





**Facultad de Ciencias  
Licenciatura en Ciencias Mención Biología o Química**

**“PATRONES DE MORFOLOGÍA  
FLORAL DE POBLACIONES DE  
*ECHINOPSIS CHILOENSIS*  
(*LEUCOSTELE CHILOENSIS*) EN  
UN GRADIENTE CLIMÁTICO”**

**Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ciencias  
Mención Biología**

**TAMARA TALIA BERNAL VILCHES**

**Director de Tesis: Carmen Gloria Ossa Barrientos**

**JULIO / 2022**





**Facultad de Ciencias  
Licenciatura en Ciencias Mención Biología o Química**

**“PATRONES DE MORFOLOGÍA  
FLORAL DE POBLACIONES DE  
*ECHINOPSIS CHILOENSIS*  
(*LEUCOSTELE CHILOENSIS*) EN  
UN GRADIENTE CLIMÁTICO”**

**Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ciencias  
Mención Biología**

**TAMARA TALIA BERNAL VILCHES**

**Director de Tesis: Carmen Gloria Ossa**

**JULIO, 2022**



Facultad de Ciencias

Licenciatura en Ciencias Mención Biología o Química

“Patrones de morfología floral de poblaciones de *Echinopsis chiloensis* (*Leucostele chiloensis*) en un gradiente climático”

Tamara Talia Bernal Vilches

Este trabajo se realizó bajo la supervisión de Carmen Gloria Ossa en el laboratorio de Ecología Evolutiva en Plantas Terrestres de la Universidad de Valparaíso y ha sido aprobado por los miembros de la Comisión:

Pamela Herrera  
Presidente Comisión

Maureen Murúa  
Profesor Informante

Mauricio Landaeta  
Profesor Informante

Carmen Gloria Ossa  
Director de Tesis

**Valparaíso, Chile  
2022**

## **DEDICATORIA/AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco profundamente a la profesora Carmen Gloria Ossa por el espacio y el conocimiento adquirido en estos meses. A mi amiga Daniela Paz Paz por el apoyo brindado. Y a mi queridísima madre, que sin su amor y cariño estos años de arduo estudio no serían lo mismo.

A todos mis maestros por el conocimiento que me aportaron. Y a todos los bellos *Echinopsis chiloensis* que me han acompañado en mi vida y han inspirado esta investigación.

## ÍNDICE/ ÍNDICE DE TABLAS

ABSTRACT / RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
HIPÓTESIS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
METODOLOGÍA	16
Estudio de la especie:	16
Recolección de las muestras:	16
Morfología floral:	18
Parámetros Climáticos:	19
Análisis estadísticos:	19
RESULTADOS	21
1.- Comparación morfológica en las poblaciones de Las Chinchillas y Coya, en diferentes años.	21
2.- Estadística descriptiva de los caracteres florales durante 2021	24
3.- Comparación morfológica de poblaciones del año 2021 mediante ANDEVA	26
4.- Correlación de Pearson	28
5.-Variación de la morfología floral en diferentes poblaciones para el 2021	28
6.-PCA (II) de las Variables Climáticas	30
7.- Variación morfológica con respecto al clima	31
DISCUSIÓN.	33
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	42

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Sitios de recolección de flores de <i>Echinopsis chiloensis</i> , con sus coordenadas, fecha de recolección, número de individuos muestreados y número de flores recolectadas.	17
<b>Tabla 2</b> Estadísticas descriptivas de parámetros florales (Media (SD) para las poblaciones de <i>E chiloensis</i> en los años 2005;2015.	23
<b>Tabla 3</b> Estadísticas descriptivas de caracteres florales (Media (SD) para nueve poblaciones de <i>E chiloensis</i> .	24
<b>Tabla 4</b> Distribución de la hercogamia en las poblaciones de <i>E.chiloensis</i> en diferentes años.	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> En el centro se observa la distribución de las poblaciones de <i>Echinopsis chiloensis</i> muestreadas en este estudio. La gráfica de la derecha muestra la temperatura media anual y la gráfica de la izquierda muestra la precipitación anual caída en cada una de las localidades (Ossa et al., 2021)	16
<b>Figura 2</b> Esquema de parámetros lineales florales estudiados	18
<b>Figura 3(a)</b> Anova de una vía de la variación del largo de la flor, las precipitaciones del cuartil más húmedo, entre los años 2005 (41 mm de precipitación) y 2021 (19,33 mm de precipitación) y, (b) variación del largo de la flor con respecto a la temperatura media del cuartil más caliente entre los años 2005(24,27°C ) y 2021(23,86°C) en la población de Las Chinchillas. $F_{(1,43)}=30,72$ , $p=0,0001$ .	22
<b>Figura 4(a)</b> Anova de una vía de la variación del largo de la flor (LF) y la diferencia de las precipitaciones del cuartil más húmedo, para los años 2015 (116,9 0mm) y 2021 (8 5mm) y (b) la temperatura media del cuartil más caliente entre los años 2015 (28,77°C) y 2021 (28,3°C) en la población de Coya. $F_{(1,62)}=70,65$ , $p=0,0001$ .	23
<b>Figura 5</b> Distribución de la hercogamia en diferentes poblaciones: 1=Quilitapia; 2=Los Rulos, 3= Las Chinchillas;4= Cabildo; 5=Putando; 6=Farellones; 7=Buin; 8=Coya.	26
<b>Figura 6</b> ANOVA de una vía para las 9 localidades muestreadas de <i>E.chiloensis</i> . a diferentes latitudes. Quilitapia (1), Los Rulos (2), Las Chinchillas (3), Cabildo (4), Putando (5), Caleu (6), Farellones (7), Buin (8), Coya (9) .	27
<b>Figura 7</b> Análisis de componentes principales (PCA) de nueve localidades muestreadas de <i>E.chiloensis</i> , Los cuadrados corresponden a poblaciones del sur (Caleu, Farellones, Buin, Coya) y los círculos a las poblaciones del norte(Quilitapia, Los Rulos, Las Chinchillas, Cabildo).	29
<b>Figura 8</b> PCA de variables climáticas. Poblaciones del norte=Círculos blancos (Quilitapia, Los Rulos, Las Chinchillas , Cabildo, Putando). Poblaciones del sur= cuadrados negros; (Caleu , Farellones , Buin, Coya)	30
<b>Figura 9</b> Relación del eje del componentes principal de la morfología (largo del estambre superior; largo del pistilo), con el componente principal del clima (precipitaciones), para las nueve localidades muestreadas de <i>E.chiloensis</i> , los círculos blancos corresponden a poblaciones del norte (Quilitapia(1), Rulos(2), Chinchillas(3), Cabildo(4), Putando(5) y los	

cuadrados negros a las poblaciones del sur (Caleu (6), Farellones (7), Buin(8), Coya(9),  $PC1 M = 0.0018683 + 0.0295856 * Normal[PC1 II]$   $F_{(1,278)}=85,1789$ . p-value<.0001. 31

**Figura 10** Relación del segundo eje principal en relación con el segundo componente climático. La línea roja es la mejor regresión lineal,  $PC2M = -0.000324 - 0.0103634 * Normal [PC1 II]$ ;  $F_{(1,278)}=23,5860$ , p-value <.0001\*. los cuadrados, Caleu (6), Farellones (7), Buin (8), Coya(9) , los círculos, Quilitapia (1), Los Rulos (2), Chinchillas(3), Cabildo (4) y Putaendo(5) 32

**Figura 11** Relación entre el primer componente principal de la en función del segundo componente climático. La línea es la mejor regresión lineal obtenida y con el componente.  $PC1 M = 0.0022442 + 0.01187 * Normal [PC2II]$ .  $F_{(1,278)}=9,6723$ , p<.00021\*. Los cuadrados, Caleu (6), Farellones (7), Buin (8), Coya (9), y los círculos, Quilitapia (1), Los Rulos (2), Chinchillas (3), Cabildo (4) y Putaendo (5) 32

## **ABREVIATURAS**

PCA: Análisis de componentes principales

## **ABSTRACT / RESUMEN**

Las Angiospermas presentan toda la diversidad de flores, entre y dentro de las especies, distintos estudios muestran que estas diferencias no sólo se asocian a la coevolución entre las plantas y sus polinizadores, sino también a las condiciones climáticas en que se desarrollan. El cactus columnar *Echinopsis chiloensis*, se distribuye en el mediterráneo chileno a lo largo de un gradiente de temperatura y precipitación, en el cual se ha evidenciado diferencias en la morfología y apertura floral, donde las poblaciones de la distribución norte presenta flores diurnas, con tubos florales más cortos, mientras que las poblaciones sureñas, presentan flores nocturnas con tubos florales más largos; esto a pesar de que el ensamble de polinizadores es generalista en toda la distribución, representado principalmente por dípteros e himenópteros, a los que se suman esfíngidos en las poblaciones sureñas. En el presente trabajo se estudiaron distintos caracteres morfológicos de flores de *E. chiloensis*, asociado a diferencias en los regímenes de temperatura y precipitaciones, en distintos años dentro de un periodo de sequía creciente, y a lo largo del gradiente climático latitudinal. Nuestros resultados evidenciaron que, en el norte de la distribución, todos los caracteres estudiados redujeron su tamaño a excepción del ancho del nectario, mientras que al sur de la distribución se observó una disminución en el tamaño floral, pero algunos verticilos sexuales y el ancho del nectario aumentaron su tamaño en el años. Estas diferencias en la respuesta a la sequía, suman evidencia a la propuesta para dos subespecies, una al norte de la distribución *E. chiloensis chiloensis* y otra al sur de la distribución *E. chiloensis australis*. A pesar de que pudiéramos estar frente a dos subespecies, los análisis en el gradiente latitudinal mostraron que en las poblaciones menos irrigadas las flores son más pequeñas, y sus caracteres sexuales más reducidos, sin embargo, los caracteres atractores, como largo de pétalo aumentan en tamaño, independientemente de la subespecie, lo que podría incidir directamente en el éxito reproductivo de la planta.

**Palabras clave:** Cactus, *Echinopsis chiloensis*, Morfología floral, variables climáticas, zona mediterránea.

## INTRODUCCIÓN

La diversidad de flores ha sido inspiración para diversas áreas del conocimiento a través de la historia de la humanidad. Así es como biólogos y botánicos han reflexionado sobre los procesos que impulsan la variación de la forma de las flores (Darwin, 1859; Lloyd and Barrett, 1996). Los polinizadores son una de las mayores fuerzas selectivas en la diversificación de las formas, colores, aromas y tamaños de flores (Van der Niet y D. Johnson, 2012) Si bien, los polinizadores generan gran variación en la diversidad morfológica de las flores, es posible asociar otras fuerzas selectivas a las variaciones morfológicas como la herbívora (Rusman et al., 2019; Hoffmeister et al., 2015), o las condiciones climáticas del entorno abiótico (Gratani 2014; Turchetto et al., 2014; Solís, 2010, Ellison et al., 2004).

Las plantas desarrollan numerosos mecanismos para responder a diversas presiones selectivas bióticas y ambientales, como gradientes de elevación o variaciones climáticas (Korner, 2007; Pescador et al., 2015; Gellesch et al., 2017; Lara-Romero et al., 2019; Hodgins y Barret, 2018; Miljkovic et al., 2019). Dentro de las variaciones climáticas los eventos de sequía se han vuelto cada vez más recurrentes en algunas regiones, como consecuencias del Cambio Climático (IPCC 2021; Espinoza y Meseguer-Ruiz, 2015), lo que hace importante entender las consecuencias que estos cambios tienen sobre la morfología floral, los que podrían incidir directamente en la interacción con los polinizadores y consecuentemente en la adecuación biológica de las plantas. Por ejemplo, se ha detectado que el tiempo de vida de las flores, disminuyen en condiciones de estrés hídrico, (Bull-Hereñu y Arroyo, 2009; Glennly et al., 2018), o de aumento de la temperatura (Koti et al., 2005; Shrestha et al., 2018), y/o de aumento en la radiación (Rozema et al., 1997), lo que reduce el tiempo de interacción con los polinizadores y por consiguiente la formación de semillas. Además, se ha observado que el aumento de la temperatura genera un desajuste fisiológico entre el encuentro de los polinizadores con la flor (Hegland et al., 2009; Bartolomeus et al., 2011).

Una de las variaciones más evidentes de la morfología floral es la disminución del tamaño floral en las poblaciones con condiciones más áridas dentro de una misma especie (López et al., 2015, Carroll et al., 2001), lo que en algunos casos está acompañado con una disminución en la producción de néctar (Hodgins y Barret 2008; Glennly et al., 2018, Halpern et al., 2010), por ejemplo, la especie autoincompatible *Sinosis arvensis* disminuye todos sus caracteres morfológicos, a excepción del ancho del nectario y en largo de estambres en condiciones de sequía (Kuppler et al., 2021; Galen, 2000).

Las cactáceas son plantas con múltiples modificaciones a climas áridos y semiáridos. Dentro de esta gran familia se encuentran los cactus columnares, los cuales son las plantas más conspicuas de las zonas áridas y semiáridas de América (Mandujano et al., 2010; Ossa y Medel, 2011; Ortega-Baes, 2010; Nassar, 2005; Schlumpberger, 2005), donde la mayoría presenta flores tubulares, actinomorfas y autoincompatibles, por lo que dependen de polinizadores para su reproducción. Esta dependencia se traduce en presiones selectivas sobre la morfología floral, mediadas por los polarizadores (Espíndola y Pliscoff, 2018; Weber y Espíndola, 2020; Niet y Johnson, 2012), por lo que, se espera un fuerte acoplamiento entre los rasgos florales con la morfología de polinizadores, lo que ha sido efectivamente registrado en cactus columnares polinizados por murciélagos, como por ejemplo las especies *Stenocereus griseus*, *Pilosocereus moritzianus*, *Pilosocereus lanuginosus*, *Subpilocereus repandus*, y *Subpilocereus horrispinus* (Nassar et al., 1997; Gutiérrez-Flores et al., 2017; Valiente-Banuet et al., 2009; Shulumpberger y Raguso, 2008). Sin embargo, solo el 16% de las cactáceas son especialistas, generalmente murciélago o ave (Altamirano datos no publicados), la mayor parte son generalistas, con ensambles de polinizadores compuestos principalmente por abejas, avispas, esfíngidos, murciélagos, colibríes y aves (Nassar 2005, Schlumpberger y Badano 2005; Schlumpberger et al. 2008; Ortega-Baes et al. 2010), o subconjuntos de estas, lo que relaja los efectos de las presiones selectivas de los polinizadores sobre la morfología floral.

Las cactáceas con ensambles de polinizadores generalistas podrían ocupar territorios más amplios y menos estables (Pliscoff y Espíndola, 2018), con respecto a plantas más especialistas, así, su distribución sería restringida sólo por factores fisiológicos, ambientales o geográficos (Weber et al., 2020). Por ejemplo, el cactus *Pachycereus pringlei*, tiene una amplia distribución desde 33° N hasta 23°N, en la cual es polinizado, preferentemente, por el murciélago *Leptonycteris yerbabuena*, pero mantienen sus flores abiertas durante la mañana, permitiendo la polinización diurna por aves y abejas (Gutiérrez-Flores et al., 2017).

El síndrome de polinización generalista ha sido registrado también en especies del género *Echinopsis* del noroeste de Argentina y Chile (Ortega et al., 2010; Pedano y Ortega, 2012; Ortega y Gorostiague, 2013; Walter, 2010; Ossa y Mendel, 2011; Lemaitre et al., 2014, Shulumpberger y Raguso, 2008; Badano y Schlumpberger, 2008), donde se han detectado variaciones interespecíficas de la morfología floral en algunas especies. Por ejemplo, *Echinopsis ancistrophora* presenta grandes variaciones en antesis, morfología, color y compuestos aromáticos de sus flores en su distribución, producto principalmente de la

variación en los ensambles de polinizadores (Schlumpberger y Raguso, 2008), sin embargo, no se ha evaluado el efecto del ambiente en la conformación de los distintos morfos florales.

*Echinopsis chiloensis* es un cactus columnar endémico de Chile, que se distribuye en un gradiente climático de temperatura y humedad desde Vicuña (29°S) a Talca (35°S). Sus flores son hermafroditas autoincompatibles (Ossa y Medel, 2011). Se han registrado variaciones en los tiempos de antesis y en el ensamble de polinizadores en los dos grupos genéticos descritos por Ossa et al., (2019), donde el grupo norte presenta flores diurnas, con un ensamble de polinizadores compuesto principalmente moscas y abejas, (Ossa y Medel, 2011), mientras que en el grupo sur, presenta flores nocturnas polinizadas principalmente por abejas y moscas, durante la madrugada, y por esfíngidos durante la noche (Lemaitre et al., 2014; Walter 2010).

La zona de distribución de *E. chiloensis* ha estado sometida a una prolongada mega sequía, la que comenzó en 1998 y continúa hasta nuestros días (Paredes-Trejo et al., 2018), lo que ha provocado una disminución en las precipitaciones a lo largo de toda su distribución (Quintana y Aceituno 2012; Rodríguez y Sheyla 2018). Bajo este contexto queremos analizar cómo ha variado la morfología floral de *E. chiloensis* entre diferentes años durante este periodo, y a lo largo del gradiente climático asociado a su distribución.

## **HIPÓTESIS**

Dado que las flores disminuyen su tamaño en condiciones de sequía, se espera que las poblaciones de *Echinopsis chiloensis* que experimentan mayor aridez, presentan caracteres florales más reducidos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar los patrones de variación morfológica floral de *Echinopsis chilensis* y su relación con cambios en temperatura y precipitación en un gradiente climático en Chile

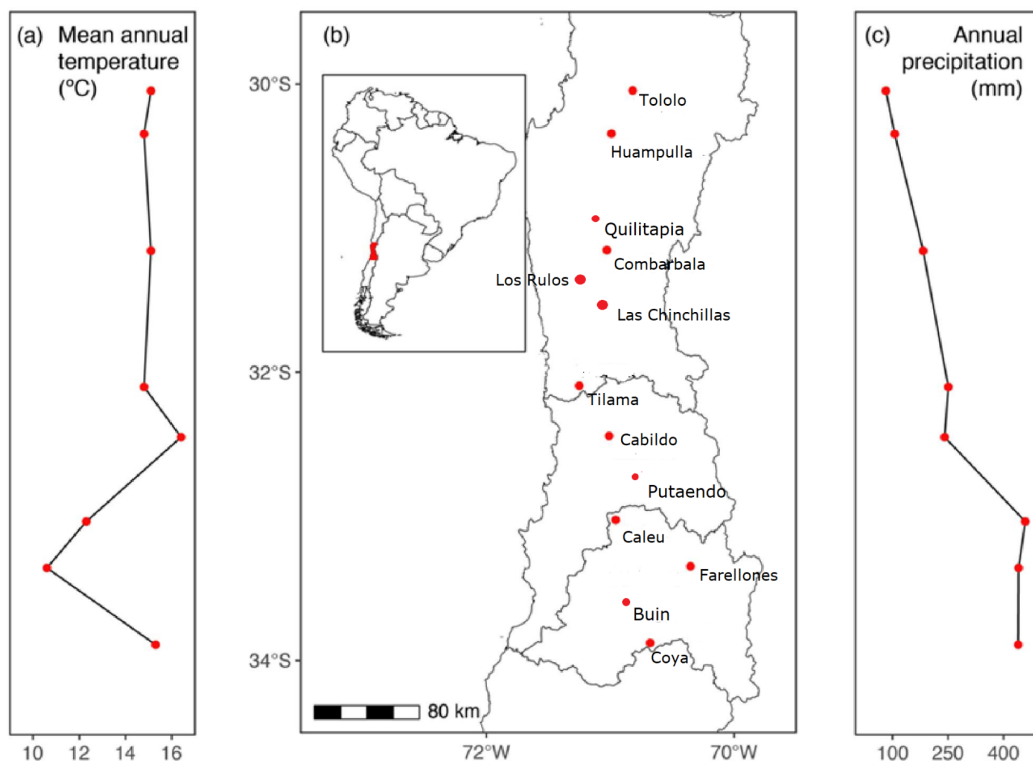
## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Evaluar variaciones en la morfología floral durante diferentes años en dos sitios.
- 2) Analizar la relación de morfología de flores de *Echinopsis chiloensis* y variables climáticas.

## METODOLOGÍA

### Estudio de la especie:

*Echinopsis chiloensis* (Friedrich y Rowley, 1974) es un cactus columnar, endémico de Chile, posee flores robustas, tubulares, blancas y actinomorfas. Su floración ocurre entre septiembre y diciembre. Se distribuye entre las latitudes 30°S hasta 34°S, creciendo en la depresión intermedia entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes, en un gradiente de temperatura y precipitaciones (Figura 1)



**Figura 1** En el centro se observa la distribución de las poblaciones de *Echinopsis chiloensis* muestreadas en este estudio. La gráfica de la derecha muestra la temperatura media anual y la gráfica de la izquierda muestra la precipitación anual caída en cada una de las localidades (Ossa et al., 2021).

### Recolección de las muestras:

La recolección de flores se realizó entre septiembre y diciembre de 2021, se visitaron 13 localidades de las cuales sólo nueve presentaron flores, en cada una de estas localidades

se recolectaron alrededor de 35 flores adultas, de diferentes individuos, por una separación de aproximadamente 2 a 3 metros (Figura 1, Tabla 1), las que fueron preservadas en etanol 70%, para su posterior medición en laboratorio.

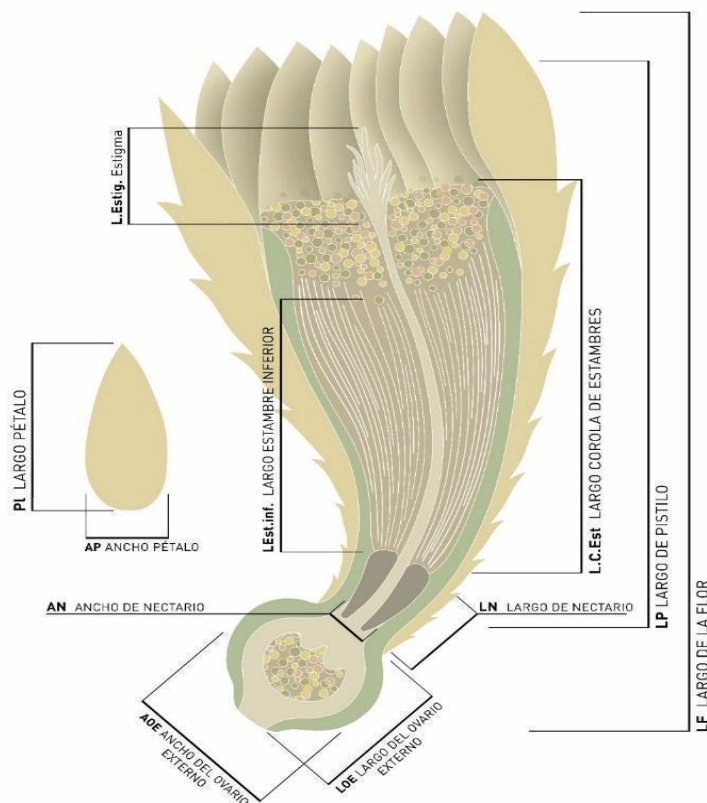
Para evaluar las diferencias en la morfología floral asociadas a variaciones climáticas dentro de una localidad, se comparó la morfología de flores recolectadas y almacenadas en las localidades de Las Chinchillas en 2005, y de Coya en 2015, con las recolectadas en 2021. Lamentablemente no fue posible recolectar flores de las localidades de Vicuña, Huampulla, Combarbalá y Tilama, en 2021, debido a que las poblaciones estaban severamente afectadas por la sequía y no se produjeron flores.

**Tabla 1:** Sitios de recolección de flores de *Echinopsis chiloensis*, con sus coordenadas, fecha de recolección, número de individuos muestreados y número de flores recolectadas.

<b>Localidad</b>	<b>N° de muestras</b>	<b>N° de individuos</b>	<b>Latitud(S)</b>	<b>Longitud (O)</b>	<b>Fecha de muestreo</b>
Vicuña(IV)	1	1	29°59'	70°35'	25/10/2021
Huampulla(IV)	0	0	30° 19'	70° 44'	15/10/2021
Quilitapia(IV)	28	13	31°7'	71°09'	18/10/2021
Los Rulos (IV)	28	14	31°18'	71°13'	18/10/2021
Las Chinchillas (IV)	31	13	31°30'	71°05'	18/10/2021
Cabildo(V)	33	26	32°26'	71°1'	26/10/2021
Putando (V)	33	16	32°36'	70°42'	6/10/2021
Caleu (V)	30	30	33°0'	70°59'	26/11/2021
Farellones (RM)	32	32	33°20'	70°21'	20/10/2021
Buin (VI)	30	14	33°41'	70°43'	30/10/21
Coya (VI)	37	29	34°16'	70°35'	31/10/21

## Morfología floral:

A las flores recolectadas se les realizó un corte transversal, para posteriormente fotografiarlas con una cámara Canon 3it. Las fotos fueron clasificadas y analizadas utilizando el software Image J (Schneider et al., 2012), se midió la morfología lineal de rasgos vegetativos y sexuales de las flores (Fig.2). Entre los rasgos sexuales primarios se midió en el gineceo: (1) el largo y (2) ancho interno del ovario; (3) el largo y (4) ancho externo del ovario, (5) largo del pistilo y (6) largo de estigma. En el androceo se midió: (7) largo de estambre (desde la base del pistilo), (8) largo de corona de estambres; (9) largo de estambre superior, (10) largo de estambre inferior. Entre los rasgos sexuales secundarios se midió (11) largo de la flor, (12) largo de pétalo, (13) largo del nectario y (14) ancho del nectario. Además, se evaluó la hercogamia en las distintas poblaciones estudiadas



*Figura 2* Esquema de parámetros lineales florales estudiados.

### **Parámetros Climáticos:**

Para cada población estudiada, se obtuvieron distintas variables climáticas, disponibles en Climate Engine, desde donde se utilizó el conjunto de datos TerraClimate, que presenta una resolución de 4.000 m<sup>2</sup>, (<https://app.climateengine.com/climateEngine>), desde ésta plataforma obtuvimos los datos de temperatura máxima (T° máx), temperatura mínima (T°min) y Precipitaciones mensuales para los años entre 2005 hasta 2021. Por otro lado, La temperatura media mensual, y el rango de temperaturas diurnas, se obtuvieron a través de Google Earth, con el interfaz de CRU TS Versión 4.04, desde el 2005 hasta 2019, con una resolución de 0.5 x 0.5 segundos (Harris et al. 2020) (Harris, I., Osborn, TJ, Jones, P. y Lister, DH Versión 4 del conjunto de datos climáticos multivariados cuadrículados de alta resolución mensual de CRU TS (<https://rdcu.be/b3nUI>, 2020) (*Datos científicos* 7, 109 (2020). <https://rdcu.be/b3nUI>).

### **Análisis estadísticos:**

Se realizó un análisis descriptivo de las variables morfológicas, determinando promedios y desviaciones estándar (SD) de cada carácter estudiado usando Excel (Microsoft Excel 2007). Además, se evaluó la hercogamia en cada una de las poblaciones, para lo cual se restó el largo de pistilo con el "largo de estambres", que se midió desde la base del gineceo hasta la última línea de estambres, con los datos obtenidos se generó un histograma que nos permite evidenciar las diferencias dentro y entre poblaciones.

Posteriormente se estandarizaron los datos por el largo de la flor para permitir la comparación entre sitios y años. Se probó la normalidad de los datos morfológicos usando la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, los parámetros que resultaron normales se transformaron usando  $(\log(x)+1)$ .

Para comparar los caracteres morfológicos de las flores de las poblaciones de Las Chinchillas entre los años 2005 y 2021, y de Coya entre los años 2015 y 2021, con las variables climáticas de temperatura y precipitación, se realizó una prueba de ANDEVA de una vía.

Con el fin de evaluar las diferencias en los largos florales a lo largo del gradiente climático se realizó una ANDEVA de una vía, con un 95% de intervalos de confianza, para evaluar qué poblaciones son diferentes entre sí, se realizó una prueba *a posteriori* de

Tukey-Kramer.

Para evaluar si los verticilos florales varían a lo largo del gradiente climático, primero se realizó un análisis de correlación de Pearson, en el caso de que las variables estuvieran correlacionadas con un coeficiente de correlación  $r > |0.7|$ , con el fin de excluir las variables morfológicas correlacionadas entre sí. Posteriormente se realizó un análisis de Componentes Principales (PCA I), usando el software JMP. pro. 14.00 (López et al., 2015), el que nos permitió identificar las variables morfológicas que varían entre poblaciones.

Dado que *Echinopsis chiloensis* se distribuye en zona mediterránea de Chile Central, se consideró dentro de las variables climáticas a evaluar, la estacionalidad, la temperatura y la precipitación de los cuartiles más secos (verano) y más húmedos (invierno) calculando la: T1°=temperatura media anual; T2°=temperatura máxima del periodo más caluroso; T3°= mínima del periodo más frío; T4°= rango de la T° anual (diferencia entre la T° mín y T máx anual); T5°= media del cuartil más caluroso, T6°= media del cuartil más frío; ppt1 =precipitación anual promedio; ppt2=precipitación del mes más húmedo; ppt3=precipitaciones del mes más seco; ppt4= precipitación de invierno; ppt5= precipitaciones del cuartil más húmedo. ppt6= precipitaciones del cuartil más seco. Se realizó una correlación de Pearson para detectar las variables climáticas altamente correlacionadas ( $r > |0.7|$ ).

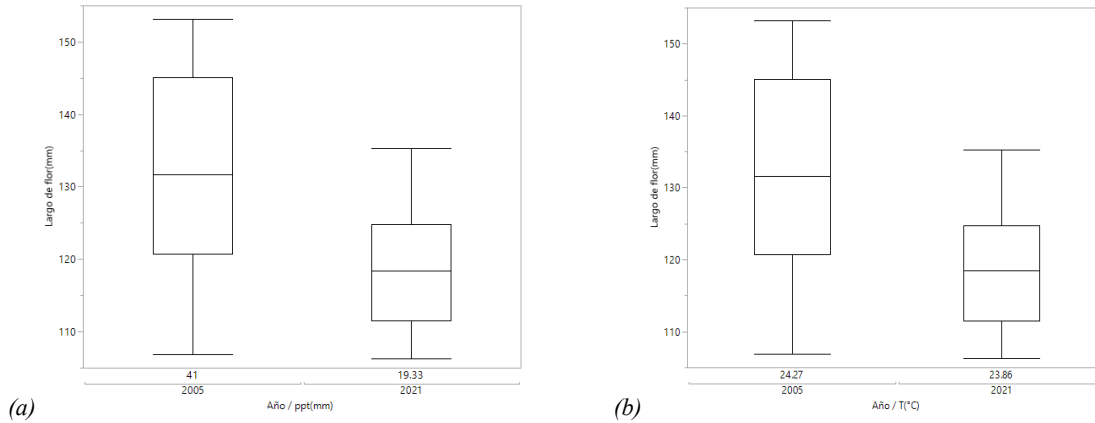
Para correlacionar las variables climáticas con los parámetros morfológicos y la variación de la distribución latitudinal de cada población, se realizó un Análisis de Componentes Principales PCA (II) para variables climáticas, lo que nos permitió detectar las variables que mejor explican las diferencias de precipitación y temperatura entre los sitios. Posteriormente utilizando los ejes del PCA morfológico PCA (I), se correlacionaron los componentes principales PC1 y PC2 de la morfología PCA (I) con los componentes principales PC1 y PC2 de las variables climáticas PCA (II) a través de una correlación no paramétrica de Spearman (López et al. 2015).

Con el fin de evaluar cómo se correlacionan PC1 y PC2 de la morfología y las variables climáticas de temperatura y precipitación, se realizó una regresión lineal usando el programa JMP ver 14.000 (Pro 64.bits), previa normalización de los Componentes Principales.

## RESULTADOS

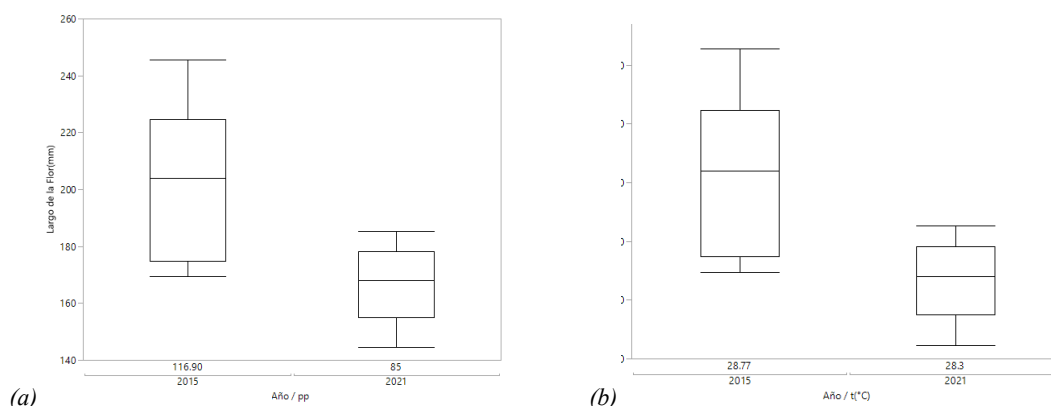
### 1-. Comparación morfológica en las poblaciones de Las Chinchillas y Coya, en diferentes años.

En las localidades estudiadas se observó una diferencia significativa de las precipitaciones (anexo 1). En las Chinchillas entre los años 2005 y 2021, la precipitación disminuyó en 21,67mm ( $|t| < 0,0001$ ) y la temperatura en 0,41°C ( $|t| < 0,0001$ ). Por su parte, en Coya entre los años 2015 y 2021, las precipitaciones descendieron en 31,90mm ( $|t| < 0,0001$ ) y la temperatura en 0,47°C ( $|t| < 0,0001$ ) (anexo 1). Un análisis descriptivo mostró que la mayoría de los caracteres estudiados variaron entre años con respecto a precipitaciones de invierno y de la temperatura de verano (fig. 3 y 4). La población de Las Chinchillas (31°30'S) presentó un promedio de largo de flor de 139,56 mm, (SD=14,3), en el año 2005, y de 118,34 mm (SD=8,3) en 2021 (fig. 3). Un análisis de varianza de una vía evidenció que el largo de las flores fue significativamente menor en 2021 ( $F_{1,43}=30,72$ ,  $p < .0001$ ), disminuyendo aproximadamente 21 mm. Otros caracteres florales disminuyeron significativamente su longitud. El pistilo disminuyó su longitud de 90,38 mm (SD=11,09), en 2005 a 65,31 mm (SD= 13,50) en 2021 ( $F_{1,43}=23,69$ ;  $p < .0001$ ), reduciéndose su largo 25,07 mm. Por otro lado, el estambre inferior redujo su largo en 0,72 mm ( $F_{1,43}=8,86$ ,  $p < 0,0001$ ), de 37,09 mm (SD=3,65) en 2005 a 36,37 mm (SD=3,35) en 2021. Además, se evidenció que los valores de hercogamia resultaron ser más negativos ( $F_{1,43}=55,07$ ,  $p < 0,0001$ ), durante 2021. Por el contrario, el carácter ancho de nectario aumentó de 1,6 mm ( $F_{1,43}=20,36$ ,  $p < 0,0001$ ) en 2021 (6,167 mm, SD=1,53) con respecto a 2005 (4,52 mm, SD=12,3). Los otros caracteres morfológicos estudiados no variaron significativamente entre años (anexo 2). Los parámetros climáticos que pudieran estar dando cuenta de estas variaciones la disminución del promedio de las temperaturas del trimestre más caluroso (diciembre, enero, febrero), que varió desde 24,27°C (SD= ,51) en 2005 a 23,86°C (SD= 0,25) en 2021, y principalmente las precipitaciones que disminuyeron considerablemente en el trimestre más húmedo, desde 41mm (SD= 22,72) en 2005 a 19,33 mm (SD= 4,41) en 2021 (Figura 3, Tabla 2).



**Figura 3** (a) Andeva de una vía de la variación del largo de la flor; las precipitaciones del cuartil más húmedo, entre los años 2005 (41 mm de precipitación) y 2021 (19,33 mm de precipitación) y, (b) variación del largo de la flor con respecto a la temperatura media del cuartil más caliente entre los años 2005(24,27°C) y 2021(23,86°C) en la población de Las Chinchillas.  $F_{(1,43)} = 30,72$ ,  $p = 0,0001$ .

La población de Coya (34°16'S), por su parte, presentó un promedio anual de la precipitación de invierno de 116,90 mm (SD= 65,15) en 2015, y de 85.00 mm (SD= 52,71) en 2021, con una reducción en las precipitaciones de 31,9mm, y una disminución en 0,47°C, en la temperatura media del cuartil más cálido, varió desde 28,77°C (SD= 1,97) en 2015 a 28,3 °C (SD= 1,11) en 2021 (anexo 1). Una Andeva de una vía, evidencio que solo algunos caracteres variaron entre años (anexo 2). El largo de la flor, disminuyó de 197,63 mm (SD=28,69) en 2015 a 166,3 mm (SD=11,89) en 2021, ( $F_{1,62} = 70,65$ ;  $p < 0,0001$ ), con una reducción de 31,4 mm (fig. 4, Tabla 2). Otros caracteres morfológicos aumentaron sus dimensiones significativamente, como el largo del pistilo que aumentó desde 102,5 mm (SD=11,09) en 2015, a 113,97 mm (SD=11,32) en 2021, ( $F_{1,62} = 7,78$   $p < 0,007^*$ ), el ancho exterior de ovario ( $F_{1,62} = 7,92$ ,  $p < 0,0065^*$ ) varió desde un promedio 17,92 mm (SD=2,42), en 2015 a 20,32 mm (SD=2,42) en 2021, mientras que el ancho del ovario interno aumentó desde 10,71 mm (SD=1,38) en 2015 a 9,19 mm (SD=1,41) en 2021, ( $F_{1,62} = 5,17$   $p < 0,0264^*$ ), también aumentó el largo del estambre superior de 100,43 mm (SD=19,3) en 2015 a 109,8 mm (SD=7,75) en 2021 ( $F_{1,61} = 4,61$ ,  $p < 0,0357^*$ ). Por otro lado el nectario se ensanchó significativamente desde 5,44 mm (SD= 0,81) en 2015 a 7,81 mm (SD= 0,79) en 2021 ( $F_{1,62} = 16,94$ ,  $p < 0,0001$ ) y su profundidad disminuyó de 17,31 mm (SD=0,22) a 16,89 mm (SD=3,43) (anexo 2, Tabla 2).



**Figura 4** (a) Andeava de una vía de la variación del largo de la flor (LF), y la diferencia de las precipitaciones del cuartil más húmedo, para los años 2015 (116,9 0mm) y 2021(8 5mm) y (b) la temperatura media del cuartil más caliente entre los años 2015(28,77°C) y 2021(28,3°C) en la población de Coya.  $F(1,62) = 70,65, p = 0,0001$ .

**Tabla 2** Estadísticas descriptivas de parámetros florales (Media (SD)) para las poblaciones de *E. chilensis* en los años 2005;2015.

Población		LF	PI	Ap	Lstg	LPis	Lc Est	Est inf	Est sup	LextOv	AextOv	LintOv	AintOv	LN	AN
Las Chinchillas (2005) N=19	Ī	131,75	53,96	-	-	90,38	76,26	37,09	74,68	18,93	18,12	9,57	8,20	0,73	4,52
	DE	14,3	7,88	-	-	11,09	10,04	3,65	8,36	1,69	2,20	1,92	1,48	2,56	12,3
Coya (2015)	Ī	197,63	54,00	-	-	102,55	100,43	45,51	100,43	16,88	17,92	7,29	9,19	17,31	5,44
N=30	DE	28,69	14,31	-	-	0,78	0,84	0,84	19,73	3,71	2,75	2,61	1,41	0,22	0,81

**Descripción:** LF: Largo de flor; PI: Largo de Pétalo; AP: Ancho de pétalo; L.stgm: Largo del estigma; LP: Largo Pistilo; LcEst: Largo de corola de estambres; Estinf: Estambre inferior; Estsup: Estambre superior; LextOv: Largo de ovario externo; AextOv: Ancho de ovario externo; LintOv: Largo interno de ovario; AintOv: Ancho interno de ovario; LN: Largo nectario; AN: Ancho de nectario.

## 2-. Estadística descriptiva de los caracteres florales durante 2021

El análisis descriptivo de la morfología mostró que las flores del norte de la distribución son más pequeñas, que las más australes. Por ejemplo, las flores de Las Chinchillas miden en promedio 117,7 mm (SD=8,30), mientras las flores de Coya miden 166,0 mm, (SD=11,8). No sólo las flores son más largas en Coya, sino que también el pistilo presenta una mayor longitud en la población de Coya (113,97 mm; SD=11,32) con respecto a Las Chinchillas (65,31 mm; SD= 13,53), aún cuando sus ovarios son más cortos (7,7 mm; SD=2,19) que los de las flores presentes en Las Chinchillas (8,9mm; SD=2,28) (Tabla 3).

Por otro lado, todas las poblaciones estudiadas de *E. chilensis* mostraron algún grado de hercogamia (Figura 5, Tabla 4).

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de caracteres florales (Media (SD)) para nueve poblaciones de *E. chilensis*.

Poblaciones	Quilitapia	N=29	Los Rulos	N=26	Las Chinchillas	N=30	Cabildo	N=30
	̄	DE	̄	DE	̄	DE	̄	DE
LF	127,90	12,87	120,81	13,22	117,70	8,30	128,80	10,80
PI	44,48	9,04	43,75	8,10	47,18	6,56	54,56	5,96
Ap	14,59	3,68	14,62	2,16	14,38	1,60	15,56	1,84
L stig	13,08	4,54	11,82	1,93	11,07	2,57	13,57	1,90
LPis	76,18	10,03	75,95	6,57	65,31	13,50	86,80	7,44
Lc Est	70,05	10,82	66,93	6,35	64,54	8,29	70,12	7,76
Est inf	34,22	6,74	35,76	3,32	36,37	4,14	39,42	5,40
Est sup	71,74	12,02	68,03	5,76	66,46	8,00	72,05	8,47
LextOV	20,09	4,44	18,64	2,97	16,86	2,60	17,66	2,11
AexOv	18,19	3,13	18,46	2,73	15,49	1,48	16,09	1,66
LintOv	8,98	2,28	8,89	1,72	8,26	1,88	7,95	1,27
AintOv	8,34	2,18	9,44	1,58	7,37	1,55	7,84	1,14
LN	12,66	2,36	12,77	2,73	11,69	2,43	11,26	2,59
AN	5,14	1,29	6,16	1,53	6,17	1,53	6,41	0,93

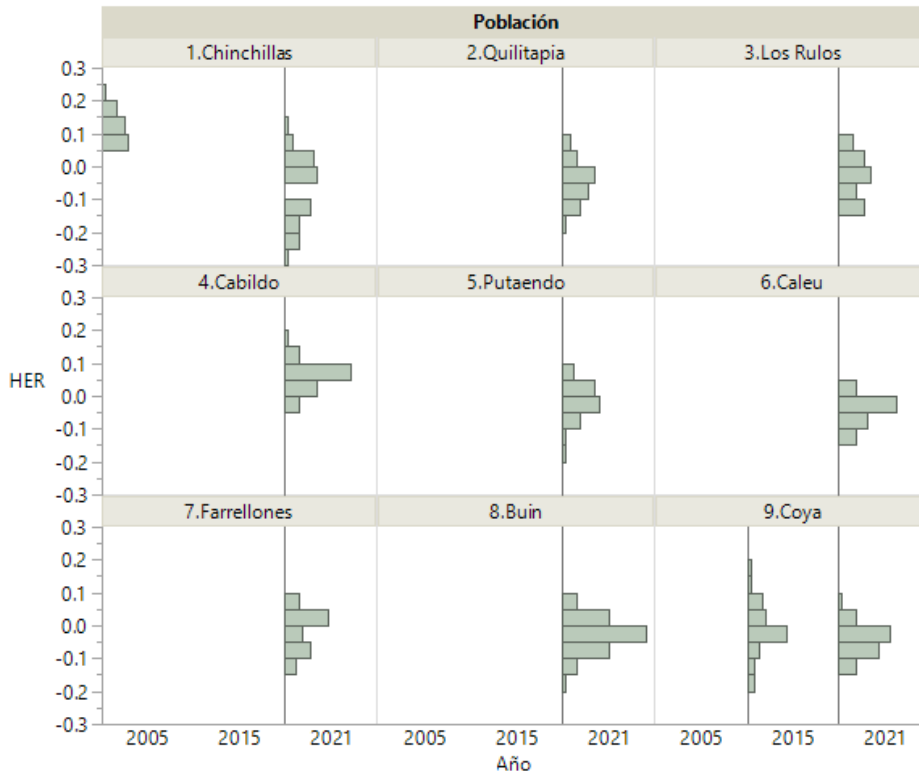
Poblaciones	Putand o	N=30	Caleu	N=29	Farellone s	N=30	Buin	N=300	Coya	N=37
	̄	DE	̄	DE	̄	DE	̄	DE	̄	DE

<b>LF</b>	146,36	10,53	155,67	8,59	161,61	8,86	162,86	13,05	166,23	11,89
<b>PI</b>	52,08	6,84	58,47	5,33	58,24	6,19	59,10	6,12	56,94	5,99
<b>Ap</b>	14,51	2,79	19,53	2,45	19,98	2,61	18,93	2,37	16,58	2,53
<b>L stig</b>	13,16	3,64	17,96	3,26	15,34	2,27	14,72	2,63	17,19	2,52
<b>LPis</b>	94,86	7,21	102,43	6,75	111,06	7,50	114,57	10,64	113,97	11,32
<b>Lc Est</b>	86,67	8,85	98,66	7,35	106,06	9,24	106,12	9,06	107,96	7,36
<b>Est inf</b>	41,56	5,22	43,84	5,65	49,43	6,51	47,88	6,14	51,13	7,36
<b>Est sup</b>	87,33	8,64	100,36	7,30	106,32	7,89	107,29	9,62	109,82	7,75
<b>LextOv</b>	16,75	2,74	18,70	2,56	17,84	2,56	17,34	2,46	18,84	3,57
<b>AexOv</b>	18,40	1,44	19,94	1,76	20,85	1,94	18,33	1,93	20,32	2,42
<b>LintOv</b>	7,35	1,72	8,31	1,89	7,19	1,75	8,10	1,73	7,75	2,15
<b>AintOv</b>	8,93	1,12	9,93	1,46	10,27	1,46	9,21	1,55	10,71	1,38
<b>LN</b>	11,73	2,34	12,74	2,69	13,03	2,93	16,03	3,91	16,89	3,43
<b>AN</b>	6,18	0,94	6,91	1,21	7,18	1,52	6,26	0,79	7,81	1,26

Descripción: LF:Largo de flor; PI: Largo de Pétalo; AP: Ancho de pétalo; L.stgm:Largo del estigma; LP: Largo Pistilo; LcEst: Largo de corola de estambres; Estinf: Estambre inferior; Estsup: Estambre superior; LextOv: Largo de ovario externo; AextOv: Ancho de ovario externo; LintOv: Largo interno de ovario; AintOv: Ancho interno de ovario; LN: Largo nectario; AN: Ancho de nectario.

**Tabla 4** Distribución de la hercogamia en las poblaciones de *E.chiloensis* en diferentes años.

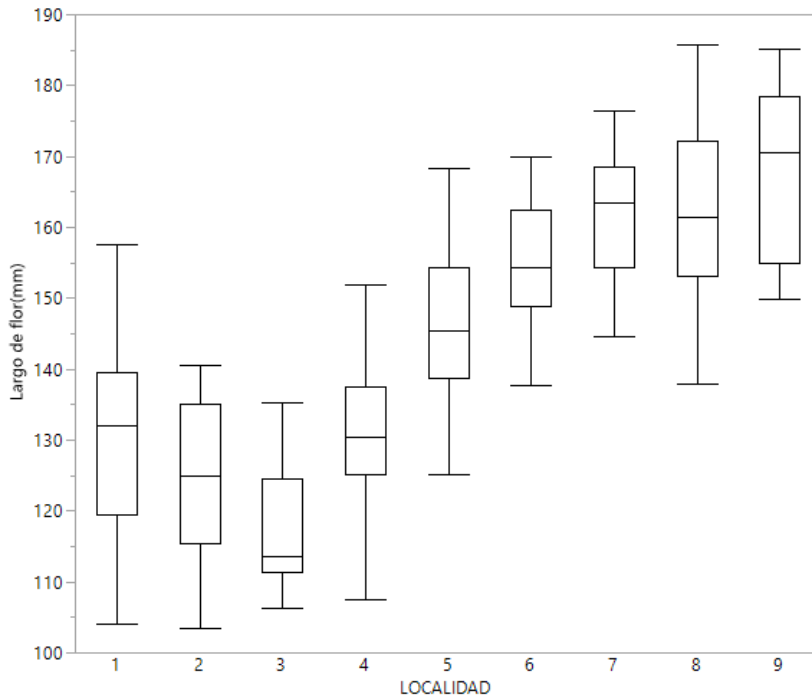
Año		Vicuña	Quilitapi a	Los Rulos	Las Chinchi llas	Cabildo	Putae do	Caleu	Farell ones	Buin	Coya
2021	Máx	-	8,25	7,65	9,67	21,64	8,26	6,15	9,52	9,52	7,83
	Mín	-	-19,64	-16,16	-14,05	-3,95	-15,96	-22,32	-21,36	-23,73	-22,54
2015	Máx	31,4	-	-	-	-	-	-	-	-	22,1
	Mín	-18,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,3
2005	Máx	-	-	-	28,79	-	-	-	-	-	-
	Mín	-	-	-	7,27	-	-	-	-	-	-



**Figura 5** Hercogamia en diferentes poblaciones: 1=Quilitapia; 2=Los Rulos, 3= Las Chinchillas;4= Cabildo; 5=Putaendo; 6=Farellones; 7=Buin; 8=Coya.

### 3.- Comparación morfológica de poblaciones del año 2021 mediante ANDEVA

Una ANDEVA de una vía evidenció que el largo de la flor varía significativamente entre las poblaciones de las localidades muestreadas, ( $F_{8,269} = 92.8865$ ,  $p < 0,0001$ ) (fig. 6). Un análisis *a posteriori* usando el test de Tukey-Kramer, muestra que las poblaciones se agrupan en dos grandes clados, uno al norte que agrupa a las poblaciones de las latitudes entre 31° y 32°, Quilitapia (1), Los Rulos (2) Las Chinchillas (3) y Cabildo (4), que presenta flores más pequeñas (117,7 mm; SD=13,22), y otro clado más austral, entre los 32° hasta la latitud 34°, que reúne las poblaciones de Putaendo (5), Caleu (6), Farellones (7), Buin (8) y Coya (9), con flores más grandes (166,23 mm; SD=11,89) (ver anexo 4, fig. 6).



**Figura 6** ANOVA de una vía para las 9 localidades muestreadas de *E.chiloensis*. a diferentes latitudes. Quilitapia (1), Los Rulos(2), Las Chinchillas (3), Cabildo (4), Putaendo (5), Caleu (6), Farellones (7), Buin (8), Coya (9) .

Además, se observa un aumento significativo en el largo de los caracteres asociados al androceo como, largo de la corona de estambres ( $F_{8,271} = 43,07$ ,  $p < 0,0001$ ), la que se alarga hacia el sur. Un test *a posteriori* muestran que para este rasgo, las poblaciones se diferencian en tres grupos para este rasgo, uno al norte (Quilitapia (1), Los Rulos (2), Las Chinchillas (3) y Cabildo (4)) que presenta una corona de estambres de menor longitud, otro austral (Farellones (7), Buin (8) y Coya(9)) que presenta una corona de estambres más largos, y un quiebre que ocurre al centro de la distribución (Putaendo (5), cuya corona de estambres son de un largo mayor que el grupo del norte, pero significativamente más pequeños que los del sur (anexo 4). Por otro lado, el largo del estambre inferior ( $F_{8,271} = 4,07$ ,  $p < 0,0001$ ), como el estambre superior ( $F_{8,271} = 38,13$ ,  $p < 0,0001$ ), para ambos caracteres se diferencian dos grupos: el del sur (Caleu, Farellones, Buin y Coya) presenta mayores longitudes que las poblaciones del norte (Quilitapia, Los Rulos, Las Chinchillas y Putaendo) (anexo 4). También, se observaron diferencias significativas para rasgos sexuales secundarios, donde las poblaciones del norte presentan pétalos más largos que las poblaciones australes ( $F_{8,249} = 13,92$   $p < 0,0001$ ) (anexo 4). Después de realizar una prueba de Tuckey, se evidenció que las poblaciones de Las Chinchillas (3) y Cabildo (4), presentan pétalos significativamente más largos (promedio= 54,56 mm), que las

poblaciones del norte (Quilitapia (1) y Los Rulos (2) (promedio= 43,7 mm) y más pequeños que las poblaciones de Buin (8) y Coya (9) (promedio=56,94 mm) (anexo 4).

Otro carácter, como largo del nectario, es mayor en poblaciones sureñas ( $F_{8,271} = 10,11$   $p < 0,0001$ ) de Buin (8) y Coya (9). Al inverso, el ancho del nectario se estrecha, en poblaciones más sureñas y se ensancha, en poblaciones del norte como Chinchillas (3). Los Rulos (2) y Cabildo (4) ( $F_{8,271} = 7,32$   $p < 0,0001$ ) (anexo 4).

Caracteres asociados al gineceo, presenta diferencias significativas, en el largo del pistilo (LP) ( $F_{8,249} = 13,38$ ,  $p < 0,0001$ ) este aumenta en las poblaciones más australes. (Farellones (7), Buin (8), Coya (9)) (anexo 4). Un test de Tuckey *a posteriori*, muestra tres grupos para de variación para este carácter, uno al norte, (Quilitapia (1) Los Rulos (2), Las Chinchillas (3), otro central (Cabildo (4), Putaendo (5), Caleu (6)) y uno más austral (Farellones (7), Buin(8) y Coya(9)). Por el contrario, caracteres como el largo exterior del ovario ( $F_{8,271} = 34,67$ ,  $p < 0,0001$ ), el ancho exterior del ovario ( $F_{8,271} = 20,85$ ,  $p < 0,0001$ ) y el largo interior del ovario ( $F_{8,271} = 26,20$ ,  $p < 0,0001$ ), fueron más grandes en poblaciones del norte, (Los Rulos (2), Quilitapia (1), Chinchillas (3), Cabildo(4)), disminuyendo en las poblaciones australes (Putaendo (5), Caleu (6), Farellones (7), Buin(8) Coya(9)) (anexo 2), sin embargo el ancho interior del ovario ( $F_{8,271} = 4,65$ ,  $p < 0,0001$ ), agrupa las poblaciones en Coya(9),Quilitapia(1),Farellones(7),Putaendo(5), Caleu(6),Chinchillas(2), Cabildo(4), y un ovario interior considerablemente más angostos en Buin(8) y los Rulos(2) (anexo 4).

#### **4.- Correlación de Pearson**

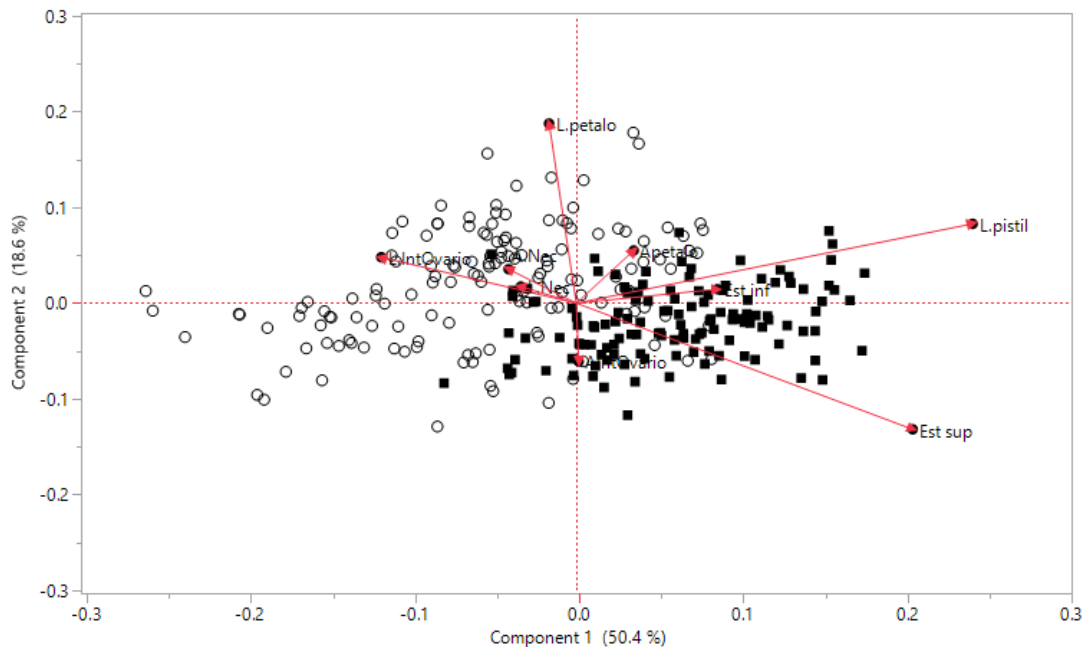
La correlación de Pearson muestra un alto índice de correlación entre (a) largo de corona de estambres y estambre superior ( $r = 0,92$ ), (b) largo exterior de ovario con largo interior de ovario ( $r = 0,75$ ), y (c) ancho exterior de ovario con ancho interior de ovario ( $r = 0,77$ ), por lo que para los siguientes análisis se usarán los parámetros estambre superior, largo interior de ovario y ancho interior del ovario (Anexo 5).

Se realizó una correlación de Pearson, para disminuir el número de variables climáticas altamente relacionadas, lo que evidenció que la variable T2° (temperatura más alta del periodo más seco) con se correlacionó con T5° (temperatura media del cuartil más caluroso), con un coeficiente de  $r = 0,94$ . También se correlacionaron T3° (mínima del periodo más frío) con T6° (media del cuartil más frío), con un coeficiente de correlación de  $r = 0,924$ . Con respecto a las precipitaciones, además se correlacionaron el parámetro

ppt2 (precipitaciones del mes más lluvioso), con ppt5 (media precipitaciones del cuartil más húmedo), con un coeficiente de correlación de ( $r= 0.79$ ) y la ppt3 (precipitación mínima) con la ppt6 (precipitación del cuartil más seco) ( $r= 0.9364$ ). A causa de estos resultados se eliminaron de los posteriores análisis las variables de T2°, T3°, ppt2 y ppt3.

### 5.-Variación de la morfología floral en diferentes poblaciones para el 2021.

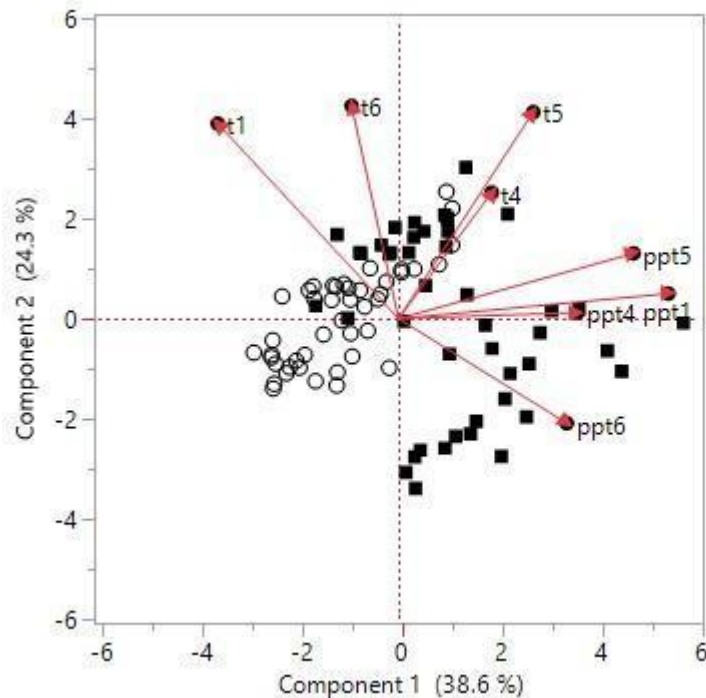
Para identificar las variables morfológicas que pudieran diferenciar entre poblaciones, se realizó un análisis de Componentes Principales (PCA I), que nos permitió distinguir los caracteres florales que mejor explican las diferencias entre poblaciones. El componente principal uno (PC1(I)), explica 49,99% de la varianza (eigenvalue: 0,0078), y está compuesto principalmente por caracteres del gineceo como largo de pistilo, con una contribución vectorial de 0,8, y del androceo como el largo de estambre superior, que contribuye en un 0,56 en el componente principal. En el caso del componente principal dos (PC2(I)) este explica 18.0% de la varianza (eigenvalue: 0,0028), y está compuesto principalmente de carácter vegetativos como el largo del pétalo. Contribuyendo vectorialmente un 0,64 (Figura 7).



**Figura 7** Análisis de componentes principales (PCA) de nueve localidades muestreadas de *E.chiloensis*. Los cuadrados corresponden a poblaciones del sur (Caleu, Farellones, Buin, Coya) y los círculos a las poblaciones del norte (Quilitapia, Los Rulos, Las Chinchillas, Cabildo).

## 6.-PCA (II) de las Variables Climáticas

El análisis de componentes principales de las variables climáticas nos muestra que PC1(II) explica el 38,6% de la varianza (eigenvalue:3,08), agrupando las variables asociadas a las precipitaciones. PC1(II) está compuesto por la media anual de precipitaciones (pp1), con una contribución vectorial de 0,53; las precipitaciones del cuartil más húmedo (ppt5), con una contribución vectorial de 0,47; y las precipitaciones de estación de invierno (ppt4), con una contribución vectorial de 0,35. Por otro lado, PC2(II) explica el 24.3% de la varianza (eigenvalue: 1,94), agrupando las variables climáticas asociadas a la temperatura como las temperaturas del cuartil más cálido (T°5), con una contribución vectorial de 0,52; temperatura del cuartil más frío (T°6), con una contribución vectorial de 0,53, y rango de la temperatura media anual (T°1), con una contribución vectorial de 0,49 (fig. 8).

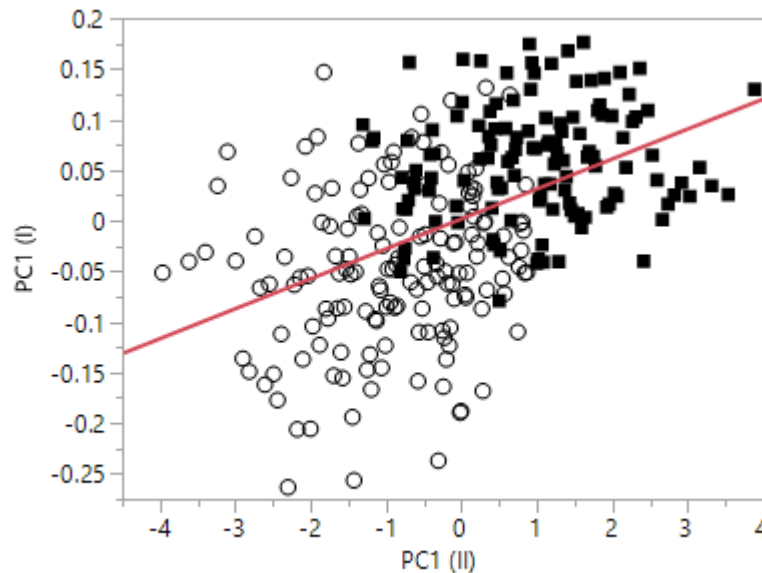


**Figura 8** PCA de variables climáticas. Poblaciones del norte=Círculos blancos (Quilitapia, Los Rulos, Las Chinchillas, Cabildo, Putaendo). Poblaciones del sur= cuadrados negros; (Caleu, Farellones, Buin, Coya) .

## 7.- Variación morfológica con respecto al clima

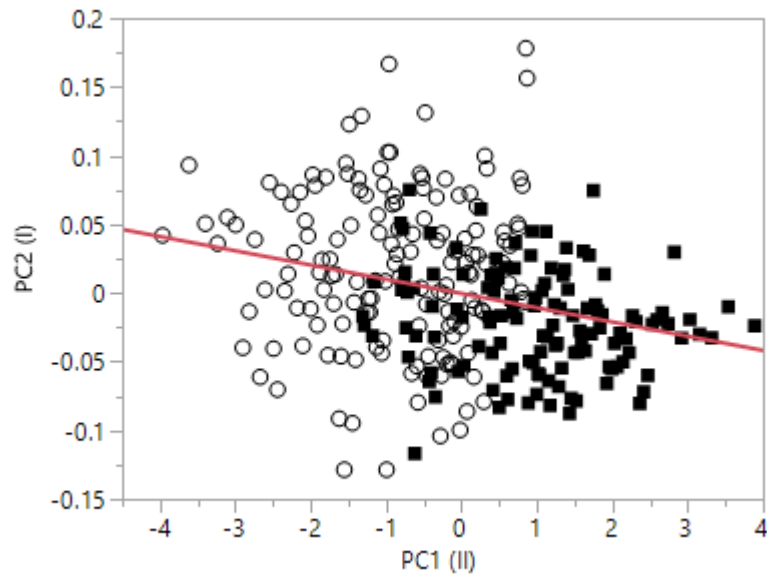
Un análisis de correlación Speaman's mostró un importante grado de correlación entre los componentes principales de las variables climáticas y la morfológicas, para el PC1 (II)(precipitaciones) vs PC1(I)(sexual) el coeficiente de Speaman's fue de  $p=-0,54$ , con  $r^2=0,207$  ( $p=0,0001$ ); por otro lado el PC1(II) (precipitaciones) vs PC2(I) de la morfología correspondiente al pétalo, presentó un coeficiente Speaman's de  $-0,30$ , con un  $r^2=0,073$  ( $p=0,0001$ ) mientras que el PC2(II) (temperatura) vs PC1(I) (sexual) presentó un coeficiente de Speaman's de  $0,234$ , con un  $r^2=0,046$  ( $p=0,0001$ ). No se presentó una correlación significativa para PC2(II) (temperatura) vs PC2(I) (pétalo), coeficiente Speaman's de  $0,0271$ , con un  $r^2=0,0001$  ( $p=0,6518$ ).

Después de probar normalidad de los componentes principales, se realizó una regresión lineal, la que nos permitió evaluar qué variables morfológicas son predichas por las variables climáticas (Fig 9,10 y 11), mostrando que las variaciones en los caracteres florales estarían mejor explicadas por las precipitaciones que por las temperaturas, siendo las precipitaciones de invierno el parámetro que mejor explica las variaciones morfológicas (Figuras 10 y 11). En las poblaciones con mayores precipitaciones, las flores presentaron pistilos y estambres más largos, mientras que, las poblaciones más áridas (menor precipitaciones) presentan flores con los pétalos más largos.

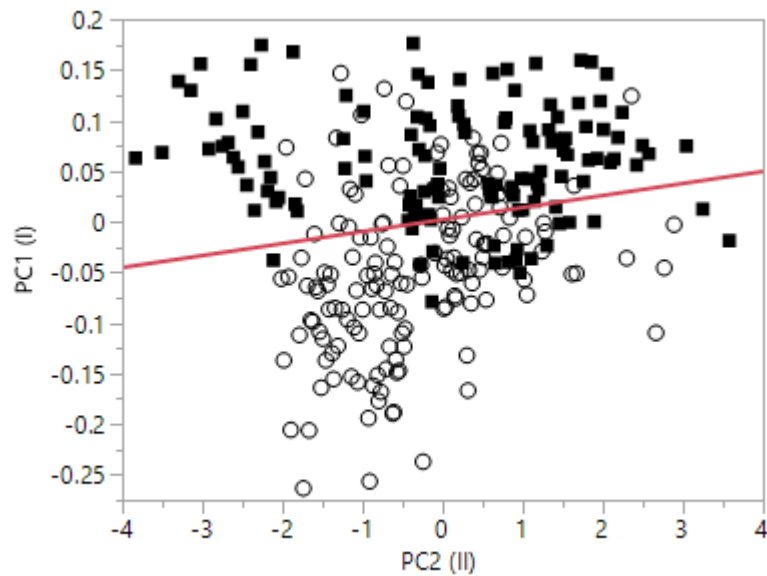


**Figura 9** Relación del eje del componentes principal de la morfología (largo del estambre superior; largo del pistilo), con el componente principal del clima (precipitaciones), para las nueve localidades muestreadas de *E.chiloensis*, los círculos blancos corresponden a poblaciones del norte (Quilitapia(1), Rulos(2), Chinchillas(3), Cabildo(4), Putaendo(5)) y los cuadrados

negros a las poblaciones del sur (Caleu(6),Farellones(7),Buin(8),Coya(9),  $PC1 M = 0.0018683 + 0.0295856 * Normal[PC1 II]$   $F(1,278)=85,1789.p\text{-value}<.0001$ .



**Figura 10** Relación del segundo eje principal en relación con el segundo componente climático. La línea roja es la mejor regresión lineal,  $PC2M = -0.000324 - 0.0103634 * Normal [PC1 II]$ ;  $F(1,278) = 23,5860$ ,  $p\text{-value} <.0001^*$ . los cuadrados, Caleu (6), Farellones (7), Buin(8), Coya(9), los círculos, Quilitapia (1), Los Rulos (2), Chinchillas(3),Cabildo (4) y Putaendo(5)



**Figura 11** Relación entre el primer componente principal de la en función del segundo componente climático. La línea es la mejor regresión lineal obtenida y con el componente.  $PC1 M = 0.0022442 + 0.01187 * Normal [PC2II]$ .  $F(1,278)=9,6723,<.00021^*$ . Los cuadrados, Caleu (6), Farellones (7), Buin (8), Coya (9),y los círculos, Quilitapia (1), Los Rulos (2), Chinchillas (3),Cabildo (4) y Putaendo (5).

## DISCUSIÓN.

En las últimas décadas los fenómenos climáticos extremos son cada vez más recurrentes, sin embargo, estas variaciones no han sido lo suficientes estudiadas, aún cuando pudieran estar generando efectos sobre la fisiología y morfología de las plantas (Ramírez-Bullón et al., 2014; Nagy et al., 2013), así como a los caracteres sexuales, con su consecuente efecto en la adecuación biológica (Hodgins y Barret, 2008). Por ejemplo, en *Sinapsis arvensis*, en la que se ha detectado una disminución del tamaño de la flor y de todos los verticilos florales en respuesta a la aridez, con excepción del ancho del nectario que aumenta, lo que podría ser una estrategia para asegurar las visitas de polinizadores y con ello su reproducción (Kuppler et al., 2021). Observamos el mismo fenómeno en la población de Las Chinchillas, con la disminución de las precipitaciones entre 2005 y 2021 (CR2; Boisier et al., 2015; Rodríguez y Madeleine 2018), se observa una disminución del tamaño de la flor y de los distintos verticilos con excepción del ancho del nectario.

La población de Coya, por su parte, se vio menos afectada por las variaciones climáticas, y si bien, sus flores se reducen en tamaño, los verticilos sexuales y ancho de nectario crecen, lo mismo se ha registrado para *Pachycereus pringlei*, cactus distribuido en todo Golfo de California, con un clima mediterráneo en el norte y climas subtropicales más secos hacia el sur, presenta flores y estambres más grandes en condiciones con menor estrés hídrico (Gutiérrez-Flores et al., 2017). Por otro lado, la especie *Polemonium viscosum* (Galen, 2000), especie que se distribuye en la tundra altiplánica (39°N), muestra estambres y flores más largas en las poblaciones con más precipitaciones (Galen, 2000). Estas respuestas podrían estar asociadas al ensamble de polinizadores, o que las condiciones de aridez no son tan extremas como para afectar tan directamente a los verticilos sexuales de las plantas.

Con respecto a las variaciones en la morfología de los nectarios entre años, la literatura señala que las variaciones en este carácter estarían más bien asociadas componentes genéticos y las presiones ejercidas por las variaciones en los ensambles de polinizadores (Klumper et al., 2019; Eisen y Raguso, 2022), en nuestro caso no contamos con antecedentes suficientes para apoyar esta evidencia, sin embargo, nos parece que el poco periodo transcurrido y el carácter generalista del ensamble de polinizadores (Walter 2010; Ossa y Medel 2011; Lemaitre et al., 2014), hace probable que las variaciones morfológicas observadas responden más fuertemente a las variaciones climáticas, mostrando que en

condiciones de estrés tiende a aumentar el tamaño de la glándula de néctar, lo que indirectamente aumentaría las probabilidades de que las flores sean visitadas por polinizadores.

A nivel poblacional, se logró distinguir unas variaciones en los caracteres morfológicos en el gradiente de temperatura y precipitaciones, donde caracteres asociados a los verticilos sexuales, como largo del pistilo (gineceo) y el largo de corona de estambre (androceo), fueron más cortos en las poblaciones menos irrigadas y con mayores temperaturas. Por otro lado, el carácter largo de pétalo, asociado a la atracción de polinizadores aumenta al disminuir las precipitaciones, lo que al igual que el aumento en el tamaño de la glándula de néctar en los análisis interanuales, podría estar asociado al aseguramiento reproductivo.

Las diferencias observadas en el largo de la corona de estambres y el largo de pétalo, entre las poblaciones del norte y del sur, deben ser tomadas con cuidado, ya que podrían estar dando cuenta de la diferenciación entre dos grupos genéticos (Ossa et al., 2019), que se asocian a las dos subespecies propuestas por (Albesiano et al., 2012): *Trichocereus chiloensis chiloensis* y *Trichocereus chiloensis australis* (*Trichocereus* es sinónimo de *E.chinopsis*). Bajo este contexto la subespecie *E.c.spp. chiloensis* presentaría una longitud menor en el largo de la corona de estambres, y ovario exterior más largo, que la subespecie *E.c.spp australis*. Esto explicaría la variación diferencial de los verticilos florales entre años, ya que la población de Las Chinchillas correspondería a *E.c.spp chiloensis*, mientras que la población de Coya pertenecería a *E.c.spp australis*. Aún cuando esto fuese cierto, los análisis muestran un fuerte efecto de las precipitaciones sobre los verticilos sexuales y sobre el largo de los pétalos en las dos subespecies, lo que apoya la propuesta de que estos cambios son una respuesta a las variaciones climáticas, más que a algún cambio en el ensamble de polinizadores.

## **CONCLUSIONES**

El clima genera cambios diferenciales en los caracteres florales en el cactus *E.chiloensis* en su gradiente climático, independientemente de la subespecie, afectando no solo al tamaño de la flor, sino también a los rasgos sexuales y tractores, lo que podría incidir directamente en el éxito reproductivo de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

Albesiano, S. y Terrazas, T. (2012). Análisis cladístico de *Trichocereus* (Cactaceae: Cactoideae: Trichocereae) basado en datos morfológicos y secuencias de ADN de cloroplastos. *Haseltonia* , 2012 (17), 3-23.

Alonso-Pedano M., Ortega-Baes P. (2012). Generalized and complementary pollination system in the Andean cactus *Echinopsis schickendantzii*. *Plant Systematics and Evolution* volume 298. 1671–1677.

Bartomeus, I., Park, MG, Gibbs, J., Danforth, BN, Lakso, AN y Winfree, R. (2013). Biodiversity ensures plant-pollinator phenological synchrony in the face of climate change. *Cartas de ecología* , 16 (11), 1331-1338.

Bull-Herenu, K. y Arroyo, MT (2009). Phenological and morphological differentiation in annual *Chaetanthera moenchioides* (Asteraceae) on an aridity gradient. *Plant Systematics and Evolution* , 278 (3), 159-167.

Carroll, A. B., Pallardy, S. G., & Galen, C. (2001). Drought stress, plant water status, and floral trait expression in fireweed, *Epilobium angustifolium* (Onagraceae). *American Journal of Botany*, 88(3), 438-446.

Darwin's, C. (1859). On the origin of species. *published on*, 24, 1.

Draper N, Smith H (1998) Basic Prerequisite Knowledge, Checking the straight fine lit. Applied Regression Analysis. Applied Regression analysis. Third Edition. Wiley-Inter science Publication

Eisen, K. E., Ma, R., & Raguso, R. A. (2022). Among-and within-population variation in morphology, rewards, and scent in a hawkmoth pollinated plant. *American Journal of Botany*.

Ellison, AM, Buckley, HL, Miller, TE y Gotelli, NJ (2004). Morphological variation in *Sarracenia purpurea* (Sarraceniaceae): geographic, environmental and taxonomic correlates. *Revista americana de botánica* , 91 (11), 1930-1935.

Espíndola A., Pliscoff P. (2018). The Relationship Between Pollinator Visits and

Climatic Suitabilities in Specialized Pollination Interactions. *Annals of the Entomological Society of America*. Oxford. Special Collection: *Ecology in the Sixth Mass Extinction*. 112. 150-157.

Espinoza, P. A. S., & Meseguer-Ruiz, O. (2015). Sequías en Chile central a partir de diferentes índices en el período 1981-2010. *Investigaciones Geográficas*, (50), 19-32.

Galen, C. (2000). High and dry: drought stress, sex-allocation trade-offs, and selection on flower size in the alpine wildflower *Polemonium viscosum* (Polemoniaceae). *The American Naturalist*, 156(1), 72-83.

Glenny Wr, Runyon JB, Burkle LA. (2018). Drought and increased CO2 alter floral visual and olfactory traits with context-dependent effects on pollinator visitation. *New Phytologist*, 220:785-798.

Gellesch, E., Khan, MAA, Jentsch, A. y Beierkuhnlein, C. (2017). Grassland experiments under climatic extremes: reproductive fitness versus biomass. *Botánica ambiental y experimental*, 144, 68-75.

Gratani, L. (2014). Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Avances en botánica*, 2014.

Gutiérrez-Flores, C., Cota-Sánchez, J. H., León-de la Luz, J. L., & García-De León, F. J. (2017). Disparity in floral traits and breeding systems in the iconic columnar cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Flora*, 235, 18-28.

Halpern, SL, Adler, LS y Wink, M. (2010). Leaf herbivory and drought stress affect attractive and defensive floral traits in *Nicotiana quadrivalvis*. *Ecología*, 163 (4), 961-971.

Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology letters*, 12(2), 184-195.

Heritier Stephane (2009). Linear Regression, Balding David. Robust Methods in Biostatistics. Wiley series in probability and statistics.

Hodgins, K. A., & Barrett, S. C. (2008). Asymmetrical mating patterns and the evolution of biased style-morph ratios in a tristylous daffodil. *Genetics Research*, 90(1), 3-15.

Hoffmeister, M., Wittköpper, N., & Junker, R. R. (2016). Herbivore-induced changes in flower scent and morphology affect the structure of flower–visitor networks but not plant reproduction. *Oikos*, 125(9), 1241-1249.

James D. (2006). Structure–Function Relationships in Highly Modified Shoots of Cactaceae. *Annals of Botany* 98. 901–926.

Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11), 569-574.

Koti, S., Reddy, K. R., Reddy, V. R., Kakani, V. G., & Zhao, D. (2005). Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max* L.) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths. *Journal of experimental botany*, 56(412), 725-736.

Kuppler, J., Wieland, J., Junker, R. R., & Ayasse, M. (2021). Drought-induced reduction in flower size and abundance correlates with reduced flower visits by bumble bees. *AoB Plants*, 13(1), plab001.

Klumpers, S. G., Stang, M., & Klinkhamer, P. G. (2019). Foraging efficiency and size matching in a plant–pollinator community: the importance of sugar content and tongue length. *Ecology letters*, 22(3), 469-479.

Lara-Romero, C., Seguí, J., Pérez-Delgado, A., Nogales, M., & Traveset, A. (2019). Beta diversity and specialization in plant–pollinator networks along an elevational gradient. *Journal of Biogeography*, 46(7), 1598-1610.

Lemaitre A B., Pinto C ., Niemeyer H., (2014). Generalized pollination system: Are floral traits adapted to different pollinators?. *Arthropod-Plant Interactions* 8. 261-272.

Lloyd, D. G., Barrett, S. C., & Barrett, S. (Eds.). (1996). *Floral biology:*

studies on floral evolution in animal-pollinated plants. Springer Science & Business Media.

Lopez Laphitz, R. M., Ezcurra, C., & Vidal-Russell, R. (2016). Morphological variation in *Quinchamalium* (Schoepfiaceae) is associated with climatic patterns along its Andean distribution. *Systematic Botany*, 40(4), 1045-1052.

Mandujano M.C., Carrillo-Angeles I., Martínez-Peralta C., Golubov J. (2010). Reproductive biology of Cactaceae. En: Ramawat K.J. (ed) Desert Plants. Springer-Verlag, Berlin, Germany: 157-171

Miljković, D., Stefanović, M., Orlović, S., Stanković Neđić, M., Kesić, L. y Stojnić, S. (2019). Variations in shape and size of leaves of wild cherry (*Prunus avium* (L.) L.) in natural populations at different heights. *Botánica alpina*, 129 (2), 163-174.

Nagy, L., Kreyling, J., Gellesch, E., Beierkuhnlein, C. y Jentsch, A. (2013) Recurrent climatic extremes alter the flowering phenology of two common temperate shrubs. *Revista Internacional de Biometeorología*, 57 (4), 579-588.

Nassar J.M., Ramírez, Linares O. (1997). Comparative pollination biology of Venezuelan columnar cacti and the role of nectar-feeding bats in their sexual reproduction. *American Journal of Botany* 84(8): 918–927.

Ortega-Baes P., Saravia M., Sührling S., Godínez-Alvarez H., Zamar M. (2010). Reproductive biology of *Echinopsis terscheckii* (Cactaceae): the role of nocturnal and diurnal pollinators. *Plant biology Special Issue: Pollination and Reproduction Biology* 13. 33-40.

Ortega-Baes P., Gorostiague P (2013). Extremely reduced sexual reproduction in the clonal cactus *Echinopsis thelegona*. *Plant Syst Evol* 299.785–791.

Ortega-Baes P y Alonso-Pedano M (2012). Generalized and complementary pollination system in the Andean cactus *Echinopsis schickendantzii*. *Plant Syst Evol*.

Ossa C G., Medel R., (2011). Notes on the floral biology and pollination syndrome of *Echinopsis chiloensis* (Colla) Friedrich & G.D.Rowley (Cactaceae) in a population of semiarid Chile. *Gayana* .68.213-219.

Pizarro, J. (2014). Cactáceas de Tacna. 86.

Pellissier L., Pottier j. , Vittoz P. , Dubuis A., (2010) Guisan A. Spatial pattern of floral morphology: possible insight into the effects of pollinators on plant distributions. *Oikos* 119.1805–1813.

Pescador, D. S., de Bello, F., Valladares, F., & Escudero, A. (2015). Plant trait variation along an altitudinal gradient in mediterranean high mountain grasslands: controlling the species turnover effect. *PLoS One*, 10(3), e0118876.

Quintana, J. M., & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25(1), 1-22.

Ramírez-Bullón, N., Ceroni-Stuva, A., & Castro-Cepero, V. (2014). Fenología de cuatro especies de cactáceas del cerro Umarcata. Valle del Río Chillón. Canta-lima. Perú. *Ecología Aplicada*, 13(2), 177-185.

Rozema, J., van de Staij, J., Björn, LO y Caldwell, M. (1997). UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Tendencias en ecología y evolución* , 12 (1), 22-28.

Revillod Rodríguez, M. S. (2018). Estudio de sequías en la XVI, VIII y IX región mediante observaciones geodésicas en el período 2010-2015.

Rusman, Q., Poelman, E. H., Nowrin, F., Polder, G., & Lucas-Barbosa, D. (2019). Floral plasticity: Herbivore-species-specific-induced changes in flower traits with contrasting effects on pollinator visitation. *Plant, cell & environment*, 42(6), 1882-1896.

Señoret E., Acosta F.,(2013) Cactáceas nativas de Chile : guía de campo. CORMA

Schlumpberger B. Badano E. (2005) Diversity of floral visitors to *Echinopsis atacamensis subsp pasacana* (Cactaceae) *Haseltonia* 11: 18-26

Schlumpberger B., Raguso R. (2008) Geographic variation in floral scent of *Echinopsis ancistrophora* (Cactaceae); evidence for constraints on hawkmoth attraction. *Oikos* 117: 801-814.

Schall A., Chinga J., Ossa C G., Diferencia en poblaciones en el desarrollo y en la morfología floral de *Echinopsis chiloensis*. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas Pontificia Universidad Católica de Chile.

Schneider, C., Rasband, W. & Eliceiri, K. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* 9, 671–675 (2012). <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

Shrestha, M., García, JE, Bukovac, Z., Dorin, A. y Dyer, AG (2018). Pollination in a new climate: assessing the potential influence of flower temperature variation on insect pollinator behaviour. *PLoS One* , 13 (8), e0200549.

Solís Neffa, V. G. (2010). Geographic patterns of morphological variation in *Turnera sidoides subsp. pinnatifida* (Turneraceae). *Plant Systematics and Evolution*, 284(3), 231-253.

Turchetto, C., Fagundes, N. J., Segatto, A. L., Kuhlemeier, C., Solis Neffa, V. G., Speranza, P. R., ... & Freitas, L. B. (2014). Diversification in the South American Pampas: the genetic and morphological variation of the widespread *Petunia axillaris* complex (Solanaceae). *Molecular Ecology*, 23(2), 374-389.

Van der Niet, T., & Johnson, S. D. (2012). Phylogenetic evidence for pollinator-driven diversification of angiosperms. *Trends in ecology & evolution*, 27(6), 353-361.

Valiente-Banuet A., Del Coro Arizmendi M., Rojas-Martínez A., Domínguez-Canseco L (2009). Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of tropical Ecology* vol12. 103-119.

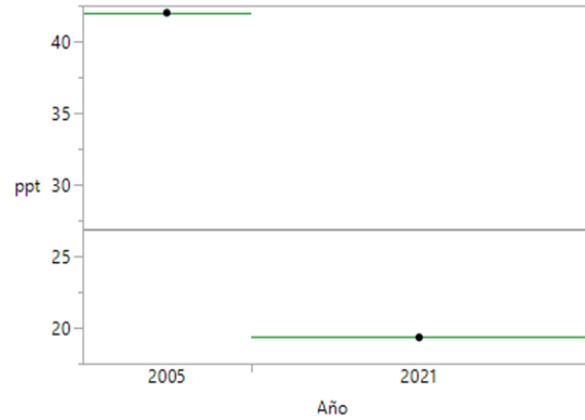
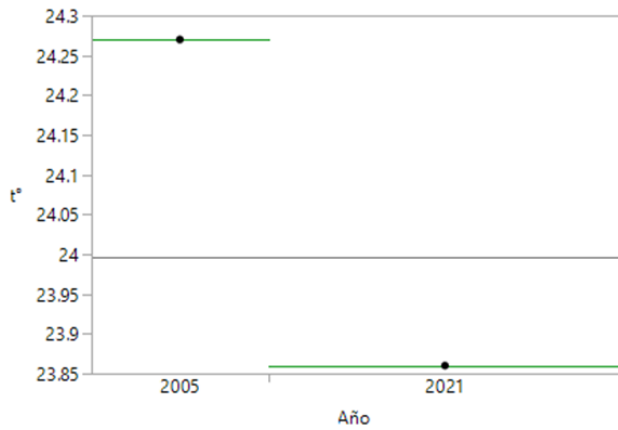
Walter H.(2010). Floral biology of *Echinopsis chiloensis ssp.chiloensis* (Cactaceae): Evidence for a mixed pollination syndrome. Elsevier Flora 205.757-763.

Weber U., Scott L., Espíndola A (2020). Patterns of floral morphology in relation to climate and floral visitors. Annals of Botany 125. 433-445.

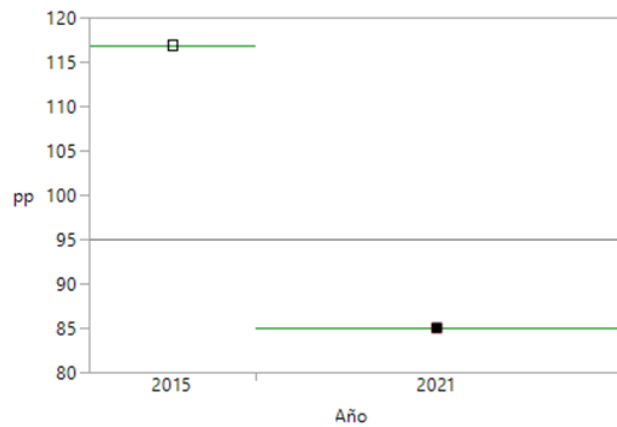
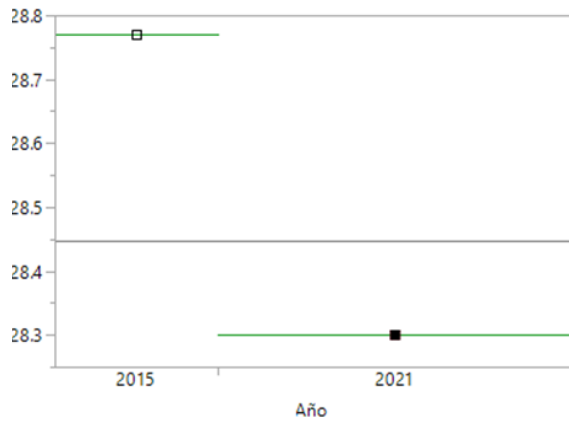
## ANEXOS

**ANEXO 1 (a)** Media de la temperatura máxima de verano y las precipitaciones de invierno para el año 2005 y 2021 en Las Chinchillas (<.0001\*). (b) Temperatura máxima de verano y las precipitaciones de invierno para el año 2015 y 2021 en Coya (<.0001\*).

(a)



(b)



**Anexo 2:** Resultados de Anova de una vía para evaluar diferencias en los caracteres morfológicos entre años.

	Chinchillas 2005-2021	Coya 2015 -2021	Poblaciones 2021
Largo de Flor	$F_{1,49}=30,72$ $p<0.0001$	$F_{1,62}=70,48$ ; $p <0,0001$	$F_{8,269} =92.88$ $p< 0,0001$
Largo de pétalo	No es significativo $F_{1,49}=0,99$ $p<0.3223$	No es significativo $F_{1,62}=0,0005$ ; $p <0,982$	$F_{8,249} =13,92$ $p< 0,0001$
Largo de pistilo	$F_{1,9)} =70,48$ $p <0,0001$	$F_{1,62} =7,78,931$ $p <0,007^*$	$F_{8,249} =13,38$ $p< 0,0001$
Largo c de Estambre	No es significativo $F_{1,49}=5,25$ ; $p <0,026^*$	No es significativo $F_{1,62}=2,27$ ; $p <0,138$	$F_{8,249} =45,84$ $p< 0,0001$
Estambre inferior	$F_{1,49)=8,86$ $p <0,0001$	No es significativo $F_{1,56} =1,648$ $p<0,204$	$F_{8,271} =4,07$ $p< 0,0001$
Estambre superior	No es significativo $F_{1,49}=0,33$ $p <0,563^*$	$F_{1,61} =1,648$ $p<0,0357^*$	$F_{8,271} =38,13$ $p< 0,0001$
L ext ovario	No es significativo $F_{1,49}=0,09$ $p <0,761^*$	No es significativo $F_{1,62}=0,77$ $p<.0,388$	$F_{8,271} =34,67$ $p< 0,0001$
A ext ovario	No es significativo $F_{1,49}=0,74$ $p <0,392^*$	$F_{1,62}=7,92$ $p <0,0065^*$	$F_{8,271} =20,85$ $p< 0,0001$
L int Ovario	No es significativo $F_{1,49}=0,13$ $p <0,718^*$	No es significativo $F_{1,62}=0,15$ $p<.0,694$	$F_{8,271} =26,20$ $p< 0,0001$
A int Ovario	No es significativo $F_{1,49}=0,002$ $p <0,964^*$	$F_{1,62}=5,17$ $p <0,0264^*$	$F_{8,271} =4,65$ $p< 0,0001$
LN	No es significativo $F_{1,49}=1,210$ $p <0,276^*$	$F_{1,62}=5,05$ $p<.0,0282^*$	$F_{8,271} =10,11$ $p< 0,0001$
AN	$F_{1,43)=20,3697$ $p<0,0001$	$F_{1,62}=16,94$ $p <0,0001$	$F_{8,271} =7,32$ $p< 0,0001$

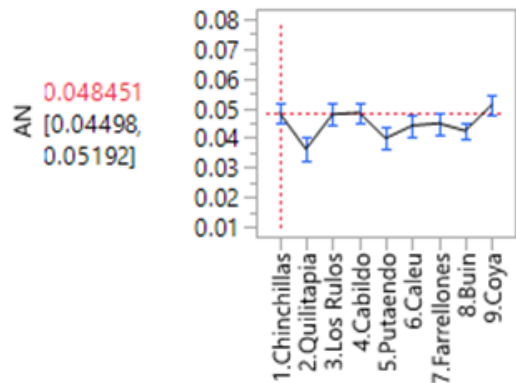
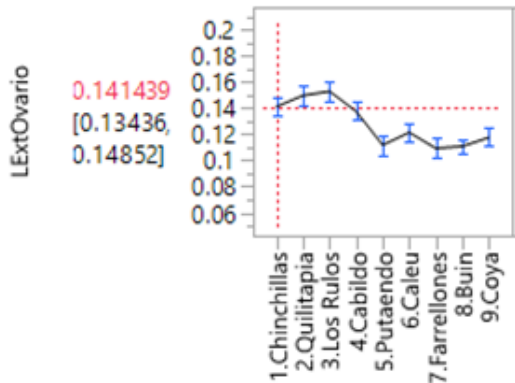
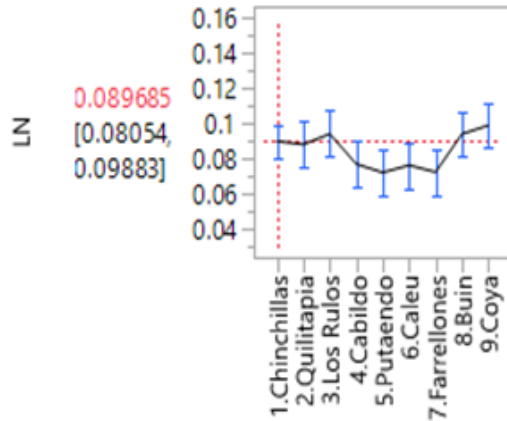
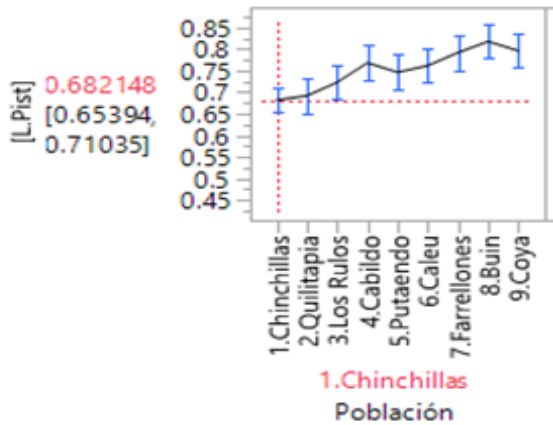
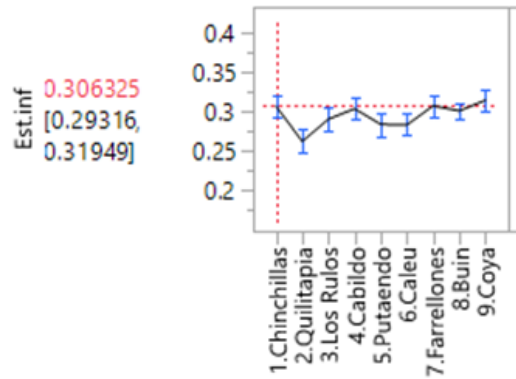
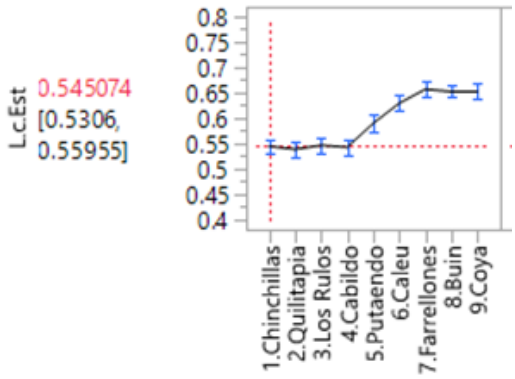
**Anexo 3:** Test de normalidad para Shapiro-Wilk, con transformación  $\text{Long}(x)+1$ , para el carácter largo de flor, entre años.

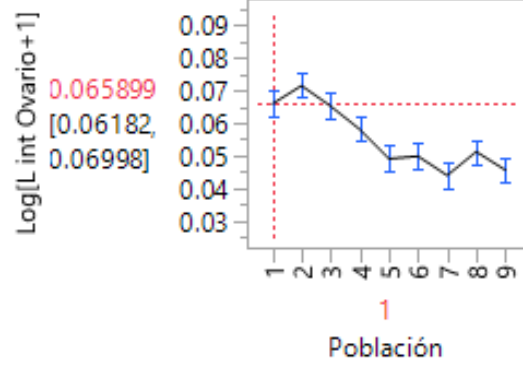
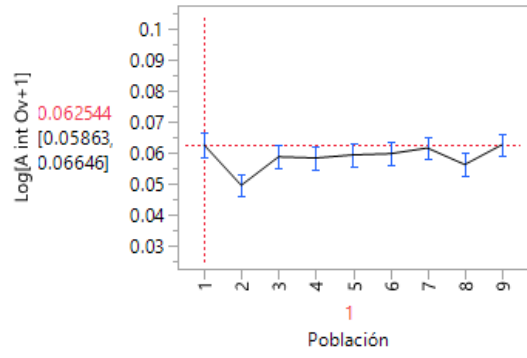
Largo de Flor para Las Chinchilas 2005&2021		Largo de Flor para Coya 2015&2021		Largo de Flor 2021	
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,938	0,0184*	0,958	0,0320*	0,977	0,003
Largo de Pétalo					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,973	0,2526	0,974	0,2057	0,990	0,110
Largo de Pistilo					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,928	0,0035*	0,985	0,7506	0,984	0,0059*
L.c. Estambre					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,955	0,0393	0,977	0,3150	0,974	0,0001
Est inferior					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,9831	0,6459	0,968	0,2148	0,988	0,0189
Est superior					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,976	0,3551	0,975	0,2484	0,953	0,0001
Lext ovario					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,969	0,3901	0,963	0,0524	0,977	0,0006
A ext ovario					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,983	0,8396	0,919	0,0004	0,995	0,0001
Lint Ovario					

W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,9292	0,0170*	0,9111	0,0003*	0,972	0,0003
A int Ovario					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,9073	0,0036	0,8496	0,0001*	0,980	0,0162*
L Nectario					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0,9701	0,1949	0,9622	0,0475	0,988	0,0360
A Nectario					
W	Prob<W	W	Prob<W	W	Prob<W
0.889	0,0047*	0,8947	0,0001**	0,988	0,0422*

**ANEXO 4** Anova de una vía para carácter analizados en las 9 localidades estudiadas.

Quilitapia (1), Los Rulos (2), Las Chinchillas (3), Cabildo (4), Putaendo (5), Caleu (6), Farellones (7), Buin (8), Coya (9) .  
 LF:Largo de flor; PI: Largo de Pétalo; AP: Ancho de pétalo; L.stgm:Largo del estigma; LP: Largo Pistilo; LcEst: Largo de corola de estambres; Estinf: Estambre inferior; Estsup: Estambre superior; LextOv: Largo de ovario externo; AextOv: Ancho de ovario externo; LintOv: Largo interno de ovario; AintOv: Ancho interno de ovario; LN: Largo nectario; AN: Ancho de nectario.





**ANEXO 5 Correlación de Pearson para todos los caracteres morfológicos de las poblaciones de *E.chiloensis*.**

