



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

TEMA:

**POTENCIAL DE LAS COLECCIONES DE HERBARIO PARA LA BIOLOGÍA
DE LA CONSERVACIÓN: UN ESTUDIO DE CASO EN EL GÉNERO *Salvia* L.
(LAMIACEAE) EN ECUADOR**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magister en Biodiversidad
y Cambio Climático

Autor(a)

Peñafiel Cevallos Marcia Cecilia

Tutor(a)

Oleas Gallo Nora Helena, PhD.

QUITO – ECUADOR

2022

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Marcia Cecilia Peñafiel Cevallos declaro ser autor del Trabajo de Investigación con el nombre “Potencial de las colecciones de herbario para la biología de la conservación: Un estudio de caso en el género *Salvia* L. (Lamiaceae) en Ecuador”, como requisito para optar al grado de Magister en Biodiversidad y Cambio Climático y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 9 días del mes de enero del 2022, firmo conforme:

Autor: Marcia Cecilia Peñafiel Cevallos

Firma:

Número de Cédula: 1708505423

Dirección: Pichincha, Quito, Cotocollao, Ciudadela 23 de junio.

Correo Electrónico: marcia_penafielc@hotmail.com

Teléfono: 0998068124

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “POTENCIAL DE LAS COLECCIONES DE HERBARIO PARA LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN: UN ESTUDIO DE CASO EN EL GÉNERO *Salvia* L. (LAMIACEAE) EN ECUADOR” presentado por Marcia Cecilia Peñafiel Cevallos, para optar por el Título Magister en Biodiversidad y Cambio Climático

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 9 de enero del 2022

.....

Nora Helena Oleas Gallo, PhD.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Biodiversidad y Cambio Climático, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 9 de enero del 2022

.....
Marcia Cecilia Peñafiel Cevallos
1708505423

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: POTENCIAL DE LAS COLECCIONES DE HERBARIO PARA LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN: UN ESTUDIO DE CASO EN EL GÉNERO *Salvia* L. (LAMIACEAE) EN ECUADOR, previo a la obtención del Título de Magister en Biodiversidad y Cambio Climático, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 9 de enero del 2022

.....
MSc. DAVID SUÁREZ DUQUE
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
LAURA SALAZAR COTUGNO, PhD.
VOCAL

.....
NORA HELENA OLEAS GALLO, PhD.
VOCAL

DEDICATORIA

A mi madre, Ipatia, quien me inculcó desde niña el amor por la lectura y la
importancia del estudio.

A mis hijas: Camila, Melisa y Jesica.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Tecnológica Indoamérica (UTI). A mi tutora, Nora Oleas, por sus conocimientos, consejos, correcciones y todo su apoyo para llegar a feliz término en este estudio. A Itzi Fragoso-Martínez, especialista del género *Salvia* e investigadora del Instituto de Ecología, A. C. INECOL, México, por permitirme acceder a sus fotografías de los ejemplares de herbario y por sus revisiones taxonómicas durante la elaboración del presente proyecto. A mis examinadores: Laura Salazar y David Suárez, por sus acertados comentarios, correcciones y guía. A la UTI y su Proyecto Diversidad morfológica, genética y química de plantas, otorgado a Nora Oleas, por la contribución en el modelamiento de especies y a Laura Rosado, por su valioso aporte en este proceso. Al Herbario Nacional del Ecuador (QCNE), Sección Botánica del Instituto Nacional de Biodiversidad INABIO, por permitirme acceder a su base de datos y colección botánica. A Raffaella Ansaloni, Directora del Herbario del Azuay (HA), Zhoffre Aguirre Curador y Nelson Jaramillo, Técnico-docente del Herbario Reinaldo Espinosa (LOJA) y Jorge Caranqui, Curador del Herbario de la Escuela Politécnica del Chimborazo (CHEP), por facilitarme la información actualizada de sus bases de datos. A Katty y Marcelo, por creer en mi desde el primer día. A mi padre y hermanos por su apoyo y motivación constante y a Camila, Melisa y Jesica, por su amor y paciencia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| PORTADA..... | i |
| AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL..... | ii |
| APROBACIÓN DEL TUTOR..... | iii |
| DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD..... | iv |
| APROBACIÓN TRIBUNAL..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | vii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xv |

CAPÍTULO I

| | |
|-------------------|---|
| Introducción..... | 1 |
|-------------------|---|

CAPÍTULO II

| | |
|---------------------------|---|
| Materiales y métodos..... | 6 |
|---------------------------|---|

CAPÍTULO III

| | |
|-----------------|----|
| Resultados..... | 14 |
|-----------------|----|

CAPÍTULO IV

Discusión.....36

CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones.....44

Literatura citada.....46

Anexos.....57

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Fuente de actualización de registros de <i>Salvia</i> en la base de datos..... | 8 |
| Tabla 2. Variables climáticas empleadas para estimar los modelos de nicho ecológico de especies de <i>Salvia</i> en Ecuador..... | 10 |
| Tabla 3. Lista de especies de <i>Salvia</i> endémicas para Ecuador reportadas en el presente estudio y su respectiva categoría para las especies amenazadas de acuerdo a la UICN..... | 16 |
| Tabla 4. Lista de las Áreas Protegidas del SNAP con presencia de colecciones del género <i>Salvia</i> en Ecuador..... | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Distribución histórica del género <i>Salvia</i> en Ecuador a partir de las localidades de los especímenes de herbario..... | 15 |
| Figura 2. Representación de algunas de las especies de <i>Salvia</i> endémicas para Ecuador reportadas en el estudio. A. <i>Salvia curticalyx</i> (VU), B. <i>Salvia hirtella</i> , C. <i>Salvia humboldtiana</i> (NT), D. <i>Salvia leucocephala</i> (VU), E. <i>Salvia pichinchensis</i> , F. <i>Salvia quitensi</i> (LC), G. <i>Salvia sigchosica</i> y H. <i>Salvia sprucei</i> (VU)..... | 18 |
| Figura 3. Distribución histórica de las especies de <i>Salvia</i> endémicas para Ecuador reportada en el presente estudio. A. <i>Salvia austromelissodora</i> (VU), B. <i>Salvia curticalyx</i> (VU), C. <i>Salvia hirtella</i> , D. <i>Salvia humboldtiana</i> (NT), E. <i>Salvia leucocephala</i> (VU), F. <i>Salvia peregrina</i> (EN), G. <i>Salvia pichinchensis</i> , H. <i>Salvia quitensis</i> (LC), I. <i>Salvia sigchosica</i> y J. <i>Salvia sprucei</i> (VU)..... | 19 |
| Figura 4.1. Representación de algunas de las especies de <i>Salvia</i> nativas para Ecuador reportadas en el estudio. A. <i>Salvia angulata</i> , B. <i>Salvia carnea</i> , C. <i>Salvia corrugata</i> , D. <i>Salvia hirta</i> , E. <i>Salvia loxensis</i> y F. <i>Salvia macrostachya</i> | 22 |
| Figura 4.2. Representación de algunas de las especies de <i>Salvia</i> nativas de Ecuador reportadas en el estudio. G. <i>Salvia ochrantha</i> , H. <i>Salvia pauciserrata</i> , I. <i>Salvia sagittata</i> , J. <i>Salvia scutellarioides</i> , K. <i>Salvia squalens</i> y L. <i>Salvia tortuosa</i> | 23 |
| Figura 5. Representación de especies de <i>Salvia</i> de amplia distribución reportadas en el estudio. A. <i>Salvia macrophylla</i> y B. <i>Salvia occidentalis</i> | 24 |
| Figura 6. Distribución histórica de las especies de <i>Salvia</i> de amplia distribución reportadas para Ecuador en el presente estudio. A. <i>Salvia macrophylla</i> y B. <i>Salvia occidentalis</i> | 24 |

| | |
|--|----|
| Figura 7. Representación de especies de <i>Salvia</i> introducidas en Ecuador reportadas en el estudio. A. <i>Salvia hispanica</i> y B. <i>Salvia leucantha</i> | 25 |
| Figura 8. Distribución histórica de las especies de <i>Salvia</i> introducidas para Ecuador reportada en el presente estudio. A. <i>Salvia hispanica</i> y B. <i>Salvia leucantha</i> | 25 |
| Figura 9. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de <i>Salvia</i> de amplia distribución reportadas para Ecuador en el presente estudio. A. <i>Salvia macrophylla</i> y B. <i>Salvia occidentalis</i> | 29 |
| Figura 10. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de <i>Salvia</i> introducidas en Ecuador reportada en el presente estudio. A. <i>Salvia hispanica</i> y B. <i>Salvia leucantha</i> | 29 |
| Figura 11. Distribución potencial del género <i>Salvia</i> para Ecuador al 2050 con proyecciones futuras realizadas bajo las vías de estabilización intermedias (RCP 4.5) y altas (RCP 8.5). | 30 |
| Figura 12. Distribución histórica de <i>Salvia</i> en Ecuador y su ubicación en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. | 31 |
| Figura 13. Estados de conservación de las especies de <i>Salvia</i> endémicas para Ecuador reportadas en el presente estudio. A. <i>Salvia austromelissodora</i> , B. <i>Salvia curticalyx</i> , C. <i>Salvia hirtella</i> , D. <i>Salvia humboldtiana</i> , E. <i>Salvia leucocephala</i> , F. <i>Salvia peregrina</i> , G. <i>Salvia pichinchensis</i> , H. <i>Salvia quitensis</i> , I. <i>Salvia sigchosica</i> y J. <i>Salvia sprucei</i> | 33 |
| Figura 14. Estados de conservación de las especies de <i>Salvia</i> de amplia distribución reportadas para Ecuador en el presente estudio. A. <i>Salvia macrophylla</i> y B. <i>Salvia occidentalis</i> | 34 |
| Figura 15. Estados de conservación de las especies de <i>Salvia</i> introducidas para Ecuador reportadas en el presente estudio. A. <i>Salvia hispanica</i> y B. <i>Salvia leucantha</i> | 35 |

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

TEMA: POTENCIAL DE LAS COLECCIONES DE HERBARIO PARA LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN: UN ESTUDIO DE CASO EN EL GÉNERO *Salvia* L. (LAMIACEAE) EN ECUADOR

AUTOR: Marcia Cecilia Peñafiel Cevallos

TUTOR: PhD. Nora Helena Oleas Gallo

RESUMEN EJECUTIVO

Uno de los recursos básicos para la conservación es la obtención de datos de línea base a nivel de especies, comunidades y ecosistemas. Una fuente importante de información son los herbarios. El objetivo del estudio fue determinar, a través de un estudio de caso, los aportes que los datos de las colecciones botánicas proporcionan a la biología de la conservación. Para lo cual, se seleccionó al género *Salvia* (Lamiaceae) en Ecuador. Se elaboró una base de datos de las colecciones históricas que reposan en los herbarios. Se elaboraron mapas de distribución histórica y potencial proyectada al presente y al 2050 con dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5) y se determinó el estado de conservación del género a partir de un análisis de presencia de las especies reportadas para el Sistema de Áreas Protegidas (SNAP). Se obtuvo una base de datos depurada con 1.015 registros. La región más colectada es la Interandina con 906 registros. En cuanto a la diversidad del género, se obtuvo un total de 39 especies: 31 nativas (15 endémicas), seis introducidas y dos de amplia distribución. Se elaboraron modelos de distribución histórica y presente de 28 especies (\geq cinco registros). Dentro de las 28 especies, 10 son endémicas y siete están amenazadas (UICN). Del total de los registros con los cuáles se corrieron los modelos de distribución potencial al presente, el 100% coincidieron con las áreas idóneas resultantes. Para el modelamiento al 2050 en escenarios de cambio climático (4.5 y

8.5), el 80% de las especies modeladas ampliaron sus áreas idóneas a lo largo del Callejón Interandino. Sin embargo, existen áreas idóneas que aún no han sido exploradas. En cuanto al estado de conservación del género, el 48.8% de las especies reportadas en la base ha sido colectado, al menos, en un Área Protegida. Es preciso incrementar las colecciones de *Salvia* mediante estudios de inventarios florísticos en áreas con vacíos de información.

Palabras clave: Colecciones de herbario, distribución histórica, distribución potencial, modelamiento, *Salvia*.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

THEME: POTENTIAL OF HERBARY COLLECTIONS FOR CONSERVATION
BIOLOGY: A CASE STUDY IN THE GENUS *Salvia* L. (LAMIACEAE) IN
ECUADOR

AUTHOR: Marcia Cecilia Peñafiel Cevallos

TUTOR: Nora Helena Oleas Gallo, PhD

ABSTRACT

One of the essential resources for conservation is the collection of baseline data at the species, community, and ecosystem levels. Herbaria are an essential source of information. The objective of this study was to determine, through a case study, the contributions that data from botanical collections provide to conservation biology. For this purpose, the genus *Salvia* (Lamiaceae) in Ecuador was selected. A database of historical collections in herbariums was elaborated. Maps of historical and potential distribution projected to the present and 2050 with two climate change scenarios (RCP 4.5 and 8.5) were prepared, and the conservation status of the genus was determined based on an analysis of the presence of the species reported for the System of Protected Areas (SNAP). A purified database with 1,015 records was obtained. The most collected region is the Inter-Andean region, with 906 records. Regarding the diversity of the genus, 39 species were obtained: 31 natives (15 endemics), six introduced, and two of wide distribution. The present distribution models were developed for 28 species (\geq five records). Of the 28 species, ten are endemic, and seven are threatened (IUCN). Of the total number of records with which the potential distribution models were run to the present, 100% coincided with the resulting suitable areas. For the 2050 modeling under climate change scenarios (4.5 and 8.5), 80% of the modeled species expanded

their suitable areas along the Inter-Andean Alley. However, there are suitable areas that have not yet been explored. Regarding the genus conservation status, 48.8% of the species reported in the database have been collected in at least one Protected Area. Therefore, increasing *Salvia* collections through floristic inventory studies in areas with information gaps is necessary.

KEYWORDS: herbarium collections, historical distribution, potential distribution, modeling, *Salvia*.

(FIRMA Y SELLO DEPARTAMENTO DE IDIOMAS)

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca en las líneas de investigación de Biodiversidad y Biogeografía. En relación a la línea de biodiversidad, trata acerca del potencial de las colecciones de herbario para estudios de riqueza, diversidad y conservación del género *Salvia* considerado el género más grande de la familia Lamiaceae (Martínez-Gordillo et al., 2017). Por otra parte, se relaciona con la biogeografía ya que determina la distribución histórica y potencial del género *Salvia* en Ecuador. Además, sus patrones de distribución en escenarios de cambio climático para establecer estudios de manejo y conservación.

Se estima que existen 8.7 millones de especies en la Tierra, de las cuales 298.000 corresponden a las plantas; y de estas, se calcula que aún no se han descubierto alrededor de un 30% (Mora et al., 2011). Se considera urgente el registro de las especies que todavía no se han identificado ante la amenaza permanente de la biodiversidad y el riesgo de extinción por los impactos provocados por las actividades antrópicas (Báez et al., 2016; Mora et al., 2011; Marrugan et al., 2010).

El Ecuador es uno de los países megadiversos del planeta por su gran diversidad biológica (Mittermeier et al., 1997), sin embargo, toda esa diversidad no se encuentra reflejada en las colecciones biológicas (Suárez, 2014). En el país se reportan más de 650.000 especímenes depositados en 13 herbarios locales, provenientes principalmente de la Amazonía y los Andes (Segovia-Salcedo et al., 2015).

En Ecuador se han identificado 17.548 especies de plantas vasculares de las cuales 5.480 especies son endémicas (Ulloa-Ulloa et al., 2017), y se estima que —continuando con los estudios florísticos— el Ecuador podría llegar a las 25.000 especies de plantas (Neill, 2012). Uno de los factores que influye para la alta diversidad en Ecuador es la confluencia de las ecorregiones de: Chocó, Tumbes, Andes Tropicales (norte y sur) y Amazonía (norte y sur-oeste); a su vez, en cada una de estas ecorregiones se distinguen subregiones con regímenes climáticos y orígenes evolutivos diferentes (Sierra et al., 2002). Lamentablemente, esta diversidad está amenazada por los efectos de cambio de uso de suelo y el cambio climático, lo que podría conducir a la extinción de especies que habitan en áreas aún no exploradas. Comprender, por ejemplo, cómo el cambio climático global está afectando la diversidad biológica de los Andes es de suma importancia, dada la relevancia de la región para la conservación biológica (Báez et al., 2016).

Uno de los principales retos de la conservación es la obtención de datos de línea base a nivel de especies, comunidades y ecosistemas (Greve et al., 2016; Lister, 2011). Una fuente importante de información son los herbarios. Se estima que los herbarios alrededor del mundo almacenan aproximadamente 480 millones de especímenes, como resultado del trabajo de campo de miles de botánicos durante los últimos cuatro siglos (Heberling e Isaac, 2020). La demanda de información proveniente de las colecciones científicas es cada vez más alta, tanto para acceder a los datos como a los ejemplares (Simons y Muñoz-Saba, 2005). Los investigadores pueden revisar los especímenes físicamente a través de préstamos, donaciones e intercambios y en línea, mediante el acceso a las bases de datos e imágenes escaneadas en alta resolución. Un ejemplo es la página del Global Plants Initiative con cerca de dos millones de imágenes de ejemplares tipo de los herbarios del mundo (<https://www.jstor.org/>).

Las colecciones botánicas, literatura publicada y el conocimiento de los especialistas, son la base para describir nuevas especies y proporcionar una mejor comprensión de las plantas (Ulloa-Ulloa et al., 2017). Incluso, algunas revistas especializadas tales como *Applications in Plant Sciences (APPS)* y *American Journal*

of Botany, solicitan como requisito para someter las publicaciones científicas, el contar con el depósito de sus especímenes en los herbarios (Culley, 2013). Diversos estudios basados en colecciones de herbario a nivel local, nacional, regional y mundial (Bebber et al., 2010; Heberling, e Isaac, 2017; Soltis, 2017; Flores-Tolentino et al., 2020; González-Gallegos et al., 2020), demuestran la importancia y el potencial de la información que guardan las etiquetas de los ejemplares. Esta información sirve de base a diversas investigaciones relacionadas con la biogeografía, la genética, la sistemática, la biología de la conservación, entre otros (Greve et al., 2016; Lang et al., 2018; Drew, 2020). Uno de los principales objetivos de las colecciones botánicas es servir de repositorios taxonómicos, facilitando el acceso a especímenes después de décadas o siglos de haber sido colectados, para la descripción de nuevas especies (Greve et al., 2016; Funk, 2018).

En este contexto, una herramienta importante para evaluar la distribución potencial de las especies son los modelos de nicho ecológico (ENM), que emplean en la construcción de sus modelos, registros de ocurrencia de las especies (especímenes de herbario) y variables bioclimáticas. Los ENM tienen diversas aplicaciones, siendo utilizados fundamentalmente en estudios de conservación biológica (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2016). Una de las bases para predecir la respuesta de las especies ante los cambios esperados por la degradación del hábitat o por el cambio climático, son los modelos de distribución de especies (Sánchez et al., 2011). En este sentido, el mapeo de las especies nos permite evaluar las amenazas que enfrentan ante diferentes escenarios, además de comprender la biogeografía de las especies (Greve et al., 2016). Los modelos climáticos de las Rutas de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés), simulan escenarios futuros de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y uso de suelos para el año 2050. Las vías de estabilización frecuentemente empleados en las proyecciones futuras son: RCP 4.5, con una concentración de GEI intermedia entre media a baja y RCP 8.5, con una concentración de GEI alta (Riahi et al., 2011; Thomson et al., 2011; Cobos et al., 2019).

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar, a través de un estudio de caso, los aportes que los datos y las referencias de las colecciones botánicas brindan a la biología de la conservación. Para lo cual, se seleccionó al género *Salvia* subg. *Calosphace*, (Lamiaceae).

La familia Lamiaceae es cosmopolita y una de las más diversas a nivel mundial. Se distribuye principalmente en zonas montañosas de bosques de clima templado. La mayoría de sus especies presentan glándulas epidérmicas a través de las cuales secretan compuestos volátiles aromáticos que les otorgan un alto potencial medicinal, culinario y ornamental con más de 150 especies en cultivo para estos fines (Martínez-Gordillo et al., 2017; Drew, 2020).

El género *Salvia* corresponde a un clado altamente diverso y endémico de América. Ecuador es considerado el sexto país con más diversidad de este género (Fragoso-Martínez et al., 2017; González-Gallegos et al., 2020). El linaje del Neotrópico del género *Salvia* es el más diverso de todos con cerca de 600 de las 1.000 especies (Fragoso-Martínez et al., 2017; González-Gallegos et al., 2020) y es nativo de seis continentes (Drew, 2020). En Ecuador se registran 41 especies nativas de *Salvia*. De estas, 17 son endémicas (González-Gallegos et al., 2020) constituyendo el género con más endemismo (52%) de la familia Lamiaceae en Ecuador (Moscoso et al., 2011). Crece en áreas disturbadas y sitios abiertos, sin embargo, ha sido poco colectado (Moscoso et al., 2011). El estudio del estado de conservación de las especies de *Salvia* en Ecuador es importante por su alto potencial ornamental, medicinal, alimenticio, entre otros. Además, las especies de *Salvia* tienen relevancia etnofarmacológica y son muy utilizadas en rituales tradicionales de curación. Estas especies contienen terpenos y terpenoides bioactivos, lo que puede aportar en la eficiencia de medicamentos (De la Torre et al., 2008; Jenks y Kim 2013). Por ejemplo, *Salvia hispánica* “chía”, una especie introducida en Ecuador y originaria de Mesoamérica, es muy utilizada como una planta comestible y medicinal desde el Período Pre-Colombino (Cahill, 2003). Además, el género *Salvia* es considerado una alternativa para los jardines de

polinizadores como estrategia de conservación en las ciudades (del Coro Arizmendi y de Gortari 2021).

Para cumplir con el objetivo del estudio, se desarrolló una base de datos geo espacial del género *Salvia*, es decir, incluye datos depurados de las coordenadas geográficas de las localidades donde se registraron las colecciones. Se establecieron patrones de distribución histórica y potencial del género y las variables bioclimáticas que interfirieron para identificar los hábitats óptimos de las especies. Posteriormente, a través del uso de Modelamiento de Nicho Ecológico (ENM), se elaboraron modelos de distribución ante escenarios de cambio climático del género. Se analizó la distribución histórica y actual con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas para evaluar su estado de conservación.

Finalmente, se espera que los resultados obtenidos sirvan como una herramienta de monitoreo de la diversidad y el estado de conservación del género *Salvia* en Ecuador. Evidenciando la importancia de la información de línea base que guardan las colecciones de herbario, tanto para el conocimiento como para la planificación de la biodiversidad en el país.

Objetivo general:

Determinar a través de un estudio de caso, los aportes que los datos y las referencias de colecciones botánicas realizan a la biología de la conservación.

Objetivos específicos:

1. Desarrollar una base de datos geo espacial para el Ecuador del género *Salvia* L.
2. Estimar la distribución histórica y potencial del género *Salvia* L. en Ecuador.
3. Elaborar modelos de distribución ante escenarios de cambio climático del género *Salvia* L. en Ecuador.
4. Determinar el estado de conservación del género *Salvia* L. en Ecuador.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Para demostrar el potencial de las colecciones de herbario en los estudios de la biología de la conservación, se tomó como estudio de caso al género *Salvia* en Ecuador. Para lo cual, se elaboró una base de datos de las colecciones históricas que reposan en los diferentes herbarios nacionales y extranjeros. Se elaboraron mapas de distribución histórica y potencial proyectada al presente y al 2050 con dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5). Por último, se determinó el estado de conservación del género a partir de un análisis de presencia de las especies reportadas para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.

Base de datos

Se creó una base de datos de registros de herbario para Ecuador del género *Salvia* L. utilizando la información disponible en la Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>) y del Jardín Botánico de Missouri (TROPICOS) (<https://www.tropicos.org/>). La base contiene las colecciones almacenadas en los siguientes herbarios: Herbario Nacional del Ecuador (QCNE), Herbario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCA), Missouri Botanical Garden (MO), Aarhus University (AAU), New York Botanical Garden (NY), Royal Botanic Gardens Kew (K), Herbarium of Natural History Museum in Viena (W), Universidad Nacional de Loja (LOJA), Herbario Nacional de México (MEXU), The George Safford Torrey (CONN), Harvard University Herbarium (HUH), Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN – Paris, France), Jardín Botánico de Río de

Janeiro (JBRJ), Swedish Museum of Natural History (S), Naturalis (L), Royal Botanic Garden Edinburgh (E), Field Museum of Natural History (F), Museum of Evolution (UPS), Real Jardín Botánico (MA), Lund University (LD), Universidad de Santiago de Compostela (SANT), University of Botswana (UCBG) y Arizona State University (ASU). Se descargaron 1.205 registros incluidos tipos y ejemplares históricos que no contaban con coordenadas y otros bajo protección especial. Una lista completa de los herbarios y el número de registros aportados por cada uno se encuentra disponible en el Anexo 1.

La base de datos contiene información de identidad taxonómica del espécimen, y para la mayoría de los registros, la información de la etiqueta de las colecciones que incluye campos como: fechas de colección, descriptores geográficos (provincia, cantón, parroquia), identidad de los colectores, número de colección, localidad, latitud, longitud, altitud, código institucional (acrónimo), identidad del identificador taxonómico y número de catálogo. La organización de los datos se realizó en Microsoft Excel 2010. La nomenclatura se basó en el Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Hongos y Plantas (Greuter y Rodríguez, 2018).

Depuración de bases de datos

La limpieza de los datos se ejecutó siguiendo las recomendaciones de Chapman (2005). La corrección taxonómica de los especímenes de herbario por parte de la especialista del género, se realizó a partir de la lista de especies de *Salvia* L. registradas en varios herbarios. Se tomó como referencia la lista basada en la información del Herbario del Real Jardín Botánico Kew (Govaerts et al., 2019). Además, se revisaron los especímenes y/o fotografías de los herbarios QCNE, K, QPLS, QAP, QCA, Q y LOJA. Adicionalmente, con las fotografías de los especímenes de los herbarios QCNE, QCA, LOJA y QAP, se capturó la información de las etiquetas de los registros que no se encontraban en las bases digitales (Tabla 1).

Tabla 1. Fuente de actualización de registros de *Salvia* en la base de datos.

| Herbarios | Registros verificados de los herbarios | Nuevos registros | |
|-----------|--|----------------------|---------------|
| | | Captura de etiquetas | Base de datos |
| QCNE | 189 | | |
| HA | | | 65 |
| QCA | 285 | | |
| LOJA | 74 | | 118 |
| QAP | 85 | 56 | |
| CHEP | 127 | | |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Para la depuración de los registros duplicados se cotejó cada fotografía de los ejemplares con la base de datos. Se actualizó la información de los acrónimos y el nombre del investigador que determinó la especie. Además, se eliminaron los registros sin número de colección, registros con determinación taxonómica hasta género y registros sin datos de localidad, dando como resultado una base con 1.044 registros. La depuración de los sinónimos se basó en el Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (Greuter y Rodríguez, 2018). La base de datos está conformada por 39 especies de *Salvia*: 31 nativas (15 endémicas), dos de amplia distribución y seis introducidas para Ecuador (Anexo 2).

Distribución histórica

La información de localidad y coordenadas se obtuvo —en su mayoría— de las etiquetas de los ejemplares de herbario. En las localidades que no contaron con coordenadas GPS se georefenció usando la descripción y el nombre de la localidad en GoogleEarth (<https://www.google.com/earth/>). Se realizó la conversión de las coordenadas sexagesimales a métricas. Luego se realizó un mapeo de las coordenadas en el software ArcGis 10.2 (ESRI, 2013), con el objetivo de determinar la ubicación de

la localidad dentro del Ecuador. Se eliminaron los registros cuyas coordenadas se encontraban fuera del territorio nacional. Se analizó con la herramienta Spatial Join y la cobertura (SHP) de la Organización Territorial Cantonal del software ArcGis 10.2 (ESRI, 2013) para determinar el lugar a nivel provincial. Se identificaron los puntos o coordenadas que no concordaron a este nivel. A través de la comparación en la base de datos con el Shape Organización Territorial Provincial, se eliminaron 125 registros con coordenadas que no coincidieron con la provincia indicada en la localidad. Se obtuvo un total de 915 registros georeferenciados del género *Salvia* determinados hasta especie. Se eliminaron las especies con \leq a cuatro registros y se obtuvo una base final con 28 especies con \geq a cinco registros, con la cual se inició la verificación de las coordenadas.

A partir de la base de datos georeferenciada, se llevó a cabo una limpieza espacial de 1 km alrededor de las localidades de ocurrencia de cada una de las 28 especies de *Salvia* para evitar posibles correlaciones entre los datos de presencia. Para los puntos de ocurrencia restantes, se realizaron Análisis de Componentes Principales (PCA's) para identificar y descartar coordenadas geográficamente atípicas (Robertson et al., 2001).

Datos bioclimáticos

Existen diversas bases de datos bioclimáticos derivadas de mediciones de temperatura y precipitación para tiempos históricos. Por ejemplo, Chelsa Climate con datos de alta resolución particularmente de precipitación (<https://chelsa-climate.org/>). Sin embargo, se seleccionó la base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>), por ser citados frecuentemente en estudios de modelamiento de distribución de especies (Peterson y Nakazawa, 2008; Jakob et al., 2009). Los datos utilizados consistieron de 19 variables climáticas (resolución de 30") de temperatura y precipitación para tiempos históricos (1970–2000) (Tabla 2).

Tabla 2. Variables climáticas empleadas para estimar los modelos de nicho ecológico de especies de *Salvia* en Ecuador.

| Número | Código | Variable Climática |
|--------|--------|--|
| 1 | BIO1 | Temperatura media anual |
| 2 | BIO2 | Rango diurno medio (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima)) |
| 3 | BIO3 | Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ($\times 100$) |
| 4 | BIO4 | Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$) |
| 5 | BIO5 | Temperatura máxima del mes más cálido |
| 6 | BIO6 | Temperatura mínima del mes más frío |
| 7 | BIO7 | Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6) |
| 8 | BIO8 | Temperatura media del trimestre más húmedo |
| 9 | BIO9 | Temperatura media del cuarto más seco |
| 10 | BIO10 | Temperatura media del trimestre más cálido |
| 11 | BIO11 | Temperatura media del cuarto más frío |
| 12 | BIO12 | Precipitación anual |
| 13 | BIO13 | Precipitación del mes más húmedo |
| 14 | BIO14 | Precipitación del mes más seco |
| 15 | BIO15 | Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) |
| 16 | BIO16 | Precipitación del cuarto más húmedo |
| 17 | BIO17 | Precipitación del cuarto más seco |
| 18 | BIO18 | Precipitación del trimestre más cálido |
| 19 | BIO19 | Precipitación del cuarto más frío |

Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

Modelos de distribución de *Salvia* ante escenarios de cambio climático

Para evaluar la importancia y la capacidad predictiva de los modelos (ver más abajo), las localidades de presencia fueron divididas en un 75% de datos de

entrenamiento y un 25% de datos de prueba (Cruz-Cárdenas et al., 2014). Para reducir el riesgo de sesgo por multicolinealidad de las variables bioclimáticas, se redujo el conjunto inicial de variables por cada especie reteniendo solo aquellas con valor de factor de inflación de la varianza (VIF) <10 , usando los paquetes “usdm” y “corrplot” (Babak, 2017; Wei y Simko, 2017) en R v.4.0.0 (Pradhan, 2016), usando R-Studio 1.2.5 (Horton y Kleinman, 2015). Además, dado que los modelos tienden a ser sensibles al área accesible de especies M (Soberón y Peterson, 2005; Barve et al., 2011), los análisis se realizaron enmascarando un polígono que incluye el Ecuador Continental.

Se usó el paquete kuenm (Cobos et al., 2019) implementado en RStudio (v.1.2.5042) para automatizar la calibración y evaluación de modelos candidatos generados por MaxEnt (v.3.4.1) (Phillips et al., 2006). En este proceso, se generó un total de 406 modelos candidatos por cada especie utilizando diferentes tipos de regularizadores de multiplicación (0.1–0.9 aumentando en 0.1, y 1–5 aumentando en 1.0), 29 posibles combinaciones de clases de entidades (lineal, cuadrática, producto, umbral y eje) y un conjunto de variables bioclimáticas. El rendimiento de los modelos candidatos se basó en el nivel de significancia [característica operativa del receptor parcial (ROC), con 1.000 iteraciones y bootstrapping del 50% de los datos de prueba en cada iteración], tasa de omisión ($E \leq 5-10\%$, estimado mediante el uso de los datos de entrenamiento) y complejidad del modelo [Δ criterio de información de Akaike corregido ($\Delta AICc < 2$) utilizando el conjunto de datos completo], en este orden de prioridad (Cobos et al., 2019). El mejor modelo se obtuvo utilizando el conjunto completo de datos de presencia y las parametrizaciones con la mejor combinación de medidas de rendimiento.

Los modelos de la mayoría de las especies de *Salvia* mostraron una representación de distribución bastante acertada, mediante el uso de un conjunto reducido de variables (VIF). No obstante, en algunas especies, el uso de esta reducción de variables (ej. ≤ 5) ocasionó que se mostraran distribuciones potenciales que cubrieron áreas demasiado amplias que no están ocupadas por la especie. Por

consiguiente, para estas especies se procedió a realizar nuevamente modelos candidatos con la misma configuración especificada en kuenm y utilizando el conjunto completo de 19 variables bioclimáticas (Anexo 3).

Aunque se ha afirmado que el uso de las 19 variables puede provocar un sobreajuste en los modelos (Peterson y Nakazawa, 2008), se ha demostrado que el uso de todas las variables bioclimáticas puede representar un enfoque más conservador y preciso al momento de estimar la distribución potencial de una especie (Jakob et al., 2009, Rivera-Ortíz et al., 2013; Bonaccorso et al., 2021). Los mejores modelos obtenidos en base al uso de las 19 variables bioclimáticas, mostraron una representación más realista y confiable de la distribución de estas especies, en comparación al arrojado inicialmente con el set reducido de variables (Anexo 4). Esta distribución está respaldada por bases de datos de especímenes y fotografías de herbarios mencionados con anterioridad, observaciones de expertos y comprensión de los requisitos de hábitat de cada especie.

El modelo final de cada especie fue obtenido del promedio de 10 réplicas de Bootstrap en MaxEnt, utilizando las configuraciones especificadas por las optimizaciones de kuenm. Este modelo fue proyectado en el presente y dos modelos climáticos de las Rutas de Concentración Representativas (RCP), que simulan escenarios futuros de emisiones de gases de efecto invernadero y uso de suelos para el año 2050. Las proyecciones futuras fueron realizadas bajo las vías de estabilización intermedias (RCP 4.5) y altas (RCP 8.5) (Riahi et al., 2011; Thomson et al., 2011).

Las condiciones bioclimáticas futuras para ambos períodos se derivaron de los modelos de circulación global GCC-CCSM4 (https://www.worldclim.org/data/v1.4/cmip5_30s.html). Todas las variables fueron analizadas a una resolución espacial de 30". Las salidas de los modelos que se representaron en una escala continua (salida logística de MaxEnt), también fueron transformados en mapas de presencia/ausencia usando el umbral "10 percentile training presence" (Phillips y Dudík, 2008). Finalmente, para obtener una aproximación de la distribución potencial del género, se obtuvo una suma de las salidas logísticas de los

modelos de cada especie de *Salvia* en un mapa para cada escenario (presente, 2050 RCP 4.5 y RCP 8.5).

Estado de conservación

Para evaluar el estado de conservación del género *Salvia*, se generó un mapa en ArcGis 10.2 (ESRI, 2013) con la herramienta Spatial Join dentro de Arctoolbox. Se trabajó con los 915 puntos georreferenciados de las 28 especies y la cobertura del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP) en formato shape file (<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>). Finalmente, se cuantificó el número de especies y de localidades donde se han reportado registros del género *Salvia* en Ecuador.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Base de Datos

La base de datos depurada de *Salvia* contiene 1.015 registros. El ejemplar más antiguo corresponde a *Salvia tortuosa* Kunth, una especie nativa colectada en Pichincha por J. A. Steyermark en 1943 y su espécimen reposa en el herbario del Field Museum (F). Por su lado, el ejemplar más reciente corresponde a *Salvia ochrantha* Epling, especie nativa colectada en Nabón, Azuay por D. Minga (Herbario HA) en 2019. En los años cuarenta destacan las colecciones de J.A. Steyermark (F) y R. Espinosa (LOJA). En la década de los cincuenta no se registran colecciones en la base de datos. A partir de los años sesenta hasta la actualidad se evidencia una permanente colecta, principalmente por los botánicos: G. Harling, L. B. Holm-Nielsen, H. Lugo y J. Jaramillo (QCA); C. Vivar (LOJA), Benkt Sparre (S); A. Gentry, C. Dodson y T. B. Croat (MO); B. Lojtnant y B. Ollgaard (AAU); C. Cerón (QAP); F. Serrano y A. Verdugo (HA). Cabe destacar la colección de *Salvia* correspondiente a I. Fragoso-Martínez, especialista del género, investigadora del Instituto de Ecología, A. C. (INECOL), México e investigadora asociada del INABIO, quien colectó en el país entre 2017 y 2018 (Fragoso et al., 2021).

En relación a las colecciones de *Salvia* en Ecuador, la región más colectada es la Interandina o Sierra con 906 registros (87.5%). Las provincias con más registros a lo largo de estos años son: Loja con 189 (20.8%); Pichincha, 185 (20%); Chimborazo, 149 (16%) y Azuay, 141 (15.5%). Para la región Amazónica se registran 101 colecciones (9.7%), destacándose las provincias de Napo (57) y Zamora Chinchipe (19).

La región Litoral registra apenas 26 registros (2.5%) repartidos a lo largo de toda la Costa. Por último, no fue posible incluir especies en la región Insular o Galápagos, debido al escaso número de registros y a la restricción de acceso a las localidades de algunas de ellas por estar protegidas (Figura 1).

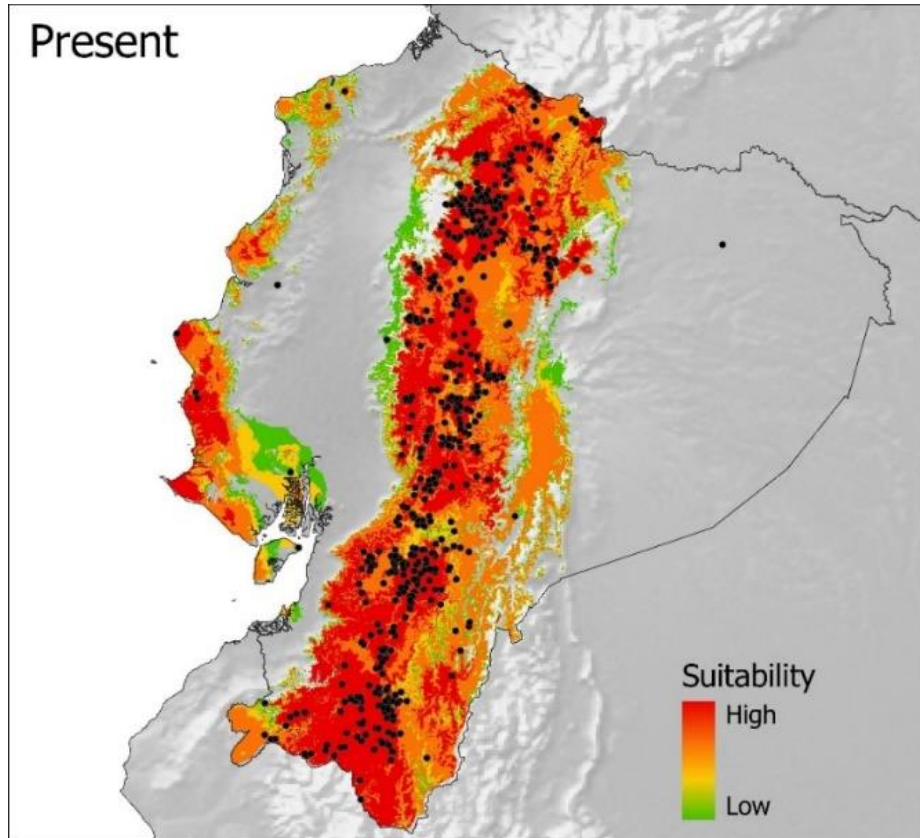


Figura. 1. Distribución histórica del género *Salvia* en Ecuador a partir de las localidades de los especímenes de herbario.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Los registros reportados en la base de datos están disponibles en repositorios digitales y corresponden a especímenes preservados en más de veinte herbarios (nacionales e internacionales). Los herbarios con más registros son: MO con 271

registros (26%), QCA con 198 registros (19%), QCNE con 172 registros (16%) y LOJA con 117 registros (11%). En cuanto a la diversidad del género *Salvia*, a partir del análisis de la base de datos, se obtuvo un total de 39 especies: 31 nativas que incluyen 15 endémicas para Ecuador (Moscoso et al., 2011; González-Gallegos et al., 2020), de estas, 11 se encuentran en alguna categoría de amenaza (Moscoso et al., 2011) (Tabla 3). Dos especies son de amplia distribución, y seis especies introducidas para el país.

Las especies endémicas que están amenazadas se muestran a continuación por categorías de la Unión Internacional para la Naturaleza UICN(<https://www.conservationneeds.org/Help/ES/IUCNRedList.htm>):

- **En peligro (EN):** Especies que en estado de vida silvestre enfrenta un riesgo de extinción muy alto.
- **Vulnerables (VU):** Especies que en estado de vida silvestre enfrenta un riesgo de extinción alto.
- **Casi Amenazado (NT):** El análisis de estas especies está próximo a satisfacer los criterios de En Peligro Crítico CR, EN y VU.
- **Preocupación Menor (LC):** Especies que no cumplen con ninguno de los criterios anteriores.

Tabla 3. Lista de especies de *Salvia* endémicas para Ecuador reportadas en el presente estudio y su respectiva categoría para las especies amenazadas de acuerdo a la UICN.

| Especie | Categoría de amenaza (UICN) |
|---|-----------------------------|
| <i>Salvia ecuadorensis</i> Briq. | EN |
| <i>Salvia peregrina</i> Epling | EN |
| <i>Salvia unguella</i> Epling | EN |
| <i>Salvia austromelissodora</i> Epling & Játiva | VU |
| <i>Salvia curticalyx</i> Epling | VU |
| <i>Salvia flocculosa</i> Benth. | VU |
| <i>Salvia sprucei</i> Briq. | VU |
| <i>Salvia trachyphylla</i> Epling | VU |
| <i>Salvia leucocephala</i> Kunth | VU |
| <i>Salvia quitensis</i> Benth. | LC |
| <i>Salvia humboldtiana</i> F. Dietr. | NT |
| <i>Salvia hirtella</i> Vahl | No amenazada |
| <i>Salvia ocimifolia</i> Epling | No amenazada |
| <i>Salvia pichinchensis</i> Benth. | No amenazada |
| <i>Salvia sigchosica</i> Fern. Alonso | No amenazada |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Además de las endémicas, se reportaron 16 especies del género *Salvia* **nativas** para Ecuador (González-Gallegos et al., 2020): *S. alata*, *S. alborosea*, *S. angulata*, *S. carnea*, *S. corrugata*, *S. hirta*, *S. lobbii*, *S. loxensis*, *S. macrostachya*, *S. ochrantha*, *S. pauciserrata*, *S. sagittata*, *S. scutellarioides*, *S. squalens*, *S. tiliifolia* y *S. tortuosa*. Dos especies presentan **amplia distribución geográfica**: *S. occidentalis*, registrada para Mesoamérica, Antillas Mayores y América del Sur y *S. macrophylla*, endémica a los Andes con registros en Bolivia, Colombia y Perú. Seis especies se reportaron como **introducidas**: *S. coccinea* y *S. hispanica*, originarias de Mesoamérica; *S. leucantha*, ornamental, endémica a México; *S. microphylla*, ornamental, endémica a Mesoamérica; *S. officinalis*, ornamental y medicinal, endémica al Mediterráneo y *S. splendens*, ornamental y medicinal, endémica a Brasil.

Por último, se reportaron diez especies como **raras**, es decir, que históricamente han sido poco colectadas y presentan menos de cinco registros, estas son: *S. alata*, *S. coccinea*, *S. ecuadorensis*, *S. flocculosa*, *S. lobbii*, *S. ocimifolia*, *S. officinalis*, *S. splendens*, *S. trachyphylla* y *S. unguella* (Anexo 2).

Distribución histórica de los registros de *Salvia* L. en Ecuador

Se obtuvo un total de 28 especies con el número mínimo de registros para elaborar los mapas de distribución histórica y potencial del género al presente (Anexo 5).

Los patrones de distribución para el género muestran áreas de alta idoneidad en las costas de El Oro, Santa Elena, Guayas, Manabí y menos en la provincia de Esmeraldas. En la Sierra, prácticamente toda la región Interandina se considera idónea para la distribución del género *Salvia* y dentro de esta, las áreas más idóneas son Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Bolívar, Pichincha e Imbabura. En la región Amazónica la provincia que presenta mayor idoneidad es Zamora Chinchipe. Estos resultados coinciden con las localidades reportadas en las colecciones de herbario (Figura 1).

Dentro de las 28 especies, diez son endémicas para Ecuador (Moscoso et al., 2011; González-Gallegos et al., 2020) (Figura 2). De estas, siete se encuentran amenazadas según la Lista Roja de la UICN (Moscoso et al., 2011).



Figura 2. Representación de algunas de las especies de *Salvia* endémicas para Ecuador reportadas en el estudio. **A.** *Salvia curticalyx* (VU), **B.** *Salvia hirtella*, **C.** *Salvia humboldtiana* (NT), **D.** *Salvia leucocephala* (VU), **E.** *Salvia pichinchensis*, **F.** *Salvia quitensis* (LC), **G.** *Salvia sigchosica* y **H.** *Salvia sprucei* (VU).

Créditos fotográficos: **A, B, D, E, F, G** y **H** tomadas por G.A. Salazar. **C** tomada por F. Tobar.

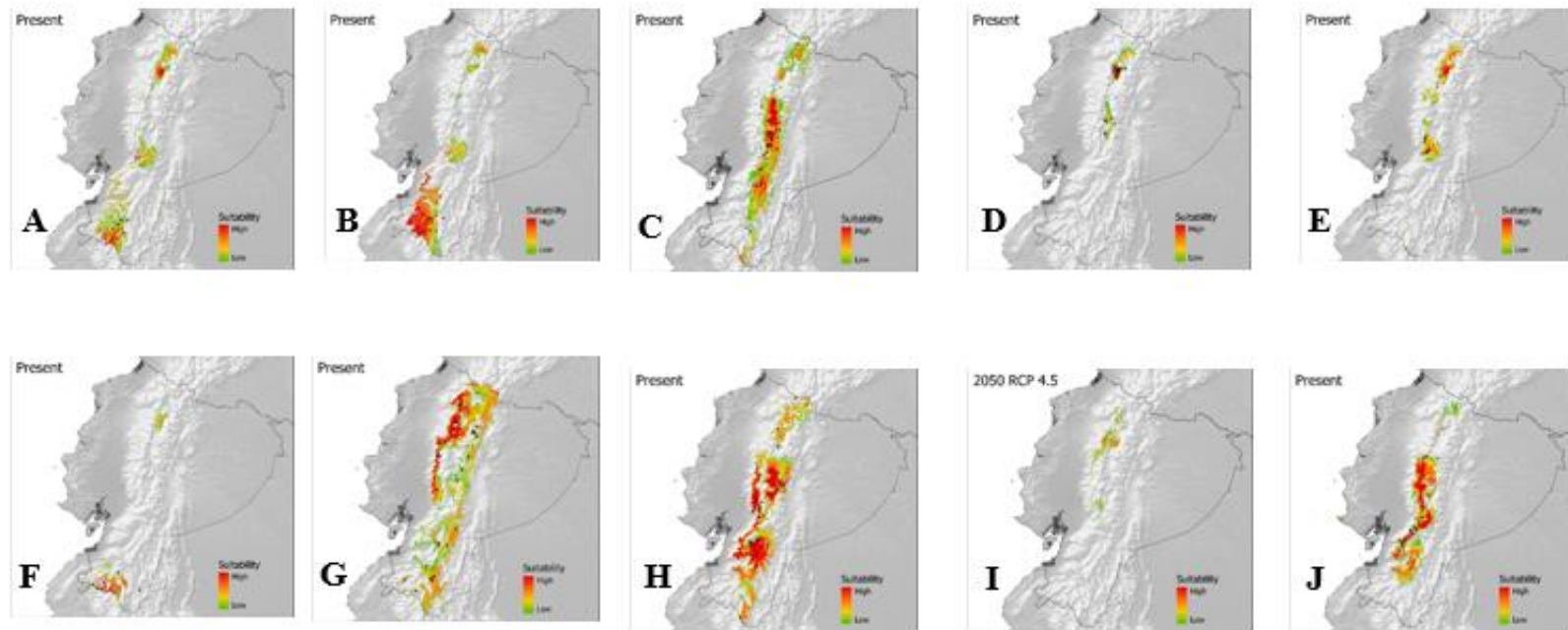


Figura 3. Distribución histórica de las especies de *Salvia* endémicas para Ecuador reportada en el presente estudio: **A.** *Salvia austromelissodora* (VU), **B.** *Salvia curticalyx* (VU), **C.** *Salvia hirtella*, **D.** *Salvia humboldtiana* (NT), **E.** *Salvia leucocephala* (VU), **F.** *Salvia peregrina* (EN), **G.** *Salvia pichinchensis*, **H.** *Salvia quitensis* (LC), **I.** *Salvia sigchosica* y **J.** *Salvia sprucei* (VU).

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

A continuación se presentan los resultados de las especies catalogadas como Vulnerables (VU): *S. austromelissodora*, con registros de colecciones en la provincia de Loja (Figura 3-A), sin embargo, su distribución potencial al presente, muestra también a las provincias de Cañar y Pichincha; *S. curticalyx*, presenta colecciones en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Figura 3-B), de acuerdo a las proyecciones al presente, muestra idoneidad de presencia también para El Oro, Azuay, Chimborazo e Imbabura; *S. leucocephala*, colectada en Pichincha, Chimborazo y Cañar (Figura 3-E), las proyecciones al presente añaden además, la provincia de Cotopaxi y *S. sprucei*, presenta colecciones en las provincias de Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo y Azuay (Figura 3-J), las proyecciones de distribución potencial al presente, incluyen, las provincias de Tungurahua, Cañar, Loja, Carchi e Imbabura. La especie *S. peregrina* está categorizada en Peligro (EN), los registros de herbario y las proyecciones al presente, coinciden en que las provincias de Pichincha y Loja son de mayor idoneidad para esta especie (Figura 3-F). La especie *S. humboldtiana* se encuentra categorizada como Casi Amenazada (NT), colectada en las provincias de Pichincha y Cotopaxi (Figura 3-D), las proyecciones de idoneidad al presente coinciden con estas provincias. La especie *S. quitensis* considerada como de Preocupación Menor (LC), colectada en las provincias de Cañar, Azuay, Bolívar, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha y Cañar (Figura 3-H), y que las proyecciones al presente incluyen, áreas de idoneidad en las provincias de Tungurahua y en menor intensidad en Zamora Chinchipe, Pichincha, Carchi e Imbabura. La especie *S. sigchosica*, colectada en las provincias de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi y las proyecciones al presente incluyen las provincias de Bolívar y Chimborazo (Figura 3-I). La especie *S. pichinchensis*, colectada a lo largo del Callejón Interandino, con énfasis en las estribaciones occidentales de Pichincha, Cotopaxi y Bolívar (Figura 3-G), coincidiendo así con las proyecciones realizadas con el modelo al presente.

Se reportaron 14 especies del género *Salvia* nativas para Ecuador (González-Gallegos et al., 2020) (Figuras 4.1. y 4.2). Los mapas de distribución histórica y potencial al presente evidencian diferentes patrones de distribución. Se señalan especies con áreas de idoneidad restringida como en el caso de *S. alborosea*, *S. carnea*,

S. hirta, *S. loxensis*, *S. macrostachya* y *S. ochrantha*. Mientras otras especies como *S. angulata*, *S. pauciserrata*, *S. scutellarioides* y *S. tortuosa* amplían sus áreas de idoneidad, prácticamente, a todo el Callejón Interandino (Anexo 6).

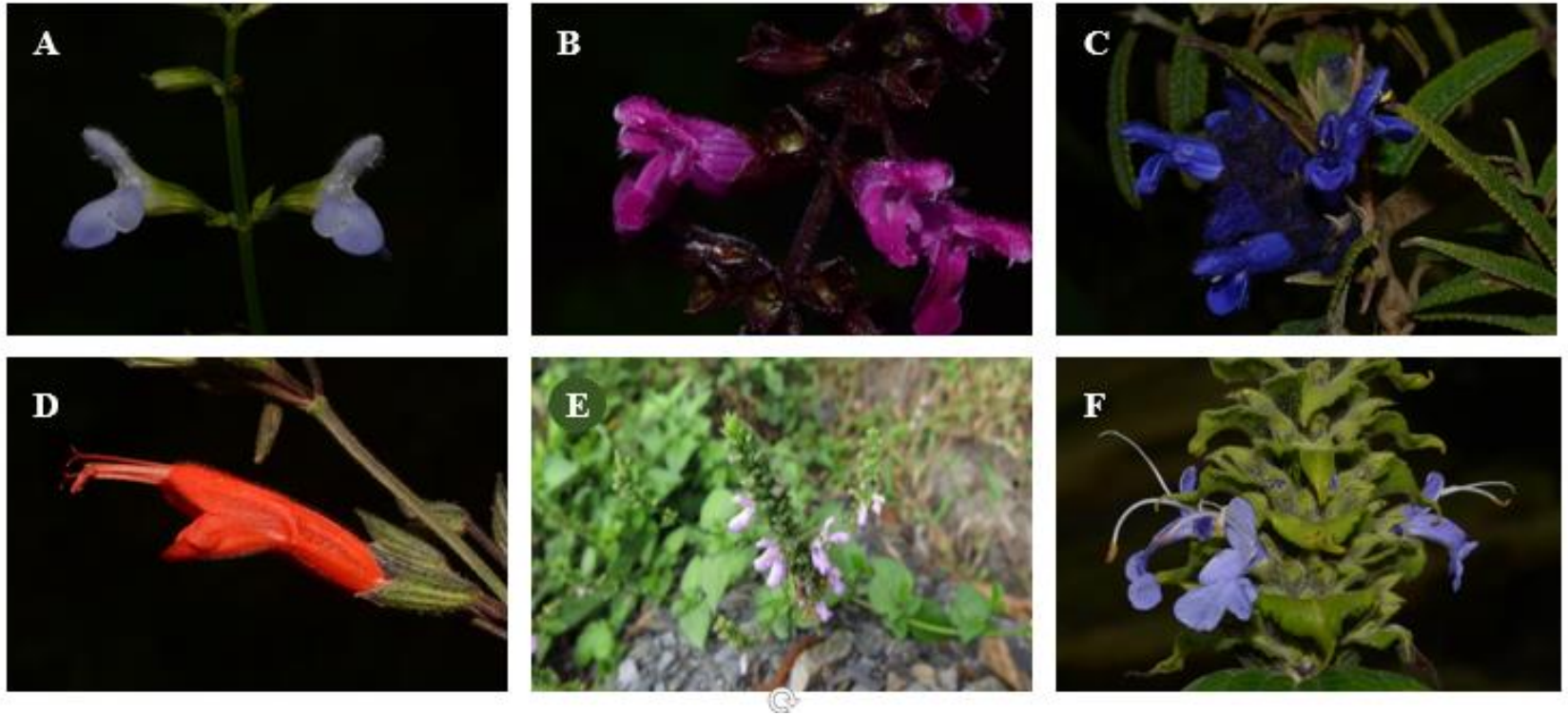


Figura 4.1. Representación de algunas de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador reportadas en el estudio: **A.** *Salvia angulata*, **B.** *Salvia carnea*, **C.** *Salvia corrugata*, **D.** *Salvia hirta*, **E.** *Salvia loxensis* y **F.** *Salvia macrostachya*.

Créditos fotográficos **A, B, C, D** y **F** tomadas por G.A. Salazar. **E** tomada por I. Fragoso-Martínez.



Figura 4.2. Representación de algunas de las especies de *Salvia* nativas de Ecuador reportadas en el estudio: **G.** *Salvia ochrantha*, **H.** *Salvia pauciserrata*, **I.** *Salvia sagittata*, **J.** *Salvia scutellarioides*, **K.** *Salvia squalens* y **L.** *Salvia tortuosa*.

Créditos fotográficos **G, H, I, J, K y L** tomadas por G.A. Salazar.

Las especies *S. occidentalis* y *S. macrophylla* presentan **amplia distribución geográfica** (Figura 5). Para *S. occidentalis*, las áreas más idóneas en Ecuador son: al sur de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe y al norte las provincias de Imbabura y Pichincha. *S. macrophylla*, está presente en la provincia del Guayas y en las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes, siendo Loja, Azuay, Cañar y Zamora Chinchipe las áreas de mayor idoneidad (Figura 6).

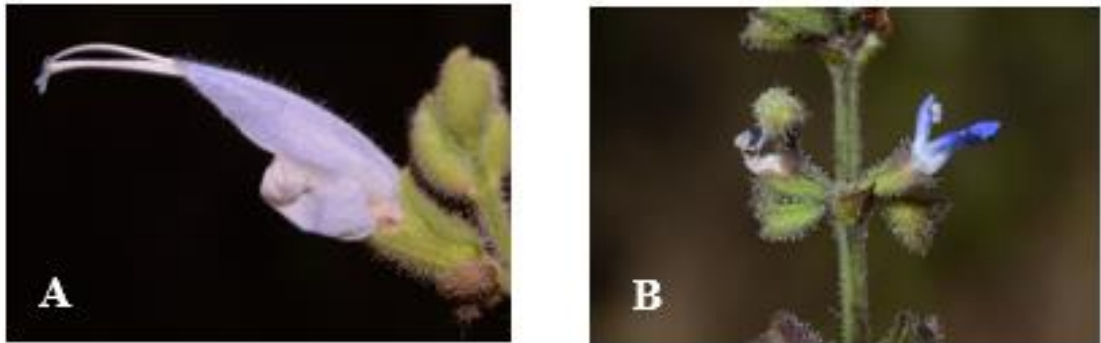


Figura 5. Representación de especies de *Salvia* de amplia distribución reportadas en el estudio. **A.** *Salvia macrophylla* y **B.** *Salvia occidentalis*.

Créditos fotográficos: **A** y **B** tomadas por G.A. Salazar.

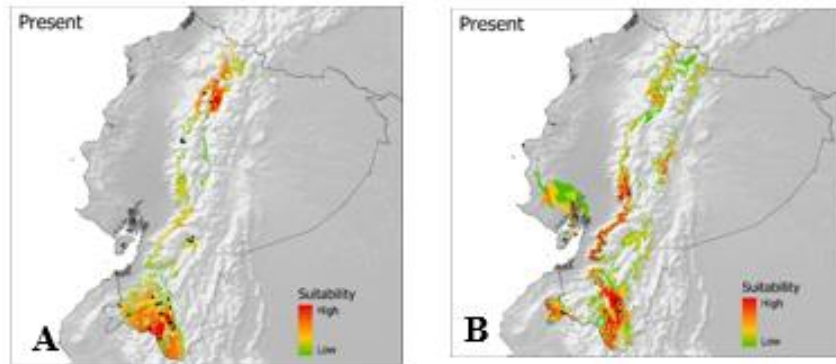


Figura 6. Distribución histórica de las especies de *Salvia* de amplia distribución reportadas para Ecuador en el presente estudio. **A.** *Salvia macrophylla* y **B.** *Salvia occidentalis*.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Por último, se reportaron dos especies introducidas (Figura 7): *S. hispánica*, con áreas de distribución en los Andes centro-norte y estribaciones occidentales con áreas de mayor idoneidad en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Bolívar y Azuay. Y *S. leucantha*, de acuerdo a las proyecciones al presente, se encuentra distribuida a lo largo del Callejón Interandino con mayor potencial en las provincias de Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo (Figura 8).



Figura 7. Representación de especies de *Salvia* introducidas en Ecuador reportadas en el estudio. **A.** *Salvia hispánica* y **B.** *Salvia leucantha*.

Créditos fotográficos: **A** tomada por G.A. Salazar y **B.** tomada por I. Fragoso-Martínez.

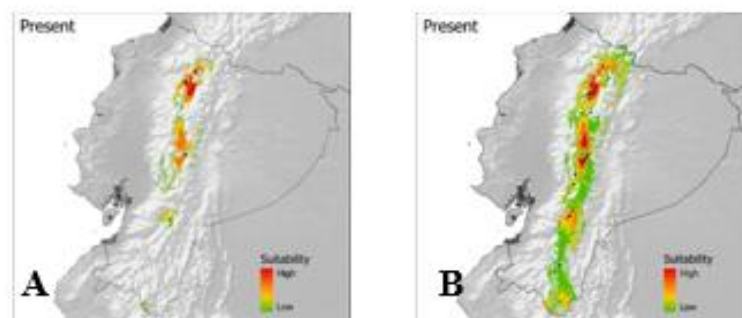


Figura 8. Distribución histórica de las especies de *Salvia* introducidas para Ecuador reportada en el presente estudio. **A.** *Salvia hispánica* y **B.** *Salvia leucantha*.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Distribución potencial del género *Salvia*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las proyecciones futuras para cada una de las 28 especies registradas para Ecuador. Las proyecciones se elaboraron tanto en umbral de corte como en escala (salida Maxent), con las cuales se realizaron los análisis de patrones y se corrieron los modelos proyectados al 2050 con vías de estabilización intermedias (RCP 4.5) y altas (RCP 8.5).

Endémicas

En el análisis de las especies endémicas (RCP 4.5 y RCP 8.5), se pueden evidenciar en general, patrones similares de distribución potencial con tendencia a la ampliación de áreas de idoneidad. En el Anexo 7 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las especies de acuerdo a su Categoría de Amenaza (UICN).

Salvia austromelissodora (VU), en cuanto a la distribución proyectada al año 2050 con un RCP 4.5, se mantienen las mismas áreas de idoneidad proyectada al presente y se amplía a la provincia de Chimborazo. Para el 2050 con un RCP 8.5, prácticamente las áreas óptimas para esta especie se expanden a toda la Sierra Norte y Centro. *S. curticalyx* (VU), la idoneidad proyectada al presente se extiende a todo el Callejón Interandino en la distribución potencial al 2050, tanto en RCP 4.5 como 8.5. *S. leucocephala* (VU), las proyecciones al presente incluyen a la provincia de Cotopaxi. En cuanto a la distribución potencial al 2050 con un RCP 4.5 se intensifican como áreas de distribución idóneas en Pichincha e Imbabura y con un RCP de 8.5 mantienen estas áreas y se añaden las provincias de Cotopaxi y al sur de Chimborazo. *S. sprucei* (VU), en relación al modelamiento proyectado al 2050 con RCP 4.5, se mantienen las áreas proyectadas al presente y se intensifica la idoneidad en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Azuay, sin embargo, casi desaparecen las áreas idóneas en las provincias de Carchi e Imbabura y aparecen nuevas áreas de distribución en la provincia de El Oro. Con RCP 8.5, se mantiene la idoneidad registrada con RCP 4.5 y, se intensifica en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay y norte de Loja.

Salvia peregrina (EN), la distribución potencial proyectada al 2050 con RCP 4.5 amplía su idoneidad a la provincia de Imbabura y con RCP de 8.5, las áreas más idóneas para esta especie son: Pichincha, Sur de Loja y Sur-oeste de Zamora Chinchipe. *Salvia humboldtiana* (NT), en cuanto a la distribución potencial proyectada al 2050 con RCP 4.5 muestra un aumento de idoneidad a las provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Chimborazo. Esta idoneidad se intensifica en las mismas provincias con RCP 8.5.

Las especies *S. quitensis* (LC) y *S. sigchosica*, a diferencia de las anteriores, indican una disminución de las áreas idóneas proyectadas al presente en relación a la distribución potencial al 2050. En el caso de *S. quitensis*, registrada en las provincias de Cañar, Azuay, Bolívar, Chimborazo, Cotopaxi y Pichincha. Las proyecciones al presente incluyen, además, áreas idóneas en la provincia de Tungurahua y en menor intensidad en Zamora Chinchipe, Pichincha, Carchi e Imbabura. Sin embargo, para el año 2050 con un RCP 4.5 y 8.5 registra una reducción de sus áreas idóneas en Carchi e Imbabura, desaparece en las provincias de Pichincha y Zamora Chinchipe y, por último, el modelo indica un aumento de las áreas de distribución idóneas en Cotopaxi, Chimborazo, Cañar y Azuay. Por su parte, *S. sigchosica*, una especie endémica no amenazada, se encuentra en las provincias de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi. De acuerdo a las proyecciones al presente, se encuentra en las estribaciones occidentales de Bolívar y sur de Chimborazo. De acuerdo a las proyecciones al 2050 con un RCP 4.5 disminuye la idoneidad en Cotopaxi y al sur de Chimborazo. Finalmente, *S. hirtella* y *S. pichinchensis*, especies endémicas registradas a lo largo del Callejón Interandino, en las proyecciones al 2050 con RCP 4.5 y 8.5, presentan una distribución potencial en todo el Callejón Interandino incluyendo las estribaciones orientales y occidentales de los Andes (Anexo 7).

Nativas

En el análisis de las especies nativas (RCP 4.5 y RCP 8.5), se evidencian tres diferentes patrones de distribución potencial (Anexo 8). En primer lugar, se muestran especies que incrementaron las áreas de idoneidad: *S. alborosea*, *S. carnea*, *S. hirta*, *S.*

sagittata, *S. scutellarioides*, *S. squalens*, *S. tiliifolia* y *S. tortuosa*. En segundo lugar, se encuentran especies que disminuyeron sus áreas de idoneidad: *S. angulata*, *S. corrugata*, *S. loxensis*, *S. macrostachya*. Y, en tercer lugar, se encuentran *S. ochrantha* y *S. pauciserrata* que mantienen las mismas áreas de idoneidad en los dos escenarios al 2050.

Amplia distribución

Los mapas de distribución potencial proyectadas al 2050 para *S. macrophylla* y *S. occidentalis* registradas con amplia distribución geográfica, indican patrones similares de un ligero incremento de sus áreas de idoneidad (Figura 9).

Introducidas

Las especies de *Salvia* introducidas para Ecuador: *S. hispanica* y *S. leucantha*, registran diferentes patrones de distribución potencial al 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5). *S. hispanica*, muestra un ligero incremento de la intensidad en las áreas de idoneidad al centro-sur del Callejón Interandino, mientras que *S. leucantha*, presenta un notorio incremento de la intensidad de idoneidad en las provincias del norte y centro de los Andes (Figura 10).

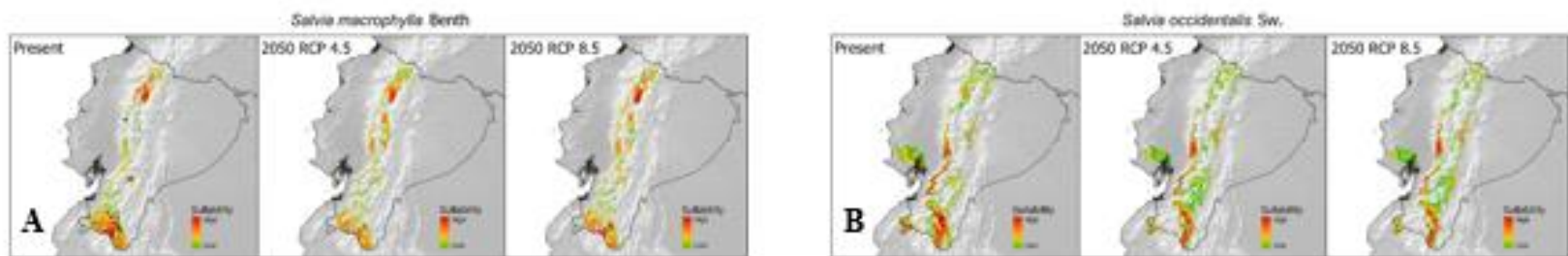


Figura 9. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* de amplia distribución reportadas para Ecuador en el presente estudio. **A.** *Salvia macrophylla* y **B.** *Salvia occidentalis*.

Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

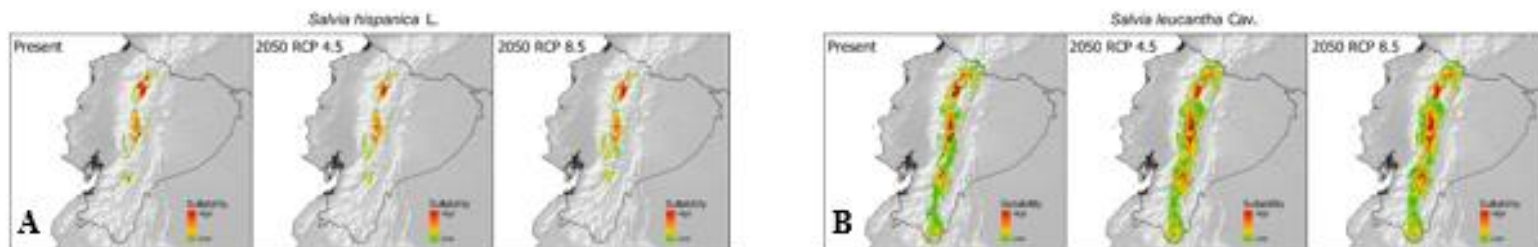


Figura 10. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* introducidas en Ecuador reportada en el presente estudio. **A.** *Salvia hispanica* y **B.** *Salvia leucantha*.

Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

La distribución del género se hizo mediante una suma de los archivos ráster de cada especie, por lo tanto, para entender la distribución que se obtuvo es importante revisar el nicho potencial especie por especie, particularmente de *S. occidentalis* que es la que causa la predicción en Guayas (Figura 11).

Los resultados de los modelos proyectados al 2050 con un RCP de 4.5, demuestran que las áreas idóneas para el género *Salvia* en la Costa se reducen a la provincia del Guayas. En la región interandina, por el contrario, se incrementan a toda la región. Este patrón se repite con un RCP de 8.5

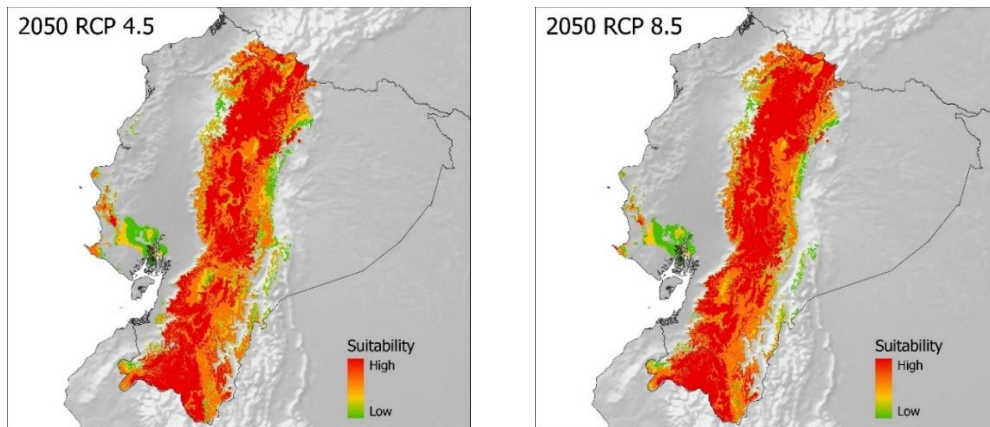


Figura 11. Distribución potencial del género *Salvia* para Ecuador al 2050 con proyecciones futuras realizadas bajo las vías de estabilización intermedias (RCP 4.5) y altas (RCP 8.5).

Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

Estado de conservación

Los resultados del análisis de presencia de las especies de *Salvia* en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP), obtenidos a partir de la distribución histórica del género, mostraron que el 12% del total de registros fueron colectados dentro del SNAP (Figura 12).

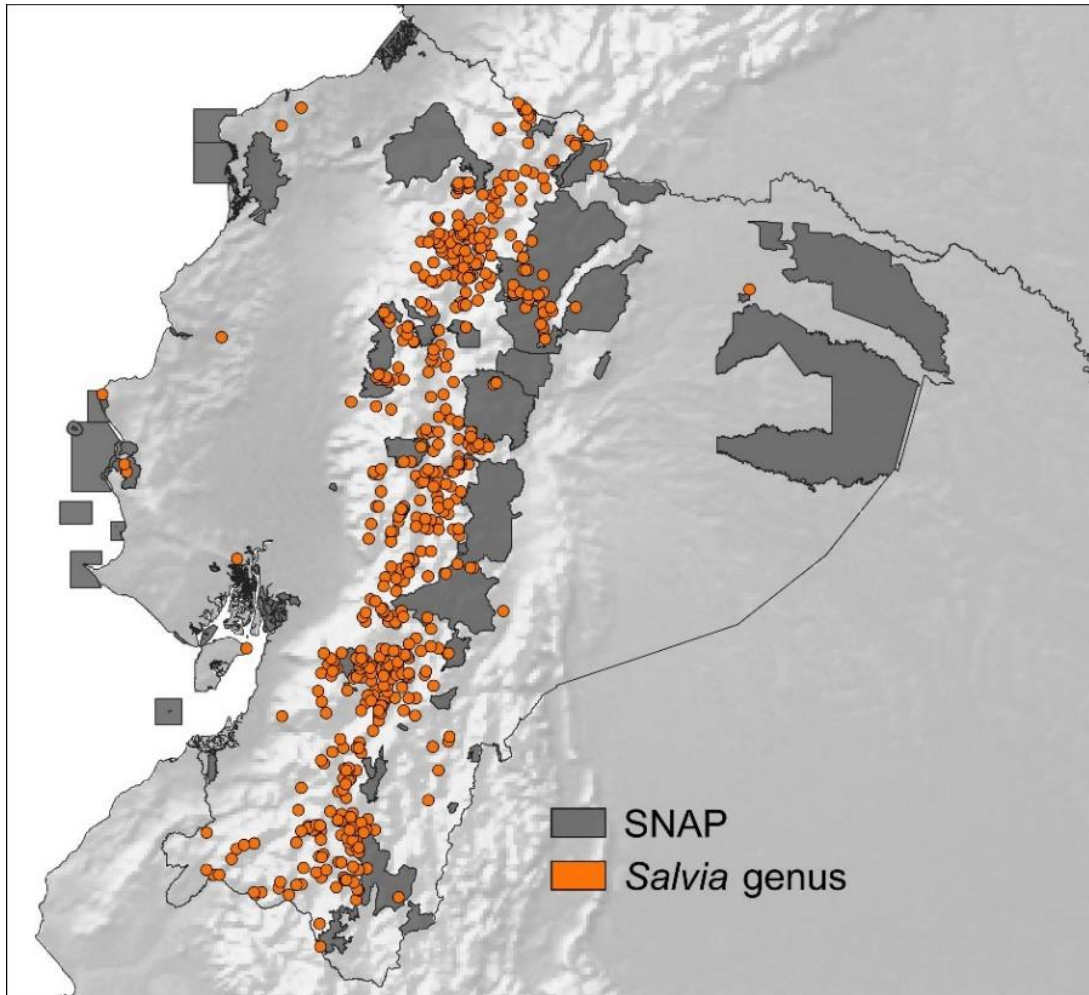


Figura 12. Distribución histórica de *Salvia* en Ecuador y su ubicación en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>.

Las áreas protegidas con mayor porcentaje de colecciones del género son: Parque Nacional Cayambe Coca (18%), Reserva Geobotánica Pululahua (16%), Reserva Ecológica Los Ilinizas (15%) y Parque Nacional Cajas (13.5%) (Tabla 4).

Tabla 4. Lista de las Áreas Protegidas del SNAP con registros de colecciones y especies del género *Salvia* en Ecuador.

| Área Protegida | Número de registros | Número de especies |
|--|---------------------|--------------------|
| Reserva Ecológica Antisana | 8 | 4 |
| Parque Nacional Cajas | 15 | 3 |
| Parque Nacional Cayambe Coca | 20 | 6 |
| Reserva de Producción Faunística de Chimborazo | 4 | 2 |
| Parque Nacional Cotopaxi | 1 | 1 |
| Parque Nacional Llanganates | 3 | 2 |
| Reserva Ecológica Ilinizas | 17 | 7 |
| Parque Nacional Machalilla | 2 | 1 |
| Parque Nacional Podocarpus | 11 | 6 |
| Reserva Geobotánica Pululahua | 18 | 7 |
| Área Nacional de Recreación Quimsacocha | 1 | 1 |
| Parque Nacional Sangay | 7 | 2 |
| Parque Nacional Sumaco Napo Galeras | 2 | 2 |
| Parque Nacional Yacuri | 2 | 1 |
| TOTAL | 111 | |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>.

En relación a la presencia de las especies endémicas para Ecuador, del total de especies reportadas en el estudio, apenas cuatro especies (26.6%), han sido colectadas dentro del SNAP: *S. peregrina* catalogada en peligro (EN), registra una colección en el P.N. Podocarpus, *S. sigchosica*, cinco ejemplares en la R.E. Los Ilinizas, *S. quitensis* (LC) con siete ejemplares repartidos en tres áreas protegidas y *S. pichinchensis*, es la especie endémica mejor representada dentro del SNAP con 16 colecciones registradas

en seis áreas protegidas. Por otro lado, el 73.33% del total de especies endémicas para Ecuador reportadas en el estudio, no han sido colectadas dentro del SNAP (Anexo 9).

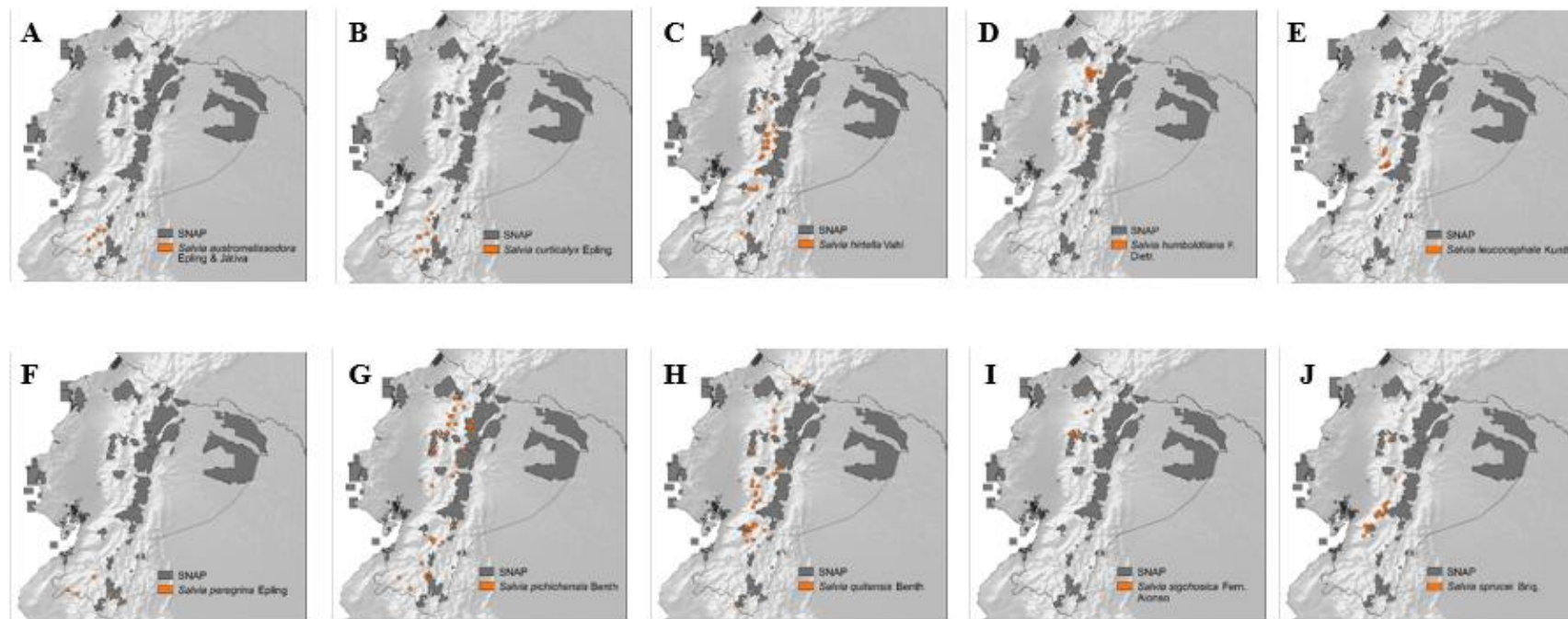


Figura 13. Estados de conservación de las especies de *Salvia* endémicas para Ecuador reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia austromelissodora*, **B.** *Salvia curticalyx*, **C.** *Salvia hirtella*, **D.** *Salvia humboldtiana*, **E.** *Salvia leucocephala*, **F.** *Salvia peregrina*, **G.** *Salvia pichinchensis*. **H.** *Salvia quitensis*, **I.** *Salvia sigchosica* y **J.** *Salvia sprucei*.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP. (<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>).

Con respecto a las especies nativas colectadas en el SNAP (Anexo 9), *S. tortuosa* tiene el mayor número de colecciones (17) repartidas en cinco áreas protegidas, *S. corrugata* con 16 colecciones en cuatro áreas protegidas, *S. scutellarioides*, tiene 11 ejemplares colectados en cuatro áreas protegidas y *S. pauciserrata* seis colecciones provenientes de cuatro áreas protegidas (ANEXO 10). Las especies que son de amplia distribución han sido colectadas en un área protegida cada una. En el caso de *S. macrophylla* en la R.E. Los Ilinizas y *S. occidentalis* en el P.N. Podocarpus (Figura 14).

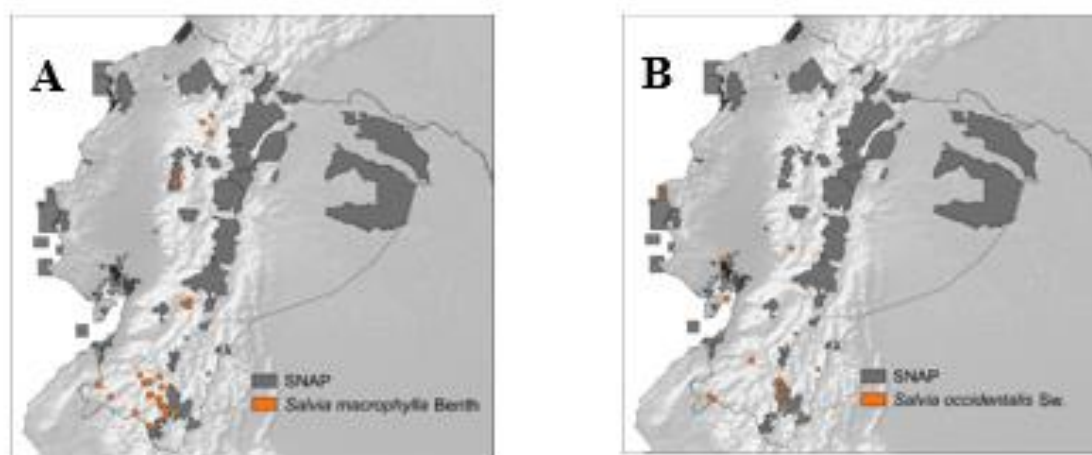


Figura 14. Estados de conservación de las especies de *Salvia* de amplia distribución reportadas para Ecuador en el presente estudio. **A.** *Salvia macrophylla* y **B.** *Salvia occidentalis*.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP. (<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>).

Las especies introducidas, *S. hispánica* y *S. leucantha* están poco representadas en el SNAP con cuatro registros en la R.G. Pululahua para la primera y un registro en el P.N. Cotopaxi para la segunda (Figura 15).

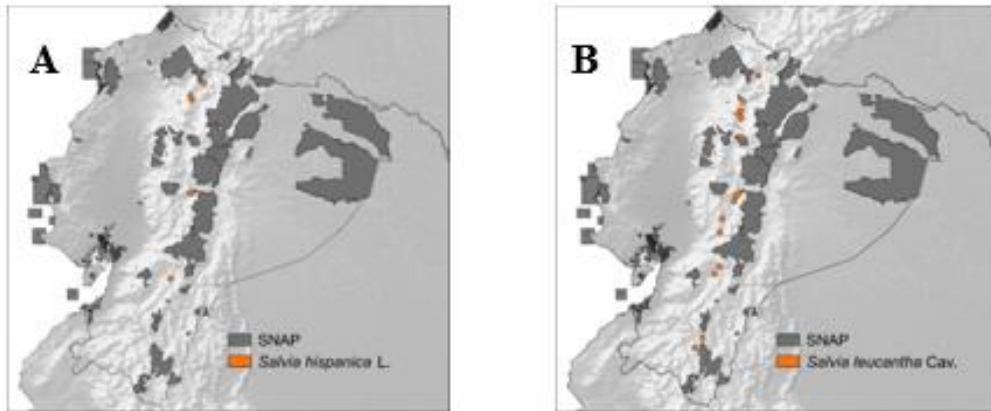


Figura 15. Estado de conservación de las especies de *Salvia* introducidas para Ecuador reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia hispanica* y **B.** *Salvia leucantha*.

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

(<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Bases de Datos

Probablemente, uno de los mayores aportes de las colecciones de herbario es al conocimiento y el entendimiento de la distribución geográfica de las especies (Funk, 2018). Es importante mencionar, sin embargo, que es preciso un meticuloso método de curación de los datos biológicos digitales que consiste en la organización, clasificación, estandarización y análisis de la información. Este procedimiento garantiza la validez de los resultados obtenidos a partir de las bases de datos de los diferentes repositorios digitales disponibles (Castillo et al., 2014). En el presente estudio, se siguió la metodología de Chapman (2005), para la limpieza de los 1.044 registros con los cuales se realizó el análisis de diversidad y distribución del género *Salvia*. Los registros corresponden a especímenes preservados en cerca de veinte herbarios nacionales y extranjeros. Luego de la depuración georeferenciada de los datos, la base se redujo a 915 registros correspondientes a 28 especies de *Salvia* con los cuales se corrieron los modelos para la distribución histórica y potencial del género en Ecuador. El ejemplar más antiguo registrado fue colectado en la provincia de Pichincha por Steyermark en 1943, y el más reciente fue colectado en la provincia del Azuay por D. Minga en 2019. Además, se determinaron las áreas con un mayor número de ejemplares históricos y otras con vacíos de colecciones. Se elaboraron los mapas de distribución histórica y potencial de las especies y su idoneidad para la presencia del género al presente y al 2050 en dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5).

Las etiquetas de herbario también contienen información de referencia acerca de su distribución en el tiempo y espacio, tipo de suelo, especies asociadas y su ecología (Greve et al., 2016; Funk, 2018 y Flores-Tolentino et al., 2020). Esta información es muy útil en el caso de estudios que incluyen áreas de difícil acceso o que han sido poco exploradas a lo largo del tiempo. Por tanto, las áreas poco colectadas carecen de información de línea base a nivel de especies, comunidades y ecosistemas (Lister, 2011).

Greve et al. (2016), en su estudio acerca de la distribución potencial de *Acacia* africana (*Acacia sieberiana* DC.), en África Occidental, demostraron el potencial de las colecciones de herbario al proporcionar información de datos de referencia en espacio y tiempo, especialmente en áreas que han sido pobremente inventariadas para estudios de monitoreo con fines de conservación. En esta investigación se utilizaron nueve descriptores bioclimáticos para los modelos de distribución. De la base de datos depurada se extrajeron los registros con información de la altura de los árboles y la fenología de las plantas. Los datos de altura y fenología se asociaron con la fecha de colecta para obtener mapas de distribución espacial de floración de la especie. Estos análisis permitieron conocer la relación entre *A. sieberiana* y su entorno. Finalmente, los resultados fueron aplicados en programas de conservación de la especie a nivel continental.

A pesar de contar con diversos estudios que apoyan los análisis de datos basados en las colecciones biológicas (Greve et al., 2016; Heberling e Isaac, 2017; Lang et al., 2018), sus autores coinciden en que las bases de datos requieren de una fase previa de depuración de la información. Muchos ejemplares de herbario se almacenan por varios años sin una revisión taxonómica, incluso, se estima que apenas el 16% de todas las nuevas especies publicadas entre 1970 y 2010, fueron descritas dentro de los primeros cinco años después de haber sido colectadas. El 84% de las nuevas especies restante, puede permanecer archivado en los herbarios entre cinco y cincuenta años desde su recolección por primera vez hasta su publicación como especie nueva para la ciencia (Bebber et al., 2010). En todo caso, las bases de datos se

mantiene como una fuente permanente de información para los diferentes taxa con los cuales se realizan estudios de distribución histórica y potencial. Las colecciones de herbario son la base para estudios de manejo, principalmente de las especies que sufrirán una modificación de sus hábitats debido a los cambios de uso del suelo para ganadería, agricultura, minería o urbanización.

El cambio climático provoca cambios en la composición de las comunidades vegetales a partir de una alteración en la distribución de especies. Estos cambios en las comunidades afectarán la estabilidad y la función de las Ecorregiones en el Nuevo Mundo (Feeley et al., 2020). Estudios realizados en el Himalaya, sugieren que la mayoría de las especies de plantas tienden a migrar hacia arriba con el aumento de temperatura. Este desplazamiento afecta especialmente a las especies con rangos de distribución estrechos en tierras altas (Maharjan et al., 2021). Por otro lado, un aumento de temperatura, puede provocar extinciones masivas en diversas localidades de los Andes, en las cuales, la cobertura vegetal se encuentra fragmentada por barreras naturales o antrópicas, lo que impide el desplazamiento de las plantas limitando sus posibilidades de supervivencia (León-Yáñez y Endara, 2011).

Patrones de distribución histórica y potencial del género *Salvia* L.

El género *Salvia* está considerado como un gran género por su número de especies, y como tal, adolece de listas de verificación actualizadas (González-Gallegos et al., 2020). Las listas de biodiversidad están consideradas como punto de partida de la comunidad taxonómica, en la preparación de datos de referencia para la conservación biológica. Las listas de referencia sirven también, en la depuración de datos para estudios de distribución geográfica (Knapp et al., 2005).

En relación a la distribución histórica de las colecciones de *Salvia* en Ecuador (Figura 1), la región con más colecciones es la Sierra, con 906 registros (87.5%). Este resultado está de acuerdo a lo esperado debido a que el género prospera en bosques templados y húmedos. Aunque también, se presentan diversas especies que se han adaptado muy bien en zonas semiáridas con altas temperaturas (Martínez-Gordillo et al., 2017). Se evidencia que las provincias más colectadas a lo largo de estos años son:

Loja (20.8%), Pichincha (20%), Chimborazo (16%) y Azuay, (15,5%). En la región Amazónica se registró el 9.7% de las colecciones, destacándose las provincias de Napo y Zamora Chinchipe. Y en la región Litoral se registra apenas el 2.5% con 26 registros repartidos a lo largo de toda la Costa. Estos resultados confirman que *Salvia* es un género que se distribuye principalmente en zonas montañosas (Martínez-Gordillo et al., 2017). Tanto en la Amazonía como en la Costa ecuatoriana se registra un bajo porcentaje de colecciones. Se puede deducir, por tanto, que las condiciones climáticas y edafológicas en estas regiones influyen en su distribución.

Endemismo

En el presente estudio se reportan para Ecuador 15 de las 17 especies endémicas del género *Salvia* (González-Gallegos et al., 2020). Es decir, el 88% de las especies endémicas ya han sido colectadas y reposan en los diversos herbarios. Sin embargo, es importante continuar con la revisión del material existente y la actualización de colectas para la verificación de las determinaciones y actualización de los registros para el país. Un ejemplo es la ampliación del rango de distribución de *S. alata*, reportada como endémica a Perú (González-Gallegos et al., 2020). Gracias a la colección de nuevos ejemplares y toma de fotografías de alta resolución durante trabajo de campo en 2017 y 2018, se determinó a *S. alata* como nuevo registro para Ecuador (Fragoso-Martínez et al, 2021).

Para el caso de las endémicas registradas como raras (menos de cinco registros en la base de datos): *S. ecuadorensis*, se ve afectada por la modificación del hábitat, deforestación y el avance de los asentamientos humanos. En el caso de *S. flocculosa*, los cuatro registros corresponden a una sola localidad ubicada en la provincia de Chimborazo, en la carretera Riobamba – Guamote, alrededores de la fábrica de cemento Chimborazo. Convendría realizar colecciones en áreas no exploradas y aumentar las localidades para la especie, lo que permitiría hacer una evaluación de su categoría de riesgo más confiable. Las especies endémicas no reportadas en el estudio son: *S. glandulifera* y *S. prostrata*.

En el análisis de los patrones de distribución histórica y potencial al presente, se consideraron diez especies endémicas (Figura 2). Los resultados muestran que todas las especies han sido colectadas en provincias de la Sierra, coincidiendo así con las áreas de alta idoneidad de presencia en las proyecciones al presente (Figura 1). Este resultado confirma un alto endemismo en los Andes Tropicales como uno de los puntos calientes “hotspot” de la biodiversidad a nivel mundial (Mittermeier et al., 1997; Myers et al., 2000). Se registran tres especies endémicas con distribución restringida, estas son: *Salvia humboldtiana* (NT), que está catalogada como Casi Amenazada, es decir, próxima a cumplir con los criterios de En Peligro Crítico, En Peligro y Vulnerable. *Salvia humboldtiana* está reducida a las provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Chimborazo; *S. peregrina* (EN), que se encuentra en peligro, está limitada a Loja, Zamora Chinchipe y en menor idoneidad, a la provincia de Pichincha y *S. sigchosica* que no está amenazada, se encuentra restringida a las provincias de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi.

Una de las principales amenazas para la supervivencia de las especies endémicas de *Salvia*, es la destrucción de hábitat ocasionada por actividades antrópicas (León-Yáñez y Endara, 2011). Otras amenazas graves para las especies endémicas son la deforestación y el cambio de uso de suelo. En el periodo 1990 – 2000, se registran valores de conversión por encima de las 74.000 hectáreas anuales en los flancos inferiores de los Andes ecuatorianos (Cuesta et al., 2015).

Especies de amplia distribución e introducidas

Se analizaron dos especies de amplia distribución: *S. macrophylla*, endémica a los Andes y registrada también en Bolivia, Colombia y Perú (González-Gallegos et al., 2020). Ha sido colectada desde la provincia del Carchi en la frontera con Colombia hasta las provincias de Loja y Zamora Chinchipe en la frontera sur-este con Perú. La proyección al presente reporta áreas de mayor idoneidad en las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y Pichincha. Y *S. occidentalis*, reportada para Mesoamérica, Antillas Mayores y América del Sur. En Ecuador ha sido colectada en todo el Callejón Interandino y presenta colecciones en la provincia del Guayas en la región Litoral.

Se modelaron dos especies introducidas: *S. hispanica* (“Chía”), originaria de Mesoamérica y con alto valor nutritivo (Martínez-Gordillo et al., 2017), muestra una distribución potencial al presente con áreas de mayor idoneidad en los Andes centro-norte y estribaciones occidentales y *S. leucantha*, endémica a México y con alta capacidad de presencia a lo largo del Callejón Interandino.

Tanto las especies de amplia distribución como las introducidas muestran un alto potencial de presencia en las estribaciones de los Andes, por lo que podrían competir con las especies nativas o provocar su migración (León-Yáñez y Endara, 2011). Los mapas de distribución potencial podrían considerarse como Mapas de Riesgo de introducción a las áreas protegidas (Figuras 7 y 8), y se debe tener en cuenta esta información para un probable manejo de especies exóticas invasivas a futuro.

Los mapas de distribución se obtuvieron gracias al potencial de las colecciones de herbario, sin embargo, por falta de un suficiente número de registros no se modelaron cinco especies endémicas reportadas en la base de datos: *S. ecuadorensis*, *S. flocculosa*, *S. ocimifolia*, *S. trachyphylla* y *S. unguella*, Es importante proponer proyectos de inventarios florísticos en sitios con vacíos de información de estas especies que garanticen una colecta permanente, el contar con 20 registros en adelante, permite tener modelos de distribución más exactos (Stockwell y Peterson, 2002).

Distribución potencial con escenarios de cambio climático del género *Salvia* en Ecuador

Los registros de localidades de los especímenes también proporcionan información para los modelos de las especies y para predecir la distribución futura bajo escenarios de cambio climático. Nos permite conocer tanto la biogeografía de las especies como los patrones de distribución ante la exposición a diversas amenazas (Sánchez et al., 2011).

En el presente estudio, el 80% (8 especies) de los modelos de las especies endémicas proyectados al 2050, tanto con un RCP 4.5 como 8.5, muestran un incremento de sus áreas idóneas a toda la región Interandina en relación a la presencia

del género reportadas al presente, confirmando que las estribaciones y los valles de la Cordillera de los Andes presentan condiciones favorables para el género en Ecuador (Figura 11). Sin embargo, se reportaron dos especies: *S. quitensis* y *S. sigchosica*, que presentan una reducción de sus áreas de idoneidad en escenarios de cambio climático al 2050, tanto con un RCP de 4.5 y 8.5). En el caso de *S. quitensis* (LC), prácticamente desaparece en las provincias de Pichincha y Zamora Chinchipe y de acuerdo al modelo, al 2050 aumenta las áreas idóneas en las provincias del centro-sur de los Andes. En cuanto a la conservación de *S. quitensis*, se puede considerar como una especie protegida ya que está reportada en tres áreas protegidas. Por último, *S. sigchosica* (endémica no amenazada), en escenarios de cambio climático disminuye sus áreas de idoneidad en los flancos occidentales de Bolívar y Chimborazo. En cuanto a su estado de conservación presenta registros solo en el P.N. Los Ilinizas, sería importante implementar proyectos de colecta en áreas protegidas de los Andes centrales y contar con más datos que permitan actualizar su estatus de conservación.

Finalmente, cabe resaltar que las colecciones de herbario fueron la base para la elaboración de los diversos mapas de distribución histórica de las especies del género *Salvia*. Igualmente, la información proveniente de las etiquetas de los ejemplares, fue útil para la distribución potencial del género en escenarios de cambio climático.

Estado de conservación del género *Salvia*

El 25% de las Áreas Protegidas del Ecuador presentan colecciones de *Salvia* (Tabla 4). Las Áreas Protegidas con mayor número de colecciones se encuentran en la región Interandina y son: Parque Nacional Cayambe Coca (18%), Reserva Geobotánica Pululahua (16%), Reserva Ecológica Los Ilinizas (15%) y Parque Nacional Cajas (13.5%).

El 48.8% (19 registros) de las especies reportadas en la base de datos de *Salvia* ha sido colectado, al menos, en un Área Protegida (Anexo 9). Sin embargo, si se analiza el número total de registros de colecciones históricas de *Salvia*, apenas el 12% (110 registros) se encuentra dentro del SNAP (Figura 15). Estos resultados sugieren que el género *Salvia* está poco representado en el SNAP, probablemente debido a que no se

han realizado esfuerzos de colecta en estas áreas. Por su parte, el 80% de las especies con las cuales se corrieron los modelos de distribución potencial, muestran alta idoneidad de presencia a lo largo del Callejón Interandino y las costas de las provincias de Santa Elena, Guayas y Manabí. Incluso se presenta un incremento de áreas idóneas con escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5) al 2050 (Figura 1). Un resultado del presente estudio, es que las especies endémicas no necesariamente se encuentran en ecosistemas naturales. Es preciso tener en cuenta este patrón de distribución del género *Salvia* al momento de replantear la protección de estas especies en Ecuador. Por lo tanto, será necesario considerar nuevas áreas de protección o ampliar las existentes con el fin de conservar adecuadamente la riqueza y rareza de *Salvia* en el país.

El 32.1% del total de las especies reportadas no han sido colectadas en ninguna Área Protegida, en este porcentaje se encuentran 11 especies endémicas y cinco especies raras consideradas así en este estudio por presentar menos de cinco registros. Para cubrir estos vacíos de información, sería interesante proponer estudios de colecta en estos sitios para confirmar la idoneidad de estas áreas a partir del análisis de los registros de presencia con las variables bioclimáticas asociadas. Las áreas protegidas con mayor probabilidad de presencia son: Parque Nacional Cajas, P.N. Cayambe Coca, P.N. Podocarpus, P.N. Machalilla y P.N. Sumaco, Napo-Galeras; Reservas Ecológicas Antisana y Los Ilinizas; Reserva Biológica Colonso-Chalupas y Refugio de Vida Silvestre Pacoche.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La base de datos geo espacial de *Salvia* reporta 1015 registros para Ecuador. Se espera que esta información sirva para identificar áreas de muestreo con vacíos de colectas (especímenes botánicos y muestras de tejido) en los herbarios. Por su parte, nuevos registros de *Salvia* pueden aportar con datos actualizados a los análisis filogenéticos para una nueva clasificación del linaje del género en el Neotrópico.

Se generó una lista de verificación de 39 especies del género *Salvia* en Ecuador: 31 nativas (15 endémicas), seis introducidas y dos de amplia distribución, basada en las colecciones botánicas reportadas en los repositorios digitales. Se espera que esta información facilite los estudios relacionados al monitoreo y seguimiento de la biodiversidad provocados por el impacto del cambio de uso del suelo y cambio climático.

El 25.6% de las especies registradas en la base de datos, no cuenta con modelos de distribución potencial. Estas especies son: *S. alata*, *S. coccinea*, *S. ecuadorensis*, *S. flocculosa*, *S. lobbii*, *S. ocimifolia*, *S. officinalis*, *S. splendens*, *S. trachyphylla* y *S. unguella* (Anexo 2). Esto se debe a que, estas especies no contaron con un mínimo de cinco registros requerido para los modelamientos.

El 80% de las especies de *Salvia* modeladas al 2050 en escenarios de cambio climático (4.5 y 8.5), ampliaron sus áreas idóneas a lo largo del Callejón Interandino. Se concluye que el género se adapta a condiciones climáticas extremas de temperatura y precipitación en regiones montañosas.

Las especies endémicas de *Salvia* en Ecuador no necesariamente se encuentran en ecosistemas naturales, lo que se debe tener en cuenta al momento de replantear la protección de estas especies. Por lo tanto, será necesario considerar nuevas áreas de protección o ampliar las existentes con el fin de conservar adecuadamente la riqueza y rareza de *Salvia* en el Ecuador.

El 48.8% de las especies reportadas en la base ha sido colectado, al menos, en un Área Protegida. Sin embargo, el número de colectas es muy reducido. Es preciso incrementar las colecciones de *Salvia* dentro del SNAP. Estos datos permitirán complementar los resultados del presente estudio y establecer el estado de conservación actual del género *Salvia* en Ecuador.

Recomendaciones

Se estima que en los herbarios se encuentran almacenados más del 50% del material de especies que todavía no se han descrito. Se recomienda que se gestionen recursos financieros dirigidos a revisar este material y a colectar nuevos ejemplares en el campo.

Los modelamientos de nicho ecológico requieren un mínimo de cinco registros por especie y mientras más registros disponibles se tengan mejores resultados se obtienen. Se recomienda que los herbarios continúen incrementando sus colecciones en áreas identificadas con vacíos de información o con pocos ejemplares históricos.

El 87.8% de los registros de *Salvia* reportados en el estudio se encuentran fuera del SNAP. Se recomienda replicar este tipo de estudios en otros taxa de interés. Con estos estudios se puede verificar si se repite este patrón con especies de otros hábitos, por ejemplo, arbóreo.

Las buenas prácticas curatoriales que se realizan en los herbarios, aportan con información acerca de las especies, su ecología y los cambios a través del tiempo. Por lo tanto, es recomendable una curación taxonómica permanente de los datos para actualizar los cambios en la identificación de los especímenes.

Se recomienda extender el esfuerzo de colecta del género *Salvia* para Galápagos, con el fin de conocer los patrones de distribución de las especies y poderlas clasificar en alguna categoría de riesgo o no.

LITERATURA CITADA

- Báez, S., Jaramillo, L., Cuesta F. y Donoso, D. (2016). Effects of climate change on Andean biodiversity: a synthesis of studies published until 2015. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 181-194. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1248710>
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Townsend Peterson, A., Soberón, J. y Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222(11), 1810–1819. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011>
- Bebber, D. P., Carine, M. A., Wood, J. R., Wortley, A. H., Harris, D. J., Prance, G. T., Davidse, G., Paige, J., Pennington, T. D., Robson, N. K. y Scotland, R. W. (2010). Herbaria are a major frontier for species discovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22169-22171. <https://doi.org/10.1073/pnas.1011841108>
- Bonaccorso, E., Rodríguez-Saltos, C. A., Freile, J. F., Peñafiel, N., Rosado-Llerena, L., y Oleas, N. H. (2021). Recent diversification in the high Andes: unveiling the evolutionary history of the Ecuadorian hillstar, *Oreotrochilus chimborazo* (Apodiformes: Trochilidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 132(2), 451-470. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa200>
- Cahill, J. P. (2003). Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L.(Lamiaceae). *Economic Botany*, 57(4), 604-618.

- Castillo, M., Michán, L., & Martínez, A. L. (2014). La biocuración en biodiversidad: proceso, aciertos, errores, soluciones y perspectivas. *Acta botánica mexicana*, (108), 81-103.
- Chapman, A. D. (2005). Principles and methods of data cleaning—primary species and species-occurrence data, version 1.0. Global Biodiversity Information Facility, Copenhagen, 75.
- Cobos, M. E., Townsend Peterson, A., Barve, N. y Osorio-Olvera, L. (2019). kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7, Article e6281. <https://peerj.com/articles/6281/>
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. (2014). Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 189-199. <https://doi.org/10.7550/rmb.36723>
- Cuesta, F., Peralvo, M., Baquero, F., Bustamante, M., Merino, A., Muriel, P., Freile, J. y Torres, O. (2015). Áreas prioritarias para la conservación del Ecuador continental. Ministerio de Ambiente, CONDESAN, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, GIZ.
- Culley, T. (2013). Why vouchers matter in botanical research. *Applications in Plant Sciences*, 1(11). <https://doi.org/10.3732/apps.1300076>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. J., y Balslev, H. (2008). Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador (con extracto de datos).

Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus.

del Coro Arizmendi, M., y de Gortari, E. D. V. (2021). Jardines de polinizadores como estrategia de conservación en las ciudades. Manejo y conservación de fauna en ambientes antropizados.

Drew, B. T. (2020). Evolution, Pollination Biology, and Species Richness of *Salvia* (Lamiaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 181(8), 767-769.
[https://doi.org/ 10.1086/710711](https://doi.org/10.1086/710711)

ESRI (2013) ArcGIS: Environmental Systems Research Institute.
<https://www.esri.com/es-es/home>

Feeley, K. J., Bravo-Avila, C., Fadrique, B., Pérez, T. M., y Zuleta, D. (2020). Climate-driven changes in the composition of New World plant communities. *Nature Climate Change*, 10(10), 965-970.

Flores-Tolentino, M., Lara-Cabrera, S. I. y Villaseñor, J. L. (2020). Distribution, richness and conservation of the genus *Salvia* (Lamiaceae) in the State of Michoacán, Mexico. *Biodiversity Data Journal*, 8. Article e56827
[https://doi: 10.3897/BDJ.8.e56827](https://doi:10.3897/BDJ.8.e56827)

Fragoso-Martínez, I., Martínez-Gordillo, M., Salazar, G. A., Sazatornil, F., Jenas, A. A., García, M. D. R., Barrera-Aveleida, G., Benitez-Vieyra, S., Magallón, S.,

- Cornejo-Tenorio, G. y Granados, C. (2017). Phylogeny of the Neotropical sages (*Salvia* subg. *Calosphace*; Lamiaceae) and insights into pollinator and area shifts. *Plant Syst Evol*, 304, 43–55. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1445-4>
- Fragoso-Martínez, I., Martínez-Gordillo, M., Salazar, G. A., Sazatornil, F., Jenks, A. A., Peña, M. D. R. G., ... y Mendoza, C. G. (2018). Phylogeny of the Neotropical sages (*Salvia* subg. *Calosphace*; Lamiaceae) and insights into pollinator and area shifts. *Plant Systematics and Evolution*, 304(1), 43-55. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1445-4>
- Fragoso-Martínez, I., Martínez-Gordillo, M., Uría, R., Salazar, G. A., Peñafiel, M., Tobar, F., Montesinos, K. (2021). Notes on *Salvia* subgenus *Calosphace* section *Macrostachyae* (Lamiaceae) from Ecuador with a new record. *Phytotaxa*, 521(2). Article. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.521.2.1>
- Funk, V. A., (2018). Collections-based science in the 21st Century. *Journal of Systematics and Evolution*, 56(3), 175-193. <https://doi.org/10.1111/jse.12315>
- González-Gallegos, J. G., Bedolla-García, B. Y., Cornejo-Tenorio, G., Fernández-Alonso, J. L., Fragoso-Martínez, I., García-Peña, M. D. R., Harley, R. M., Klitgaard, B., Martínez-Gordillo, M. J., Wood, J. R. I., Zamudio, S., Zona, S. y Xifreda, C. C. (2020). Richness and Distribution of *Salvia* Subg. *Calosphace* (Lamiaceae). *Int. J. Plant Sci*, 181(8), 831–856. <https://doi.org/10.1086/709133>
- Govaerts, R., Paton, A., Harvey, Y., Navarro, T. y García-Peña, M. R. (2019). World checklist of selected plant families, Lamiaceae. Royal Botanic Gardens, Kew, London. <http://wmsp.science.kew.org>

- Greve, M., Lykke, A. M., Fagg, C. W., Gereau, R. E., Lewis, G. P., Marchant, R., Marshall, A. R., Ndayishimiye, J., Bogaert, J. y Svenning, J.-C. (2016). Realising the potential of herbarium records for conservation biology. *South African Journal of Botany*, 105, 317-323.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.017>
- Harley, R. M. (1999). Lamiaceae. En: Jørgensen, P. M, y León-Yáñez, S. (Eds.). *Catálogo de plantas vasculares de Ecuador, Monografías en botánica sistemática del Jardín Botánico de Missouri 75*, Missouri Botanical Press, 519–526.
- Heberling, J. M. y Isaac, B. L. (2017). Herbarium specimens as exaptations: New uses for old collections. *American Journal of Botany*, 104(7), 963-965.
<https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.3732/ajb.17001>
- Horton, N. J. y Kleinman, K. (2015). Using R and RStudio for data management, statistical analysis, and graphics. *Journal of Statistical Software*, 68 (4), 1-7.
<https://doi.org/10.18637/jss.v068.b04>
- International Association for Plant Taxonomy. (2018). *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (Código de Shenzhen)*. Occasional papers from the Herbarium Greuter, 159(4).
- Jakob, S.S., Martínez-Meyer, E. y Blattner, F.R. (2009). Phylogeographic Analyses and Paleodistribution Modeling Indicate Pleistocene In Situ Survival of *Hordeum* Species (Poaceae) in Southern Patagonia without Genetic or Spatial

Restriction. *Molecular Biology and Evolution*, 26(4). 907–923.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msp012>

Jenks, A. A., & Kim, S. C. (2013). Medicinal plant complexes of *Salvia* subgenus *Calosphace*: an ethnobotanical study of new world sages. *Journal of Ethnopharmacology*, 146(1), 214-224.

León-Yáñez, S. y Endara, L. (2011) Generalidades del estado de conservación de las especies de plantas endémicas del Ecuador. Páginas 17-19 en: León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa Ulloa, C. y Navarrete, H. (Eds.). *Libro Rojo de las plantas endémicas del Ecuador*. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. 2º edición.

Lister, A. M. (2011). Natural history collections as sources of long-term datasets. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(4), 153–154.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.12.009>

Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S.T., Dick, J. McP., Elston, D. A., Scott, E. M., Smith, R.I., Somerfield, P. J., y Watt, A.D. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(10), 574–582.

Maharjan, S. K., Sterck, F. J., Raes, N., & Poorter, L. (2021). Temperature and soils predict the distribution of plant species along the Himalayan elevational gradient. *Journal of Tropical Ecology*, 1-13.

- Martínez-Gordillo, M., Bedolla-García, B., Cornejo-Tenorio, G., Fragoso-Martínez, I., García-Peña, M del R., González-Gallegos, J., Lara-Cabrera, S. y Zamudio, S. (2010). Lamiaceae de México. *Botanical Sciences*, 95(4), 780-806. <https://doi.org/10.17129/botsci.1871>
- Ministerio del Ambiente. (2013). Actualización del Estudio de Necesidades y el Análisis de la Brecha de Financiamiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Ministerio del Ambiente/Proyecto SNAP GEF-PNUD/Mentefactura. Quito, Ecuador.
- Mittermeier, R. A., Robles, P. y Goetsch-Mittermeier, C. (1997). Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo, CEMEX S.A. y Agrupación S. Madre.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol*, 9(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Moscoso, A., Montúfar, R. y Tye, A. (2011) Lamiaceae. Páginas 367-371 en: León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa Ulloa, C. y Navarrete, H. (Eds.). Libro Rojo de las plantas endémicas del Ecuador. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. 2º edición.
- Mota-Vargas, C., y Rojas-Soto, O. R. (2016). Taxonomy and ecological niche modeling: Implications for the conservation of wood partridges (genus *Dendrortyx*). *Journal for Nature Conservation*, 29, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.10.003>

- Neill, D. A. (2012). ¿Cuántas especies nativas de plantas vasculares hay en Ecuador? *Revista Amazónica, Ciencia y Tecnología*, 1(1), 70-83. ISSN-e 1390-5600 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5240745>
- Osorio-Olvera, L., Lira-Noriega, A., Soberón, J., Townsend Peterson, A., Falconi, M., Contreras-Díaz, R. G., Martínez-Meyer, E., Barve, V. y Barve, N. (2020). NTBOX: an R package with graphical user interface for modeling and evaluating multidimensional ecological niches. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(10), 1199-1206. <https://doi:10.1111/2041-210X.13452>
- Peterson, A. T. y Nakazawa, Y. (2007). Environmental data sets matter in ecological niche modelling: an example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography*, 17(1), 135-144. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00347.x>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J. y Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Pradhan, P. (2016). Strengthening MaxEnt modeling through screening of redundant explanatory Bioclimatic Variables with Variance Inflation Factor analysis. *Academia*, 8(5), 29–34. doi:[10.7537/marsrsj08051605](https://doi.org/10.7537/marsrsj08051605).

- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N. y Rajaf, P. (2011). RCP 8.5 – A scenario of comparative high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33– 57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
- Rivera-Ortíz, F. A., Oyama, K., Ríos-Muñoz, C.A., Solórzano, S., Navarro-Sigüenza, A. G. y Del Coro Arizmendi, M. (2013). Habitat characterization and modeling of the potential distribution of the Military Macaw (*Ara militaris*) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), 1200–1215. <https://doi.org/10.7550/rmb.34953>
- Robertson, M. P., Caithness, N. y Villet, M. H. (2009). A PCA-based modelling technique for predicting environmental suitability for organisms from presence records. *Diversity and Distributions*, 7(1-2), 15–27. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2001.00094.x>
- Sanchez, A. C., Osborne, P. E. y Haq, N. (2011). Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation strategies. *African Journal of Ecology*, 49(2), 234-245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- Segovia-Salcedo, C. S., Carrasco, L. y Buenaño, N. A. (2015). Las colecciones biológicas: Los tesoros escondidos de un país mega-diverso. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 36(1-2), 83-88.
- Sierra, R., Campos, F. y Chamberlin, J. (2002). Assessing biodiversity conservation priorities: ecosystem risk and representativeness in continental Ecuador.

Landscape and Urban Planning, 59(2), 95-110. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00006-3)

Simmons, J. E. y Muñoz-Saba, Y. (2005). Cuidado, Manejo y Conservación de las Colecciones Biológicas. Conservación Internacional Serie Manuales de Campo. Universidad Nacional de Colombia, 288-288.

Soberón, J. y Townsend Peterson, A. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. Biodiversity Informatics, 2, 1–10). <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>

Soltis, P. S. (2017). Digitization of herbaria enables novel research. American Journal of Botany, 104(9), 1281-1284. <https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.3732/ajb.1700281>

Stockwell, D. R., y Peterson, A. T. (2002). Effects of sample size on accuracy of species distribution models. Ecological modelling, 148(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/>

Stuade, I. R., Navarro, L. M., y Pereira, H. M. (2019). Range size predicts the risk of local extinction from habitat loss. Global Ecology and Biogeography, 29(1), 16-25. <https://doi.org/10.1111/geb.13003>

Suárez L. (2014). ¿Cómo se explica tanta biodiversidad en el Ecuador? pp. 50-51 en: García, M., Parra, D., Mena, P. (2014). El País de la Biodiversidad: Ecuador.

Fundación Botánica de Los Andes, Ministerio del Ambiente y Fundación Eco Fondo.

Thomson, A. M., Calvin, K.V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M. A., Clarke, L. E. y Edmonds, J. A. (2011). RCP 4.5: a pathway for stabilization of radioactive forcing by 2100. *Climatic Change*, 109(1), 77–94. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>

Ulloa Ulloa, C., Acevedo-Rodríguez, P., Beck, S., Belgrano, M. J., Bernal, R., Berry, P. E., Brako, L., Celis, M., Davidse, G., Forzza, R. C., Gradstein, S. R., Hokche, O., León, B., León-Yáñez, S., Magill, R. E., Neill, D. A., Nee, M., Raven, P. H., Stimmel, H., Strong, M. T., Villaseñor, J. L., Zarucchi, J. L., Zuloaga, F. O. y Jørgensen, P. M. (2017). An integrated assessment of the vascular plant species of the Americas. *Science*, 358 (6370), 1614-1617. [DOI: 10.1126/science.aao0398](https://doi.org/10.1126/science.aao0398)

Varela, S., Anderson, R. P., García-Valdés, R. y Fernández-González, F. (2014). Environmental filters reduce the effects of sampling bias and improve predictions of ecological niche models. *Ecography*, 37, 1084-1091. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00441.x>

Walker, J. B., Sytsma, K. J., Treutlein, J., Wink, M. (2004). *Salvia* (Lamiaceae) is not monophyletic: Implications for the systematics, radiation, and ecological specializations of *Salvia* and tribe Mentheae. *American Journal of Botany*, 91(7), 1115-1125. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.7.1115>

Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y. y Zemla, J. (2017). Package "corrplot".
Statistician, 56(316), e24. <https://github.com/taiyun/corrplot>

ANEXOS

Anexo 1. Fuentes de los registros de la base de datos de *Salvia L.* para Ecuador

| Herbario | Registros | Publicador de datos | Set de Datos |
|----------------------------|-----------|---|---|
| AAU | 9 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| AAU, MO | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| AAU, K | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | |
| AAU, MO | 59 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| AAU, MO, QCA | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| AAU, MO, UPS | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| AAU, QCA, QCNE | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| AAU, QCNE | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | |
| AAU, S | 1 | Herbarium of the University of Aarhus | The AAU Herbarium Database |
| ASU | 4 | Arizona State University, Global Institute for Sustainability | Arizona State University Vascular Plant Herbarium |
| CAS | 2 | California Academy of Sciences | CAS Botany (BOT) Rapid Assessment Program |
| Conservation International | 1 | Conservation International | (RAP) Biodiversity Survey Database |
| E | 8 | Royal Botanic Garden Edinburgh | RBGE Herbarium (E) |

| Herbario | Registros | Publicador de datos | Set de Datos |
|------------------------------|------------------|--|---|
| F | 7 | Field Museum | Field Museum of Natural History (Botany) Seed Plant Collection |
| Harvard University Herbarium | 3 | Harvard University Herbaria | Harvard University Herbaria |
| JBRJ | 2 | University of Arizona Herbarium | UA Herbarium |
| K | 6 | Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro Botanical Garden Herbarium Collection |
| L | 3 | Netherlands Centre for Biodiversity | Nationaal Herbarium Nederland |
| L, MO | 2 | Naturalis, section National Herbarium of the Netherlands | Nationaal Herbarium Nederland |
| LD | 1 | Naturalis, section National Herbarium of the Netherlands | Nationaal Herbarium Nederland |
| LD, MNHN | 3 | Lund Botanical Museum (LD) | Lund Botanical Museum (LD) |
| LOJA | 1 | Lund Botanical Museum (LD) | Lund Botanical Museum (LD) |
| MA | 7 | Base Nacional de Datos | Base Nacional de Datos Real Jardín Botánico (Madrid), Vascular Plant Herbarium (MA) |
| MNHN | 5 | Real Jardín Botánico (CSIC) | (Madrid), Vascular Plant Herbarium (MA) |
| MO | 6 | MNHN - Museum national d'Histoire naturelle | Phanerogams herbarium specimens |
| | 387 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |

| Herbario | Registros | Publicador de datos | Set de Datos |
|-----------------------|------------------|-------------------------------|---|
| MO, AAU | 68 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| MO, AAU, L | 3 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| MO, AAU, QCA | 1 | | |
| MO, AAU, UPS | 2 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| MO, K | 1 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| MO, QCA | 5 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| MO, QCNE | 20 | Missouri Botanical Garden | |
| MO, QCNE, AAU | 4 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| MO, QCNE, AAU, QCA | 1 | Missouri Botanical Garden | |
| MO, S | 4 | Missouri Botanical Garden | Missouri Botanical Garden |
| NY | 5 | The New York Botanical Garden | Herbarium of The New York Botanical Garden |
| QAP | 1 | | |
| QCA | 333 | | |
| QCA, MO | 2 | | |
| QCNE | 11 | | |
| QCNE, MEXU | 109 | | |
| S | 78 | GBIF-Sweden | Phanerogamic Botanical Collections (S) |
| S, JBRJ | 4 | GBIF-Sweden | Phanerogamic Botanical Collections (S) |

| Herbario | Registros | Publicador de datos | Set de Datos |
|----------|-------------|---|---|
| S, K | 1 | GBIF-Sweden | Phanerogamic Botanical Collections (S) |
| S, MO | 1 | GBIF-Sweden | Phanerogamic Botanical Collections (S) |
| SANT | 4 | Herbario SANT, Universidade de Santiago de Compostela | SANT herbarium vascular plants collection |
| UCBG | 3 | Berkeley Natural History Museums | UCBG TAPIR Provider Database Schema for UC Davis [Herbarium Labels] |
| UCD | 4 | University of California, Davis | |
| UCLA | 1 | | |
| UConn | 4 | University of Connecticut | CONN |
| UPS | 4 | GBIF-Sweden | Botany (UPS) |
| US | 3 | National Museum of Natural History, Smithsonian Institution | NMNH Botany Collections |
| W | 1 | Natural History Museum, Vienna - Herbarium W | Natural History Museum, Vienna - Herbarium W |
| | 1205 | | |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Anexo 2. Lista de especies de *Salvia* colectadas en Ecuador con sus respectivos sinónimos y número de registros.

| Especies | Registros | Sinónimos |
|--|------------------|--|
| * <i>Salvia alata</i> Epling | 1 | |
| * <i>Salvia alborosea</i> Epling & Játiva | 5 | <i>S. longemarginata</i> , <i>S. membranicalyx</i> , <i>S. tenuistachya</i> , <i>S. tovariensis</i> , <i>S. inaequilatera</i> , <i>S. ourophylla</i> , <i>S. permixta</i> , <i>S. psilophylla</i> y <i>S. tiliifolia</i> var. <i>alvajaca</i> |
| * <i>Salvia angulata</i> Benth. | 18 | |
| ** <i>Salvia austromelissodora</i> Epling & Játiva | 8 | <i>S. debilis</i> , <i>S. gracilis</i> , <i>S. iodochroa</i> , <i>S. irazuensis</i> , <i>S. killipiana</i> , <i>S. martensii</i> , <i>S. membranaceae</i> . <i>S. punicans</i> . <i>S. purpurascens</i> . <i>S. sidifolia</i> y <i>S. simulans</i> |
| * <i>Salvia carnea</i> Kunth | 14 | <i>S. ciliata</i> , <i>S. coccinea</i> , <i>S. galeottii</i> , <i>S. glaucenscens</i> , <i>S. mollissima</i> , <i>S. pseudococcinea</i> y <i>S. rosea</i> |
| **** <i>Salvia coccinea</i> Buc'hoz ex Etl. | 3 | |
| * <i>Salvia corrugata</i> Vahl | 127 | <i>S. gaudichaudii</i> |
| ** <i>Salvia curticalyx</i> Epling | 22 | |
| ** <i>Salvia ecuadorensis</i> Briq. | 4 | |
| ** <i>Salvia flocculosa</i> Benth. | 2 | <i>S. collina</i> y <i>S. spicata</i> |
| * <i>Salvia hirta</i> Kunth | 29 | Homonyms: <i>Salvia hirta</i> Kunth |
| ** <i>Salvia hirtella</i> Vahl | 33 | <i>S. phoenicea</i> y <i>S. glandulifera</i> |
| **** <i>Salvia hispanica</i> L. | 11 | <i>S. chia</i> . Homonymus: <i>S. hispanica</i> Garsault |

| Especies | Registros | Sinónimos |
|---|------------------|--|
| ** <i>Salvia humboldtiana</i> F. Dietr. | 30 | <i>S. humboldtii</i> , <i>S. pulchella</i> , <i>S. saligna</i> y <i>S. spicata</i> |
| **** <i>Salvia leucantha</i> Cav. | 17 | <i>S. bicolor</i> y <i>S. discolor</i> |
| ** <i>Salvia leucocephala</i> Kunth | 16 | |
| * <i>Salvia lobbii</i> Epling | 2 | |
| * <i>Salvia loxensis</i> Benth. | 7 | <i>S. malacophylla</i> |
| *** <i>Salvia macrophylla</i> Benth | 33 | <i>S. macrophylla</i> var. <i>malacophylla</i> |
| * <i>Salvia macrostachya</i> Kunth | 14 | |
| **** <i>Salvia microphylla</i> Kunth | 5 | <i>S. grahamii</i> , <i>S. lemmonii</i> , <i>S. obtusa</i> y <i>S. odoratissima</i> |
| *** <i>Salvia occidentalis</i> Sw. | 26 | <i>S. lateriflora</i> , <i>S. martinicensis</i> , <i>S. occidentalis</i> var. <i>garberi</i> , <i>S. procumbens</i> , <i>S. pseudoprivoides</i> , <i>S. setosa</i> y <i>S. viscosa</i> |
| * <i>Salvia ochrantha</i> Epling | 29 | <i>S. lutea</i> |
| ** <i>Salvia ocimifolia</i> Epling | 4 | |
| **** <i>Salvia officinalis</i> L. | 4 | |
| * <i>Salvia pauciserrata</i> Benth. | 19 | <i>S. calocalicina</i> , <i>S. bella</i> y <i>S. calocalicina</i> |
| ** <i>Salvia peregrina</i> Epling | 5 | |
| ** <i>Salvia pichinchensis</i> Benth | 67 | <i>S. siphonantha</i> |
| ** <i>Salvia quitensis</i> Benth. | 45 | |
| * <i>Salvia sagittata</i> Ruiz & Pav. | 71 | <i>S. rumicifolia</i> |
| * <i>Salvia scutellarioides</i> Kunth | 103 | <i>S. petiolaris</i> |

| Especies | Registros | Sinónimos |
|--|------------------|---|
| ** <i>Salvia sigchosica</i> Fern. Alonso | 10 | |
| **** <i>Salvia splendens</i> Sellow ex Schult. | 4 | |
| ** <i>Salvia sprucei</i> Briq. | 24 | <i>S. theresae</i> |
| * <i>Salvia squalens</i> Kunth | 38 | |
| * <i>Salvia tiliifolia</i> Vahl | 39 | <i>S. fimbriata</i> , <i>S. myriantha</i> , <i>S. obvallata</i> y <i>S. psilophylla</i> |
| * <i>Salvia tortuosa</i> Kunth | 120 | <i>S. moschata</i> , <i>S. tortuosa</i> var. <i>Detonsa</i> y <i>S. tortuosa</i> |
| ** <i>Salvia trachyphylla</i> Epling | 2 | |
| ** <i>Salvia unguella</i> Epling | 4 | |
| 1015 | | |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

*Nativa. **Endémica. ***Amplia Distribución. ****Introducida

Anexo 3: Variables bioclimáticas utilizadas en los modelos de nicho ecológico por cada especie.

| Especie | Variable | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| | Bio 1 | Bio 2 | Bio 3 | Bio 4 | Bio 5 | Bio 6 | Bio 7 | Bio 8 | Bio 9 | Bio 10 | Bio 11 | Bio 12 | Bio 13 | Bio 14 | Bio 15 | Bio 16 | Bio 17 | Bio 18 | Bio 19 | |
| <i>Salvia alborosea</i> Epling & Játiva | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| <i>Salvia angulata</i> Benth | | | | | | | x | | x | | | | x | | x | | | x | x | |
| <i>Salvia austromelissodora</i> Epling & Játiva | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| <i>Salvia carnea</i> Kunth | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| <i>Salvia corrugata</i> Vahl | | x | x | x | | x | | | | | | x | | x | | | | x | x | |
| <i>Salvia curticalyx</i> Epling | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| <i>Salvia hirta</i> Kunth | | | x | | | x | x | | | | | | | | | | | x | x | x |
| <i>Salvia hirtella</i> Vahl | | x | | x | | x | | | | | | x | | | x | | | x | x | |

| Especie | Variable | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Bio 1 | Bio 2 | Bio 3 | Bio 4 | Bio 5 | Bio 6 | Bio 7 | Bio 8 | Bio 9 | Bio 10 | Bio 11 | Bio 12 | Bio 13 | Bio 14 | Bio 15 | Bio 16 | Bio 17 | Bio 18 | Bio 19 |
| <i>Salvia hispanica</i> L. | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia humboldtiana</i> F. Dietr. | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia leucantha</i> Cav. | | | | | | | | x | x | | | | | x | | x | | | x |
| <i>Salvia leucocephala</i> Kunth | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia loxensis</i> Benth | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia macrophylla</i> Benth | | | | x | x | | x | x | | | | | x | | x | | | | x |

| Especie | Variable | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| | Bio 1 | Bio 2 | Bio 3 | Bio 4 | Bio 5 | Bio 6 | Bio 7 | Bio 8 | Bio 9 | Bio 10 | Bio 11 | Bio 12 | Bio 13 | Bio 14 | Bio 15 | Bio 16 | Bio 17 | Bio 18 | Bio 19 | |
| <i>Salvia macrostachya</i> Kunth | | | | | | | x | x | | | | | | | | x | | x | x | |
| <i>Salvia occidentalis</i> Sw. | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | x | |
| <i>Salvia ochrantha</i> Epling | | | | | x | | | x | x | | | | | x | | x | | | x | x |
| <i>Salvia pauciserrata</i> Benth | | | | | | | | | | x | | | | | | x | x | | x | x |
| <i>Salvia peregrina</i> Epling | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia pichichensis</i> Benth | | | | x | x | | | x | x | | | | x | | | x | | | x | x |
| <i>Salvia quitensis</i> Benth | | | x | x | x | | | | x | | | | x | | x | | | | x | x |

| Especie | Variable | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| | Bio 1 | Bio 2 | Bio 3 | Bio 4 | Bio 5 | Bio 6 | Bio 7 | Bio 8 | Bio 9 | Bio 10 | Bio 11 | Bio 12 | Bio 13 | Bio 14 | Bio 15 | Bio 16 | Bio 17 | Bio 18 | Bio 19 | |
| <i>Salvia sagittata</i> Ruiz & Pav. | | | x | x | x | | | | x | | | | | x | | x | | | x | x |
| <i>Salvia scutellarioides</i> Kunth | | | x | x | x | | | | x | | | | | | x | x | | | x | x |
| <i>Salvia sigchosica</i> Fern. Alonso | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia sprucei</i> Briq. | | | x | x | | | x | | | | | | x | | x | | | | x | x |
| <i>Salvia squalens</i> Kunth | | | | x | x | | | x | x | | | | | x | x | | | | x | x |
| <i>Salvia tiliifolia</i> Vahl | | | | x | x | | | x | x | | | | x | | | x | | | x | x |
| <i>Salvia tortuosa</i> Kunth | | | | x | x | | | x | x | | | | | | x | x | | | x | x |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

Anexo 4. Valores para los estadísticos de los mejores modelos proyectados especificados por la optimización de kuenm.

| Especie | Valores estadísticos | | | | | |
|---|----------------------|------------------------|----------|----------------|------------|------------|
| | Partial ROC | Omission rate at 5-10% | AICc | Delta AICc ≤ 2 | Weigh AICc | Parameters |
| <i>Salvia alborosea</i> Epling & Játiva | 0 | 0.000 | 121.217 | 0.000 | 0.044 | 2 |
| <i>Salvia angulata</i> Benth | 0 | 0.000 | 376.71 | 0.000 | 0.12 | 5 |
| <i>Salvia austromelissodora</i> Epling & Játiva | 0 | 0.000 | 130.303 | 0.000 | 0.056 | 2 |
| <i>Salvia carnea</i> Kunth | 0 | 0.000 | 199.899 | 0.000 | 0.477 | 3 |
| <i>Salvia corrugata</i> Vahl | 0 | 0.000 | 1731.659 | 0.390 | 0.185 | 14 |
| <i>Salvia curticalyx</i> Epling | 0 | 0.000 | 219.179 | 0.000 | 0.109 | 2 |
| <i>Salvia hirta</i> Kunth | 0 | 0.000 | 442.758 | 0.655 | 0.354 | 9 |
| <i>Salvia hirtella</i> Vahl | 0 | 0.000 | 571.312 | 0.540 | 0.086 | 6 |
| <i>Salvia hispanica</i> L. | 0 | 0.000 | 171.366 | 0.000 | 1 | 4 |
| <i>Salvia humboldtiana</i> F. Dietr. | 0 | 0.000 | 423.029 | 0.000 | 0.998 | 7 |
| <i>Salvia leucantha</i> Cav. | 0 | 0.000 | 324.63 | 0.718 | 0.06 | 4 |
| <i>Salvia leucocephala</i> Kunth | 0 | 0.000 | 284.35 | 0.000 | 0.471 | 3 |
| <i>Salvia loxensis</i> Benth | 0 | 0.000 | 144.821 | 0.000 | 1 | 2 |
| <i>Salvia macrophylla</i> Benth | 0 | 0.050 | 616.352 | 0.965 | 0.331 | 11 |
| <i>Salvia macrostachya</i> Kunth | 0 | 0.000 | 318.343 | 1.630 | 0.318 | 4 |
| <i>Salvia occidentalis</i> Sw. | 0 | 0.000 | 242.657 | 0.031 | 0.156 | 1 |

| Especie | Valores estadísticos | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------|----------|----------------|------------|------------|
| | Partial ROC | Omission rate at 5-10% | AICc | Delta AICc ≤ 2 | Weigh AICc | Parameters |
| <i>Salvia ochrantha</i> Epling | 0 | 0.000 | 349.552 | 0.000 | 0.609 | 9 |
| <i>Salvia pauciserrata</i> Benth | 0 | 0.000 | 291.286 | 0.000 | 0.17 | 2 |
| <i>Salvia peregrina</i> Epling | 0 | 0.000 | 123.329 | 0.000 | 0.034 | 1 |
| <i>Salvia pichichensis</i> Benth | 0 | 0.091 | 985.869 | 0.508 | 0.437 | 14 |
| <i>Salvia quitensis</i> Benth | 0 | 0.000 | 820.344 | 0.009 | 0.841 | 8 |
| <i>Salvia sagittata</i> Ruiz & Pav. | 0 | 0.000 | 1228.537 | 0.755 | 0.077 | 5 |
| <i>Salvia scutellarioides</i> Kunth | 0 | 0.000 | 1447.951 | 1.431 | 0.199 | 11 |
| <i>Salvia sigchosica</i> Fern. Alonso | 0 | 0.000 | 164.973 | 0.000 | 0.088 | 2 |
| <i>Salvia sprucei</i> Briq. | 0 | 0.000 | 570.625 | 0.000 | 1 | 15 |
| <i>Salvia squalens</i> Kunth | 0 | 0.000 | 614.169 | 0.000 | 0.378 | 4 |
| <i>Salvia tiliifolia</i> Vahl | 0 | 0.000 | 684.24 | 1.567 | 0.268 | 11 |
| <i>Salvia tortuosa</i> Kunth | 0 | 0.050 | 1777.973 | 0.000 | 0.996 | 13 |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

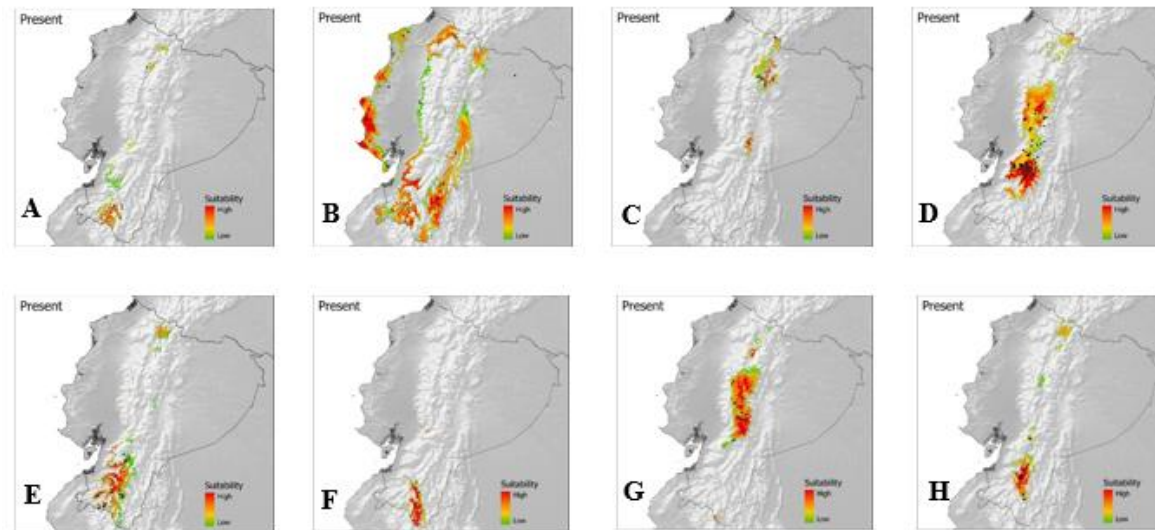
Anexo 5. Lista de 28 especies de *Salvia* reportadas para Ecuador y el número de registros en la base de datos empleada para los modelos de nicho ecológico (ENM).

| Especies | Origen | Registros |
|---|---------------------|------------------|
| <i>Salvia austromelissodora</i> Epling & Játiva | Endémica | 8 |
| <i>Salvia curticalyx</i> Epling | Endémica | 14 |
| <i>Salvia hirtella</i> Vahl | Endémica | 127 |
| <i>Salvia humboldtiana</i> F. Dietr. | Endémica | 22 |
| <i>Salvia leucocephala</i> Kunth | Endémica | 29 |
| <i>Salvia peregrina</i> Epling | Endémica | 33 |
| <i>Salvia pichinchensis</i> Benth | Endémica | 11 |
| <i>Salvia quitensis</i> Benth. | Endémica | 30 |
| <i>Salvia sigchosica</i> Fern. Alonso | Endémica | 17 |
| <i>Salvia sprucei</i> Briq. | Endémica | 16 |
| <i>Salvia alborosea</i> Epling & Játiva | Nativa | 14 |
| <i>Salvia angulata</i> Benth. | Nativa | 21 |
| <i>Salvia carnea</i> Kunth | Nativa | 29 |
| <i>Salvia corrugata</i> Vahl | Nativa | 19 |
| <i>Salvia hirta</i> Kunth | Nativa | 5 |
| <i>Salvia loxensis</i> Benth. | Nativa | 67 |
| <i>Salvia macrostachya</i> Kunth | Nativa | 45 |
| <i>Salvia ochrantha</i> Epling | Nativa | 71 |
| <i>Salvia pauciserrata</i> Benth. | Nativa | 103 |
| <i>Salvia sagittata</i> Ruiz & Pav. | Nativa | 10 |
| <i>Salvia scutellarioides</i> Kunth | Nativa | 24 |
| <i>Salvia squalens</i> Kunth | Nativa | 38 |
| <i>Salvia tiliifolia</i> Vahl | Nativa | 39 |
| <i>Salvia tortuosa</i> Kunth | Nativa | 120 |
| <i>Salvia macrophylla</i> Benth | Amplia distribución | 5 |

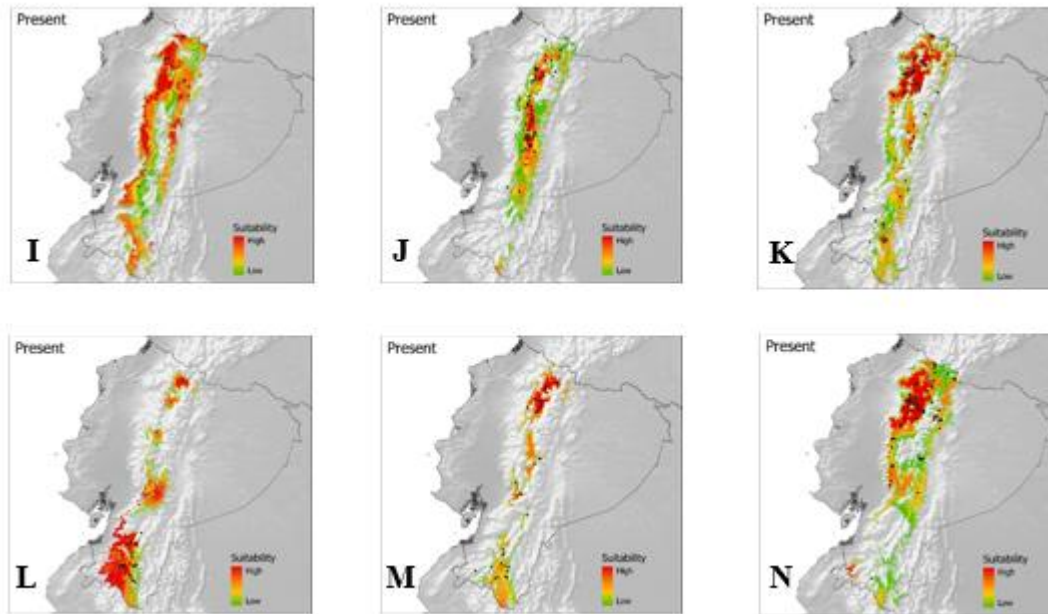
| Especies | Origen | Registros |
|--------------------------------|---------------------|------------------|
| <i>Salvia occidentalis</i> Sw. | Amplia distribución | 18 |
| <i>Salvia hispanica</i> L. | Introducida | 7 |
| <i>Salvia leucantha</i> Cav. | Introducida | 33 |
| | | 975 |

Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Anexo 6. Distribución histórica de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.

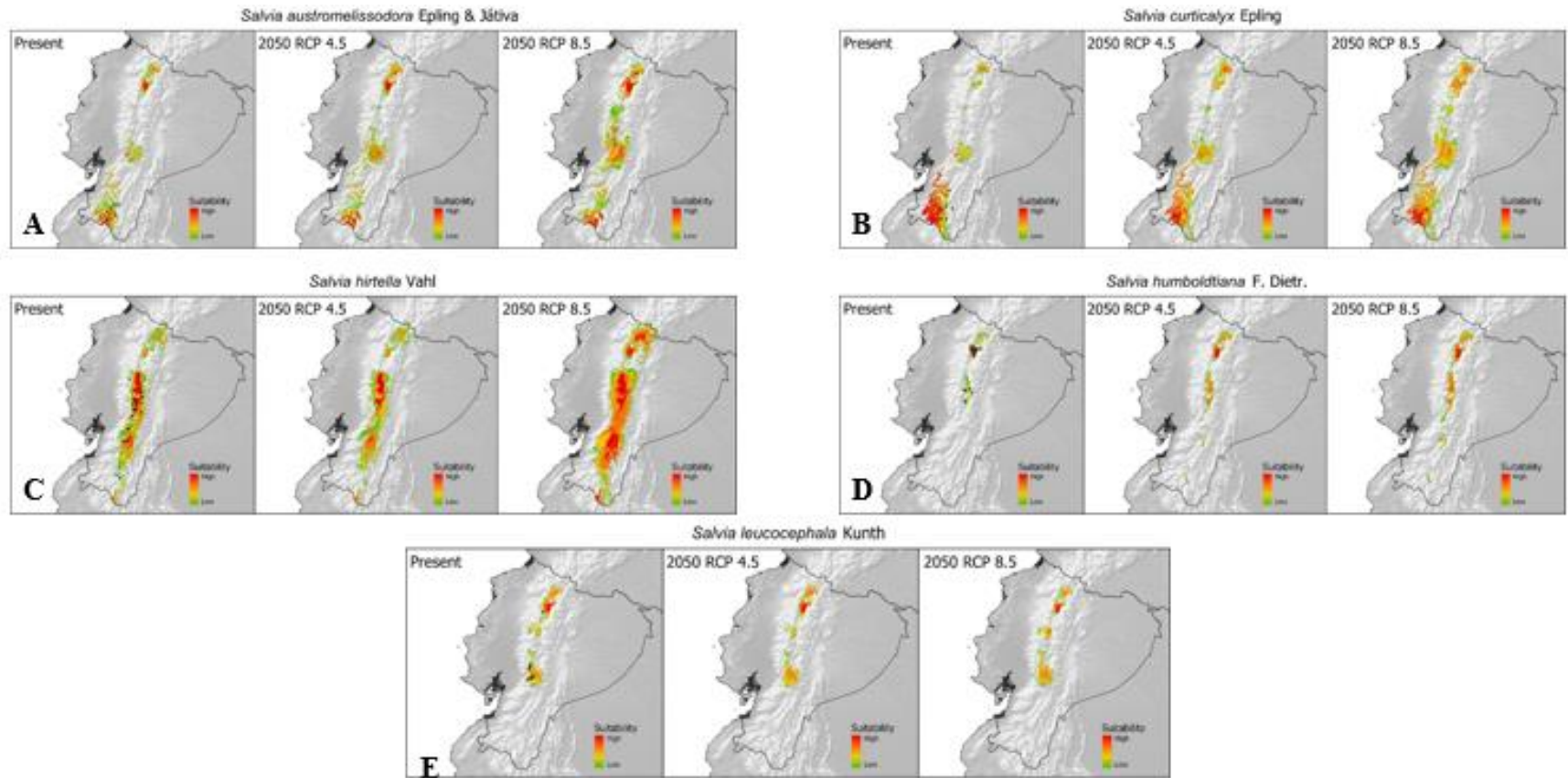


Continuación Anexo 6. Distribución histórica de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.

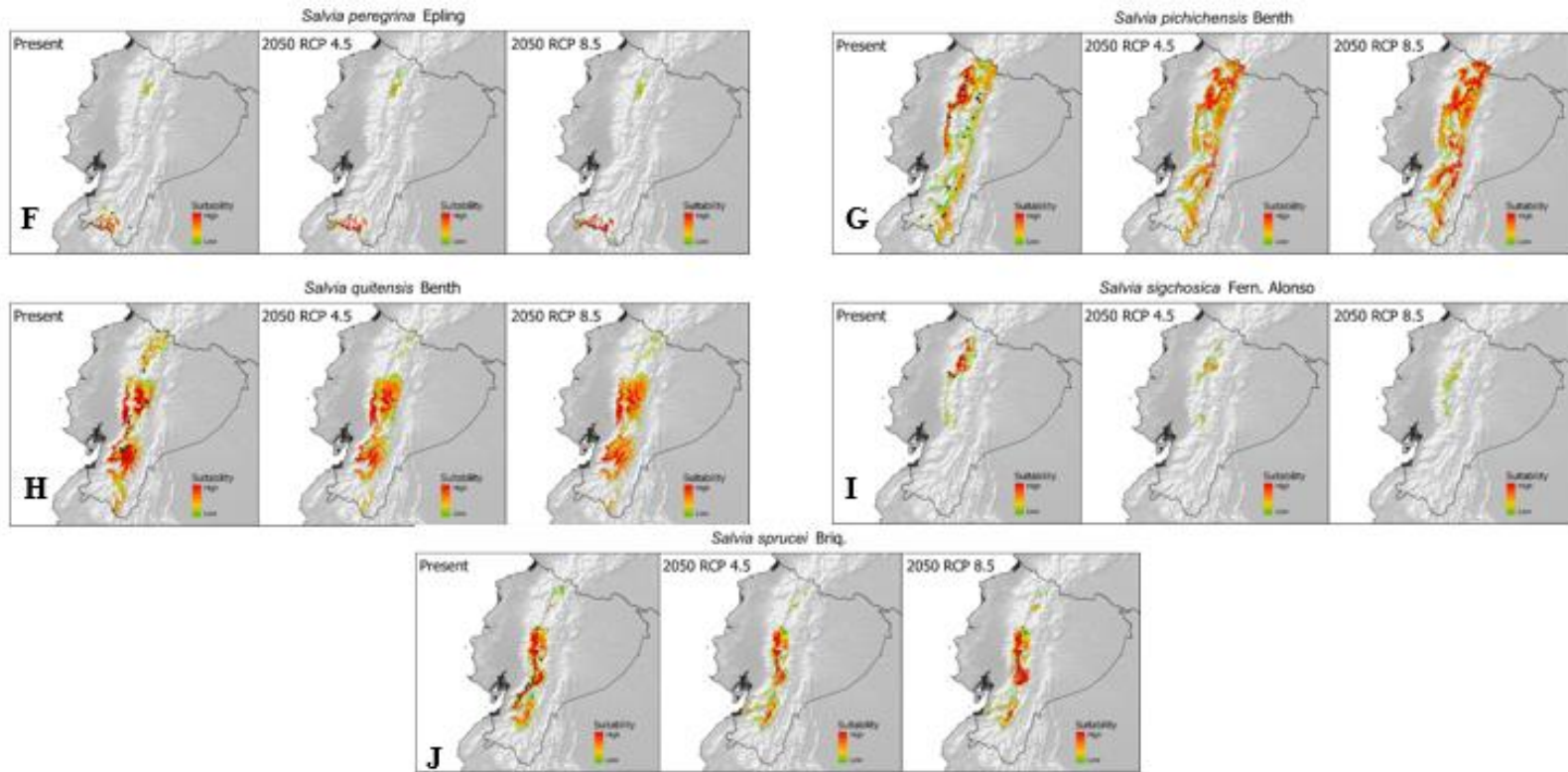


Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Anexo 7. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* endémicas para Ecuador y reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia austromelissodora*, **B.** *Salvia curticalyx*, **C.** *Salvia hirtella*, **D.** *Salvia humboldtiana*, **E.** *Salvia leucocephala*, **F.** *Salvia peregrina*, **G.** *Salvia pichinchensis*, **H.** *Salvia quitensis*, **I.** *Salvia sigchosica* y **J.** *Salvia sprucei*.



Continuación Anexo 7. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* endémicas para Ecuador y reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia austromelissodora*, **B.** *Salvia curticalyx*, **C.** *Salvia hirtella*, **D.** *Salvia humboldtiana*, **E.** *Salvia leucocephala*, **F.** *Salvia peregrina*, **G.** *Salvia pichinchensis*, **H.** *Salvia quitensis*, **I.** *Salvia sigchosica* y **J.** *Salvia sprucei*.

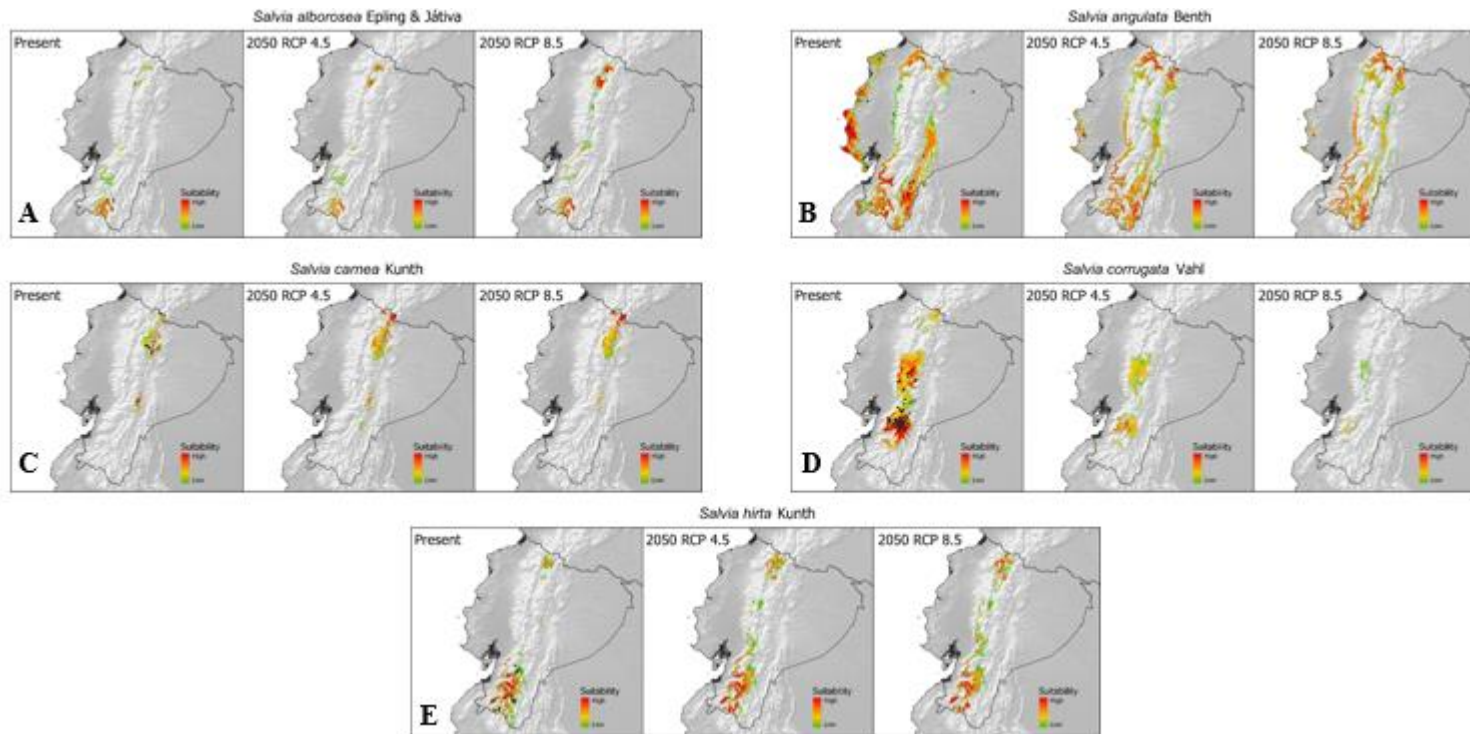


Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

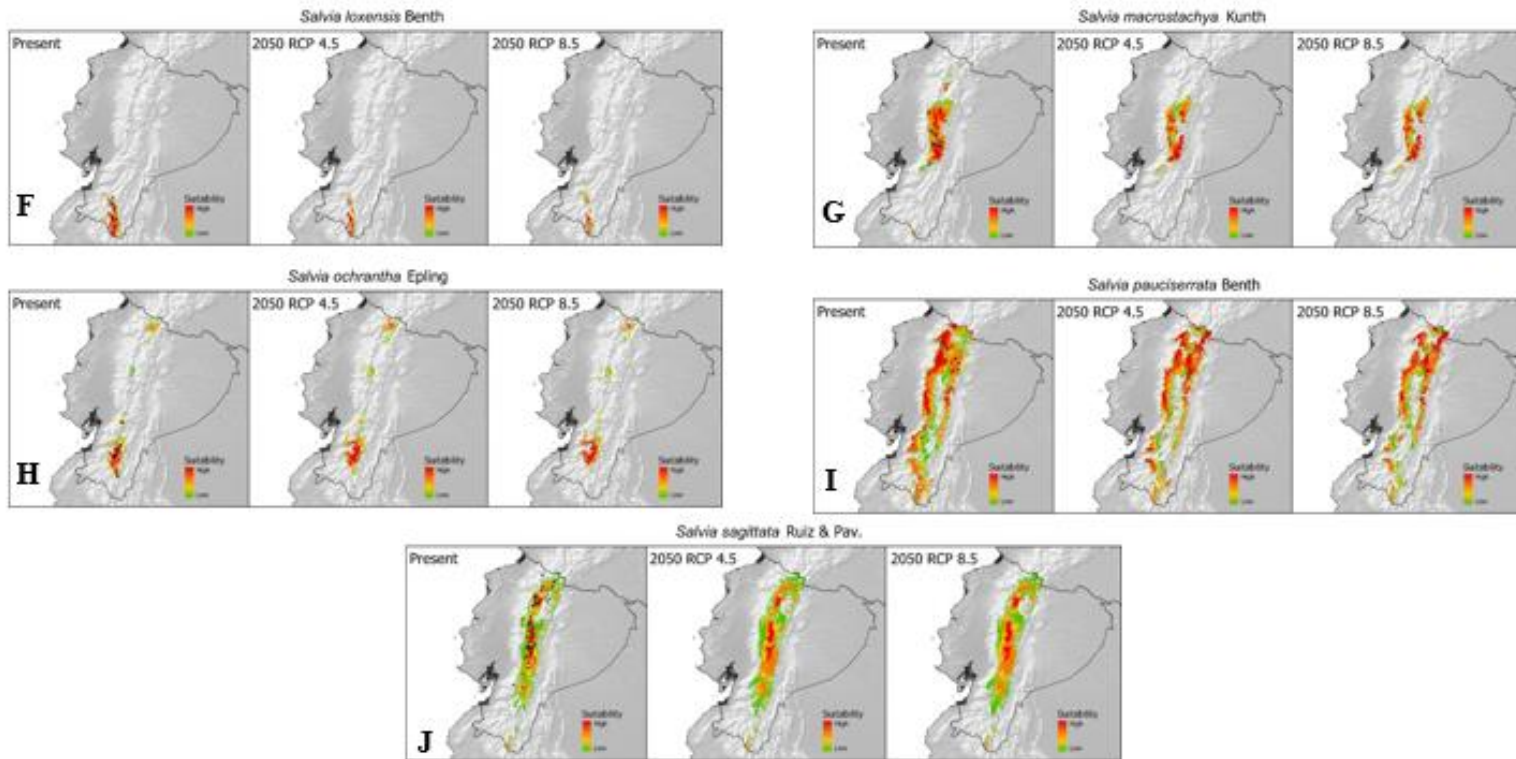
Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>),

Anexo 8. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador y reportadas en el presente estudio.

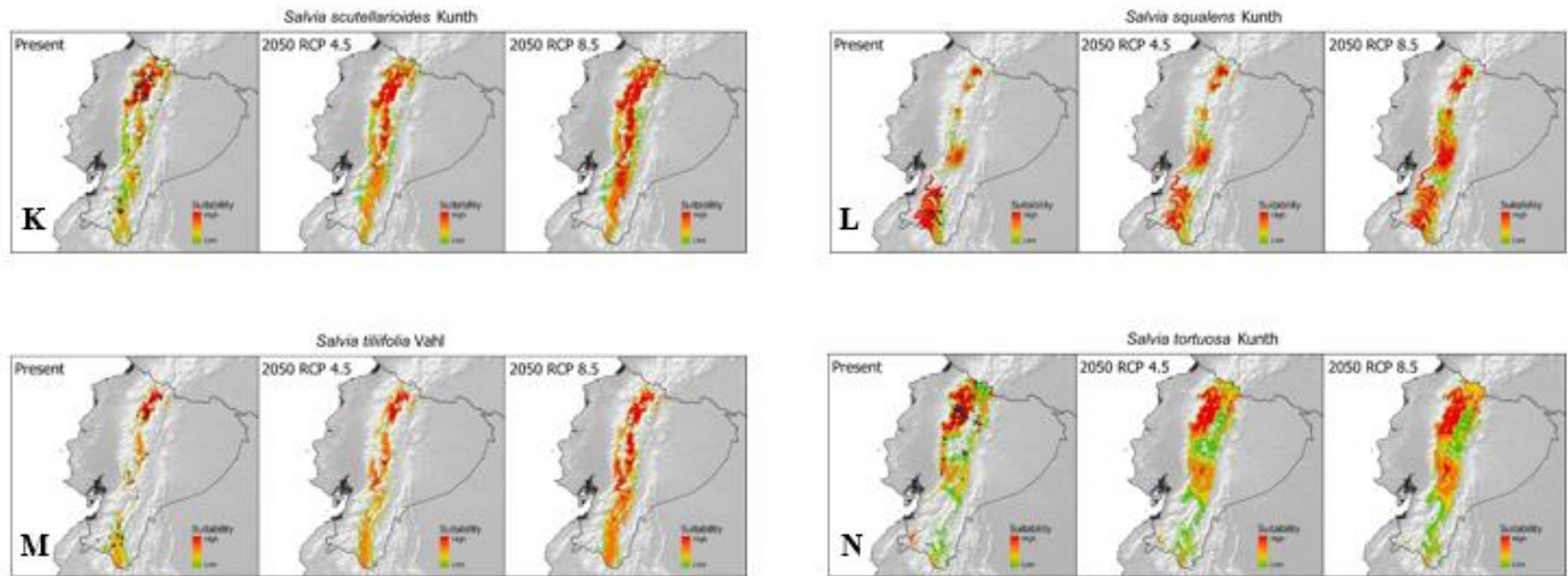
A. *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.



Continuación Anexo 8. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador y reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.



Continuación Anexo 8. Distribución potencial proyectada al 2050 de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador y reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.



Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

Fuente: Base de datos bioclimáticos de World Climate 1.4 (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>).

Anexo 9. Lista de especies de *Salvia* colectadas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.

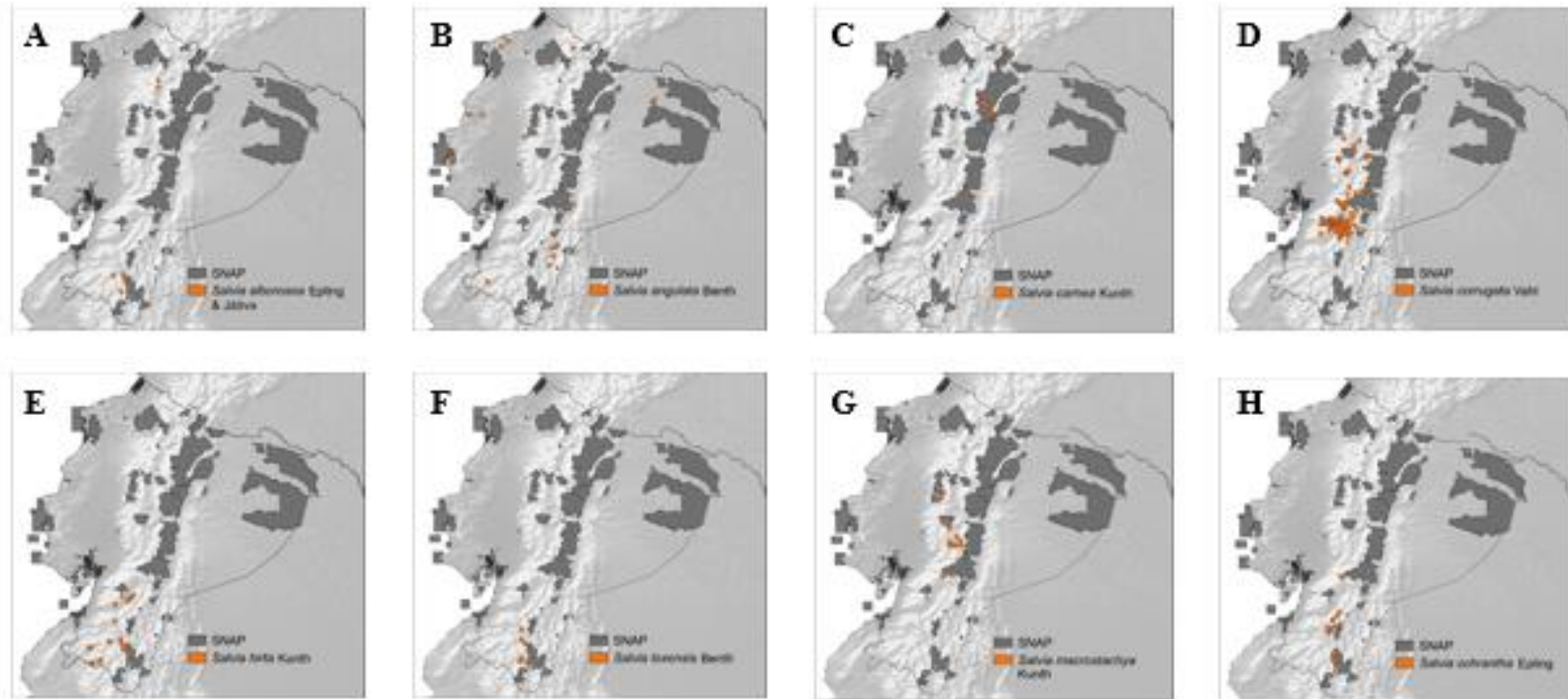
| Especie | Origen | Número de Áreas Protegidas | Número de registros | Área Protegida |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|
| <i>Salvia angulata</i> Benth. | Nativa | 1 | 2 | Machalilla (2) |
| <i>Salvia carnea</i> Kunth | Nativa | 3 | 5 | Antisana (2), Cayambe Coca (2), Sumaco Napo Galeras (1) |
| <i>Salvia corrugata</i> Vahl | Nativa | 4 | 16 | Cajas (8), Chimborazo (2), Quimsacocha (1), Sangay (5) |
| <i>Salvia hirta</i> Kunth | Nativa | 2 | 3 | Cajas (2), Podocarpus (1) |
| <i>Salvia hispanica</i> L. | Introducida | 1 | 4 | Pululahua (4) |
| <i>Salvia leucantha</i> Cav. | Introducida | 1 | 1 | Cotopaxi |
| <i>Salvia macrophylla</i> Benth | Amplia distribución | 1 | 1 | Los Ilinizas |
| <i>Salvia macrostachya</i> Kunth | Nativa | 2 | 3 | Chimborazo (2), Los Ilinizas (1) |
| <i>Salvia occidentalis</i> Sw. | Amplia distribución | 1 | 2 | Podocarpus |
| <i>Salvia ochrantha</i> Epling | Nativa | 1 | 3 | Podocarpus (3) |
| <i>Salvia pauciserrata</i> Benth. | Nativa | 4 | 6 | Antisana (1), Cayambe Coca (3), Los Ilinizas (1), Sumaco Napo Galeras (1) |
| <i>Salvia peregrina</i> Epling | Endémica (EN) | 1 | 1 | Podocarpus |
| <i>Salvia pichinchensis</i> Benth. | Endémica | 6 | 16 | Antisana (1), Cayambe Coca (6), Llanganates (2), Los Ilinizas (3), Podocarpus (3), Pululahua (1) |
| <i>Salvia quitensis</i> Benth. | Endémica (LC) | 3 | 7 | Cajas (5), Pululahua (1), Yacuri (1) |
| <i>Salvia sagittata</i> Ruiz & Pav. | Nativa | 2 | 4 | Cayambe Coca (2), Pululahua (2) |

| Especie | Origen | Número de Áreas Protegidas | Número de registros | Área Protegida |
|---------------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------|---|
| <i>Salvia scutellarioides</i> Kunth | Nativa | 4 | 11 | Cayambe Coca (2), Llanganates (1), Los Ilinizas (4), Pululahua (4) |
| <i>Salvia sigchosica</i> Fern. Alonso | Endémica | 1 | 5 | Los Ilinizas (5) |
| <i>Salvia tiliifolia</i> Vahl | Nativa | 2 | 2 | Podocarpus (1), Pululahua (1) |
| <i>Salvia tortuosa</i> Kunth | Nativa | 5 | 17 | Antisana (3), Cayambe Coca (5), Los Ilinizas (2), Pululahua (5), Sangay (2) |
| TOTAL | | | 109 | |

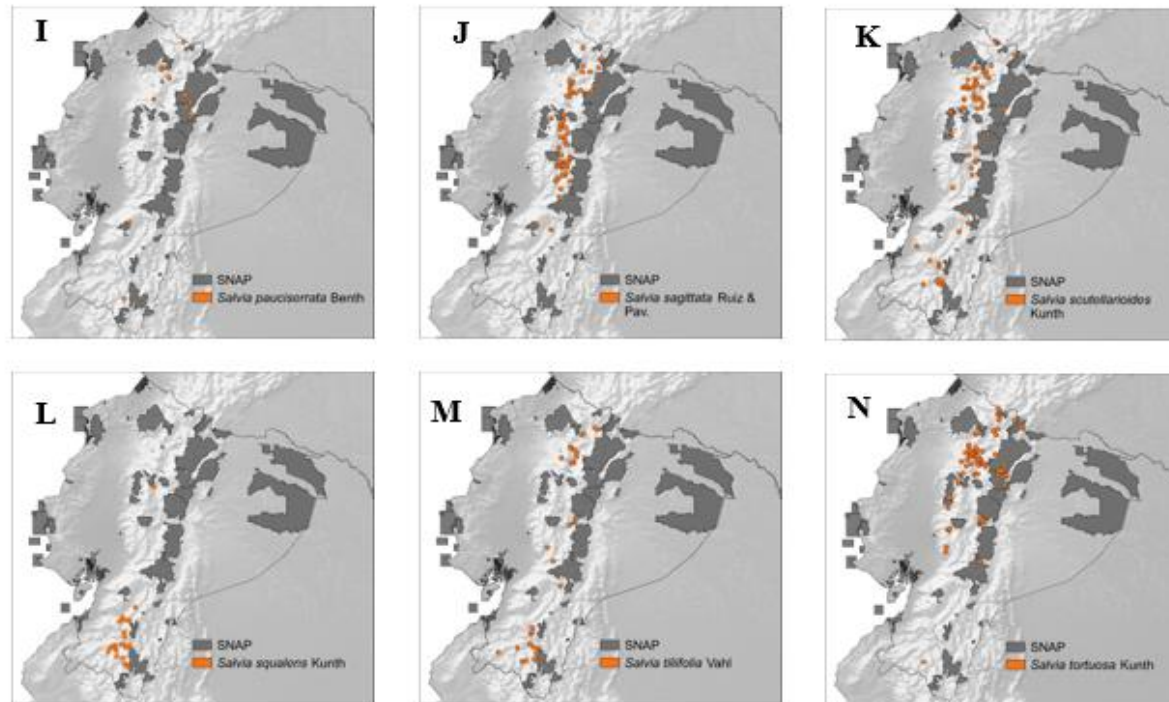
Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.

<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>.

Anexo 10. Estado de conservación de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.



Continuación Anexo 10. Estado de conservación de las especies de *Salvia* nativas para Ecuador reportadas en el presente estudio. **A.** *Salvia alborosea*, **B.** *Salvia angulata*, **C.** *Salvia carnea*, **D.** *Salvia corrugata*, **E.** *Salvia hirta*, **F.** *Salvia loxensis*, **G.** *Salvia macrostachya*, **H.** *Salvia ochrantha*, **I.** *Salvia pauciserrata*, **J.** *Salvia sagittata*, **K.** *Salvia scutellarioides*, **L.** *Salvia squalens*, **M.** *Salvia tiliifolia* y **N.** *Salvia tortuosa*.



Fuente: Base Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>). Bases de datos digitales herbarios: HA, LOJA y CHEP.
<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/mapa>.