

Forestación, reforestación y manejo con poblaciones de vegetación autóctona para controlar la erosión en los cerros Sica Sica y Churuquilla en el municipio de Sucre

Afforestation, Reforestation and Management with native vegetation populations to control Erosion in the Sica Sica and Churuquilla Hills in the Municipality of Sucre

PUMA – Maria¹ *, ARCE– Luis ²

¹Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

²Ex director del INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal)

Recibido diciembre, 14, 2023; Aceptado febrero, 16, 2024

Resumen

El propósito de este estudio es analizar y determinar el grado de erosión del suelo en los cerros Sica Sica y Churuquilla, ubicados en el municipio de Sucre, y proponer una estrategia de forestación y reforestación utilizando especies autóctonas para mitigar los procesos erosivos. Para la evaluación de la erosión, se empleó el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS, que permitió la determinación de los niveles erosivos a través de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés). Los resultados indicaron que un 42% de la superficie de los cerros presenta procesos de erosión, según la clasificación de niveles erosivos. El inventario y reconocimiento de la cobertura vegetal se realizó mediante el método de cuadrantes, complementado con el uso de la aplicación "PlantNet" para la identificación de especies vegetales. Los datos obtenidos fueron verificados con fuentes bibliográficas especializadas, y se identificaron tanto los nombres científicos como los comunes de las especies autóctonas presentes en la zona. Además, se realizó un análisis de presencia-ausencia para corroborar la distribución de las especies nativas en el área de estudio. Con base en los resultados obtenidos, se presenta una propuesta de forestación y reforestación utilizando especies vegetales autóctonas, tanto arbustivas como herbáceas. La implementación de esta propuesta contribuirá a fortalecer la estructura del suelo, reduciendo los procesos erosivos y favoreciendo la conservación de los cerros Sica Sica y Churuquilla.

Palabras Clave

Forestación, reforestación, especies autóctonas, erosión, suelos.

Abstract

The objective of this study is to analyze and quantify the levels of soil erosion in the Sica Sica and Churuquilla hills, which are located in the municipality of Sucre. The study will also propose a strategy for afforestation and reforestation based on native species to mitigate erosive processes. Geographic Information System (GIS) tools on the ArcGIS platform were used to evaluate soil erosion using the Universal Soil Loss Equation (USLE). The results revealed that 42% of the hills' surface exhibits erosion processes, which were classified according to standardized erosion severity levels. We conducted a vegetation cover inventory and assessment using the quadrant method, supplemented by the "PlantNet" application for identifying plant species. Specialized bibliographic sources were used to validate the data and confirm the scientific and common names of native species. A presence-absence analysis corroborated the spatial distribution of these species across the study area. Based on these findings, we present a targeted afforestation and reforestation proposal that prioritizes native shrub and herbaceous species. Implementing this strategy is expected to stabilize the soil, reduce erosion rates, and promote the long-term conservation of the Sica Sica and Churuquilla hills.

Keywords

Afforestation, reforestation, native species, erosion, soils.

Citación: Puma M. Forestación, Reforestación y Manejo con poblaciones de Vegetación Autóctona para controlar la Erosión en los Cerros Sica Sica y Churuquilla en el Municipio de Sucre. Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

Los bosques y sus suelos desempeñan funciones interdependientes y esenciales para el equilibrio ecológico. A lo largo de millones de años, los suelos han constituido la base estructural y funcional de los ecosistemas forestales, proporcionando el sustrato necesario para el desarrollo y mantenimiento de la vegetación arbórea. En este sentido, el suelo no solo sustenta físicamente los bosques, sino que también regula procesos ecosistémicos clave, como el ciclo de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad hídrica, procesos fundamentales para la estabilidad y resiliencia de estos ecosistemas (ONU, 2014).

En la actualidad, nuestro planeta enfrenta una alarmante pérdida de grandes masas forestales debido principalmente a la deforestación y la degradación de los ecosistemas boscosos. Estos bosques desempeñan funciones vitales, como proporcionar hábitats para diversas especies y mitigar los efectos del cambio climático (Sánchez, 2020).

Bolivia, uno de los países con mayor riqueza forestal de América Latina, alberga una superficie de 53 millones de hectáreas de bosques naturales, lo que representa aproximadamente el 48% de su territorio (Cota, 2009). Parte de este territorio está compuesto por plantaciones de eucalipto, una especie de árbol conocida por sus propiedades medicinales, especialmente en el tratamiento de afecciones respiratorias. Además, el eucalipto es una fuente importante para la industria maderera y papelera (Pineda, 2002).

No obstante, diversos estudios han documentado la degradación de los suelos y la pérdida de biodiversidad asociada al cultivo intensivo de eucaliptos. Esta especie, si bien valiosa para ciertos fines industriales, provoca efectos negativos sobre los ecosistemas circundantes, tales como la disminución de la biodiversidad.

El eucalipto, además, libera compuestos químicos alelopáticos que afectan el crecimiento de otras plantas, reduciendo la diversidad vegetal y, en consecuencia, alterando la fauna asociada (Praeli, 2020). La absorción excesiva de agua por parte de estos árboles contribuye también a la alteración de los ciclos hídricos locales.

En el municipio de Sucre, los cerros Sica Sica y Churuquilla, declarados patrimonio histórico, presentan una cobertura vegetal dominada por eucaliptos de gran tamaño. Este fenómeno está acelerando la erosión del suelo y la pérdida de la vegetación nativa en la zona. Ante esta situación, resulta imperativo realizar un diagnóstico del grado de erosión y la vegetación autóctona de estos cerros, pues la identificación de especies nativas adecuadas para la restauración de los suelos permitirá no solo mitigar la erosión, sino también promover la recuperación de los ecosistemas degradados y la conservación de la biodiversidad local.

Materiales y métodos

Información cartográfica

Se trabajó con las siguientes escalas:

1:2.000 escala de trabajo y 1:18.000 escala de delimitación

Información de precipitación

Precipitaciones medias anual (10 años de registro)

Software

ArcGIS sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

Plant net Es una aplicación diseñada para la identificación de especies vegetales. Fue desarrollada por un consorcio formado por científicos de CIRAD, INRA, INRIA, IRD, y la red Tela Botanica en virtud de un proyecto financiado por la Fundación Agropolis

➤ Área de estudio

El Cerro Churuquilla se localiza a 4 km al oeste del centro de Sucre, en el municipio de Sucre, provincia Oropeza. Con una altitud de 3.116 metros sobre el nivel del mar, se erige 134 metros por encima del terreno circundante. Sus estribaciones se extienden a lo largo de aproximadamente 1.6 kilómetros de ancho. Al este de este cerro se encuentra otro importante relieve de la ciudad, el Cerro Sica Sica, ubicado a 3.123 metros sobre el nivel del mar. Ambos cerros, debido a su cercanía y prominencia en la topografía local, son conocidos en conjunto como los 'cerros custodios' o 'guardianes' de Sucre, dado su importante rol geográfico y cultural en la región

➤ Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE)

Para la elaboración del mapa de erosión según el modelo USLE se ha procedido a la superposición de mapas con la siguiente ecuación

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde A es la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año), R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h), K es el factor erodabilidad del suelo (tn. ha.h/ha.MJ.mm), L es el factor longitud de pendiente (adimensional), S es la pendiente (adimensional), C es el factor cultivo y P es el factor prácticas de cultivo. Utilizando datos de precipitación media anual de los últimos 10 años para la determinación del factor R y datos de laboratorio de suelos para el factor de la erosionabilidad del suelo.

➤ Estudio del banco de semillas

El banco de semillas hace referencia a las semillas existentes en el suelo. Para cuantificar el tamaño o densidad del banco de propágulos que se encuentran enterrados en el suelo, se procedió a una demarcación de los sitios dentro del área de estudio. Y ubicar los puntos de muestreo en forma aleatoria en el lugar donde se ubica el experimento. Se tomó una muestra de 20 cm de profundidad en los distintos puntos seleccionados. Al homogenizar bien las muestras recolectadas y seccionarlas en dos partes iguales. Una parte de la muestra para cuantificar el tamaño del banco y la otra para determinar el potencial de regeneración

➤ Identificación de especies vegetales

Para identificar cada una de las especies encontradas se realizó el uso de un software denominado Plant net el cual permitió generar los nombres científicos y comunes de las distintas especies, información que posteriormente paso a ser corroborada con información bibliográfica.

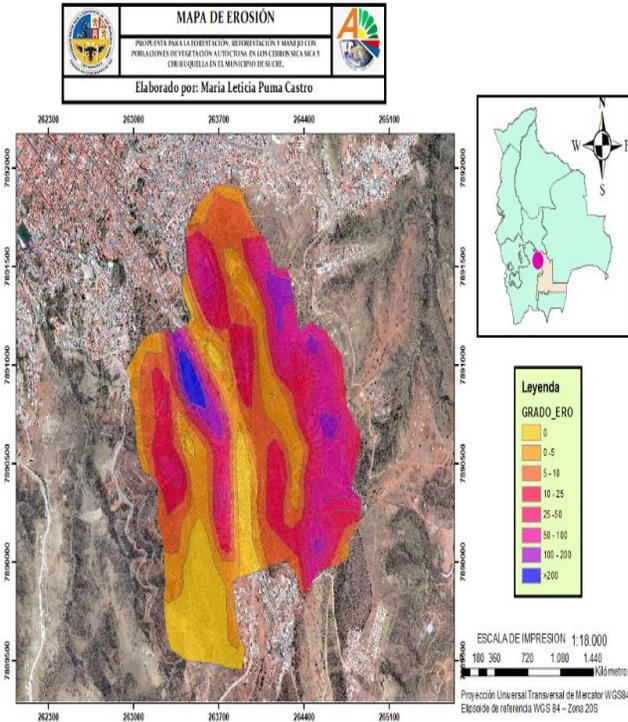
➤ Método de cuadrantes y análisis de presencia-ausencia

Se empleó una metodología combinada de muestreo por cuadrantes y análisis de presencia-ausencia para caracterizar la composición y densidad de especies herbáceas y arbustivas en los cerros Sica Sica y Churuquilla. El muestreo por cuadrantes permitió la cuantificación de la densidad de especies, mientras que el análisis de presencia-ausencia facilitó la identificación de especies autóctonas y su distribución relativa. Esta aproximación metodológica integral reveló patrones de dominancia y riqueza de especies, destacando aquellas con mayor capacidad de reproducción en los ecosistemas de estudio.

➤ Resultados

Los resultados muestran los grados de los procesos erosivos en los cerros Sica Sica y Churuquilla, tal como se ilustra en el mapa y de acuerdo con la clasificación de los niveles de erosión. Se observa que el 2 % del área presenta erosión leve, mientras que un 16 % muestra erosión moderada. Adicionalmente, un 16 % de los suelos presenta erosión grave, mientras que el 6 % exhibe procesos erosivos de carácter muy grave, con una tasa superior a 200 t/ha/año. En el caso específico del cerro Churuquilla, se identificó que el 2 % de la superficie presenta erosión extrema. En conjunto, estos resultados indican que un 42 % del área total de los cerros está afectada por procesos erosivos, lo que resalta la magnitud de la problemática y la necesidad urgente de intervenciones para su mitigación

Figura1 Mapa de erosión de suelo



➤ **Determinación y reconocimientos de especies**

Con el uso de este método de cuadrantes y la aplicación plant net se pudieron identificar las siguientes especies vegetales; que también fueron corroboradas con información bibliográfica de páginas de jardines botánicos a nivel nacional como internacional.

Tabla 1 Plantas identificadas en el cerro Sica Sica

Nº	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
1	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Pasto bufel
2	<i>Bidens pilosa</i>	Amor seco
3	<i>Taracsacum Officinale</i>	Diente de león
4	<i>Lolium multiflorum</i>	Raigrás anual
5	<i>Melilotus indicus</i>	Trébol de olor
6	<i>Stipa ichu</i>	paja brava
7	<i>Parastrephia quadrangularis</i>	Tola
8	<i>Schkuhria pinnata</i>	Jayaj pichana
9	<i>Sporobolus pyramidalis</i>	Hierba cola de rata
10	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca
11	<i>Aristida adscensionis</i>	Tres barbas abierto
12	<i>Paspalum notatus</i>	grama dulce
13	<i>Paspalum dilatatum</i>	el heno leñoso
14	<i>Baccharis juncea</i>	Suncho
15	<i>Plantago major</i>	llantén mayor
16	<i>Melilotus indicus</i>	Meliloto de flor
17	<i>Sporobolus pungens</i>	pasto niño
18	<i>Bromus unioloides</i>	cebadilla criolla
19	<i>Ephedra americana</i>	pinco pinco
20	<i>Verbena officinalis</i>	Verbena común,
21	<i>Plantago lanceolata</i>	Llantén menor
22	<i>Malvaceae</i>	Malva

Tabla 2 Plantas identificadas en el cerro Churuquilla.

Nº	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
1	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Pasto bufel
2	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Thola
3	<i>Grewia flava</i>	Malvaceae
4	<i>Cobretum molle</i>	Combretaceae
5	<i>Baccharis tola philippi</i>	Thola ñaña t'ula
6	<i>Stipa ichu</i>	paja brava
7	<i>Dodoaea viscosa</i>	Chakataya
8	<i>Acacia decurrens willd</i>	Copaiba
9	<i>Larrea tridentado</i>	Goberadora
10	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca
11	<i>Plantagiaceae</i>	Peregrina
12	<i>Paspalum notatus</i>	grama dulce
13	<i>Paspalum dilatatum</i>	el heno lenoso
14	<i>Acacia menanoxilon</i>	Acacia negra
15	<i>Juniperus virginiana</i>	Cedro Rojo
16	<i>Ditrichia viscosa greuther</i>	Olivarda
17	<i>Juiperus sabina</i>	Sabina rastrera
18	<i>Leucospora multifida</i>	
19	<i>Suriana</i>	Maya
20	<i>Verbena officinalis</i>	Verbena común,
21	<i>Plantago lanceolata</i>	Hierba sagrada
22	<i>Opuntia ficus indica</i>	Llantén menor
23	<i>Eragrostis curvula</i>	Chumbera

➤ Estudio del banco de semillas

Para identificar de mejor manera la existencia de las especies en estos puntos se realizó un análisis de presencia-ausencia con el método de muestreo por cuadrantes de esta manera se podrá determinar las especies específicas con las que se podrá realizar la reforestación del área de estudio

Para la determinación del banco de semillas se dividió la muestra obtenida en dos partes iguales una de ellas se procedió a pasarla por tamices y realizar el conteo de las mismas.

La otra parte sobrante se depositó en macetas de radio 5 cm y altura 15 cm dichas macetas se dejaron en condiciones similares a las del área de estudio y se realizó riegos 1 vez por semana.

Se tomaron 8 muestras para el cerro Sica Sica y 7 para el cerro Churuquilla de manera aleatoria teniendo como resultado los datos que se presentan en las siguientes tablas

Tabla 3: Tabulación de datos de las muestras del cerro Sica Sica

No	Punto	Peso (Kg)	No. de semillas tamices	No. de plántulas 3 meses	No. de plántulas 6 meses
1	19°3'50.0" s 65°14'54.9" w	0,85	1.010	2	4
2	19°3'43.6" s 65°14'54.0" w	0,95	1.250	2	5
3	19°3'39.3" s 65°14'57.0" w	0,89	940	2	3
4	19°3'46.2" s 65°15'0.71" w	0,87	1.040	1	3
5	19°3'30.06" s 65°15'2.83" w	1,22	1.230	1	2
6	19°3'30.25" s 65°15'4.55" w	0,74	1.330	3	4
7	19°3'45.55" s 65°15'5.96" w	0,96	920	3	5
8	19°3'25.4" s 65°15'5.22" w	0,80	810	3	4

Tabla 4 Tabulación de datos del cerro Churuquilla

No.	Punto	Peso (Kg)	No. de semillas tamices	No. de plántulas 3 meses	No. de plántulas 6 meses
1	19°3'50.0" s 65°14'54.9" w	0,68	1.050	3	4
2	19°3'43.6" s 65°14'54.01" w	0,87	1.320	2	5
3	19°3'39.3" s 65°14'57.0" w	0,92	1.070	2	5
4	19°3'46.2" s 65°15'0.7" w	0,88	540	0	0
5	19°3'30.0" s 65°15'2.8" w	1,14	1.650	2	4
6	19°3'30.2" s 65°15'4.5" w	0,96	1.430	1	2
7	19°3'45.5" s 65°15'5.9" w	0,84	1.020	3	5

Se aprecia en las tablas los puntos y pesos de cada muestra, el radio y altura de la maceta en la que se dispuso el suelo restante, el número de semillas obtenidos por muestra en los tamices y el número de plántulas que crecieron en un periodo de 3 y 6 meses en los respectivos 8 puntos del cerro Sica Sica y 7 puntos del cerro Churuquilla.

➤ Propuesta de forestación y reforestación

Crterios para la determinación de áreas de forestación y reforestación

La selección de las áreas prioritarias para las actividades de forestación y reforestación se basó en los siguientes criterios:

Vulnerabilidad ambiental: Se priorizaron zonas con escasa cobertura vegetal y limitado acceso a fuentes hídricas, lo que las hace altamente susceptibles a procesos de degradación.

Factibilidad de acceso: Se consideraron áreas con pendientes escarpadas pero accesibles, dado que estas requieren intervenciones constantes para la plantación, riego y monitoreo. Además, su proximidad a zonas urbanas facilita la logística de restauración ecológica.

Control de erosión: Se identificaron unidades de terreno expuestas a procesos erosivos, de modo que su forestación y reforestación contribuyan a reducir la degradación del suelo y mejorar su estabilidad estructural.

Especies seleccionadas y estrategia de establecimiento

El proceso de forestación y reforestación no se limitará a especies arbóreas y arbustivas, sino que también incluirá especies herbáceas con alta capacidad de fijación del suelo. La selección de especies se realizó en función de su adaptabilidad a las condiciones edáficas y climáticas de los cerros Sica Sica y Churuquella.

Para garantizar la disponibilidad de especies nativas, los plantines de arbustos autóctonos, como thola (*Baccharis dracunculifolia*) y acacia (*Acacia* spp.), se gestionarán a través del vivero municipal. En el caso de las especies herbáceas, su regeneración se favorecerá mediante el aprovechamiento de bancos de semillas naturales y la dispersión estratégica de semillas recolectadas, sincronizando esta actividad con las temporadas óptimas de siembra.

➤ Plan de ejecución y metas de reforestación

Se intervendrá una superficie total de 1.074.711 m² en el cerro Sica Sica y 519.270 m² en el cerro Churuquella, con la plantación de 32.000 plantines de especies nativas. Para la ejecución eficiente de este proceso, se implementará un programa de forestación y reforestación con campañas mensuales, integrando la participación de instituciones educativas previamente capacitadas.

Cada jornada de reforestación contará con la participación de 1.000 voluntarios distribuidos en dos turnos (mañana y tarde), con una meta de cinco plantines por persona. Se estima que en seis meses se alcanzará la cobertura vegetal planificada.

El riego se realizará una vez por semana, considerando la capacidad de adaptación de estas especies a condiciones de estrés hídrico. Este programa busca no solo la restauración ecológica del área intervenida, sino también la concienciación y participación activa de la comunidad en la conservación ambiental.

Discusión

La propuesta de forestación y reforestación con especies autóctonas en los cerros Sica Sica y Churuquella, dentro del municipio de Sucre, tiene como objetivo principal la conservación de estos ecosistemas, los cuales han sido declarados patrimonio histórico del municipio. Sin embargo, su protección no solo responde a su valor cultural, sino también a su importancia ecológica, ya que constituyen una de las principales áreas de cobertura vegetal en la región.

El análisis mediante sistemas de información geográfica permitió una estimación de la pérdida de suelo en estos cerros, proporcionando información crítica para el diseño de estrategias de mitigación.

La erosión del suelo en estas áreas representa una amenaza significativa para la estabilidad ecológica y la disponibilidad de servicios ecosistémicos, lo que resalta la necesidad de implementar medidas efectivas para su control y recuperación.

El análisis de la vegetación existente permitió identificar que las especies predominantes son herbáceas y arbustivas, lo que sugiere su idoneidad para los procesos de forestación y reforestación. Se destacan especies herbáceas como paja brava (Jarava ichu, anteriormente *Stipa ichu*) y especies arbustivas como thola (*Baccharis dracunculifolia*) y acacia (*Acacia* spp.), debido a su capacidad de adaptación a las condiciones edáficas y climáticas de los cerros Sica Sica y Churuquilla.

Dado que las áreas de pendiente escarpada presentan una menor cobertura vegetal y un suministro hídrico limitado, se considera prioritario iniciar la forestación y reforestación en estos sectores, tal como se evidencia en el mapa de erosión.

Conclusiones

El análisis del grado de erosión de los cerros Sica Sica y Churuquilla se llevó a cabo mediante el software ArcGIS, permitiendo la clasificación de los niveles erosivos en función de la tasa de pérdida de suelo. Los resultados indican que el 42 % del área total de ambos cerros presenta algún grado de erosión, con una distribución específica según la severidad del proceso: erosión leve (10-25 t/ha/año): 2 % del área, erosión moderada: 16 %, erosión severa (visible a simple vista): 16 %, erosión muy grave: 6 %, erosión extrema (>200 t/ha/año): 2 %. Estos hallazgos evidencian la necesidad de implementar medidas de restauración ecológica para mitigar la degradación del suelo y recuperar la funcionalidad ecosistémica de la zona. Para la restauración ecológica, se propone intervenir en un área de 1.074.711 m² de un total de 1.610.227 m² en el cerro Sica Sica y 519.270 m² de un total de 1.061.095 m² en el cerro Churuquilla, con la plantación de aproximadamente 32.000 plantines de especies arbustivas (thola y acacia).

Esta estrategia permitirá no solo la estabilización del suelo y la reducción de la erosión, sino también la recuperación de los servicios ecosistémicos asociados a estos cerros, contribuyendo a su conservación y a la resiliencia del paisaje frente a procesos de degradación.

Referencias

- Acosta Arce Luis, R. A.-A. (2002). El banco de propágulos de malezas en el agro ecosistema: conocimiento actual y propuesta metodológica para su estudio <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5039754>
- Alvarado, V. (2016). La vegetación como factor de control de la erosión Article · February 2016. ResearchGate, 14.
- Cota, E. F. (2009). Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria Cochabamba-Cliza. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892009000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- FAO. (11 de mayo de 2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-2015/news/newsdetail/es/c/285875/>
- Garrido, D. (2022). Las 10 mejores aplicaciones para identificar plantas: <https://www.revistaad.es/decoracion/jardines-yplantas/articulos/mejores-aplicaciones-para-identificar-plantas/26204>
- IDER Ingeniería y Desarrollo Rural, S. (2017). euskadi.eus. Mapa del grado de erosión hídrica de los suelos: https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/informe_estudio/mapa-del-grado-deerosion-hidrica-de-los-suelos-memoria/

- Juan G. Bedoya-Patiño, J. V.-V.-V. (2014). Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropical. boletín científico museo de historia natural, <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v14n2/v14n2a04.pdf>
- Lozada, G. S. (12 de julio de 1996). Cebem. Recuperado el 11 de febrero de 2022, de Cebem <https://cebem.org/revistaredesma/vol7/pdf/legislacion/ley-forestal-bolivia.pdf>
- Mostacedo, B. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Obtenido de Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACL893.pdf
- Reynaga Barrientos, A. (2019). Sucre posee más de 176 mil árboles de diversas especies. Sucre posee más de 176 mil árboles de diversas especies, pág. 1. <https://correodelsur.com/panorama/20190519/sucre-posee-mas-de-176-mil-arboles-de-diversas-especies.html>
- Sánchez, J. (2020). EcologíaVerde. Obtenido de EcologíaVerde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-reforestacion-y-su-importancia-1269.html>