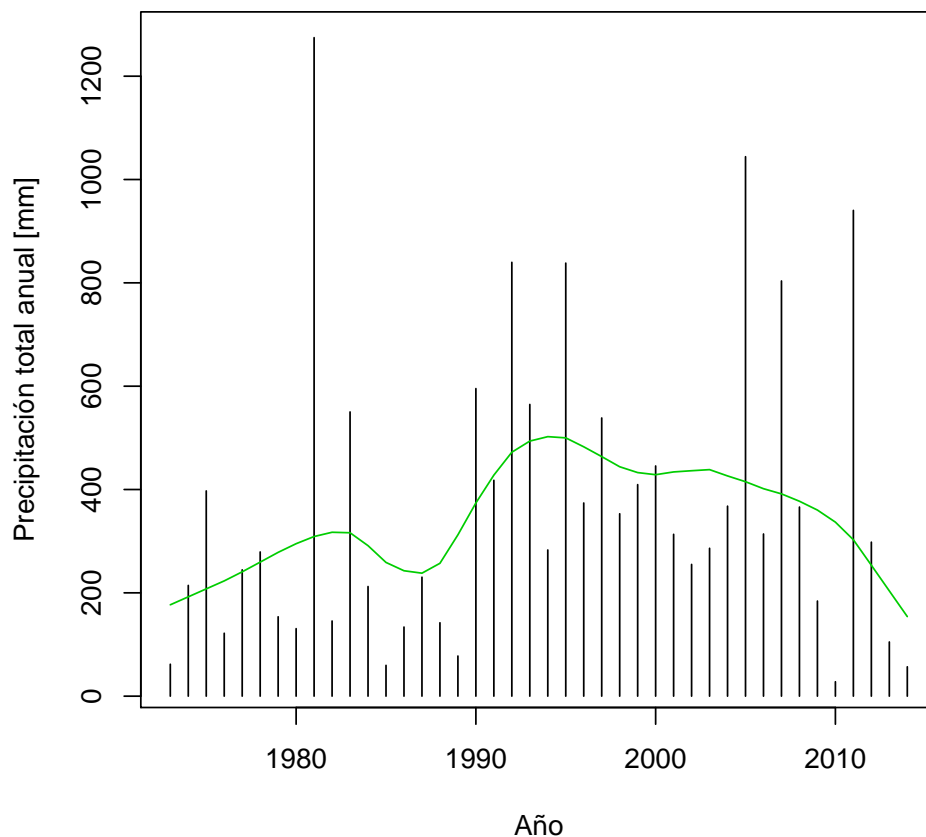
3.1. Tendencias climáticas entre 1973 y 2013

La temperatura media diaria muestra un aparente aumento desde 28° en 1973 hasta 29.7° en 2013, sin embargo las fluctuaciones interanuales son muy marcadas. La temperatura media diaria para todo el periodo es de 28.90°C, con valores extremos de 35.40°C en agosto de 1990 y 21.80°C en diciembre de 1975.



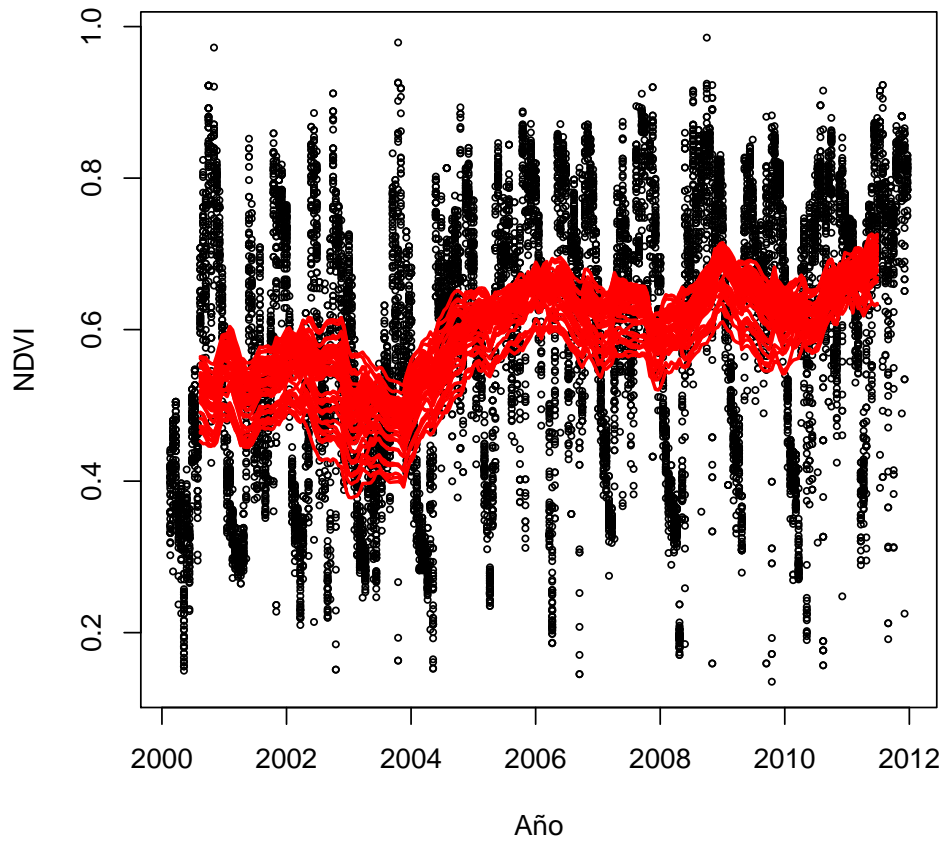
Los promedios de las temperaturas máximas y mínimas muestran fluctuaciones similares, sin una tendencia marcada. El valor promedio de la temperatura máxima diaria es de 33.41°C , y la máxima temperatura registrada en todo el período fue de 44.00°C en agosto de 1986. En un total de 9 ocasiones la temperatura máxima ha estado por encima de 40°C . El valor promedio de la temperatura mínima diaria es de 24.48°C , pero la mínima temperatura registrada fue de 8.00°C en diciembre de 1975, este último valor fue muy probablemente un error de medición, pues es el único registro en toda la serie por debajo de 10°C , aunque existen al menos 11 registros de temperatura por debajo de 15°C .

La precipitación media anual es de 367.9, pero con una variación interanual de 289.6 mm y valores extremos de 27.9 mm registrado en el año 2010 y 1274.6 mm, en el año 1981. La media ponderada se encuentra entre 100 y 300 mm en el periodo de 1973 a 1989, y muestra un aumento considerable hasta 400mm anuales entre 1990 y 2009, aunque los valores de los últimos cinco años parecen indicar un descenso a los niveles previos.

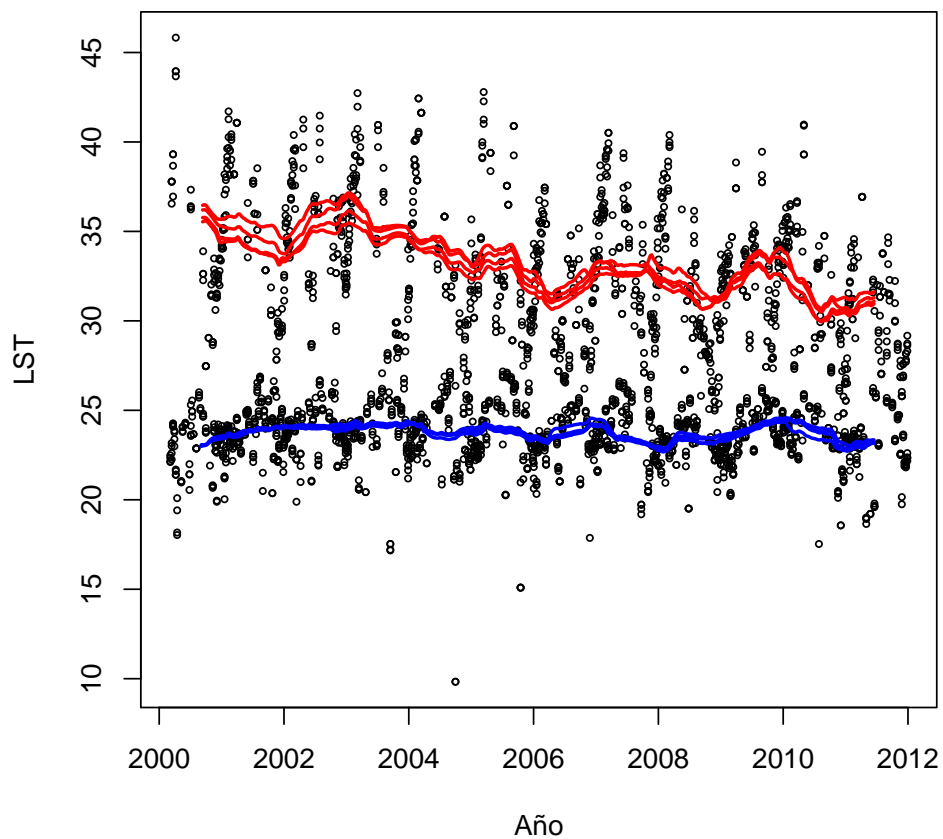


3.2. Tendencias en vegetación y clima entre 2000 y 2011

La serie de tiempo del índice de vegetación derivada del satélite MODIS muestra una tendencia positiva en los últimos 11 años a pesar de la marcada estacionalidad. El promedio ponderado se ubica alrededor de 0.5 entre 2000 y 2004 y luego aumenta a valores cercanos o superiores a 0.6. Aparentemente este aumento se debe a un aumento de los valores mínimos anuales con poca variación en los valores máximos, lo cual implica una disminución en la variabilidad intra-anual.



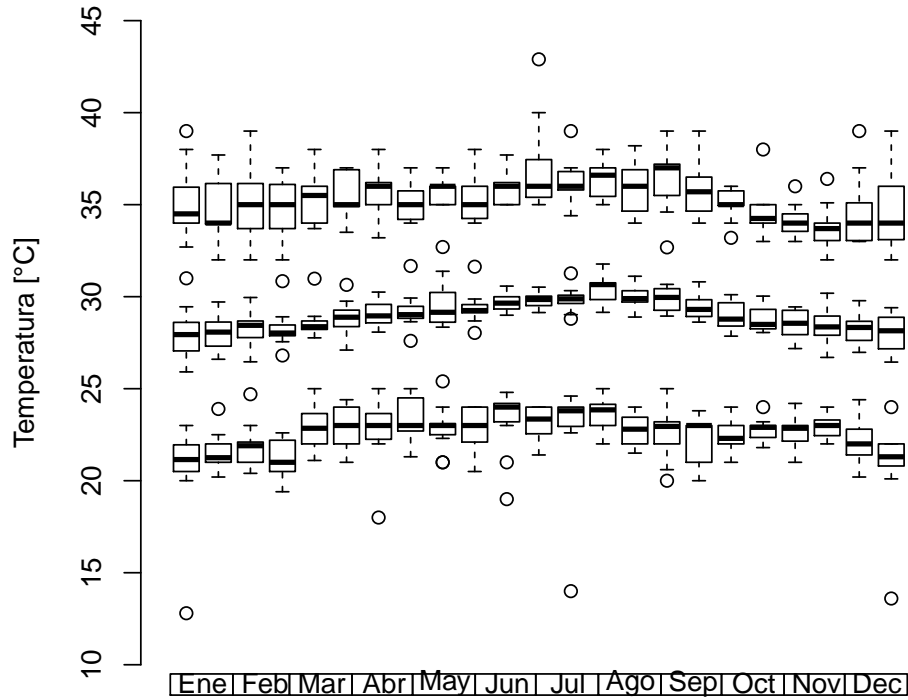
Las series de tiempo de la temperatura de la superficie del suelo muestra valores estables de temperatura nocturna entre 23 y 24°C, y una tendencia negativa en la temperatura diurna que disminuye desde 35°C en los años 2000 a 2002 hasta 31° entre 2010 y 2012.



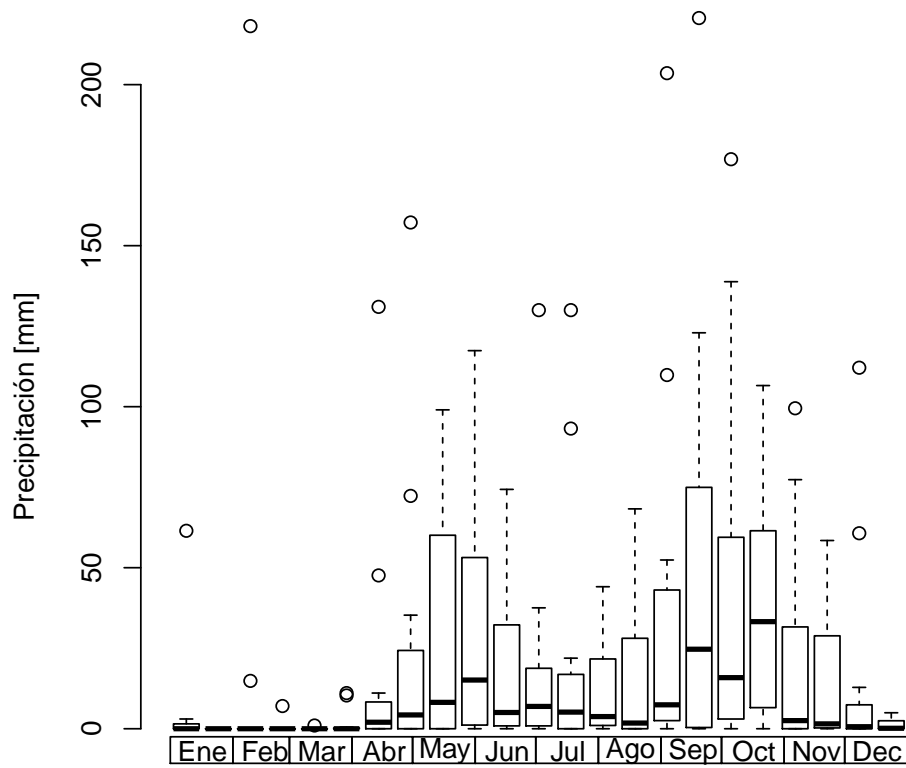
3.3. Estacionalidad en el periodo 2000 a 2011

Ver Vila (1960) para los detalles del patrón anual de precipitación.

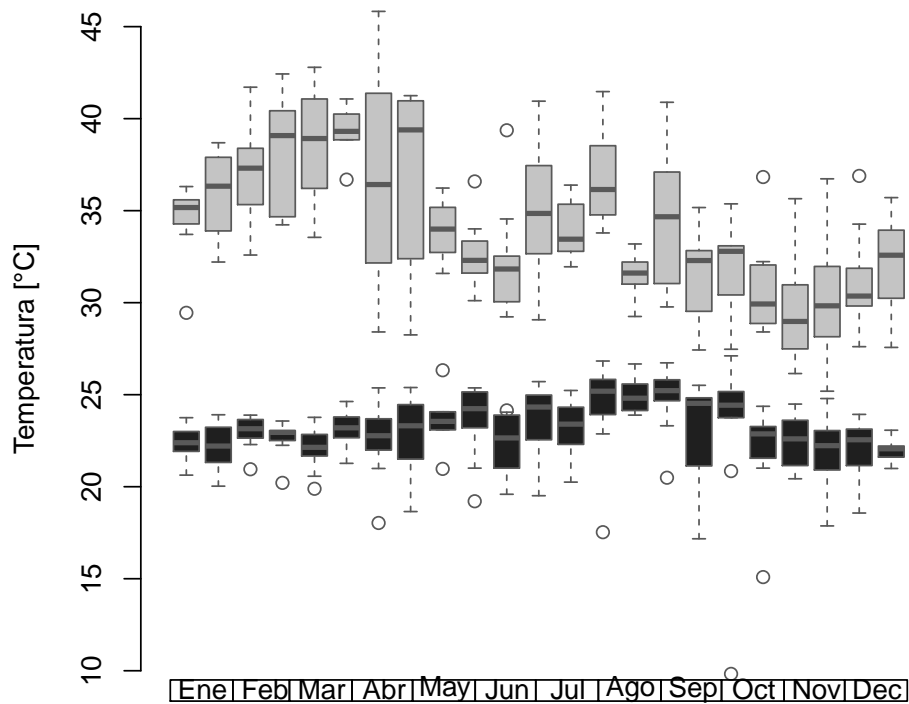
Entre 2000 y 2011 los promedios quincenales de temperatura máxima y mínima en la estación climática muestran poca estacionalidad y poca variación interanual con valores ligeramente más altos entre julio y septiembre.



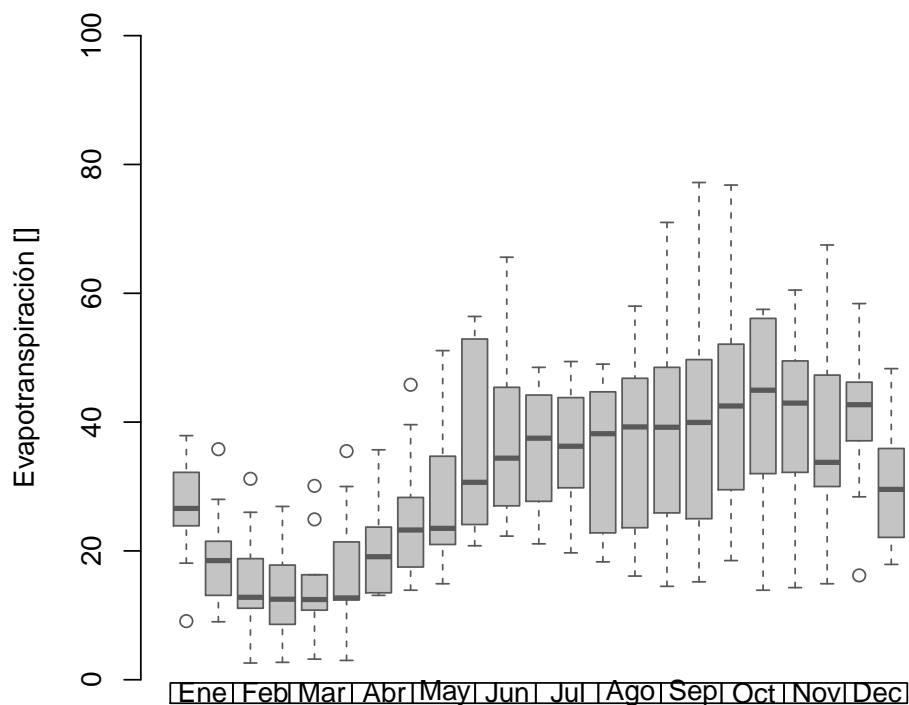
La precipitación quincenal si muestra un patrón estacional marcado, con un periodo de escasas precipitaciones entre la segunda mitad de diciembre y el comienzo de abril. Se observa un primer periodo de lluvias entre mayo y junio, y luego un pico más pronunciado entre septiembre y octubre. En promedio, el 52.7 % de la precipitación anual cae entre agosto y noviembre, y el 37.1 % cae entre abril y julio, sin embargo estos porcentajes pueden variar, y en algunos años (notablemente en 2009), el periodo de abril a julio aporta mayor precipitación que el resto del año.



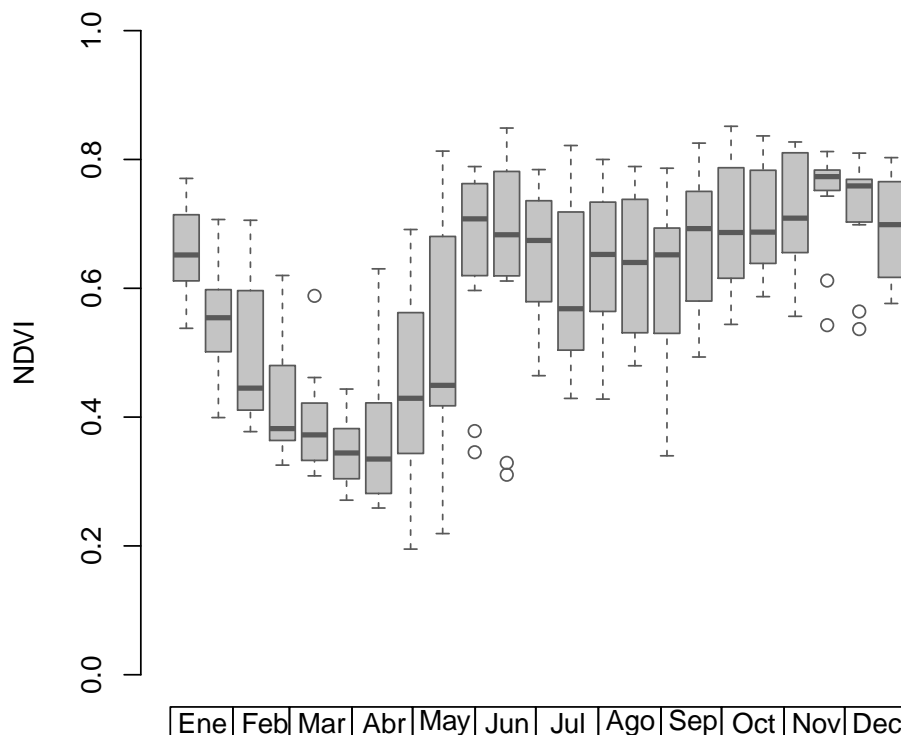
En contraste con la temperatura medida en la estación climática, los estimados de temperatura en la superficie terrestre (LST) medidos con sensores remotos muestran una estacionalidad mucho más marcada. Las mayores temperaturas diurnas se observan entre marzo y mayo, y fluctúa en los próximos meses hasta llegar a valores mínimos entre octubre y noviembre. La variación interanual es muy marcada, especialmente en abril y entre agosto y septiembre. Por su parte la temperatura nocturna muestra un patrón unimodal con un máximo entre agosto y septiembre, similar a las mediciones realizadas en la estación meteorológica.



Los valores de evapotranspiración estimados a partir de imágenes de satélite muestran dos periodos bien diferenciados. Durante los meses más secos (febrero y marzo) los valores llegan a un valor mínimo de 10, pero luego aumenta y entre junio y noviembre se situa alrededor de 40, aunque con notable variación interanual.



Por su parte el índice de vegetación sugiere que la vegetación tiene una fenología bimodal ligeramente desfasada de la precipitación, con un mínimo al final de la sequía y comienzo de las primeras lluvias (entre marzo y abril), un primer pico en junio, con valores sostenidos hasta septiembre y un segundo incremento al final de la época de lluvias entre octubre y noviembre.



4. Discusión

Se observó una tendencia positiva en la temperatura entre 1970 y el presente, pero en los últimos 10 años una tendencia positiva en la cobertura vegetal con disminución de la temperatura diurna de la superficie de la tierra. A pesar del régimen de precipitaciones bimodal, la vegetación en el área de estudio muestra un perfil intermedio entre un régimen unimodal y uno bimodal con un periodo prolongado de crecimiento vegetativo. El régimen de precipitación es variable entre años, y la vegetación es capaz de mantenerse activa durante varios meses con variaciones de precipitación, pero las condiciones no son suficientes para mantener una cobertura boscosa más densa.

Referencias

ARQUILUZ, C.A., 2005. *Estudio para la desafectación parcial o total de la zona protectora de maracaibo: Hacia una expansión urbana sostenible*. Informe Técnico, Instituto de

- Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño IFAD-LUZ, Maracaibo, Venezuela.
- BIVAND, R. & RUNDEL, C., 2012. *rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source (GEOS)*. URL <http://CRAN.R-project.org/package=rgeos>. R package version 0.2-7.
- CARDOZO-URDANETA, A., LARREAL, J., SÁNCHEZ-MERCADO, A. & RIVAS, G., 2014. *Vocalización y composición de especies de anuros en un remanente de bosque muy seco tropical al noroeste del municipio san francisco, estado zulía*. Trabajo enviado al V Congreso Venezolano de diversidad biológica, Maracaibo, Venezuela.
- CLICOM, 1993. *Normales climatológicas de venezuela. periodo 1961/1990*. Informe Técnico, República de Venezuela, Ministerio de la Defensa, Fuerza Aérea Venezolana, Servicio de Meteorología. Sistema CLICOM, Maracay.
- CSARDI, G. & NEPUSZ, T., 2006. *The igraph software package for complex network research*. InterJournal, Complex Systems:1695. URL <http://igraph.sf.net>.
- FERNÁNDEZ, A., PORTILLO-QUINTERO, C. & CHOURIO, N., 2011. *Influencia de la cobertura del dosel sobre el establecimiento de plántulas en un bosque muy seco tropical de la planicie de maracaibo*. En *Libro de resúmenes del IX Congreso Venezolano de Ecología*, pág. 82. Isla de Margarita, Venezuela.
- FJBM, 2014. *Plan de Rehabilitación integral del JBM. Informe de obras y actividades. Enero-Diciembre 2013*. Informe Técnico FJBM/14/001, Fundación Jardín Botánico de Maracaibo.
- GACETA OFICIAL, 1989. *Reglamento de uso de la zona protectora de la ciudad de maracaibo*. Gaceta Oficial N° 4.098 Extraordinario de fecha 21 de mayo de 1989.
- GONZÁLEZ, M., VÁSQUEZ, A., LARREAL, J. & CALCHI, R., 2012. *Inventario preliminar de aves en el jardín botánico de maracaibo, estado zulía, venezuela*. Trabajo presentado en el II Congreso Venezolano de Ornitología, Maracaibo, Venezuela.
- HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V., MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S. V., GOETZ, S. J., LOVELAND, T. R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C. O. & TOWNSHEND, J. R. G., 2013. *High-resolution global maps of 21st-century forest cover change*. Science, 342:850–853. URL <http://www.sciencemag.org/content/342/6160/850.abstract>.
- HERNÁNDEZ, L. G. & PARRA, J. , 1999. *Diccionario General del Zulía*. Banco Occidental de Descuento, Maracaibo, Venezuela. Dos tomos, 2412 pp.
- HIJMANS, R. J. & VAN ETTEN, J., 2012. *raster: Geographic analysis and modeling with raster data*. URL <http://CRAN.R-project.org/package=raster>. R package version 2.0-08.
- HUBER, O. & ALARCÓN, C., 1988. *Mapa de Vegetación de Venezuela*. División de Vegetación del M.A.R.N.R y Nature Conservancy. Patrocinado por BIOMA y editado por Oscar Todmann Editores. Escala 1:2 000 000.

- HUBER, O., DUNO, R., RIINA, R., STAUFFER, F., PAPPATERRA, L., JIMÉNEZ, A., LLAM-OZAS, S. & ORSINI, G., 1998. *Estado Actual del Conocimiento de la Flora de Venezuela*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), Caracas, Venezuela. 153 pp.
- JAMES, D. & HORNIK, K., 2011. *chron: Chronological Objects which Can Handle Dates and Times*. URL <http://CRAN.R-project.org/package=chron>. R package version 2.3-42. S original by David James, R port by Kurt Hornik.
- KEITT, T. H., BIVAND, R., PEBESMA, E. & ROWLINGSON, B., 2012. *rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*. URL <http://CRAN.R-project.org/package=rgdal>. R package version 0.7-16.
- LARREAL, J. T., RIVAS, G. A., PORTILLO-QUINTERO, C. & BARROS, T. R., 2012. *Squamata reptiles of a fragment of tropical dry forest in northwestern venezuela (lake maracaibo region)*. Check List, 8:1220–1224.
- MARTÍNEZ, F. A., 1968. *Diccionario geográfico del estado Zulia*. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. 244 pp.
- NEUWIRTH, E., 2011. *RColorBrewer: ColorBrewer palettes*. URL <http://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>. R package version 1.0-5.
- ORTEGA, S., CARVAJAL, R. & VERGARA, M. A., 2013. *Manejo integrado de plagas en el jardín botánico estado zulia*. En *Resúmenes XXIII Congreso Venezolano de Entomología "Dr. José Ramón Labrador"*, pág. 51. Maracaibo, Venezuela.
- PEBESMA, E. & BIVAND, R., 2005. *Classes and methods for spatial data in r*. R News, 5. URL <http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.
- PORTILLO-QUINTERO, C., SANCHEZ, A., VALBUENA, C., GONZALEZ, Y. & LARREAL, J., 2012. *Forest cover and deforestation patterns in the northern andes (lake maracaibo basin): A synoptic assessment using {MODIS} and landsat imagery*. Applied Geography, 35:152 – 163. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622812000719>.
- QUINTERO, J., QUINTERO-TORRES, E., PORTILLO, M., HERNÁNDEZ, J. & LARREAL, J., 2013. *Abundancia y uso del hábitat de tres lagartijas (squamata: Teiidae) simpátricas en las etapas sucesionales del jardín botánico de maracaibo*. En *Resúmenes X Congreso Venezolano de Ecología*, pág. 763. Centro de Convenciones Mucumbarila, Mérida, Venezuela.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. ISBN 3-900051-07-0.
- VILA, P., 1960. *Geografía de Venezuela. Tomo 1 El territorio nacional y su ambiente físico*. Ediciones del Ministerio de Educación, Caracas, Venezuela.

ZAMBRANO, J. O. & FUENMAYOR, E., 1977. *El bosque muy seco tropical del jardín botánico de maracaibo*. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), 3:79–87.