ARTÍCULO ORIGINAL / ORIGINAL ARTICLE

Estrategias de adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* en la Reserva Natural Tapytá, Paraguay

Adaptation strategies to climate change of the species *Equisetum giganteum* in the Tapyta Natural Reserve, Paraguay

Iris Carolina Valdez Achucarro¹, Stella Mary Amarilla Rodríguez¹, Amado Insfrán Ortiz¹, Danilo Arturo Salas Dueñas²

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

² Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza. Asunción, Paraguay.

Autor de correspondencia: icva89@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.32480/rscp.2019-24-1.48-73>

Recibido: 27/02/2019. Aceptado: 20/04/2019.

Resumen: Los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad demandan que se implementen estrategias de adaptación a escala de genes, de especies y del paisaje. La especie *Equisetum giganteum* localmente conocida como “cola de caballo”, es una especie de la flora nativa del Paraguay que se encuentra en peligro de extinción, motivo por el cual es importante que se establezcan medidas para su conservación. Le misma constituye uno de los objetos de conservación de la Reserva Natural Tapytá, ubicada en el Distrito de San Juan Nepomuceno, Departamento de Caazapá. El objetivo de la investigación fue proponer una metodología básica para el análisis de la adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* dentro de la reserva. Los objetivos específicos fueron: identificar las presiones y fuentes de presión que afectan a la especie; determinar la viabilidad de la especie; y sugerir medidas para su conservación en el área protegida ante un escenario de cambio climático. La metodología empleada se basó en el empleo de: transectos, entrevistas a informantes calificados, aplicación de escenarios climáticos, adaptación de las directrices de *The Nature Conservancy*, grupos focales de validación, construcción de escenarios distintos de viabilidad de la especie, y elaboración de medidas para su conservación. La alteración de la calidad del agua, fragmentación, degradación del hábitat, y régimen (micro climático) alterado, fueron las presiones identificadas en el estudio; cuyas fuentes fueron la contaminación difusa, el cambio de uso de suelo, la recolección de subsistencia incompatible, la depredación por especies domésticas y el cambio climático. Según el análisis de viabilidad, la especie *Equisetum giganteum* tiene una buena capacidad de persistencia y colonización dentro de la reserva. Como medidas para su conservación se sugieren

realizar talleres de educación; replantación de ejemplares; implementación de terrazas; conservación *ex situ* e *in situ* y continuidad de investigaciones en el tema.

Palabras clave: amenazas, escenarios climáticos, fuentes de presión, presiones, viabilidad.

Abstract: The effects of climate change on biodiversity requires the implementation of adaptation strategies at different scales (genes, species and landscape). The species *Equisetum giganteum* locally known a "horsetail" is an endangered plant species native to Paraguay which requires measures for its conservation. This species is one of the conservation targets of Tapyta Nature Reserve (San Juan Nepomuceno, Caazapá). The aim of this research study was to propose a basic methodology for the analysis of climate change adaptation of the species *Equisetum giganteum* inside the reserve. The specific objectives were to identify stresses and their sources affecting the species, determine the viability of the species, and suggest measures for its conservation in the protected area under a climate change scenario. The methodology was based in transects, interviews with key informants, application of climate scenarios, adaptation to the guidelines of *The Nature Conservancy*, validation focus groups, construction of different scenarios about species viability, and development of measures for the conservation of the species. Alterations on water quality, fragmentation, habitat degradation, and micro climatic regime were the stresses identified in the study and the sources were diffuse pollution, change in land use, incompatible subsistence harvesting, predation by domestic species and climate change. According to the viability analysis, the *Equisetum giganteum* has good persistence and colonization capacity inside the reserve. As measures for its conservation, it is suggested to carry out education workshops, planting specimens, implementation of terraces; *ex situ* and *in situ* conservation and continuity of research on the subject.

Keywords: threats, climate scenarios, stress sources, stresses, viability.

INTRODUCCIÓN

A partir de la Revolución Industrial y los cambios de uso de la tierra iniciados a mediados del siglo XIX, los niveles de gases de efecto invernadero han aumentado (1), con el consecuente calentamiento global y el cambio climático (2). Se entiende por cambio climático a "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempos comparables" (3).

El cambio climático puede alterar el hábitat donde las especies viven y cómo interactúan, lo cual podría transformar fundamentalmente los ecosistemas actuales (4). Asimismo, el cambio climático puede afectar directamente las funciones de los organismos individuales, como el crecimiento y el comportamiento; modificar las poblaciones, como el tamaño y la estructura; afectar a la estructura y función del ecosistema, en la composición, ciclos de los

nutrientes, flujos del agua, composición de las especies e interacciones de las especies; y la distribución de los ecosistemas dentro de los paisajes (5).

Las áreas protegidas ayudan a la conservación de ecosistemas al contener hábitats y refugios, estos proporcionan alimento, materias primas, material genético, barreras contra los desastres naturales, fuentes estables de recursos y múltiples otros bienes y servicios; por consiguiente, dichas áreas juegan un papel importante en los mecanismos de adaptación al cambio climático de las especies, el ser humano y las naciones (6).

El cambio climático constituye una realidad a nivel global, que ineludiblemente afecta, en mayor o menor medida, a los recursos naturales de todo el planeta (7). La situación actual en que se encuentra la biósfera ya no demanda simplemente que se efectúen medidas de mitigación al cambio climático, mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que se formulen y ejecuten estrategias de adaptación al mismo, que aumenten la resiliencia ecológica de los sistemas, en espacios geográficos concretos como podrían ser las áreas protegidas (6).

Cuando se tiene como finalidad proponer estrategias para la adaptación al cambio climático de algún recurso, se debe trabajar esencialmente con escenarios climáticos futuros (8), como así también conocer las vulnerabilidades del sistema de acuerdo a las amenazas que enfrenta (9). Una vez conocidas dichas amenazas se podrán estimar si las condiciones futuras serán propicias para la dispersión o la reducción del nicho ecológico del objeto de estudio.

La especie *Equisetum giganteum*, comúnmente conocida en Paraguay como “Cola de caballo”, es una especie de la flora nativa del Paraguay que se encuentra en peligro de extinción (10, 11), motivo por el cual es importante que se establezcan medidas para su conservación. La misma constituye uno de los objetos focales de conservación de la Reserva Natural Tapytá (RNT) (12).

El objetivo general de la investigación fue proponer una metodología básica para analizar estrategias de adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* en la RNT. Para cumplir con dicho objetivo se establecen como objetivos específicos: a) identificar las presiones que afectan al objeto de conservación en la RNT; b) identificar las fuentes de presión sobre el objeto de conservación; c) determinar la viabilidad de la especie entendida como la capacidad de persistencia y de colonización; y d) sugerir medidas para la conservación de la especie *Equisetum giganteum* en el área protegida ante un escenario de cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

La RNT se encuentra ubicada en el Distrito San Juan Nepomuceno, Departamento de Caazapá, Paraguay. En el contexto biorregional, la reserva se encuentra en un sitio clave para el desarrollo de un corredor biológico entre el Parque Nacional Caazapá al Norte y la reserva para Parque Nacional San Rafael al Sur (13) (Figura 1).

Población de unidades y variables de medición

Con base en consultas al Jefe de Manejo de la Reserva, al Equipo de Guardabosques, entrevistas a los pobladores locales, y visitas a los sitios de presencia de la especie *Equisetum giganteum* indicados, se constató que actualmente existen dos lugares dentro del área protegida donde se encuentra la especie. Anteriormente existió un sitio donde se registraba *Equisetum giganteum*, donde ya no se la observa.

La población consistió en la comunidad natural más asociada al objeto de conservación (humedales, o en su caso, pastizales en suelos saturados). La muestra consistió en el sector “Sur” del área protegida, donde se hicieron los transectos de análisis de la especie *Equisetum giganteum*.

Las variables de medición fueron: la vulnerabilidad y viabilidad del objeto de conservación (variable dependiente); y variables edafológicas, climáticas, y antropogénicas (variables independientes). Las variables edafológicas que se tomaron en cuenta fueron: taxonomía, régimen de humedad, clase textural, paisaje del terreno, material de origen, relieve, drenaje y pedregosidad; las mismas se obtuvieron de base secundaria. Las variables ambientales o climáticas que se emplearon fueron: precipitación y temperatura. Las variables antropogénicas que se consideraron fueron: amenazas sobre la especie *Equisetum giganteum*.

Figura 1: Ubicación geográfica de la Reserva Natural Tapytá (14).

En la Figura 2 se indican las localizaciones de las zonas de estudio en un mapa de comunidades naturales de la RNT. Las formaciones vegetales que albergan a la especie *Equisetum giganteum* se encuentran próximas a plantaciones forestales.

Figura 2: Localizaciones de las zonas de estudio dentro de la Reserva Natural Tapytá (14).

Diseño del muestreo Se emplearon siete herramientas metodológicas: transectos, entrevistas semi-esctructuradas a informantes clave, aplicación de escenarios climáticos futuros, adaptación del “Esquema de las cinco S para la conservación de sitios” de TNC, grupos focales de validación, construcción de escenarios distintos de viabilidad de la especie *Equisetum giganteum*, y elaboración de medidas para su conservación. Este diseño metodológico se considera pionero y de carácter exploratorio (15), al no existir antecedentes similares a nivel país, siendo ésta una primera propuesta de aproximación.

Se consideraron tres sitios de análisis dentro del área protegida para el levantamiento de datos referentes al objeto de conservación, identificados como: sitio 1, sitio 2 y sitio 3. En el sitio 2 anteriormente se registraba presencia de *Equisetum giganteum*; ya no se observó presencia de la especie en ese lugar, por lo cual los transectos fueron realizados solo en los sitios 1 y 3. Según referencias de informantes clave la especie *Equisetum giganteum* ya no se encuentra en el sitio 2 debido a la extracción y al ingreso de ganado vacuno al lugar (siendo esta la hipótesis prevaleciente).

Transectos: se realizaron tres transectos (Figura 3) en los sitios de análisis 1 y 3 con sentido Este a Oeste (coincidentes con el sentido de la pendiente), de 100 metros de longitud cada uno por dos metros de ancho. Las franjas de separación entre los mismos fueron de 40 metros. Para el establecimiento de los transectos se emplearon una brújula, GPS y tres jalones para la delimitación adecuada de las coordenadas, la dirección y el sentido de los mismos.

*En el sitio 2 no se realizaron transectos debido a que ya no se registra presencia de la especie en ese lugar.

Figura 3. Metodología empleada en los transectos.

Entrevistas semi-estructuradas a informantes clave: se entrevistaron a cuatro técnicos de la Fundación Moisés Bertoni (Jefe de manejo de la Reserva Natural Tapytá, guardabosques y técnico de desarrollo rural), a 21 pobladores de las comunidades aledañas a la reserva, y a cuatro funcionarios de la empresa Pomera, aplicándose un total de 29 entrevistas.

Aplicación de escenarios climáticos futuros: una de las fuentes de presión consideradas en el presente estudio fue el cambio climático, por lo cual se construyeron escenarios climáticos futuros A2 aplicables al Departamento de Caazapá, debido a que se considera “el peor” de los escenarios, pues supone emisiones altas de gases de efecto invernadero (16).

En ese contexto, se realizó una validación de los datos medidos dentro de la RNT y los estimados para el Departamento de Caazapá por la base de datos de la *Climate Research Unit* (CRU) de la Universidad de East Anglia, Reino Unido. Los datos de la CRU son datos históricos basados en observaciones y convertidos en grillas o píxeles; los mismos fueron obtenidos de base secundaria, proporcionados por el Jefe de la División de Meteorología de la Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción.

El proceso de validación se realizó mediante una comparación de los valores de temperatura media y precipitación total estimados fuera de la reserva para el Departamento de Caazapá con los datos medidos dentro de la RNT. Se compararon los datos de los años 2009, 2010 y 2011.

Se observa que existe una subestimación de 0,6 °C a 1,6 °C entre los valores de temperatura media relacionados (Figura 4). El grado de subestimación se obtuvo mediante una sustracción de la temperatura media de la reserva y la temperatura media de la base de datos de la CRU, siendo esta última cuyos valores están subestimados.

Figura 4: Validación del comportamiento de la temperatura media.

Se observa que existe una subestimación de 300 a 662 mm entre los valores de precipitación anual total relacionados (Figura 5), es decir que, dividiendo entre los 365 días del año, existe una subestimación de 0,82 a 1,81 mm entre los valores de precipitación media relacionados. El grado de subestimación se obtuvo mediante una sustracción de la precipitación total de la reserva y la precipitación total de la base de datos de la CRU.

Figura 5: Validación del comportamiento de la precipitación total anual. Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos mediante el proceso de validación se emplearon para demostrar que las proyecciones de escenarios climáticos estarán subestimadas con respecto a lo que ocurriría realmente dentro de la reserva.

Se realizaron los escenarios climáticos para cada estación del año (verano, otoño, invierno, primavera) para el período 2021 a 2050, empleando una planilla de cálculo. Se tomó como línea base al período 1961 – 1990, el mismo es un período de referencia representativo que mide el crecimiento absoluto, pues se considera que en ese lapso el clima aún no estaba muy influenciado por el cambio climático. Se compararon los valores de precipitación media y temperatura media de cada década de las distintas estaciones con los valores de la línea base, a fin de obtener la variación o anomalía de cada variable en el futuro.

Adaptación del “Esquema de las cinco S para la conservación de sitios” de TNC (17): se empleó una planilla automatizada en Excel desarrollada por TNC para el cálculo de los valores jerárquicos de cada caso: presiones, fuentes de presión, amenazas individuales, valores jerárquicos de amenazas al objeto de conservación, estado global de amenaza sobre la especie, viabilidad de la especie en los tres sitios de análisis, y salud global de la especie *Equisetum giganteum* en la RNT.

Grupos focales de validación: para validar los resultados de escenarios climáticos futuros obtenidos y los valores jerárquicos para cada caso que las directrices de TNC sugieren, se realizaron cuatro grupos focales de validación. Los mismos estuvieron integrados por técnicos de la Gerencia de Investigación de la Fundación Moisés Bertoni y especialistas de la Universidad Nacional de Asunción (Jefe de la División de Meteorología de la Facultad Politécnica y Docentes Investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias).

Construcción de escenarios distintos de viabilidad de la especie *Equisetum giganteum*: posterior al análisis de viabilidad de la especie realizado mediante la metodología de TNC, se construyeron escenarios distintos de viabilidad de la especie *Equisetum giganteum* acorde a la categoría de tamaño en los tres sitios de análisis.

Para determinar la viabilidad de la especie, se consideró que la calificación deseada debe ser por lo menos una superior a la calificación actual. Teniendo en cuenta que no se dispone de información concreta acerca de los rangos de variación aceptable de los regímenes climáticos que establecen y mantienen la localización la especie, ni del área de ocupación y número de individuos de *Equisetum giganteum*, las calificaciones de los indicadores se efectuaron de la siguiente manera:

- Variación de la temperatura media y de la precipitación media anuales: se realizaron a partir de los resultados de los escenarios climáticos para la década 2041 a 2050, ya que para ese período se estima el mayor incremento de temperatura media con respecto a la línea base.

- Presencia y abundancia de la especie: se realizaron teniendo en cuenta la superficie total de cada uno de los transectos realizados (600 m²), la cantidad total de individuos contabilizados en cada sitio y las observaciones realizadas.

Elaboración de medidas para la conservación de la especie: finalmente se sugirieron medidas para la conservación del *Equisetum giganteum* con base en los resultados obtenidos anteriormente.

La propuesta metodológica de la investigación (Figura 6), puede ser considerada como una primera aproximación relacionada a adaptación al cambio climático a nivel de especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presiones que afectan al objeto de conservación

Extracción de *Equisetum giganteum*

De los 29 (veintinueve) entrevistados, 9 (nueve) afirmaron conocer los lugares en donde se encuentra la especie *Equisetum giganteum* dentro de la RNT. Dichos entrevistados afirman extraer la especie para autoconsumo, ya sea para mate o tereré; 17 (diecisiete) entrevistados no conocen los lugares en donde se encuentra la especie dentro de la reserva, pero sí en los alrededores; 3 (tres) personas no conocen los lugares dentro ni fuera de la reserva donde se encuentra la especie *Equisetum giganteum*. De las personas que extraen *Equisetum giganteum* del área protegida, 3 (tres) la extraen de raíz, mientras que 6 (seis) la cortan o rompen; 13 (trece) entrevistados conocen personas que extraen *Equisetum giganteum* de la reserva. Al extraerse *Equisetum giganteum* desde la raíz, se imposibilita su regeneración natural, por lo que es preferible que se corte o rompa (12, 18); siendo este un aspecto clave para las estrategias de adaptación basadas en su importancia para la conservación.

Figura 6. Esquema de propuesta metodológica.

Caracterización del suelo de los sitios de análisis

Conforme al sistema de clasificación taxonómica de suelos “Soil Taxonomy” de los Estados Unidos de América (19), se observaron dos tipos de suelo en los sitios de análisis del *Equisetum giganteum* dentro del área protegida (Figura 7):

- Sitio 1: U11.4 $\frac{\text{La}}{\text{B2n}}$

Taxonomía (orden y subgrupo): ULTISOL; Typic Paleudult

El sitio 1 presenta suelos minerales con horizonte argílico, pobres en fertilidad, con buen nivel de humedad durante todo el año; son suelos fuertemente desarrollados.

- Sitios 2 y 3: U1.3 $\frac{\text{Lls}}{\text{A5n}}$

Taxonomía (orden y subgrupo): ULTISOL; Typic Albaquult

Los sitios 2 y 3 presentan suelos pobres en fertilidad, saturados con agua en gran parte del año, horizonte albico, con pérdida de materia orgánica, arcilla y óxidos.

Mediante el mapa de suelos y a las observaciones realizadas se constata que la especie *Equisetum giganteum* crece en suelos arcillosos a francos, saturados o con buen nivel de humedad (11, 20, 21).

Figura 7: Mapa de suelos de la Reserva Natural Tapytá (14).

Valdez Achucarro IC, Amarilla Rodríguez SM, Insfrán Ortiz A, Salas Dueñas DA. Estrategias de adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* en la Reserva Natural Tapytá, Paraguay

Presiones identificadas

Se han identificado las siguientes posibles presiones a la especie *Equisetum giganteum*: a) alteración de la calidad del agua; b) conectividad afectada/fragmentación; c) degradación del hábitat; y d) régimen (micro) climático alterado. Faltan mayores estudios para determinar las causas concretas de cada una de las presiones mencionadas. Las mismas fueron introducidas al “Esquema de las cinco S para la conservación de sitios” para la asignación de valores jerárquicos de las presiones sobre el objeto de conservación.

Fuentes de presión sobre el objeto de conservación

Escenarios climáticos futuros A2

Para la década 2021- 2030 la temperatura media diaria aumentaría 1,2 °C, mientras que la precipitación media diaria aumentaría 0,2 mm (73 mm anual total); para la década 2031 – 2040 la temperatura media diaria aumentaría 1,4 °C, mientras que la precipitación media diaria aumentaría 0,3 mm (109,5 mm anual total) (**Cuadro 1**).

Para la década 2041 – 2050 la temperatura media diaria aumentaría 1,8 °C, mientras que la precipitación media diaria aumentaría 0,2 mm (73 mm anual total). En cada década habría un predominio de disminución de la precipitación media en el verano, y un marcado aumento en el invierno; mientras que la temperatura media se incrementaría positivamente en todas las estaciones del año en los distintos periodos analizados.

Cuadro 1: Variación de la temperatura media y la precipitación media.

Estación del año	Escenario A2	Periodo 2021 a 2030	Periodo 2031 a 2040	Periodo 2041 a 2050
Verano	Temperatura	↑ 1,2 °C	↑ 1,4 °C	↑ 1,8 °C
	Precipitación	↓ 0,5 mm	↓ 0,5 mm	↓ 0,5 mm
Otoño	Temperatura	↑ 0,9 °C	↑ 1,1 °C	↑ 1,6 °C
	Precipitación	↑ 0,7 mm	↑ 0,8 mm	↑ 0,7 mm
Invierno	Temperatura	↑ 1,3 °C	↑ 1,3 °C	↑ 1,8 °C
	Precipitación	↑ 0,9 mm	↑ 0,9 mm	↑ 0,7 mm
Primavera	Temperatura	↑ 1,5 °C	↑ 1,7 °C	↑ 1,9 °C
	Precipitación	↓ 0,5 mm	↓ 0,2 mm	↓ 0,2 mm
Promedio variación	Temperatura	↑ 1,2 °C	↑ 1,4 °C	↑ 1,8 °C
	Precipitación	↑ 0,2 mm	↑ 0,3 mm	↑ 0,2 mm

El Estudio de Vulnerabilidad e Impacto del Cambio Climático en el Gran Chaco Americano (8), al igual que la presente investigación, ha utilizado el escenario climático A2 para las proyecciones de temperatura media y precipitación hasta el año 2040, y ha analizado las variaciones de estas por década con respecto a la línea base 1961-1990. Los resultados de dicho estudio coinciden con los obtenidos en la presente investigación, pues de acuerdo con las proyecciones, habrá una disminución de la precipitación en el verano, y un incremento considerable en el invierno de las décadas analizadas (2011 a 2020; 2021 a 2030; 2031 a 2040); mientras que la temperatura media se incrementará en todas las estaciones a lo largo de los distintos periodos.

Fuentes de presión identificadas

Se han identificado las siguientes posibles fuentes de presión: a) contaminación difusa (no puntual); b) cambio de uso de suelo en zonas aledañas / conversión a silvicultura; c) recolección de subsistencia incompatible; d) depredación por especies domésticas; y e) cambio climático u otros factores climáticos. Las mismas fueron introducidas al “Esquema

de las cinco S para la conservación de sitios” para la asignación de valores jerárquicos de las fuentes de presiones sobre el objeto de conservación.

Adaptación de las directrices de *The Nature Conservancy*

La alteración de la calidad del agua obtuvo un valor jerárquico “Bajo”; mientras que la conectividad afectada/fragmentación, la degradación del hábitat, y el régimen (micro) climático alterado obtuvieron un valor jerárquico “Medio” (**Cuadro 2**).

Cuadro 2: Valores jerárquicos de las presiones identificadas.

Presión	Severidad	Alcance	Valor jerárquico de la presión
Alteración de la calidad del agua	Bajo	Alto	Bajo
Conectividad afectada / fragmentación	Alto	Medio	Medio
Degradación del hábitat	Alto	Medio	Medio
Régimen (micro) climático alterado	Medio	Alto	Medio

Concerniente a valores jerárquicos de amenazas al objeto de conservación, se obtuvieron los siguientes resultados: recolección de subsistencia incompatible y cambio climático obtuvieron una calificación “Medio”; y contaminación difusa, cambio de uso de suelo en zonas aledañas y depredación por especies domésticas obtuvieron una calificación “Bajo” (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Valores jerárquicos de amenazas sobre el objeto de conservación.

Fuentes de presión		Presiones								Valor jerárquico de amenaza
		Alteración de la calidad del agua (bajo)		Conectividad afectada / fragmentación (medio)		Degradación del hábitat (medio)		Régimen (micro) climático alterado (medio)		
Contaminación difusa (no puntual)	Contribución	Muy Alto	Bajo							Bajo
	Irreversibilidad	Alto								
	Fuente	Muy Alto								
Cambio de uso de suelo en zonas aledañas / conversión a silvicultura	Contribución	Muy Alto	Bajo							Bajo
	Irreversibilidad	Alto								
	Fuente	Muy Alto								
Recolección de subsistencia incompatible	Contribución			Muy Alto	Medio	Muy Alto	Medio			Medio
	Irreversibilidad			Medio		Medio				
	Fuente			Alto		Alto				
Depredación por especies domésticas	Contribución			Alto	Bajo	Alto	Bajo			Bajo
	Irreversibilidad			Medio		Medio				
	Fuente			Medio		Medio				
Cambio climático u otros factores climáticos	Contribución					Medio	Medio	Muy Alto	Medio	Medio
	Irreversibilidad					Muy Alto		Muy Alto		
	Fuente					Alto		Muy Alto		

Luego de obtener los valores jerárquicos de amenazas al objeto de conservación, se calculó el estado global de amenaza (**Cuadro 4**). Se obtuvo un estado de amenaza “Medio” mediante la aplicación de la regla “2 primo” explicada en la metodología, es decir, un valor

jerárquico de amenaza “Alto”, o dos o más “Medios” dan un valor jerárquico global de amenaza “Medio”.

Cuadro 4: Estado global de amenaza sobre la especie *E. giganteum* en la Reserva Natural Tapytá.

Amenazas	<i>Equisetum giganteum</i>
Cambio climático u otros factores climáticos	Medio
Recolección de subsistencia incompatible	Medio
Contaminación difusa (no puntual)	Bajo
Cambio de uso de suelo en zonas aledañas / conversión a silvicultura	Bajo
Depredación por especies domésticas	Bajo
Estado de amenaza para el objeto focal de conservación	Medio

Determinación de la viabilidad de la especie

Mediante el análisis de viabilidad de la especie (**Cuadro 5**) se obtuvieron los siguientes resultados: en el sitio 1 las categorías de contexto paisajístico y tamaño obtuvieron una calificación “Muy Bueno”; en el sitio 2 la categoría contexto paisajístico obtuvo una calificación “Muy Bueno”, y la categoría de tamaño una calificación “Pobre” debido a la ausencia de ejemplares en la actualidad; en el sitio 3 la categoría contexto paisajístico obtuvo una calificación “Muy Bueno” y la categoría de tamaño una calificación “Regular”.

Cuadro 5: Viabilidad de la especie *Equisetum giganteum*.

				Calificaciones del indicador			
				Negrita = actual		<i>Cursiva = deseada</i>	
<i>Equisetum giganteum</i>	Categoría	Atributo clave	Indicador	Pobre	Regular	Bueno	Muy bueno
Sitio 1	Contexto paisajístico	Régimen climático	Variación de la temperatura media y de la precipitación media anuales	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 5 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 10 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 15 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 30 años
	Tamaño	Tamaño y dinámica poblacional	Presencia y abundancia de la especie	<100 individuos en una superficie de 600 m ²	499 – 100 individuos en una superficie de 600 m ²	2000 - 500 individuos en una superficie de 600 m ²	>2000 individuos en una superficie de 600 m²
Sitio 2	Contexto paisajístico	Régimen climático	Variación de la temperatura media y de la precipitación media anuales	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 5 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 10 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 15 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 30 años
	Tamaño	Tamaño y dinámica poblacional	Presencia y abundancia de la especie	<100 individuos en una superficie de 600 m²	<i>499 - 100 individuos en una superficie de 600 m²</i>	2000 - 500 individuos en una superficie de 600 m ²	>2000 individuos en una superficie de 600 m ²
Sitio 3	Contexto paisajístico	Régimen climático	Variación de la temperatura media y de la precipitación media anuales	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 5 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 10 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 15 años	Incremento de la temperatura media anual $\geq 1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la precipitación media anual $\geq 0,2\text{ mm}$ en un periodo de 30 años
	Tamaño	Tamaño y dinámica poblacional	Presencia y abundancia de la especie	<100 individuos en una superficie de 600 m ²	499 - 100 individuos en una superficie de 600 m²	<i>2000 - 500 individuos en una superficie de 600 m²</i>	>2000 individuos en una superficie de 600 m ²

Valdez Achucarro IC, Amarilla Rodríguez SM, Insfrán Ortiz A, Salas Dueñas DA. Estrategias de adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* en la Reserva Natural Tapytá, Paraguay

En la **Figura 8** se observan los distintos escenarios de viabilidad de la especie, acorde a los resultados obtenidos en la categoría de tamaño. En el sitio 1 se contabilizó un total de 2267 ejemplares en una superficie de 600 m²; en el sitio 2 no se registró ningún ejemplar; y en el sitio 3 se contabilizó un total de 493 ejemplares en una superficie de 600 m².

Luego de la asignación de los valores de viabilidad para cada sitio, se prosiguió a calcular la salud global del objeto de conservación empleando el libro de trabajo de Excel. En el **Cuadro 6** se puede observar que la Salud de la especie *Equisetum giganteum* bajo las condiciones actuales de manejo en la RNT es Buena.

Cuadro 6: Salud global de la especie *Equisetum giganteum* en la Reserva Natural Tapytá.

<i>Equisetum giganteum</i>	Contexto paisajístico	Tamaño	Valor jerárquico de viabilidad
Sitio 1	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
Sitio 2	Muy Bueno	Pobre	Regular
Sitio 3	Muy Bueno	Regular	Bueno
Calificación global de la salud de la especie <i>Equisetum giganteum</i>			Bueno

Figura 8: Escenarios de viabilidad de la especie *Equisetum giganteum*

Valdez Achucarro IC, Amarilla Rodríguez SM, Insfrán Ortiz A, Salas Dueñas DA. Estrategias de adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* en la Reserva Natural Tapytá, Paraguay

Medidas para la conservación de la especie *Equisetum giganteum* en el área protegida

Se sugieren las siguientes medidas para la conservación de la especie *Equisetum giganteum* en el área protegida ante un escenario de cambio climático:

- a) Considerando que es un área protegida, que continúen las actividades actuales de manejo, que incluye patrullaje en toda el área, para evitar la extracción furtiva de la especie y el ingreso de ganado vacuno.
- b) Talleres de comunicación, educación y sensibilización a la población aledaña, sobre el estado de amenaza de la especie *Equisetum giganteum* y otras especies en peligro de extinción, considerando que la información puede ayudar a la conservación a largo plazo de la biodiversidad.
- c) Se plantea la incorporación de señaléticas en puntos clave que indiquen la prohibición de la extracción del recurso y el estado de amenaza de la Cola de caballo.
- d) En el sitio 2 se sugiere se realice la replantación y supervisión de 100 individuos o más en una superficie mínima de 600 m² (acorde a las dimensiones de superficie total de transectos realizados, a fin de alcanzar una viabilidad con calificación de al menos “regular”).
- e) Se recomienda que se realicen terrazas en los sitios con pendiente donde se realizan las plantaciones de eucalipto, a fin de reducir el arrastre de contaminantes por escorrentía superficial y aumentar la infiltración del agua de lluvia.
- f) Ante el potencial impacto negativo del cambio climático sobre la viabilidad del recurso en años posteriores, se propone como medida la conservación ex situ como complemento a la conservación in situ en los siguientes lugares: en el jardín de aclimatación de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción, en jardines botánicos y en viveros.
- g) Se recomienda continuidad de investigaciones en el tema.

CONCLUSIONES

La metodología para la adaptación al cambio climático de la especie *Equisetum giganteum* que se propuso en la investigación consistió en el empleo de siete herramientas básicas: transectos, entrevistas semi-estructuradas a informantes clave, aplicación de escenarios climáticos futuros, adaptación de las directrices de TNC, grupos focales de validación,

construcción de escenarios distintos de viabilidad de la especie, y elaboración de medidas para la conservación de la especie.

Entre las presiones identificadas se encuentran la fragmentación, la degradación del hábitat y el régimen (micro) climático alterado, mientras que entre las fuentes de presión identificadas se encuentran la recolección de subsistencia incompatible y el cambio climático.

La especie *Equisetum giganteum* tiene una buena capacidad de persistencia y de colonización dentro de la Reserva Natural Tapytá de acuerdo al análisis de viabilidad realizado, donde se consideraron las categorías de régimen climático y tamaño.

De acuerdo a los escenarios climáticos A2 elaborados del Departamento de Caazapá, se concluye que la tendencia de la precipitación media y la temperatura media es que aumenten en décadas posteriores de la siguiente manera.

Según las entrevistas realizadas a informantes clave, en el sitio 2 no se registra presencia de *Equisetum giganteum* debido a las siguientes fuentes de presión: extracción del recurso e ingreso de ganado vacuno al lugar; aunque las condiciones del sitio son propicias para la presencia de la especie.

Finalmente se sugieren las siguientes medidas para la conservación de la especie *Equisetum giganteum* en el área protegida ante un escenario de cambio climático: talleres de educación en la zona de amortiguamiento; replantación de ejemplares y seguimiento en el sitio 2; implementación de terrazas en los sitios con pendiente donde se realizan las plantaciones de eucalipto; conservación *ex situ* como complemento a la conservación *in situ*; entre otras.

Se resalta el enfoque pionero de esta investigación al proponer una aproximación metodológica para el análisis de estrategias de adaptación al cambio climático, a nivel de especies y en un contexto de manejo de áreas protegidas, dando inicio a una línea de investigación que debe ser ampliada a nivel país, por el estado de presión y amenaza en que se encuentran la mayoría de las áreas de conservación del país, y en ellas, genes, especies, ecosistemas y paisajes relevantes, sujetos a los efectos del cambio climático en la actualidad y en el futuro. Retos actuales que desafían los esfuerzos del manejo de las áreas protegidas no solo a nivel país, sino también a nivel regional y global.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores agradecen la gentileza de los pobladores locales para el suministro de la información, a los Guardabosques del área protegida por el soporte durante el trabajo de campo, a la Facultad de Politécnica de la UNA, en la persona del Ing. Max Pasten por el

valioso aporte en relación a los escenarios climáticos, y otros investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA y en el especial a la Fundación Bertoni por permitir la realización de la investigación en la Reserva Natural Tapytá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cambio climático: riesgos, vulnerabilidad y desafío de adaptación en el Paraguay. Asunción; 2007.
2. Staines Urias F. Cambio climático: interpretando el pasado para entender el presente. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva. 2007;14(3):345-351.
3. Naciones Unidas. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [Internet]. 1992 [actualizado 16 mar 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
4. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Los impactos del cambio climático y la adaptación al cambio [internet]. 2014 [actualizado 17 mar 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en <http://www.epa.gov/espanol/cambioclimatico/impactos-adaptacion/index.html>
5. Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambio climático y biodiversidad [Internet]. 2002 [actualizado 17 mar 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
6. Mansourian S, Belokurov A, Stephenson P. La función de las áreas forestales protegidas en la adaptación del cambio climático [Internet]. 2009 [actualizado 17 mar 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/011/i0670s/i0670s13.htm>
7. Arguedas ME; Castaño BL; Rodríguez JM. Lineamientos y herramientas para un manejo creativo de las áreas protegidas. San José: Editores. Organización para Estudios Tropicales/ programa de Política y Ciencias Ambientales; 2004.
8. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, REGATTA: Portal Regional para la Transferencia de Tecnología Acción frente al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Estudio de vulnerabilidad e impacto del cambio climático en el Gran Chaco Americano [Internet]. Centro de Conocimiento para el Gran Chaco Americano y Cono Sur: Universidad Nacional de Formosa (Argentina); Universidad de la Cordillera -Fundación la Cordillera (Bolivia); Desarrollo, Participación y Ciudadanía (Paraguay); 2003 [actualizado 21 abr 2015; citado 19 dic 2018]. Disponible en <http://biblioteca.seam.gov.py/wp-content/uploads/2017/11/estudio-de>

vulnerabilidad-e-impacto-del-cambio-climatico-en-el-gran-chaco-americano.pdf

9. IPCC: Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Anexo B: glosario de términos [Internet]. 2001 [actualizado 16 mar 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en: <https://archive.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
10. SEAM: Secretaría del Ambiente. Especies de flora nativa en peligro de extinción en Paraguay [Internet]. Sf [actualizado 23 jun 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en: http://archivo.seam.gov.py/sites/default/files/peligro_de_extincion.pdf
11. Céspedes de Zárate CI, González Zalema G, Delmás de Rojas G, Vogt C, Quiñónez Olmedo PB. Aclimatación de tres especies de uso en medicina popular con rango de amenaza *Cyclolepis genistoides* D. Don (palo azul), *Equisetum giganteum* L. y *Herreria montevidensis* Klotzsch ex Griseb. (zarzaparrilla) [Internet]. Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay; 2009 [actualizado 22 mar 2014; citado 19 dic 2018]. Disponible en: <http://sdi.cnc.una.py/catbib/documentos/164.pdf>
12. FMB: Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza. Reserva Natural Tapytá. Plan de Manejo 2015 – 2020. Asunción: Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza (FMB), Fondo para la Conservación de Bosques Tropiccales (FCBT); 2015.
13. FMB: Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza; USAID: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Reserva Natural Privada Tapytá. Plan de Manejo 2006 – 2010. Asunción: Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza (FMB), Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID); 2006.
14. FMB: Fundación Moisés Bertoni. Elaboración de mapas [correo electrónico]. Asunción. FMB; 2015.
15. Sampieri Hernández R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Fundamentos de metodología de la investigación. Madrid: McGraw-GILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.; 2007.
16. Gámez AE, Geiger A, Ivanova A, Trasviña A, Muhlia A, Breceda A, Lluch D, Romero E, Reyes H, Wurl J, Angeles M, Cariño M, Arizpe O, Lluch S, Díaz S, Zenteno T. Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur [Internet]. 2012 [actualizado 25 abr 2014; citado 24 fev 2019]. Disponible en: http://www.uabcs.mx/secciones/descarga/archivo:18092015_101452_2012%20Plan%20Estatal%20de%20Accion%20ante%20el%20Cambio%20Climatico%20para_BCS.pdf
17. TNC: The Nature Conservancy. Esquema de las cinco S para la conservación de sitios: un manual de planificación para la conservación de sitios y la medición del éxito en conservación. Washington DC: The Nature Conservancy (TNC); 2000.

18. González Zalema, G. Medidas de conservación ex situ del *Equisetum giganteum*. San Lorenzo. Facultad de Ciencias Químicas. UNA; 2015.
19. Vázquez Morera A. Taller de levantamiento de suelos a nivel semidetallado: procedimientos generales para la realización de estudios semidetallados de suelos. Asunción: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); 1997.
20. Pin A, González G, Marín G, Céspedes G, Cretton S, Christen P, Roguet D. Plantas Medicinales del Jardín Botánico de Asunción. Asunción: Asociación Etnobotánica Paraguaya, 2009.
21. Vera Jiménez M. Plantas medicinales de tres áreas silvestres protegidas y su zona de influencia en el sureste de Paraguay. Asunción: Fundación Moisés Bertoni; 2009.