

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS PRADERAS NATIVAS DEL PARQUE NACIONAL SAJAMA, A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE NATIVE MEADOWS OF THE SAJAMA NATIONAL PARK, THROUGH REMOTE SENSORS

Cusi, A.¹, Gutierrez, E.², Carvajal, L.³

¹ Tesista Investigador de la carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

² Asesor de Tesis, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

³ Asesor de Tesis, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

Abstract

The research was carried out in the Sajama National Park, in the Department of Oruro. In order to evaluate the NDVI, SAVI, NDWI and LST vegetation indices derived from the remote sensing images to estimate the state of the vegetation cover and the vegetation indices in relation to meteorological data and characterize the real surface of the types of vegetation cover, of the study area. 62 native species were inventoried, distributed in 26 families and subdivided into 8 plant units in the area, of which 34.92% of the species are desirable, 33.33% of species are undesirable and 31.75% of undesirable species. The Collpar plant unit reports a high percentage of bare soil and the high Andean rocky semi-desert plant unit reports a higher percentage of rocks. The condition of 4 plant units registered regular conditions, 2 plant units registered excellent conditions and in the other plant units poor and good conditions were registered for the camelid species. The vegetation indices evaluated NDVI, SAVI, NDWI and LST, allowed to characterize different types of cover, and the behavior of the vegetation during 20 years of observation. The NDVI evaluates the photosynthetic activity where 7844 ha. I increase the vegetation. With the SAVI it is observed that 35459 ha of vegetation increased. The NDWI evaluates the humidity in the soil where it shows an increase of 2969 ha. From areas with low water retention. The LST maps show that the soil temperature increases gradually, during the evaluation time of the Sajama National Park.

Keywords: Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Water Index, Soil Adjusted Vegetation Index, Soil Surface Temperature

Resumen

La investigación se realizó en el Parque Nacional Sajama, del Departamento de Oruro. Con el fin de evaluar los índices de vegetación NDVI, SAVI, NDWI y LST derivados de las imágenes de sensores remotos para estimar el estado de la cobertura vegetal y los índices de vegetación en relación con los datos meteorológicos y caracterizar la superficie real de los tipos de cobertura vegetal, del área de estudio. Se inventario 62 especies nativas, distribuidas en 26 familias y sub divididas en 8 unidades vegetales en el área, de las cuales el 34.92% de las especies son deseables, el 33.33% de especies son poco deseables y el 31.75% de especies indeseables. La unidad vegetal Collpar reporta porcentaje alto de suelo desnudo y la unidad vegetal semidesierto rocoso alto andino reporta mayor porcentaje de rocas. La condición de 4 unidades vegetales registró condiciones regulares, 2 unidades vegetales registraron condiciones excelentes y en las demás unidades vegetales se registraron condiciones pobres y buenas para la especie camélida. Los índices de vegetación evaluados NDVI, SAVI, NDWI y LST, permitieron caracterizar diferentes tipos de cobertura, y el comportamiento de la vegetación durante 20 años de observación. El NDVI evalúa la actividad fotosintética donde 7844 ha. Incremento la vegetación. Con el SAVI se observa que incremento 35459 ha de vegetación. El NDWI evalúa la humedad en el suelo donde presenta un incremento de 2969 ha. De áreas con baja retención de agua. Los mapas de LST muestran que la temperatura del suelo se incrementa de manera paulatina, durante el tiempo de evaluación del Parque Nacional Sajama.

Palabras clave: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Índice de Agua de Diferencia Normalizada, Índice de Vegetación Ajustado al Suelo, Temperatura Superficie del Suelo.

1. Introducción

El Altiplano Boliviano es una unidad fisiográfica, situada en medio de las cordilleras Occidental y Oriental, los campos naturales de pastoreo constituidos por una diversidad de comunidades vegetales, constituyen la fuente más importante de forraje para la alimentación de camélidos (Mamani, 2016). Se estima que más del 98 % de estas praderas del altiplano están constituidas por especies nativas y 2 % de especies forrajeras introducidas (Ancasi, 2012).

La vegetación es un importante indicador para evaluar diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas; como por ejemplo los fenómenos relacionados a la pérdida de biodiversidad, desertificación, relación entre la vegetación y erosión del suelo e interacción vegetación-clima (Gonzaga, 2014).

Las proyecciones del cambio climático menciona que aumentará la temperatura en 1,5 °C, se producirá un aumento de las olas de calor, se alargarán las estaciones cálidas y se acortarán las estaciones frías; mientras que con un calentamiento global de 2 °C los episodios de calor extremo alcanzarían con mayor frecuencia umbrales de tolerancia críticos para la agricultura y la salud. Como consecuencia del cambio climático, las diferentes regiones experimentan distintos cambios, que se intensificarán si aumenta el calentamiento; en particular, cambios en la humedad y la sequedad, los vientos, la nieve y el hielo, las zonas costeras y los océanos (IPCC, 2021).

Considerando los avances tecnológicos en las últimas décadas, y la necesidad de utilizar mapas para representar informaciones geográficas durante el siglo XX, la ciencia y la tecnología avanzó de tal manera que ha generado la demanda de gran cantidad de datos geográficos, para ser representados en forma de mapas de manera más rápida y precisa, esto representa la imagen satelital llamada también imagen ráster (Mamani, 2016). La teledetección ha sido utilizada como valiosa herramienta a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, al momento evaluar las dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. Las imágenes son captadas por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y

repetitiva. La aplicación de la teledetección es posible gracias a la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres que tienen un comportamiento reflectivo variable. Debido a las características multispectrales y multitemporales de los datos satelitales, resulta posible la diferenciación de tipos de cobertura vegetal (Gonzaga, 2014).

En este sentido, el presente estudio consistió en una evaluación de índices de vegetación derivados de imágenes adquiridas por sensores remotos, con el fin de realizar una descripción de la calidad, estado, comportamiento y diferenciación de los tipos de vegetación, y su relación con elementos climáticos.

2. Objetivo

- Evaluar el efecto del cambio climático sobre las praderas nativas del Parque Nacional Sajama, a través de sensores remotos.

3. Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en El Parque Nacional Sajama está se ubica en el extremo noroeste del departamento de Oruro, provincia Sajama y conformado por los municipios de Curahuara de Carangas y Turco. Limita al norte con el departamento de La Paz y al oeste con la República de Chile. Se encuentra en las siguientes coordenadas Geográficas Coordenadas geográficas del cuadrante de referencia: 17° 56' 57.24" latitud Sur; 69° 08' 31.55" longitud Oeste a 18° 17' 37.46" latitud Sur; 68°44'25.74 longitud Oeste (SERNAP, 2020).

Materiales. Cámara fotográfica digital, Registro de datos, Cuaderno de campo, Cuchillo de campo, Flexómetro, Tablero de campo, Planilla de campo, Chuntilla, Marcadores, GPS (Sistema Posicionamiento Global), Bolsas plásticas.

Material satelital y software. Imágenes satelitales (Landsat 7, Landsat 8, Sentinel 2^a), ArcGIS 10.3.

Material de campo. Computadora portátil, Impresora, Papel bond tamaño carta, DVD para guardar las imágenes.

La metodología correspondiente a la presente investigación sigue el siguiente esquema metodológico.

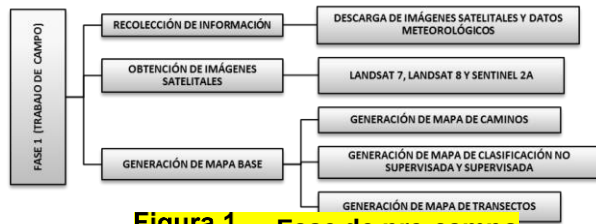


Figura 1. Fase de pre-campo

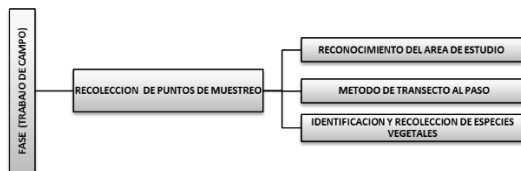


Figura 2. Fase de campo

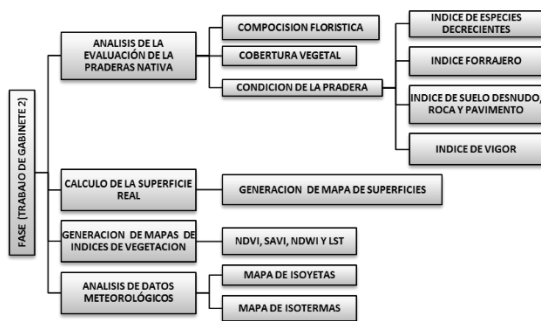


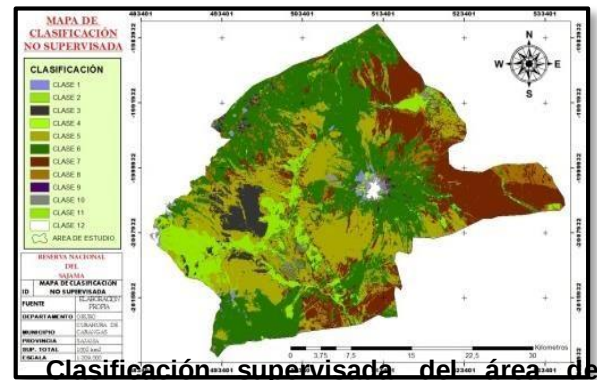
Figura 3. Fase trabajo de gabinete

Las variables evaluadas fueron: índices de vegetación NDVI, SAVI e índices complementarios NDWI y LST derivados de las imágenes satelitales de sensores remotos.

4. Resultados y discusión

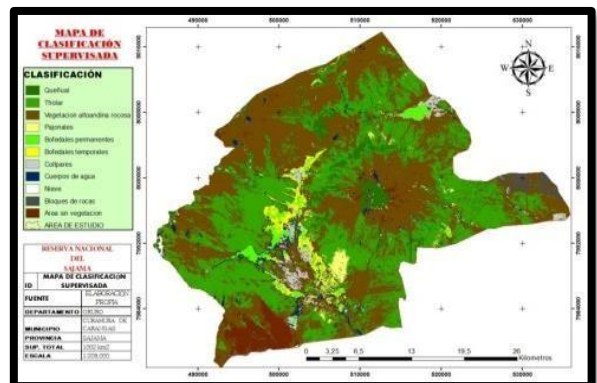
Clasificación no supervisada del área de estudio

El mapa de clasificación no supervisada del Parque Nacional Sajama, muestra 12 clases que fueron identificados por medio del análisis estadístico multivariado para valores de cada pixel y se reclasifico de acuerdo a probabilidades para cada clase. La clasificación no supervisada no determina ninguna prioridad para obtener las clases, es decir se realiza en base a probabilidades, que es el resultado de una imagen ráster reclasificada.



Clasificación supervisada del área de estudio

La clasificación supervisada donde se identificó 11 subcategorías, de las cuales 8 son unidades vegetales: Queñual, Tholar, Vegetación altoandina rocosa, Pajonal, Bofedales permanentes, Bofedales temporales, Collpares y Cuerpos de agua, 3 subclases con unidades temáticas: Nieve, Bloques de roca y Área sin vegetación. La clasificación supervisada clasifica al ráster por medio de cada pixel y del conocimiento previo de las clases del área de estudio (uso actual del suelo).



Mapa de superficie real de las coberturas vegetales del Parque Nacional Sajama

El mapa procesado del Parque Nacional Sajama identificado por colores, muestra una clasificación de 8 unidades vegetales y 3 sub categorías. Los cuales se muestran a continuación. ARCGEEK (2013), señala que al transformar el ráster a polígonos se hace el cálculo de cada categoría. Mediante la herramienta suma se puede agrupar las categorías y realizar la sumatorias de las áreas comunes. De esta manera se realizó el cálculo de las superficies reales de las coberturas vegetales y las sub categorías.

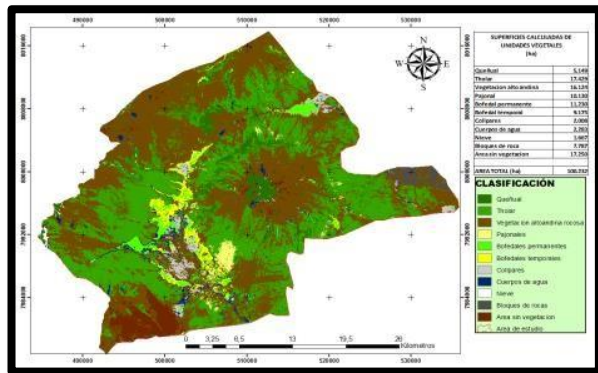
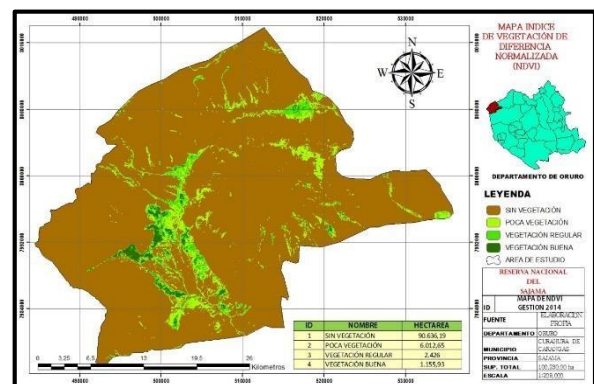
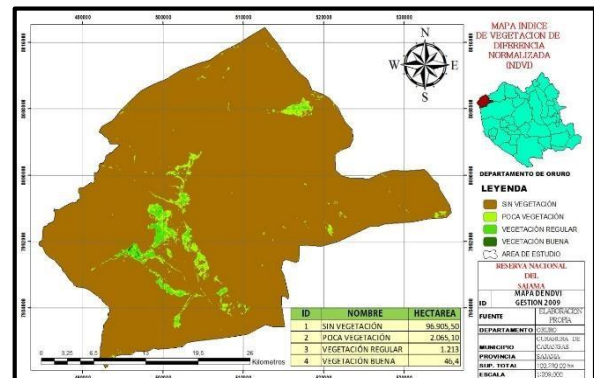
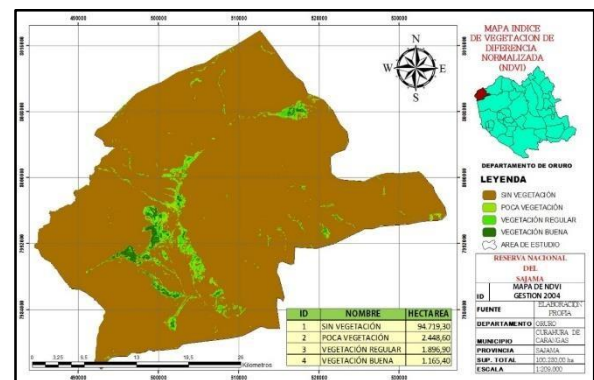
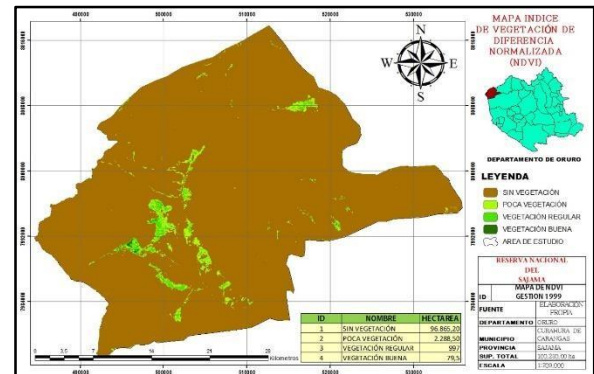
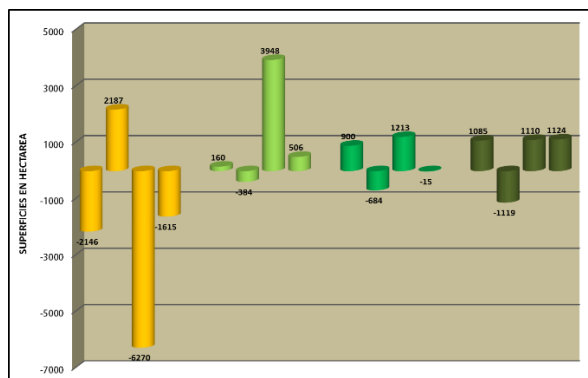
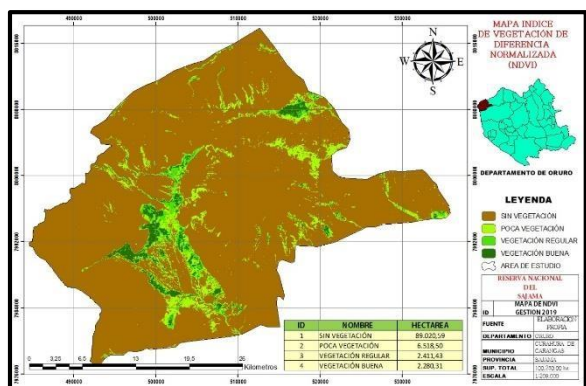


Figura 4.
Mapas de NDVI de la zona de estudio.

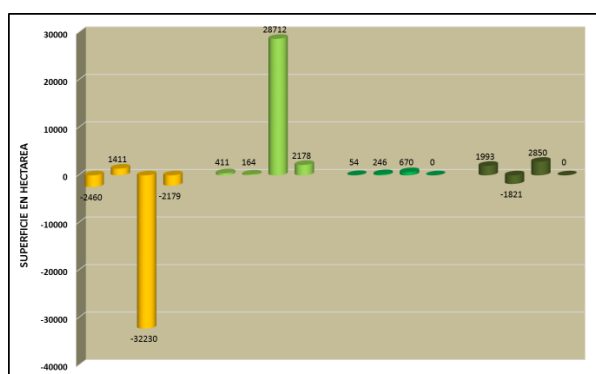
Análisis de índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI



Los mapas de NDVI se clasifican mediante colores, que representan distintos estados de vegetación. Se muestra el comportamiento de las superficies sin vegetación, el año 1999 hasta el 2004 la superficie sin vegetación disminuyó en 2.146 ha, en los años 2004 al 2009 esta superficie incrementa en 2.187 ha, el año 2009 al 2014 la superficie disminuye a 6.270 ha, el año 2019 la superficie disminuye en 1.615 ha. El comportamiento de las superficies con poca vegetación, en el año 1999 al 2004 la superficie incrementa en 160 ha, los años 2004 al 2009 la superficie disminuye a 380 ha, a partir del año 2009 al 2014 esta superficie incremento a 3.948 ha, a partir del 2014 al 2019 se incrementó en 506 ha. El comportamiento de las superficies con vegetación regular, en los años 1999 al 2004 hubo un incremento de la superficie con vegetación regular en 900 ha, para el año 2004 al 2009 esta superficie disminuyó a 684 ha, a partir del año 2009 al 2014 esta aumentó a 1.213 ha, y en los años 2014 al 2019 la superficie disminuyó en 15 ha. El comportamiento de las superficies con vegetación buena, el año 1999 al 2004 la superficie aumento en 1.085 ha, el año 2004 al 2009 esta superficie disminuyó a 1.119 ha, el 2009 al 2014 la superficie incremento en 1.110 ha, y en el 2014 al 2019 la superficie incremento en 1.124 ha.



Análisis de índice de vegetación de ajustado al suelo SAVI

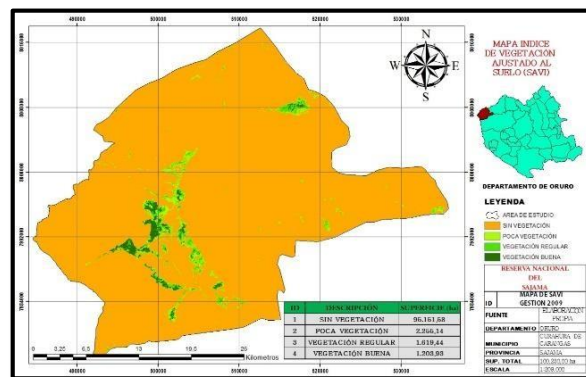
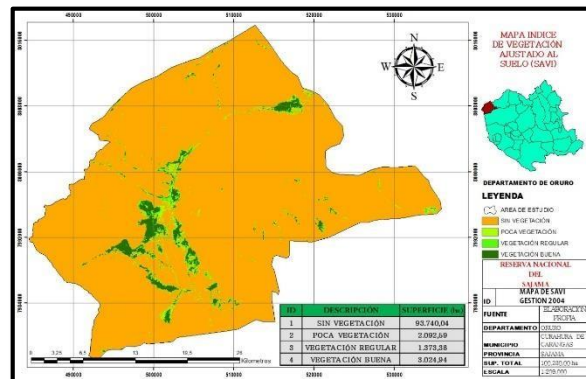
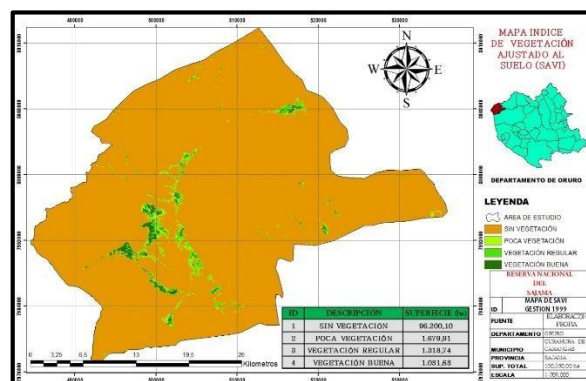


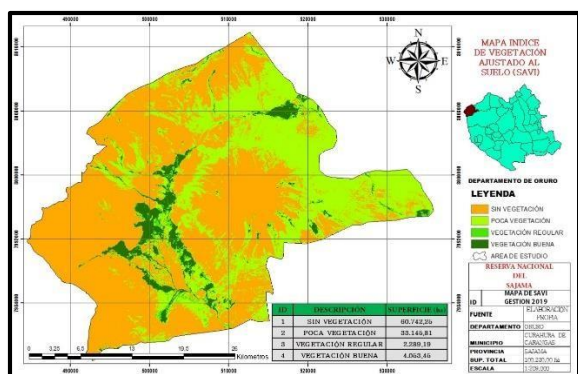
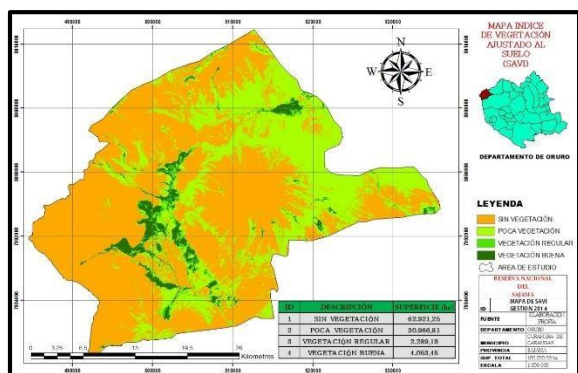
Los mapas de SAVI muestran colores que indican a los distintos tipos de cobertura vegetal. El comportamiento de las superficies sin vegetación, a partir 1999 al 2004 disminuyó la superficie en 2.460 ha, el 2004 al 2009 incremento la superficie a 1.411 ha, a partir del año 2009 la superficie disminuye en 32.230 ha, el año 2014 al 2019 la superficie continua en disminución en 2.179 ha. El comportamiento de las superficies con poca vegetación, a partir de 1999 al 2009, incrementa la superficie en 411 ha, en 2009 incremento la superficie en 164 ha, el año 2009 al 2014 incremento la superficie en 28.712 ha, el año 2014 hasta el año 2019 el incremento fue 2.178 ha. El comportamiento de las superficies con vegetación regular en los años 1999 al 2004 la superficie incremento en 54 ha, y del 2004 al 2009 la superficie se incrementó 246 ha, en los años 2009 al 2014 la superficie incremento 679 ha, en el año 2014 al 2019 no sufrió cambios en la superficie con vegetación regular. El comportamiento de las superficies con vegetación buena en el año 1999 al 2004 la superficie incrementa en 1.993 ha, y del 2004 al 2009 la superficie disminuye en 1.821 ha,

en el año 2009 al 2014 la superficie incremento en 2.850 ha, y en el año 2014 al 2019 la superficie con vegetación buena no sufrió cambios.

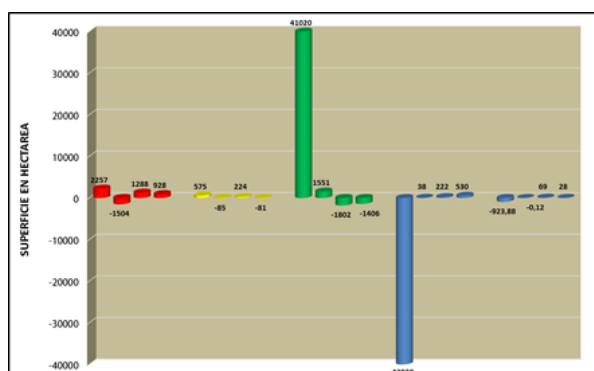
Mediante estos resultados afirmamos que implementando proyectos de restauración e implementación de sistemas de riegos en praderas podemos minimizar la superficie de cobertura sin vegetación y el impacto del cambio climático.

Figura 5. Mapas de SAVI de la zona de estudio.





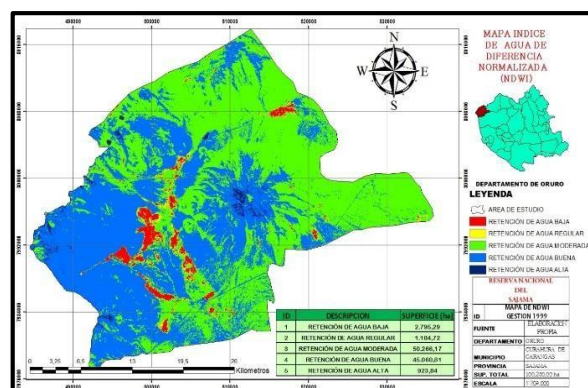
Análisis de índice de agua de diferencia normalizada NDWI

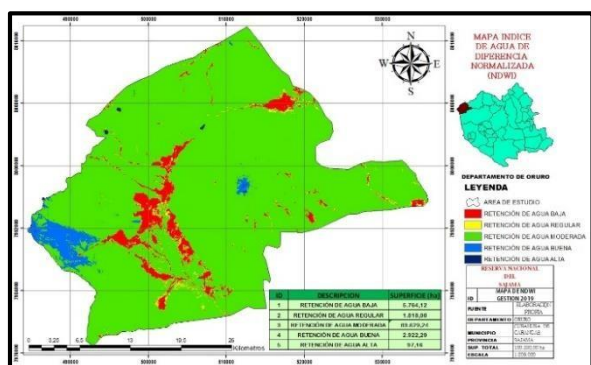
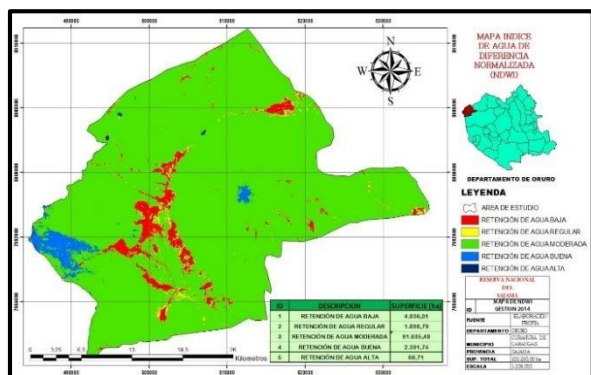
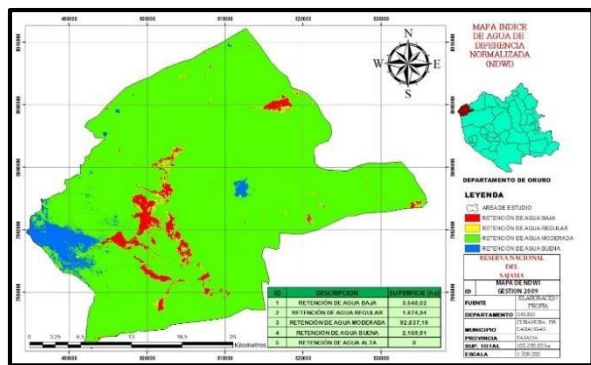
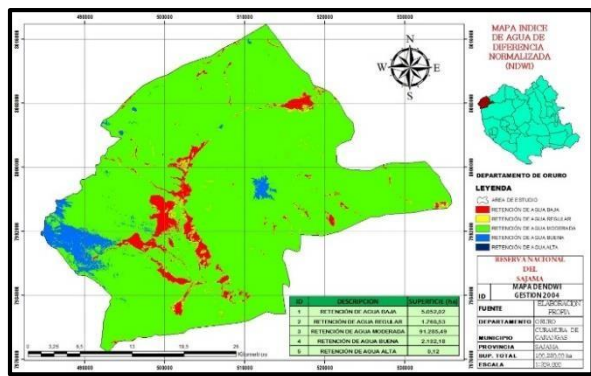


Mediante los mapas de NDWI se clasifican mediante colores que están referidas a distintos estados de niveles de agua. El comportamiento de las superficies con baja retención de agua, donde el año 1999 al 2004, las superficies con baja retención de agua incrementa a 2.257 ha, del 2004 al 2009, la superficie disminuye a 1.504 ha, en el año 2009 al 2014 la superficie tiende a aumentar a 1.288 ha, en el año 2014 al 2019 esta superficie continua incrementando en 928 ha. El comportamiento de las superficies con regular retención de agua, donde el año 1999 al 2004 esta superficie incremento en 575 ha,

y en los años 2004 al 2009 esta superficie disminuye a 85 ha, el año 2009 al 2014 la superficie incremento en 224 ha, el año 2014 al 2019 la superficie disminuye en 81 ha. El comportamiento de las superficies con moderada retención de agua, en los años 1999 al 2004 incrementa la superficie en 41.020 ha, en los años 2004 al 2009 esta superficie continua incrementando en 1.551 ha, el año 2009 al 2014 la superficie disminuye en 1.802 ha, el año 2014 al 2019 esta superficie aun disminuye en 1.406 ha. El comportamiento de las superficies con buena retención de agua, el año 1999 al 2004 disminuye drásticamente la superficie en 42.928 ha, a partir del año 2004 incrementa superficie en 38 ha, al 2009 incrementa en 222 ha, y en el año 2014 al 2019 la superficie incrementa en 530 ha. El comportamiento de las superficies con alta retención de agua, los años 1999 al 2004 disminuye la superficie en 924 ha, el año 2004 al 2009 esta superficie disminuyo en 0,12 ha, el año 2009 al 2014 la superficie incremento en 69 ha, el año 2014 al 2019 la superficie incremento en 28 ha. Con esta información anotamos que el efecto del cambio climático tuvo un impacto grande en la perdida de superficies con alta retención de agua. Con estos resultados afirmamos que el cambio climático está disminuyendo paulatinamente los lugares con buena retención de agua.

Figura 6. Mapas de NDWI de la zona de estudio.



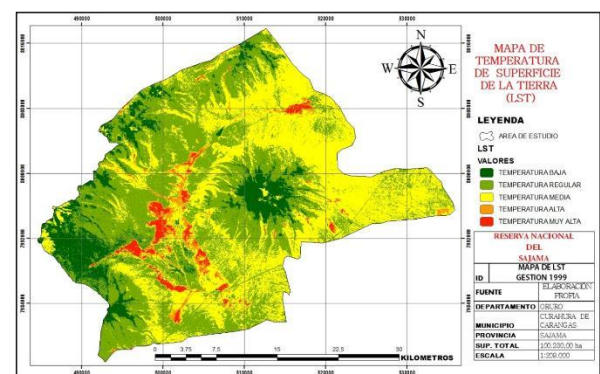


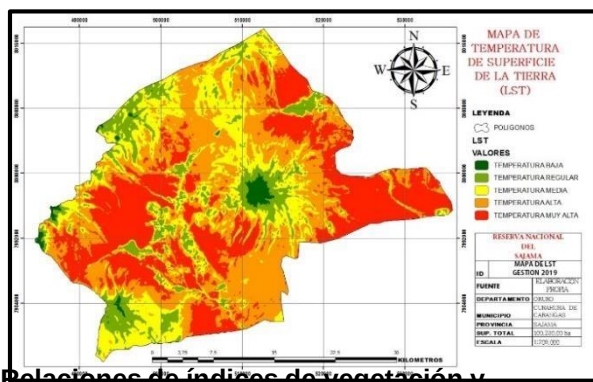
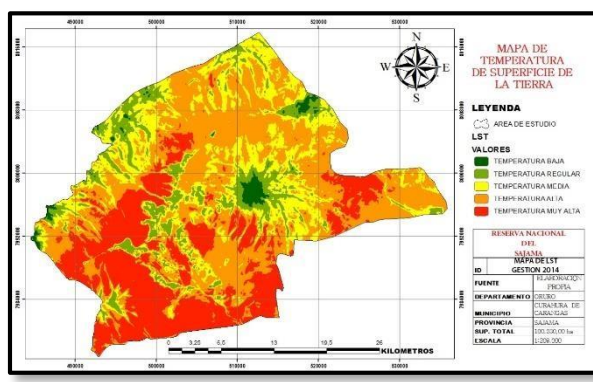
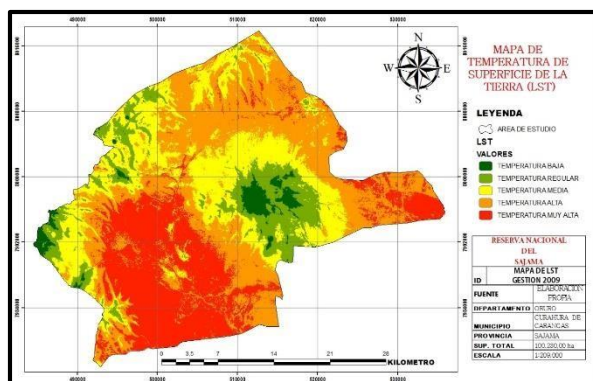
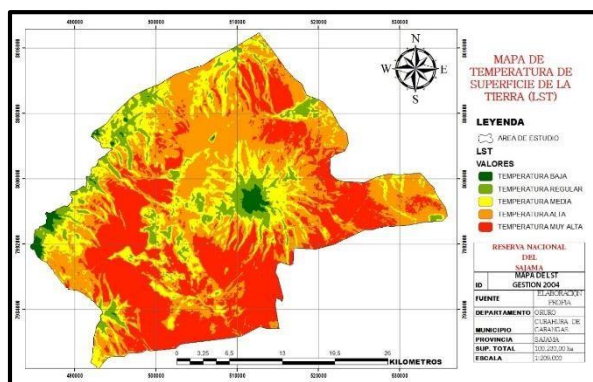
Análisis de los mapas de temperatura de superficie de la tierra LST

Según los mapas de temperatura de superficie de la tierra LST, este muestra colores que representan las distintas temperaturas en la superficie del suelo del Parque Nacional Sajama.

Según los mapas de temperatura de superficie de la tierra LST registran el comportamiento de la temperatura en el suelo en el Parque Nacional Sajama. El año 1999 la mayor parte de la superficie de la tierra presenta temperaturas -3.34 °C, hasta 36,06 °C. El resto de la superficie presenta temperaturas más superiores. El año 2004 presenta mayores superficies con temperaturas 36.06 °C hasta 52.79 °C. Tal como también se ve en el mapa de NDWI del año 2004 que por el aumento de la temperatura del suelo las áreas con poca retención de agua aumentan, según los mapas de NDVI y SAVI la superficie sin vegetación presenta una amplia superficie. Al mencionar estos hechos deducimos que el suelo empieza a elevar la temperatura de la superficie. El año 2009 reporta que existe mayor presencia de superficies con temperaturas de 29.68 °C, hasta 52.79 °C. El mapa de NDWI muestra que la superficie con retención de agua baja y regular disminuye en 1504 ha. Los mapas de NDVI y SAVI muestra que la cobertura sin vegetación aumento. El año 2014 muestra una similitud con el mapa de LST del año 2009. Donde predomina temperaturas de 36.06°C hasta los 52.79 °C. En el mapa de NDWI muestra que la superficie con retención de agua aumenta en 1288 ha. Lo cual indica que la temperatura del suelo aumenta. La gestión 2019 se registra mayor superficie con temperatura de 41.56 °C hasta 52.79 °C, el mapa de NDWI muestra que las áreas con baja retención de agua aumento 928 ha. Según estos resultados afirmamos que el efecto del cambio climático está haciendo que exista mayor superficie con temperaturas altas donde la humedad no se mantiene.

Figura 7. Mapas de LST de la zona de estudio.



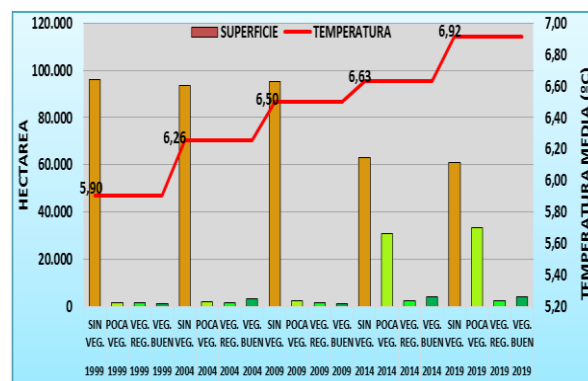


Relaciones de índices de vegetación y temperatura media (°C)

Los resultados muestran la interacción de los índices de vegetación y la temperatura media.

Estos indican cuando la temperatura es menor existe menos vegetación y la superficie con suelo desnudo incrementa. Cuando la temperatura aumenta existe mejores condiciones para el crecimiento de la vegetación buena y regular, la superficie con suelo desnudo disminuye.

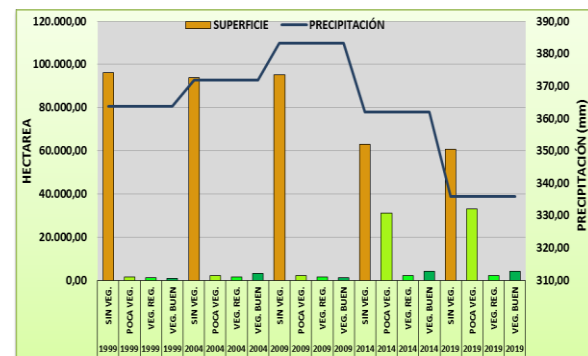
Cuadro 1. Principales Tipos de praderas en la zona andina de Bolivia



Relaciones de índices de vegetación y precipitación (mm)

La interacción de los índices de vegetación y precipitación, a mayor precipitación menor crecimiento vegetativo y aumento de la superficie sin vegetación, mayor escorrentía, mayor pérdida de nutrientes y semillas por la pendiente del lugar que supera 10 % de pendiente. Cuando la precipitación se acerca al promedio establecido por Meteoblue (2018), de los 300 mm la vegetación puede desarrollarse satisfactoriamente.

Cuadro 2. Principales Tipos de praderas en la zona andina de Bolivia



5. Conclusiones

Se encontró 61 especies que están distribuidos en 26 familias, la mayoría de las unidades

vegetales identificadas cuentan con condiciones buenas para la especie camélida. Cuentan con coberturas vegetales mayores al 60%.

Los índices de vegetación evaluados NDVI, SAVI, NDWI y LST, permitieron caracterizar diferentes tipos de cobertura y el comportamiento de la vegetación durante 20 años de observación. El NDVI evaluó la dinámica de la cobertura vegetal donde hubo un incremento de 7844 ha de vegetación. Con el SAVI se observa que hubo un incremento de 35459 ha de vegetación. El NDWI evalúa la humedad en el suelo donde presenta un incremento de 2969 ha. de áreas con baja retención de agua. Los mapas de LST muestran que la temperatura del suelo se incrementa de manera paulatina, durante el tiempo de evaluación del Parque Nacional Sajama.

La interacción de los índices de vegetación y los índices complementarios muestran que el cambio climático presenta impactos en las praderas dentro del Parque Nacional Sajama, para minimizar el impacto se ejecutaron proyectos agropecuarios que minimizan el impacto.

La interacción entre los datos climáticos y los índices de vegetación muestran que los factores climáticos interfirieron en el desarrollo de la vegetación, donde a mayor temperatura y precipitación la vegetación disminuye y aumenta la superficie sin vegetación.

6. Recomendaciones

En base a los objetivos propuestos, resultados obtenidos y conclusiones llegadas en el presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

Emplear sensores remotos para el monitoreo de las praderas nativas. Aplicando los índices de vegetación: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Índice de Vegetación Ajustado al Suelo, Índice de Agua de Diferencia Normalizada y Mapas de Temperatura de Superficie del Suelo. Que ayudan a determinar la condición y estado de la pradera nativa.

Contar con estaciones meteorológicas dentro del

Parque Nacional Sajama para el monitoreo del clima e identificar las alertas tempranas que se presenten.

Realizar evaluaciones constantes del comportamiento de las praderas nativas mediante las cuales se pueda programar acciones de mitigación para disminuir los efectos del cambio climático. Realizar programas de recuperación de áreas donde presenten superficies sin cobertura vegetal implementando cercos de protección implementar sistemas riego, aplicar fertilización constante asegurar la regeneración de las especies, mejorar el ciclo hidrológico del agua y mantener la biodiversidad y la fauna silvestre.

7. Referencias bibliográficas

Acebey, A., M. Kessler, B. Maass & T. Krömer, 2006. Aráceas y bromeliáceas de Bolivia. En: Moraes M., Ollgaard, B., Kvist, L. Eds. Balslev. Botánica Económica de los Andes Centrales. UMSA, La Paz-Bolivia. 448 p.

Agua Sustentable, 2013. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Parque Nacional Sajama. (1, 2013, Oruro, Bolivia). Oruro, Bolivia. Imprenta Bolivia. 110 p.

Ancasi, D. 2012. Evaluación de la composición florística, química y carga animal de canapas de la comunidad Jilauta Manasaya, provincia Sajama, Oruro: tesis Ing. Agro. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 96 p.

ArcGeek, 2018. Calcular la temperatura de la superficie terrestre con imágenes Landsat 8, [en línea]. Consultado en fecha: 19/06/2021. Disponible en <https://acolita.com/calcular-temperatura-superficie-tierra-imagenes-landsat-8/>.

Beck, S. Dominic, A. Garcia, C. Meneses, R. Yager, K. Halloy S. 2010. El Parque Nacional Sajama y sus Plantas. Departamento de Oruro, Bolivia. Weinberg SRL. La Paz – Bolivia. 252 p.

GISBeers, (2017). Calculo de índice de NDWI, [en línea]. Consultado en fecha: 19/04/2020. Disponible en <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-ndwi-diferencial-de-agua-normalizado/>.

GISBeers, (2019). Calculo de temperatura superficial lst con landsat. [en línea]. Consultado en fecha 21/07/2021. Disponible en <http://www.gisandbeers.com/calculo-de-temperatura-superficial-lst-con-landsat-8/#more-8214>.

GISBeers, (2019). Todo lo que deberías saber sobre imágenes Sentinel 2. [en línea]. Consultado en fecha 10/02/2021. Disponible en <http://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-sentinel-2/>.

Gonzaga, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. Tesis M. Sc. Ing. Agro. Ecuador, Universidad Nacional de la Plata. 120 p.

GreenFacts, 2007. Cambio climático. [en línea]. Consultado en fecha 20/04/2021. Disponible en <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/cambio-climatico.htm>.

Leonardo F. 2012. Clasificación supervisada y no supervisada. [en línea]. Consultado en fecha 19/05/2020. Disponible en <https://www.acolita.com/clasificacion-supervisada-no-supervisada-en-arccgis/>.

Leonardo F. 2018. Calcular la temperatura de la superficie terrestre con imágenes Landsat. Arcgeek. [En línea]. Consultado en fecha: 19/05/2020. Disponible en <https://www.acolita.com/calcular-temperatura-superficie-tierra-imagenes-landsat-8/>.

Mamani, E. 2016. Evaluación de los recursos forrajeros nativos con imágenes satelitales en la comunidad alto Peñas del municipio de Batallas provincia los Andes. Tesis Ing. Agro. Bolivia, UMSA. 141 p.

MappingGIS, 2019. Combinación de bandas en imágenes satelitales Landsat y Sentinel. [en línea]. Consultado en fecha 20/07/2021. Disponible en <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>.

MappingGIS, 2020. Los 6 Índices de Vegetación

para completar el NDVI. [en línea]. Consultado en fecha 20/06/2020. Disponible en <https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>.

OMS, 2018. Organización mundial de la salud. Cambio climático y salud. [en línea]. Consultado en fecha 20/04/2020. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.

ONU, 2019. Organización de las Naciones Unidas. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. [en línea]. Consultado en fecha 20/04/2020. Disponible en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>.

SERNAP, 2020. Parque Nacional Sajama. [en línea]. Consultado en fecha 13/07/2021. Disponible en <http://sernap.gob.bo/sajama/>.

SGM, 2017. Sistema de información geográfica. [en línea]. Consultado en fecha 18/04/2021. Disponible en <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/introduccion-SIG.html>.

TYCGIS, 2019. NDVI ¿Qué es y para qué sirve? Curso de teledetección.com, Malaga-Madrid [en línea]. Consultado en fecha 10/07/2021. Disponible en <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>.

Vargas, E. 2007. Evaluación del sistema de producción ganadero de la comunidad Kjari Alta, Caquiaviri-Provincia Pacajes. Tesis Ing. Agro. Bolivia, UMSA. 126 p.

Vargas, R. 2011. Introducción a la Teledetección. Aplicación a las ciencias agropecuarias forestales y ambientales. Cochabamba-CISTEL Bolivia. 60 p.

Zeballos, M. 2018. Título: Parastrephia lepidophylla una especie muy utilizada como combustible y amenazada por la ampliación de la frontera agrícola. Museo nacional de historia. [en línea]. Consultado en fecha 18/07/2021. Disponible en http://www.mnhn.gob.bo/econoticias_proc.php?Seleccion=264