

DINÁMICA DEL COMPORTAMIENTO MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN UN SISTEMA CLIMÁTICO DEL ALTIPLANO CENTRAL

Dynamics of the multi-temporal behavior of the vegetal cover in a climatic system of the Central Highland

Miranda Balboa Grover German¹

RESUMEN

La peculiaridad de la dinámica del comportamiento multitemporal de la cobertura vegetal del municipio de Patacamaya de La Paz, Bolivia, caracterizó un sistema climático del Altiplano Central, respondiendo la influencia del clima en los recursos hídricos. Es necesario evaluar la tendencia de cambio de estas coberturas en el Altiplano Central, tomando como estudio de caso al municipio de Patacamaya, principal productor de muchos cultivos andinos como también de ganadería. Para tal fin, se evaluaron imágenes multitemporales satelitales Landsat 5TM del mes de febrero de los años 1987, 1990, 1991, 1997; Landsat 7 ETM del mes de diciembre de los años 1995, 1999, una imagen satelital Landsat 8 OLI_TIRS del mes de diciembre del año 2014 y dos imágenes satelitales 8OLI_TIRS del mes febrero de los años 2014 y 2015. La dinámica del comportamiento multitemporal de la cobertura vegetal registró un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 973.3 ha en 1995 con una precipitación de 356.2 mm durante un año seco de 1995 a 1996 a diferencia de un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 1870.2 ha del 2014 con una precipitación de 378.9 mm durante un año seco de 2013 al 2014. Febrero registro un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 16547.4 ha en 1987 con una precipitación de 524.4 mm durante un año húmedo de 1986 a 1987 a diferencia de un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 16856.5 ha del 2014 con una precipitación de 378.9 mm durante un año seco de 2013 al 2014. Las diferencias de la cuantificación de la cobertura vegetal están relacionadas con la dinámica suscesional de algunas especies cuyas raíces capturan e infiltran agua de lluvia permitiendo la recarga en los bolsones acuíferos y los bofedales que actuaron como reguladores del ciclo del agua.

Palabras clave: multitemporal, sistema climático, imágenes satelitales, facetas de aridez, cobertura vegetal.

ABSTRACT

The peculiarity of the dynamics of the multi-temporal behavior of the vegetal cover of the municipality of Patacamaya of La Paz, Bolivia, characterized a climatic system of the Central highland, responding the influence of the climate on the water resources. It is necessary to evaluate the trend of change of these coverages in the Central Highlands, taking as a case study the municipality of Patacamaya, the main producer of many Andean crops as well as livestock. To this end, Landsat 5TM satellite multi-temporal images were evaluated for the month of February 1987, 1990, 1991, 1997; Landsat 7 ETM for the month of December of the years 1995, 1999, a satellite image Landsat 8 OLI_TIRS for the month of December of the year 2014 and two satellite images 8OLI_TIRS for the month of February of the years 2014 and 2015. The dynamics of the multi-temporal behavior of the coverage vegetable registered a total between crops and native vegetation cover of 973.3 ha in 1995 with a precipitation of 356.2 mm during a dry year from 1995 to 1996 as opposed to a total between crops and native vegetation cover of 1870.2 ha of 2014 with a precipitation of 378.9 mm during a dry year from 2013 to 2014. February recorded a total between crops and native vegetation cover of 16547.4 ha in 1987 with a rainfall of 524.4 mm during a wet year from 1986 to 1987 as opposed to a total between crops and vegetative cover native of 16856.5 ha of 2014 with a rainfall of 378.9 mm during a dry year from 2013 to 2014. The differences in the quantification of vegetation cover are related to the successional dynamics of some species whose roots capture and infiltrate rainwater allowing the recharge in the aquifers and bofedales that acted as regulators of the water cycle.

Keywords: multi-temporal, climate system, satellite images, facets of aridity, vegetal cover.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. balboagro5@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los factores climatológicos caracterizan a una región, se presume la influencia en la dinámica de la cobertura vegetal. Los factores meteorológicos influyen en la cobertura vegetal, como también el cambio del clima ocasionaría cambios en las coberturas. Un análisis multitemporal permite detectar cambios de la cobertura vegetal entre diferentes fechas de referencia, deduciendo los cambios del medio natural o las repercusiones de las acciones humanas sobre el medio vegetal.

El Altiplano es un vasto conjunto endorreico (aproximadamente 190000 km²) situado en el corazón de los Andes de Perú, Bolivia y Chile que desde un punto de vista climático es un sistema que presenta un fuerte gradiente de los parámetros climáticos de Noreste/Suroeste. Las combinaciones climáticas del Altiplano Boliviano, son resultado de las cercanías a la línea del Ecuador y su altitud. Además, las diferencias de la demanda de vapor de agua promedios en invierno (abril-septiembre) y verano (octubre-marzo) son menores cuanto más al Norte del Altiplano se encuentre el punto, debido al mayor contenido de humedad atmosférica que retiene la pérdida de radiación y que modula la variación térmica incluso en invierno (García et al., 2011).

Al procesar los datos meteorológicos la alta radiación y las temperaturas afectaron cada vez con mayor intensidad el ciclo hidrológico provocando situaciones de déficit hídrico, limitando el contenido de agua en el suelo. Considerando que uno de los factores más importantes para el cambio de cobertura de los suelos es el clima local y que los productores usan este factor favorable o desfavorable para el manejo de sus suelos, el cual puede cambiar, mantenerse o erosionarse. Es necesario evaluar cuál es la tendencia de cambio de estas coberturas en el Altiplano Central, tomando como estudio de caso al municipio de Patacamaya, principal productor de muchos cultivos andinos como también de ganadería.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El municipio de Patacamaya se encuentra en la región del Altiplano Central, situado en medio de las cordilleras Occidental y Oriental, se considera Altiplano por la presencia de una serie de planicies con varias

serranías y cerros aislados con características de cuenca cerrada con formación por sedimentos cuaternario medio a superior, el municipio cuenta una superficie de 447 km², se encuentra a 101 km de la ciudad de La Paz, se constituye en la capital de la quinta sección de la Provincia Aroma del departamento de La Paz y está ubicado al sudeste del departamento entre las coordenadas 17° 05' a 17° 20' de latitud sur y 67° 45' a 68° 07' de longitud oeste del meridiano de Greenwich a una altitud media de 3785 m s.n.m.

Metodología

Se utilizaron para el análisis multitemporal cuatro imágenes satelitales (Tabla 1), seleccionadas con el criterio de meses de la época húmeda del calendario agrícola del Altiplano Central. Se evaluaron imágenes multitemporales satelitales Landsat 5TM del mes de febrero de los años 1987, 1990, 1991, 1997; Landsat 7 ETM del mes de diciembre de los años 1995, 1999, una imagen satelital Landsat 8 OLI_TIRS del mes de diciembre del año 2014 y dos imágenes satelitales 8OLI_TIRS del mes febrero de los años 2014 y 2015.

Tabla 1. Imágenes Satelitales LANDSAT 7 ETM y 8 OLI_TIRS (Diciembre) y LANSAT 5TM y 8 OLI_TIRS (Febrero).

Nro.	Código (Diciembre)	Año	Día
1	LT50010721995348CUB00	1995	14
4	LC8001072014336LGN00 Código (febrero)	2014	2
1	LT50010721987038XXX01	1987	7
5	LC80010722014064LGN00	2014	5

El parámetro climático del sistema fue procesado con datos climáticos diarios de la temperatura máxima (°C), mínima (°C), temperatura punto de rocío (°C), precipitación (mm), velocidad y dirección del viento (km h⁻¹) e insolación solar (horas sol⁻¹), de 39 años correspondientes a la estación meteorológica de Patacamaya. Las imágenes disponibles fueron obtenidas de: <http://glovis.usgs.gov> la página incorpora en su base de datos un metadata. Para el procesamiento de las imágenes Satelitales Landsat se utilizaron esquemas de modelos según Allen (2011; 2013). Que incluye correcciones radiométricas en radiancia y reflectancia. No fueron necesarias realizar correcciones atmosféricas y/o topográficas previa evaluación geográfica de las imágenes Satelitales Landsat 5, 7 y 8. Las imágenes fueron reproyectadas, con la extensión Raster-Reprojet del programa Erdas Imagine (2013) y en Arc Map 10.2; contando con la delimitación referencial del municipio de Patacamaya y hojas cartográficas WGS 84 (hoja 6042 IV, hoja 6042 III

y hoja 5942 II), del Instituto Geográfico Militar (IGM). Procesado la escena (001 – 072) Landsat path – row Bolivia, se procedió al recorte del área de interés. Para la determinación del comportamiento de la cobertura vegetal se utilizaron las cartas cartográfica hoja 6042 IV, hoja 6042 III y hoja 5942 II, carta geológica de SERGEOTECMIN (SGTM), hoja 5942 y hoja 604, la información de ubicación de pozos de agua subterránea de la empresa EDALP y la información de zonificación agroecológica socioeconómica de la cuenca del altiplano del departamento de La Paz (ZONISIG, 1998).

La información de la dinámica sucesional de la vegetación en un sistema agrícola con descanso largo en el Altiplano Central boliviano corresponde a Ortúñoz et al. (2006), trasposición del límite referencial del municipio de Patacamaya, coordenadas de campo de cultivos y de cobertura vegetal nativa de la última

época húmeda (2015). Con el fin de referenciar los datos obtenidos de los lugares de la cobertura vegetal nativa y cultivos, con el global mapper y visualizarlas con los datos obtenidos de campo de los cultivos y de la cobertura vegetal nativa respectivo al mes en el programa Google Earth. Se determinó el comportamiento de las curvas de nivel de los drenajes superficiales a partir de la información referencial y la cartografía del municipio de Patacamaya en el Modelo Digital de Elevación (MDE de 30x30).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura máxima registrada fue entre 20 a 17°C con un promedio de 18°C y la temperatura mínima fue entre 2 a -2°C, con un promedio de 0°C con varianzas explicadas de temperatura máxima de 15% y mínima de 25%. Ambas temperaturas ascendieron de forma paralela desde 1975 hasta el 2015 (Figura 1).

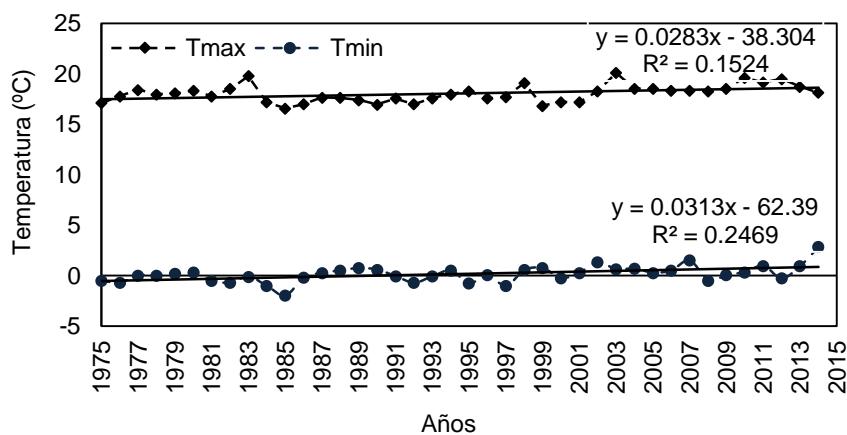


Figura 1. Promedio anual de las temperaturas máximas y mínimas, registradas en la estación Patacamaya.

El promedio mensual de la amplitud térmica (Figura 2), muestra temperaturas mínimas para el mes de mayo con -4°C, en agosto de -4°C; junio y agosto de 16°C.

Las temperaturas máximas fueron en noviembre y abril con 19°C; junio y agosto con 16°C.

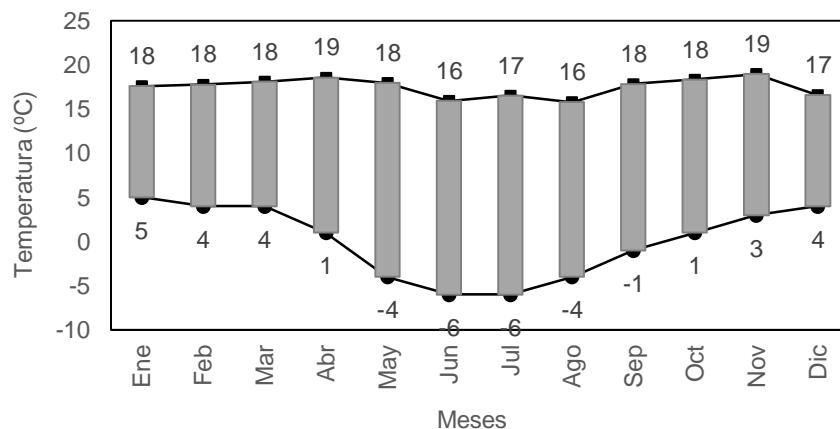


Figura 2. Amplitud térmica estación Patacamaya.

Utilizando el criterio de probabilidad de excedencia se determinó la clasificación de años húmedos, normales, secos y muy secos (Figura 3). Además del comportamiento de la precipitación promedio anual de tendencia negativa y una varianza explicada de 5% entre un rango de 198 mm a 595 mm a 198 mm. Se registró precipitaciones pentadiarias y los comportamientos promedio mensuales de diciembre con una mediana de 46 mm, febrero de 60 mm y 0 mm en junio y julio.

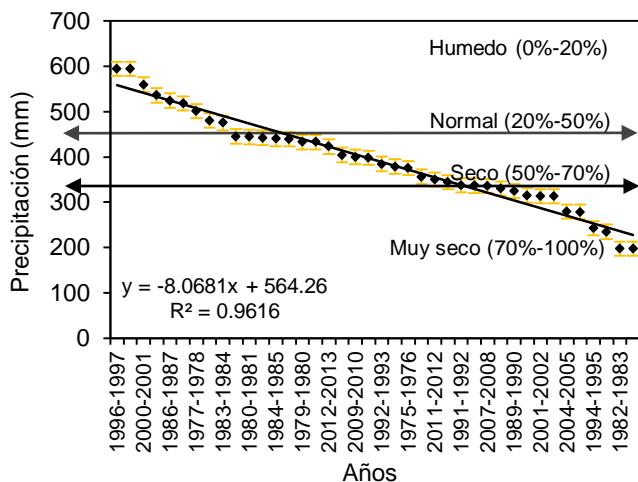


Figura 3. Criterio de probabilidad de excedencia: año húmedo, normal, seco y muy seco.

Debido a las múltiples facetas para la evaluación de la aridez se complementó el déficit hídrico, según las recomendaciones de Verbist et al. (2010), se registró que en los 39 años hubo una tendencia positiva de varianza explicada de 2% (Figura 4), en el rango de 1519 a 636 mm y con un promedio de 1000 mm.

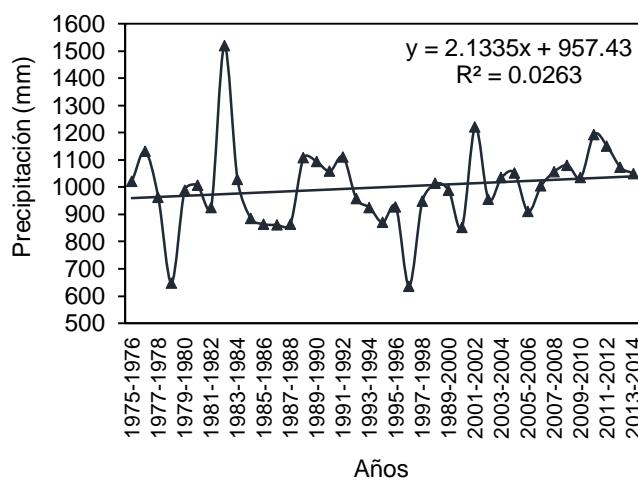


Figura 4. Criterio de probabilidad del déficit hídrico de la aridez.

La evapotranspiración de referencia con el programa Eto Calculator registró tendencia positiva en el rango de 1716 a 1109 mm y un promedio de 1393 mm, diferente al programa Ref-ET de tendencia negativa y una varianza explicada de 0.005% en el rango de 1519 a 636 mm con un promedio de 1000 mm. Pero ambos respondieron a la ecuación de Penman-Monteith al compararlos (Figura 5), con una tendencia positiva y una varianza explicada de 99%. Los vientos mensuales registrados tuvieron como máxima 7 m s⁻¹ y una de media de 4 m s⁻¹; a partir del mes de agosto hasta diciembre. Al comparar las imágenes satelitales y la rosa de vientos del software SISMET; Patacamaya registró direcciones de viento de noroeste (NW), norte (N) y noreste (NE), la última explica la particularidad del movimiento de las nubes en las imágenes satelitales.

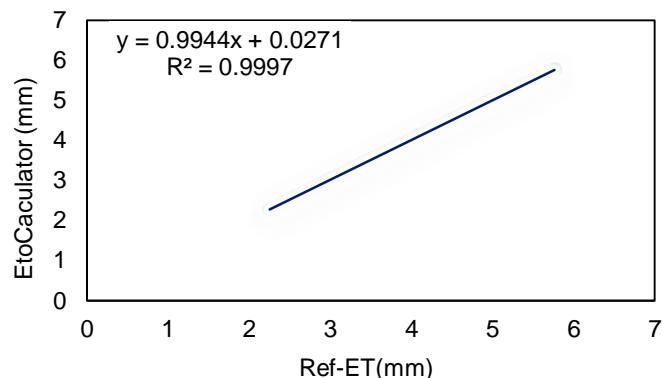


Figura 5. Comparación de resultados de 39 años de los programas Eto-Calculator y Ref-ET.

El índice de aridez de julio a junio desde 1975 a 2015 de Patacamaya tuvo una tendencia negativa y una varianza explicada de 3%, indicando que pertenece a una zona semiárida (Figura 6), contándose el límite de ocho meses desde mayo hasta diciembre, según clasificación de zonas áridas y semiáridas de Pund, mencionado por Verbist et al. (2010).

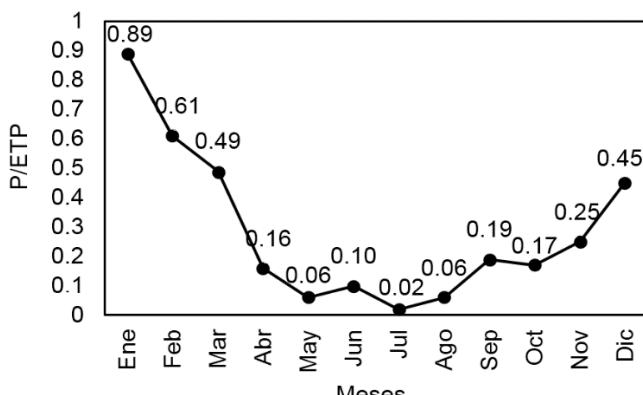


Figura 6. Régimen de Aridez desde 1975 – 2015.

La diferencia entre el rango de NDVI fueron cuantificados en promedio anuales de precipitaciones de julio a junio, cultivos y cobertura vegetal nativa del mes de diciembre (Figura 7) de julio a junio de los años 1995 y 2014, del mes de febrero (Figura 8), de julio a junio de los años 1987 y 2014 (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Rango de NDVI, cultivos y cobertura vegetal nativa del mes de febrero, julio a junio de los años 1987 y 2014.

Febrero	Rango (NDVI)	1987 (ha)	2014 (ha)
Cuerpos de agua (ha) azul	0.973-0.0016	2673.0	4.3
Suelo desnudo(ha) incoloro	0.0016-0.19	81678.7	78409.5
Cultivos (ha) verde	0.19-0.32	6136.3	5627.5
Cobertura vegetal nativa (ha) rojo	0.32-0.40	10411.1	16856.5
Total		100899.1	100897.9

Es posible de que la dinámica de la cobertura vegetal nativa se encuentre relacionado a la dinámica sucesiones de algunas especies cuyas raíces capturan e infiltran agua de lluvia permitiendo la recarga en los bolsones acuíferos y de los bofedales que como reguladores del ciclo del agua.

Tabla 3. Promedio anual de precipitación del mes de febrero de julio a junio de los años 1987 y 2014.

Periodo anual	Tipo de año	Precipitacion (mm)
1986-1987	Húmedo	524.4
1987-1988	Húmedo	536.1
2013-2014	Seco	378.9
2014-2015	Normal	442.3

Con respecto al incremento de acuerdo a las lluvias de diciembre, este fue de 973.3 ha con una precipitación de 356.2 mm en un año seco (1995-1996), a 1870.2 ha con una precipitación de 442.3 mm de un año normal (2014-2015) y de febrero de 10411 ha con una precipitación de 524 mm de un año húmedo (1986-1987), a 16856.5 ha con una precipitación de 378.9 mm de un año seco (2013-2014).

Tabla 4. Rango de NDVI, cultivos y cobertura vegetal nativa del mes de diciembre de julio a junio de los años 1995 y 2014.

Diciembre	Rango (NDVI)	1995 (ha)	2014 (ha)
Cuerpos de agua(ha) azul	0.431-0.0016	5603.4	0.0
Suelo desnudo(ha) incoloro	0.0016-0.19	93999.0	98790.1
Cultivos(ha) verde	0.19-0.32	322.7	237.5
Cobertura vegetal nativa(ha) rojo	0.32-0.40	973.3	1870.2
Total		100898.5	100897.8

Tabla 5. Promedio anual de precipitación de julio a junio del mes de diciembre, de julio a junio de los años 1995 y 2014.

Periodo anual	Tipo de año	Precipitacion (mm)
1994-1995	Muy seco	242.6
1995-1996	Seco	356.2
2013-2014	Seco	378.9
2014-2015	Normal	442.3

Según las cartas cartográficas que muestran la hidrografía (Figura 9), se evidencia formaciones de ríos intermitentes causadas por la presencia de lluvias de la época húmeda. La distribución hidrográfica fue a nivel quinto, según el sistema de codificación PFAFSTETTER, de delimitación y codificación de unidades hidrográficas, se describe presencia de cobertura vegetal en la intersección de la cuenca Khetto y Viscarani, que según la referenciacion geológica pertenecen a los depósitos coluvio fluviales y fluvio lacustres, que junto al gradiente de pendiente (Figura 9), forma con el modelo digital de elevación a 30 m y transponiendo con la imagen satelital Landsat determinaron escenarios de microclima donde se forma una cobertura vegetal nativa y algunos lugares aprovechados para el cultivo. Los aspectos geomorfológicos (Figura 10), determinaron que en las formaciones geológicas, existió la presencia ocasional o permanente de cobertura vegetal, que al compararlo con las curvas de nivel (Figura 10), indicaron de qué manera ocurren los drenajes superficiales. Respecto con la ubicación de los pozos, la ocurrencia de precipitaciones que según el análisis multitemporal de la cobertura vegetal NDVI y los cuerpos de agua occurrentes formados por las precipitaciones indican decisiones para posibles fuentes de agua subterránea.

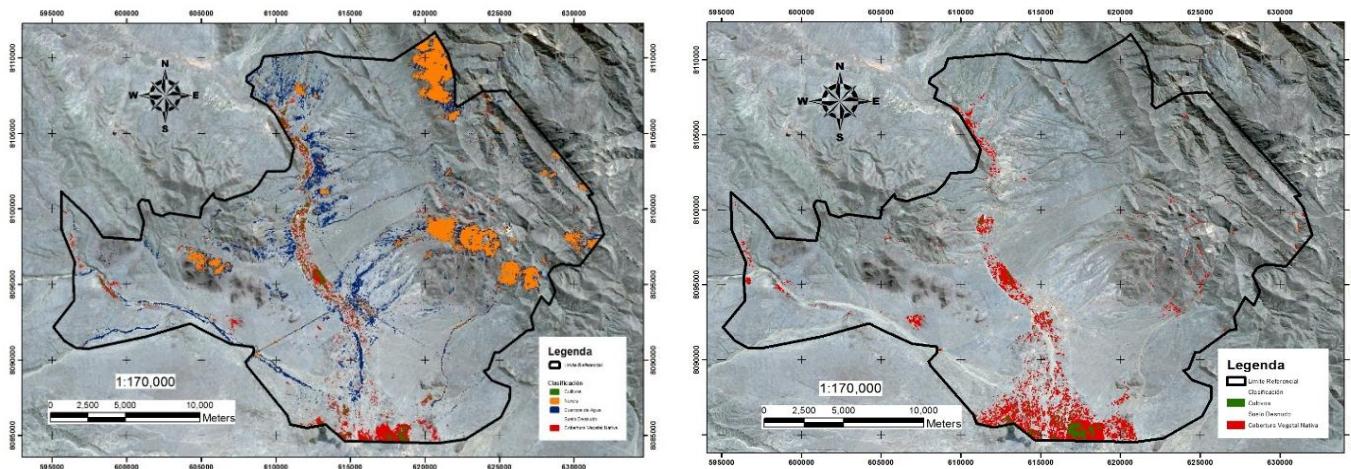


Figura 7. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), del 1995-12-14 (Izq.) y 2014-12-02 (Der.).

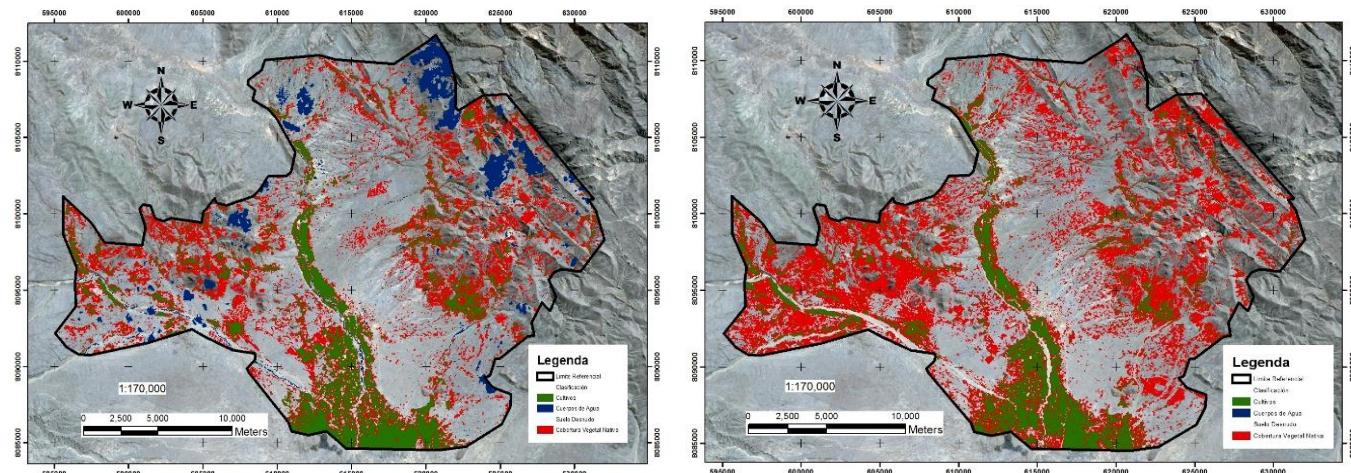


Figura 8. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), del 1987-03-07 (Izq.) y 2014-03-05 (Der.).

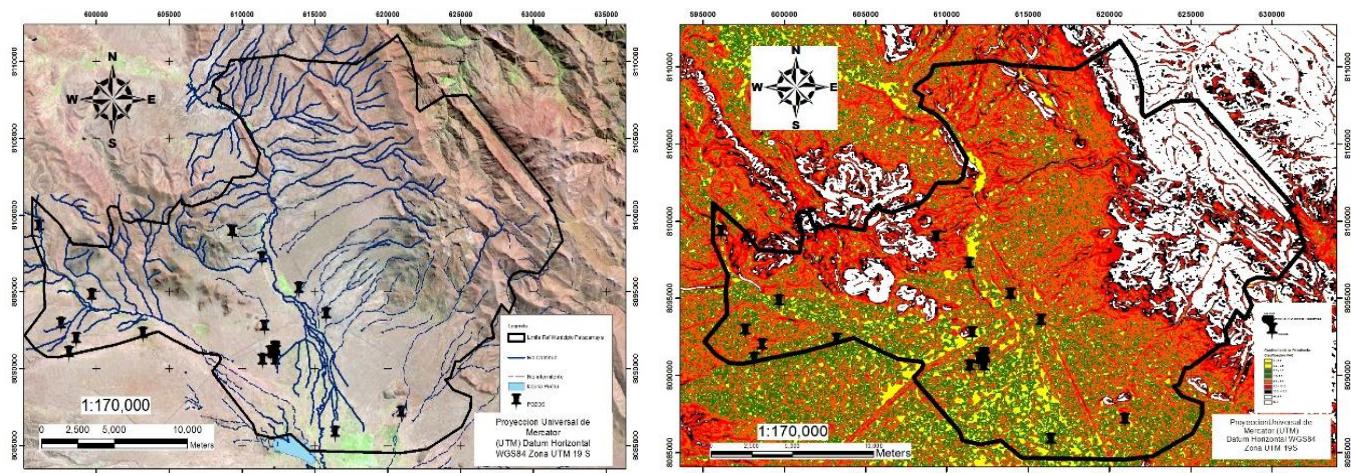


Figura 9. Hidrología (Izq.) y gradiente de pendiente (Der.).

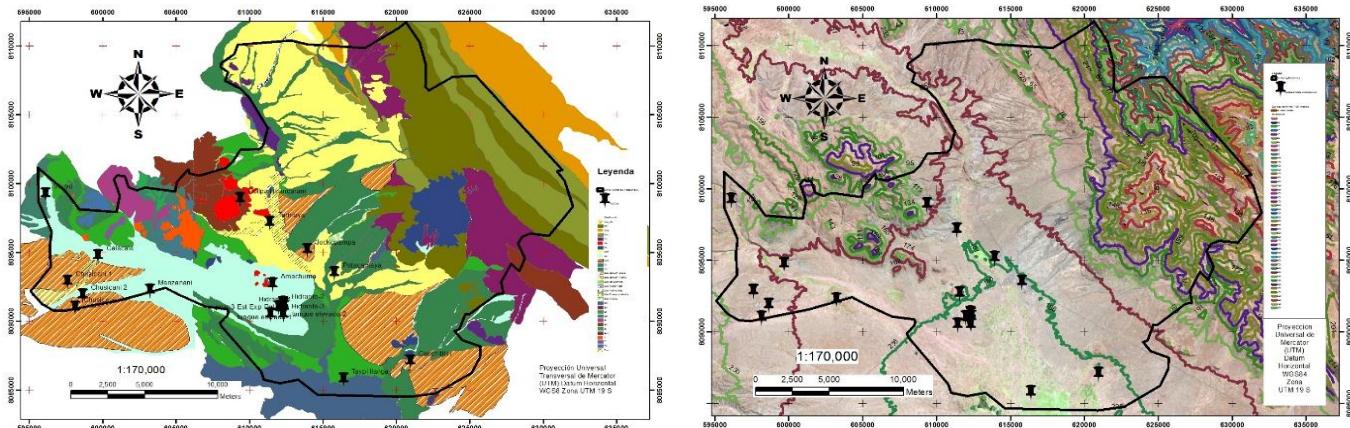


Figura 11. Unidades geomorfológicas (Izq.) y curvas de nivel (Der.).

CONCLUSIONES

La dinámica del comportamiento multitemporal de la cobertura vegetal fue cuantificada a las imágenes satelitales correspondientes a dos meses de época húmeda que son: diciembre que registró un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 973.3 ha en 1995 con una precipitación de 356.2 mm durante un año seco de 1995 a 1996 a diferencia de un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 1870.2 ha del 2014 con una precipitación de 378.9 mm durante un año seco de 2013 al 2014. Febrero registro un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 16547.4 ha en 1987 con una precipitación de 524.4 mm durante un año húmedo de 1986 a 1987 a diferencia de un total entre cultivos y cobertura vegetal nativa de 16856.5 ha del 2014 con una precipitación de 378.9 mm durante un año seco de 2013 al 2014.

Las diferencias de la cuantificación de la cobertura vegetal están relacionadas con la dinámica suscesional de algunas especies cuyas raíces capturan e infiltran agua de lluvia permitiendo la recarga en los bolsones acuíferos y los bofedales que actuaron como reguladores del ciclo del agua. La evaluación de las pendientes y de las curvas de nivel son para determinar los recorridos superficiales del agua en contraste con los ríos intermitentes y no intermitentes, para especificar la demanda de evapotranspiración de referencia de los cultivos o de la cobertura vegetal nativa.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Instituto Geográfico Militar (IGM), SERGEOTECMIN (SGTM) y Empresa de aguas La Paz (EDALP), por la información referencial.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen R. 2011. March-11. Model from METRIC spreadsheet. Read in "TIFF" files from EROS LIT folder and Stack for Landsat 5 and 7. University of Idaho.
- Allen R. 2013. June-12. Model from METRIC spreadsheet. Read in "TIFF" files from EROS LIT folder and Stack for Landsat 8. University of Idaho.
- García, C.M., Yucra, S.E.E, Pinaya, M.T.G. y Calisaya V.R.A. 2011. Atlas Agroclimático del Altiplano Boliviano. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 64 p.
- Ortuño, T., Beck, S., Sarmiento, L. 2006. Dinámica sucesiones de la vegetación en un sistema agrícola con descanso en el Altiplano Central boliviano. Museo Nacional de Historia Natural, Herbario Nacional de Bolivia. Instituto de Ecología, Herbario Nacional de Bolivia Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. 70 p.
- Verbist, K., Santibañes, F., Gabriel, S., Soto, G. 2010. Atlas de zonas áridas de América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Caribe (CAZALAC). Documento técnico de PHI-LAC. 48 p.
- ZONISIG, 1998. Zonificación agroecológica y socioeconómica de la cuenca del Altiplano del departamento de La Paz. Zonificación agroecológica y establecimiento de una base de datos y red de sistemas de información geográfica en Bolivia. La Paz, Bolivia. 213 p.

Artículo recibido en: 25 de octubre 2018

Aceptado en: 21 de junio 2019