



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Estudio de la germinación en *Colobanthus quitensis*

Luciana Calone

Grau de Biologia

Any acadèmic 2014-15

DNI de l'alumne: X4571514-B

Treball tutelat per: Dr. Jaume Flexas Sans
Departament de Fisiología Vegetal

S'autoritza la Universitat a incloure el meu treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Paraules clau del treball: *Colobanthus quitensis*. Germinación. Luz. Temperatura. Ecotipos.

Índice:

Resumen.....	pág. 1
Concepto de germinación.....	pág.2
Factores que afectan a la germinación:	
• Factores internos.....	pág. 2 y 3
• Factores externos.....	pág. 2 y 3
Distribución geográfica de <i>Colobanthus quitensis</i>	pág. 3
Descripción de <i>Colobanthus quitensis</i>	pág. 3 y 4
• Temperatura óptima de germinación.....	pág. 5
• Germinación en <i>Colobanthus quitensis</i>	pág. 5 y 6
Objetivos.....	pág. 6
Material y métodos.....	pág. 6-9
Resultados.....	pág. 9-19
Discusión y conclusión.....	pág. 20-22
Referencias.....	pág. 22 y 23

RESUMEN

Colobanthus quitensis o clavel de la Antártida es una de las dos plantas vasculares capaz de crecer en esta zona. No solo se encuentra en este ambiente, ya que presenta una amplia distribución geográfica que se localiza desde México recorriendo los Andes en América del Sur hasta llegar a la Península Antártica. En el presente trabajo se ha estudiado el proceso de germinación en *Colobanthus quitensis* cuando es sometida a diferentes condiciones de luz y temperatura. Los objetivos principales fueron estudiar el efecto de la luz y la temperatura sobre la germinación de las semillas de *C. quitensis*, en las que previamente se ha roto la dormición y comparar las tasas de germinación en semillas de diversa procedencia. Para llevar a cabo este experimento se utilizaron semillas que procedían de cinco ecotipos diferentes de esta especie. Estas semillas procedían de las localidades de: Arctowski, Isla Achorage e Isla Lagotellerie que se localizan en la zona de la Península Antártica, La Parva y La Serena ambas zonas localizadas en Chile. Una vez seleccionadas las semillas y distribuidas en placas de Petri, se procedió a raspar una pequeña zona de la testa (cubierta) para favorecer la salida del embrión. Posteriormente se colocaron las placas en las cámaras de germinación a 15°C y 25°C en condiciones de oscuridad y 25°C en condiciones de luz, con un fotoperiodo 18/6h. Transcurridos los días de experimentación, lo primero que se evidenció gracias a los resultados, fue la plasticidad morfo fisiológica que presenta *Colobanthus quitensis* que le permite adaptarse a las diferentes condiciones de los climas que habita, ya que los ecotipos respondieron de manera variable a los diferentes tratamientos. El factor luz parece acelerar la germinación en primera instancia con respecto a la oscuridad, hasta que se produce una inhibición de la germinación causada por la luz a medida que los días van pasando, obteniendo los resultados más bajos con respecto al porcentaje de germinación en los diferentes ecotipos. En condiciones de oscuridad los ecotipos parecen responder mucho mejor a la germinación que en condiciones de luz, siendo a 25°C donde se observaron los mejores resultados de germinación para todos los ecotipos, ya que es el valor que más se acerca a la temperatura óptima de funcionamiento que presenta *Colobanthus quitensis*. Parece ser que el factor de temperatura no es un condicionante para el crecimiento de la especie, porque como se ha comprobado germina tanto a 15°C como a 25°C, pero si lo es la luz y la oscuridad. Ésta última, favorece a una respuesta más adecuada por parte de las semillas, mientras que la luz genera una inhibición. Si bien se observan diferencias entre los ecotipos en cuanto a valores máximos de germinación, todos ellos muestran preferencias de germinación en oscuridad y temperatura elevada. Ello hace suponer que la presencia de *C. quitensis* en la Antártida no se debe a una especial aclimatación de la germinación a esas condiciones en los ecotipos antárticos, sino que se da precisamente a pesar de la ausencia de la misma.

INTRODUCCIÓN

La **germinación** es una serie de acontecimientos metabólicos, morfológicos y genéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula que sea capaz de sobrevivir y llegar a convertirse en planta. En este proceso de germinación podemos distinguir tres fases. Fase de hidratación, la absorción de agua es el primer paso de la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria. Fase de germinación, representa el verdadero proceso de la germinación. En ella se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse y la fase de crecimiento, es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria.

Dentro de los diferentes factores que puede afectar al proceso de germinación, se puede encontrar, factores internos como la madurez y viabilidad de las semillas, y los factores externos, humedad, gases, luz, temperatura y oscuridad.

En este trabajo se ha estudiado la germinación de *Colobanthus quitensis* cuando es sometida a los siguientes factores externos. La temperatura es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Del mismo modo, en el proceso de germinación pueden establecerse unos límites similares. Por ello, las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura, e incluso dentro de dicho margen muestran un óptimo de germinación que puede variar entre especies. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar aunque las demás condiciones sean favorables.

La luz estimula el desarrollo de los cloroplastos y con ello la síntesis de clorofila, pero puede inhibir el desarrollo de la germinación a través del fitocromo (pigmento vegetal proteico). Si bien hay semillas que requieren la presencia de luz para su germinación, en otras la luz la inhibe. La elevada intensidad lumínica resulta más perjudicial en plantas que están expuestas de manera constante a bajas temperaturas, ya que ambos factores disminuyen procesos metabólicos en la planta, pudiendo ser más susceptibles las plántulas jóvenes tras su germinación. Sin embargo, se sabe que una aclimatación al frío por parte de la planta favorece a reducir la susceptibilidad a la foto inhibición, y ayuda a la planta a mantener un metabolismo a baja temperatura (Bravo *et al.*, 2007).

En contraposición a la luz, el crecimiento en condiciones de oscuridad producirá unos efectos morfo genéticos mediados por la acción del fitocromo. Algunos de estos efectos son la

ausencia de clorofila, un tallo más alargado u hojas poco desarrolladas (Fig.12). Sin embargo, como se ha indicado, en algunos casos la oscuridad puede favorecer la germinación.

En el presente trabajo, se observó el proceso de germinación en diferentes condiciones de luz y temperatura que se llevaron a cabo en el laboratorio, en semillas de la especie de *Colobanthus quitensis*.

Colobanthus quitensis, o clavel de la Antártida, perteneciente a la familia de las Cariofiláceas, es una de las dos plantas vasculares (junto con *Deschampsia antarctica*) que es capaz de crecer en esta zona. Esta especie no sólo se encuentra en este ambiente, ya que presenta una amplia distribución geográfica que se localiza desde México (17°N) recorriendo los Andes en América del Sur hasta llegar a la Península Antártica (68°S), con una altitud que va desde los 0 a los 4200m (Figura 1, Moore 1970).



Fig. 1. Distribución geográfica de *Colobanthus quitensis*

Se ha demostrado que *Colobanthus quitensis* presenta un gran plasticidad en atributos fisiológicos y morfológicos, que le han permitido colonizar diferentes hábitats como los mencionados con anterioridad (Molina–Montenegro 2012).

Descripción

C. quitensis es una pequeña planta herbácea que crece en forma de cojín bajo y alcanza alturas entre 1,5-5cm. Sus hojas son sésiles con forma lineal y lineal-triangular, con un ápice agudo y una base que forma una vaina incolora (Montavani 2000).

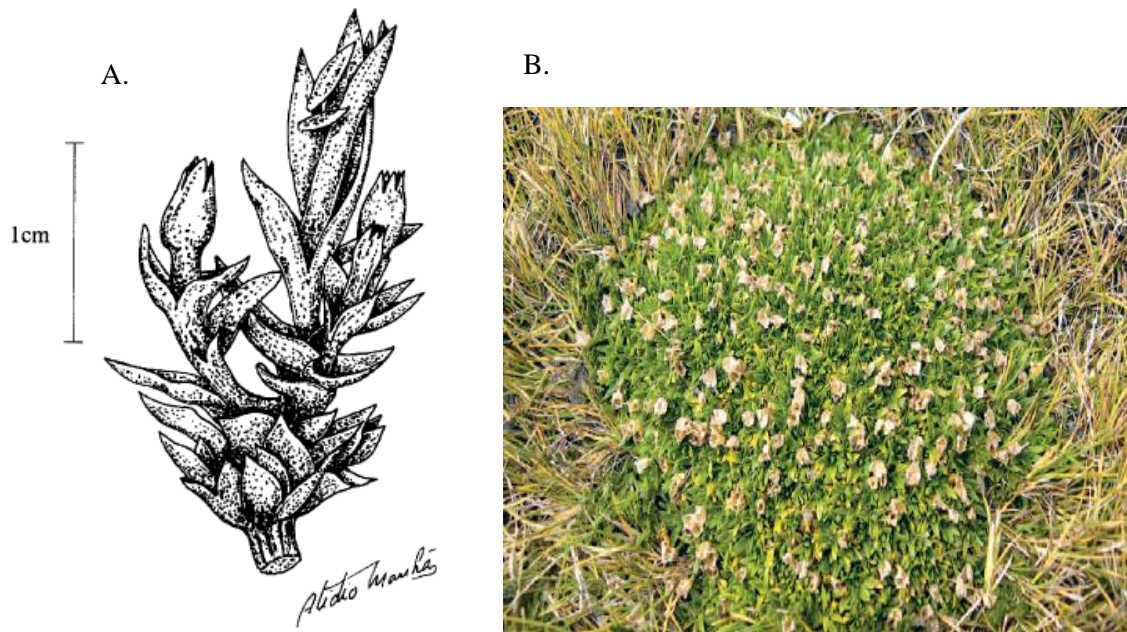


Fig. 2. A. Adulto individual de *Colobanthus quitensis* (Mantovani 2000). B. Formación de cojín en la zona Antártica (Boletín Antártico Chileno 2010).

La estructura interna de la hoja se presenta con un mesófilo con una disposición dorsiventral seguido de una distribución en empalizada de las células estomáticas que favorece a la planta frente a las condiciones de estrés hídrico, ya que no presenta como en algunas especies de Cariofiláceas un xeromorfismo foliar, que la proteja frente a la desecación (Mantovani 2000).

C. quitensis prefiere hábitats húmedos y protegidos como bordes de lagos o cursos de agua. Para este tipo de condiciones la planta invierte una gran cantidad de biomasa para los tejidos verdes, presentando una hoja con un mesófilo más grueso y sin fibras. Esta característica morfo fisiológica no se detectó en los individuos de la misma especie que habita en el Este de la Patagonia, donde las condiciones ambientales son más desérticas, se encontró que presentaban una hoja con una lignificación más elevada.

En el medio ambiente Antártico, la poca altura que presenta *C. quitensis*, acompañado de su crecimiento en forma de cojín y las adaptaciones morfo fisiológicas que presenta la hoja, han ayudado a la planta a combatir los efectos frente a la pérdida de calor, de agua y la fuerte abrasión del viento que se encuentra en este ambiente, favoreciendo así su notoria presencia en el mismo (ya que como hemos mencionado con anterioridad, junto con *Deschampsia antarctica*, son las únicas plantas vasculares capaces de vivir en estas condiciones extremas). Además, hemos de mencionar que en el clima Antártico, la capa de nieve que se forma durante el periodo invernal puede generar un microclima a nivel de la planta, que haga que se encuentre a unos 15°-20° C por encima de la temperatura ambiente (Mantovani 2000).

Debido a su amplia distribución podemos decir que *Colobanthus quitensis* presenta una amplia tolerancia a los márgenes de temperatura. Pudiendo soportar temperaturas que van desde los -15°, -20°C cuando está cubierta de nieve hasta los 42°C en condiciones de laboratorio (Xiong *et al.*, 1999).

Temperatura óptima para la germinación de *C quitensis*

Los estudios para determinar cuál era la temperatura óptima para el crecimiento de *Colobanthus quitensis* están basados en los individuos que habitan la Península Antártica.

Desde los últimos 50 años ha habido una fuerte tendencia al calentamiento en la costa este de la Península Antártica, esto ha provocado que la temperatura del aire aumente en torno a 2,6°C en este periodo de tiempo. Este calentamiento ha favorecido al desarrollo de las dos especies vasculares que encontramos en la zona, *D antártica* y *C quitensis*, aumentando su colonización.

Edwards y Smith (1988) recogieron individuos de *Colobanthus quitensis*, presentes a lo largo de la Península Antártica, y las desplazaron hasta el Reino Unido para colocarlas en invernaderos y parcelas al aire libre, para determinar cuál era la temperatura más óptima para el funcionamiento de la planta. Determinaron con este estudio que *Colobanthus quitensis* tenía una temperatura óptima de funcionamiento a los 19°C.

Xiong *et al.*, (2000) también determinaron en condiciones de laboratorio, cuál era la respuesta a la temperatura de *Colobanthus quitensis* mediante tres tipos de tratamientos a diferentes temperaturas que estudió durante 90 días, en los que estableció que el tratamiento número tres que correspondía a una temperatura de 20°C de día y 7°C por la noche con un fotoperiodo de 18h/6h era el rango óptimo del funcionamiento en cuanto a niveles de fotosíntesis neta, producción de biomasa y crecimiento relativo. Estos mismos autores (Xiong *et al.* 1999) determinaron también que para la misma especie había una temperatura supra óptima de funcionamiento de la planta, que se localizaba a los 25°C. En esta temperatura la fotosíntesis neta era algo más baja pero se compensaba con las altas tasas de respiración. En este mismo ensayo, se demostró también que existía una temperatura crítica para el funcionamiento de *C quitensis* que fue de 42°C. A esta temperatura se evidenciaba el deterioro de la membrana tilacoidal.

Por todas estas evidencias podríamos suponer que el rango de **funcionamiento óptimo** de la especie se encuentra entre temperaturas de 19°C-25°C.

Con respecto a la **germinación de *Colobanthus quitensis*** Ruhland *et al.*, (2000), llevaron a cabo la germinación in vitro de la especie con una experimentación similar a la que se recreó en este trabajo.

En el año 1996 Ruhland recolectó 25 estructuras reproductivas en estado avanzado (con la cápsula abierta y las semillas visibles) de las plantas de *Colobanthus* y las guardó en una incubadora a 3°C durante 120 días. Después de este tiempo retiró la mitad de las semillas de sus cápsulas, alrededor de 200 semillas en total, y las puso a germinar en cuatro palcas de Petri forradas con algodón formando una capa de 1cm de espesor. Estas placas de Petri fueron colocadas bajo luces fluorescentes ($30 \mu\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$) en una habitación a 21°C con un fotoperiodo de 24h y regadas cuando era necesario.

La germinación se llevó a cabo durante 30 días, considerando que la germinación ocurría con la rotura de la cubierta de la semilla y la salida de la radícula.

Durante este periodo de tiempo la **tasa promedio de germinación de *Colobanthus quitensis* fue de un 6%** (con un rango entre 2-10%).

Estas tasas tan bajas de germinación, sin embargo, se ponen en entredicho en otros estudios. En particular, el trabajo de Fin de Grado de Manuel Sañudo (Estudios sobre la germinación en *Colobanthus quitensis*) demuestra que dichas tasas reducidas de germinación se dan en efecto en esta especie cuando se ponen a germinar semillas sin tratar. En cambio, un tratamiento de escarificación mecánica logra aumentar notablemente las tasas de germinación, lo que se interpreta como la presencia de algún mecanismo de dormición en las semillas de esta especie, posiblemente con el objetivo de pasar la noche antártica. Por lo tanto, sabemos ahora que pueden lograrse buenas tasas de germinación en esta especie si se siembran tras practicar un pequeño corte en la testa. Queda por esclarecer si dichas tasas de germinación se ven afectadas por factores ambientales como la luz y la temperatura, o si pueden diferir entre semillas de la misma especie con procedencias muy diversas.

Objetivos

Los objetivos del presente trabajo fueron: (1) estudiar el efecto de la luz y la temperatura sobre la germinación de semillas de *Colobanthus quitensis* en las que previamente se ha roto la dormición; y (2) comparar las tasas de germinación en semillas de diversa procedencia.

Material y Métodos

Para la realización de este experimento se utilizaron **semillas** que procedían de cinco ecotipos diferentes de *Colobanthus quitensis*. Estas semillas procedían (3 ecotipos Antárticos y 2 Andinos) de las localidades de: Arctowski, Isla Anchorage e Isla Lagotellerie que se localizan en la zona de la Península Antártica, La Parva y La Serena ambas zonas localizadas en Chile.

La **base Polaca de Arctowski** se localiza en la bahía Almirantazgo, isla Rey Jorge, en la costa marítima de la Antártida (62°10'S, 58°29'W). Esta zona se caracteriza por presentar una temperatura ambiente anual de -2,3°C, es decir que va desde una media anual de -7,5°C en Julio hasta 2,7°C en Enero, esto ocasiona grandes niveles de estrés abiótico dado por las bajas temperaturas, escasez de nutrientes y, sobre todo, la baja humedad presente en el suelo, una gran incidencia de radiaciones UV que en verano pueden llegar hasta los 1500 μmol fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en días soleados, aunque son poco frecuentes (Xiong *et al.*, 1999) y una notoria presencia de vientos fuertes que suelen superar los 70km/h que pueden llegar a alcanzar los 140km/h.

Isla Anchorage (68°33'S, 77°55'E) es una isla deshabitada de la Antártida. Se localiza en la Bahía Margarita a 2km dirección NW de la estación Davis. Es una isla rocosa de baja altitud, tiene aproximadamente de 3 km de largo y 500 m de ancho y su punto más alto se localiza a 57 m sobre el nivel del mar. Las temperaturas medias anuales van desde -4°C hasta 9°C. La gran superficie total de hielo y nieve que cubría la isla en su zona más central en los años cincuenta se ha ido derritiendo (debido a la acción del cambio climático) con el tiempo, permitiendo que el mar se extienda más adentro de la isla (Fox *et al.*, 1998). Pese a estar

deshabitada, es utilizada por los barcos como refugio y anclaje debido a su cercanía con la estación de investigación.

Isla Lagotellerie se localiza en la Bahía Margarita en la Isla Graham. Se declaró zona protegida en 1985 debido a su gran diversidad de flora y fauna diversificada, típica de la Península Antártica del sur. En este territorio *Colobanthus quitensis* ha colonizado una superficie de 10m², uno de los montes más grandes situado al sur. La Isla Lagotellerie tiene acantilados empinados y rocosos, que se encuentran cubiertos por hielo permanente, alrededor de un 13%, la mayoría en las pendientes meridionales. Presenta una amplia terraza rocosa formada por los detritos provenientes de las playas y zonas de elevada pendiente, que favorece la aparición de microclimas favorables para el desarrollo de *C quitensis*, debido a un periodo de crecimiento sin nieve relativamente largo. Generalmente es una isla que está libre de hielo en verano aunque hay algunos pequeños parches de hielo permanente y de nieve persistente.

El Cerro La Parva situado a 2700 m de altitud (33°19'S, 70°17'W) se encuentra a 50km de Santiago de Chile. Presenta un terreno con desniveles que van desde 2,5 a los 412 m. Este hábitat de elevada altura presenta condiciones climáticas desfavorables para la vida. Presenta en el periodo estival una elevada intensidad lumínica, llegando a registrar 2500 $\mu\text{mol fotonos m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ cercanos a los 2600 m de altura con una temperatura media de 13°C (Bravo *et al.*, 2007). Además de esta excesiva radiación, se localizan vientos de alta intensidad, un suelo pobre en nutrientes debido a la escorrentía que se produce cuando la nieve se derrite, y una baja disponibilidad de agua debida a la escasez de lluvias que pueden generar, que el periodo de crecimiento de la planta (meses de enero, marzo y mayo) se retrase hasta cinco meses (Casanova-Katny *et al.*, 2006).

La Serena es una de las ciudades costeras más concurridas de Chile. Situada a 472 km de Santiago de Chile (29°54'S, 71°15'W), presenta un clima desértico costero que se caracteriza por la escasez de lluvias y la moderación de la temperatura. La media anual es de 13,6° C, mientras que las temperaturas medias máxima y mínima son de 19° y 12° C, respectivamente. Esto sucede por la influencia que en las mañanas ejerce la neblina costera que tanto caracteriza a la ciudad, generada por la condensación de las masas de aire húmedo. Las precipitaciones se concentran en los meses de invierno, Junio y Agosto y se acumulan unos 104.7 milímetros/año aproximadamente.

Se utilizaron los siguientes materiales para la preparación de las semillas de *Colobanthus quitensis*: placas de Petri, papel de filtro, lupa binocular, cámaras incubadoras, bisturí, agua destilada y pinzas.

Para llevar a cabo la experimentación lo primero que se hizo, fue seleccionar los tres tipos de tratamientos a los cuales se iba a someter las semillas de *C quitensis* para observar su germinación, los cuales fueron:

- Cámara de germinación a 15°C condiciones de oscuridad
- Cámara de germinación a 25°C condiciones de oscuridad
- Cámara de germinación a 25° C condiciones de luz (fotoperiodo 18/6h)

Lo segundo a realizar, fue la selección de un número determinado de semillas de los cinco ecotipos de *C quitensis*.

El conteo total de semillas que se llevó a cabo, fue de 1305, repartidas de la siguiente manera acorde al número total que teníamos de cada ecotipo:

Ecotipo	La Parva	Arctowski	I.Lagotellerie	I.Anchorage	La Serena
Nº semillas	450	450	90	216	99

Posteriormente el número total de semillas se repartió en tres placas de Petri para cada uno de los tratamientos (en total nueve placas para cada ecotipo) forradas con papel de filtro humedecido, los cuales debían tener el mismo diámetro que la base de la placa, para evitar que la semilla quedase bajo el papel durante el tiempo de estudio de la germinación.

Repartición de las semillas:

- Parva: 50 semillas/placa
- Arctowski: 50 semillas/placa
- Isla Lagotellerie: 10 semillas/placa
- Isla Anchorage: 24 semillas/placa
- La Serena: 11 semillas/placa

Luego de distribuir las semillas en las placas, se procedió a raspar una pequeña zona la cubierta protectora (testa) que presentan las semillas de *C quitensis* con la ayuda de un bisturí y una lupa binocular. Esta pequeña raspa sobre la cubierta de la semilla ayuda a que la germinación del embrión sea más rápida, ya que se comprobó que de manera natural (semilla con cutícula), mediante pequeños baños en ácido o con procesos de congelación-descongelación, el porcentaje de germinación de la especie era demasiado bajo (son procesos que se darían en la naturaleza por las condiciones climáticas o las posible perturbaciones de animales). En un periodo de un año y sometiendo a las semillas a las diferentes técnicas mencionadas con anterioridad, se consiguió que solo germinase un ejemplar. De esta manera se estableció que esta pequeña raspa en la cutícula favorecía la salida del embrión como se demostró en el trabajo, Estudios sobre la germinación en *Colobanthus quitensis*.

Como se puede observar en la Fig.3, una vez que todas las semillas estaban en su placa correspondiente, con mucho cuidado, con la ayuda de la lupa binocular y un bisturí, se procedió a raspar una pequeña zona de la cubierta que presenta la semilla. Luego se identificó cada placa con el ecotipo al que pertenecía, el número de réplica correspondiente (I, II, III) y el tratamiento al que iba a someterse.

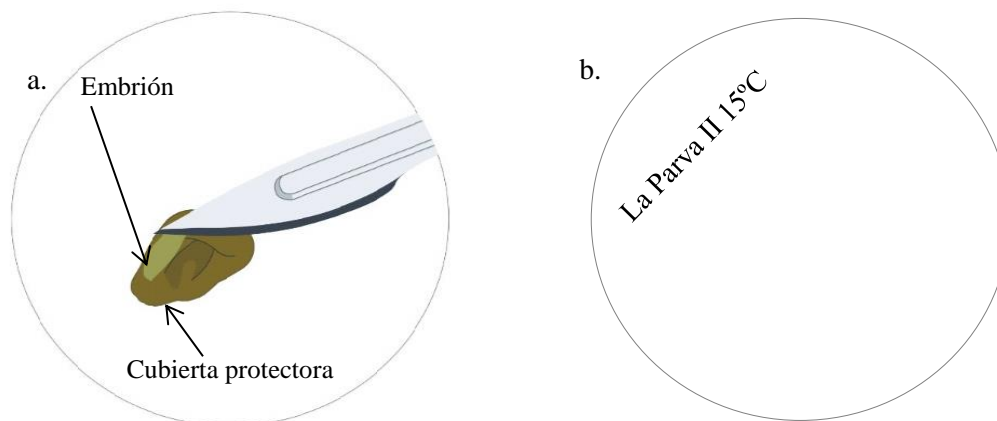


Fig. 3. a. Raspado de una pequeña zona de la cubierta. b. Identificación de la placa

Después de raspar la cubierta a cada una de las semillas, se colocaron en los diferentes tratamientos para observar la germinación **durante un periodo de 88 días**.

Posteriormente se realizó un análisis estadístico de los valores obtenidos mediante la utilización del programa SPSS: Anova 20.0 para el estudio de la varianza. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para observar en este caso que ecotipos eran iguales entre sí o diferentes respecto al valor de sus medias. Para realizar el contraste ANOVA, se requieren k muestras independientes, en este caso la luz, la temperatura, el tiempo, de la variable de interés que será el porcentaje de germinación (variable dependiente). Se utilizó a posteriori los contrastes llamados comparaciones múltiples post-hoc para saber que media difería de la otra. En este caso se estudió si la luz, la temperatura, el tiempo, la interacción luz-tiempo y temperatura-tiempo, presentaban un valor significativo en el resultado de la germinación de los diferentes ecotipos. Para observar dicha significación se ha de tener en cuenta si el valor crítico (Sig.) es menor o mayor a 0,05. **Si es α menor a 0,05 será significativo**, dándose a entender que esta variable independiente tiene una incidencia en el valor de la germinación en el ecotipo estudiado y, si α es mayor a 0,05 no será significativo, por lo cual no tendrán mayor efecto en los valores de germinación.

Resultados

Luego de transcurrido el periodo de 88 días los datos obtenidos descritos en porcentaje total de germinación por placa y análisis estadístico por tratamiento fueron los siguientes:

- Tratamiento 15°C condiciones de oscuridad

Placa/Ecotipo	La Parva	Arctowski	I.Lagotellerie	I.Anchorage	La Serena
I	70%	50%	50%	66,70%	72,70%
II	78%	26%	30%	62,50%	45,45%
III	76%	24%	60%	50%	54,50%
% Medio Total de germinación	76,4± 2,94 a	33,3±10,23 b	46,6±10,8 ab	59,7±6,13 ab	57,5±9,81ab

Tabla.1 Porcentajes, por placa y media total \pm error estándar para el tratamiento de 15°C oscuridad. Las letras (a) y (b) representan el comportamiento de cada ecotipo que se obtuvo utilizando el contraste de medias post-hoc.

- Tratamiento 25°C condiciones oscuridad

Placa/Ecotipo	La Parva	Arctowski	I.Lagotellerie	I.Anchorage	La Serena
I	86%	64%	70%	91,6%	81,80%
II	98%	22%	60%	100%	90,90%
III	92%	26%	60%	66,60%	81,80%
% Medio Total de germinación	92 \pm 4,24 a	37,3 \pm 16,39 b	63,3 \pm 4,08 ab	86,1 \pm 12,26 a	84,8 \pm 3,71 a

Tabla.2 Porcentajes por placa y media total \pm error estándar para el tratamiento de 25°C oscuridad. Las letras (a) y (b) representan el comportamiento de cada ecotipo que se obtuvo utilizando el contraste de medias post-hoc.

- Tratamiento 25°C condiciones de luz

Placa/Ecotipo	La Parva	Arctowski	I.Lagotellerie	I.Anchorage	La Serena
I	76%	10%	60%	83,30%	54,54%
II	52%	36%	30%	66,60%	72,70%
III	68%	10%	50%	58,30%	54,54%
% Medio Total de germinación	65,3 \pm 8,64 a	18,7 \pm 10,61 b	46,6 \pm 10,8 ab	69,4 \pm 9 a	60,6 \pm 7,42 a

Tabla.3 Porcentajes por placa y media total \pm error estándar para el tratamiento de 25°C luz. Las letras (a) y (b) representan el comportamiento de cada ecotipo que se obtuvo utilizando el contraste de medias post-hoc.

Para cada uno de los cinco ecotipos diferentes de *Colobanthus quitensis* se realizaron representaciones gráficas de los resultados obtenidos a los largo de los 88 días de estudio en los diferentes tratamientos.

❖ Ecotipo de **La Parva**

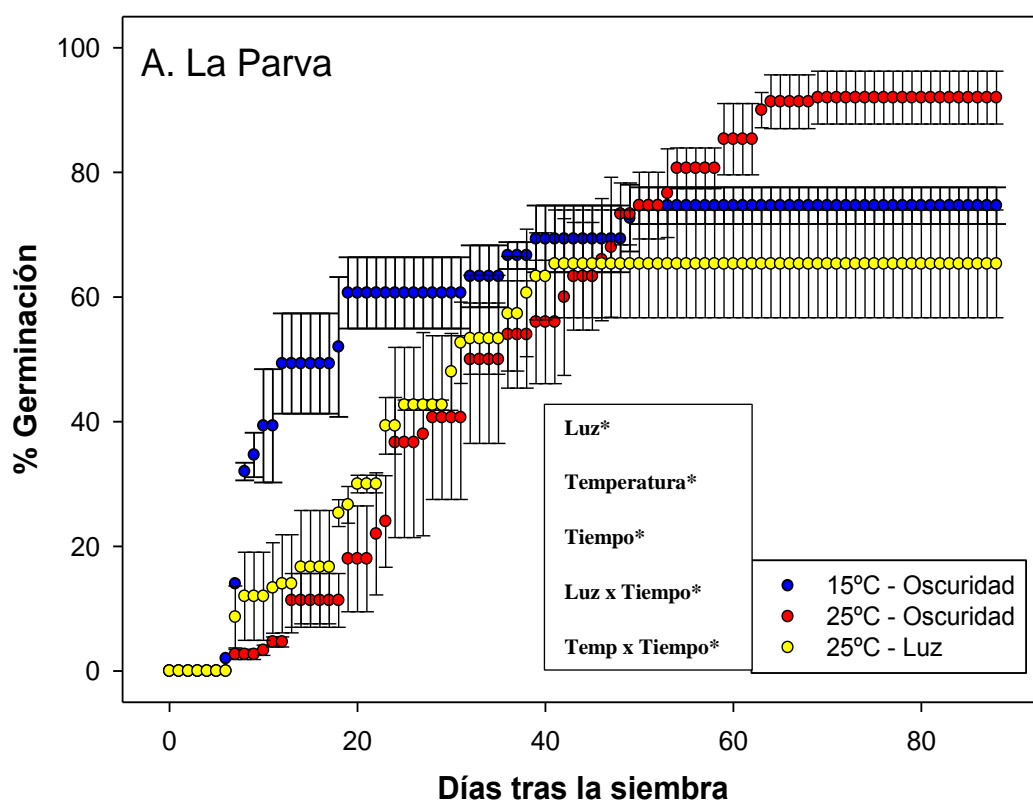


Fig. 4. Representación de los resultados en el ecotipo la Parva. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento comparando las diferentes condiciones y los parámetros que han tenido un valor significativo (*) en el efecto de la germinación, mediante el estudio ANOVA (Valor significativo, α menor de 0,05).

Como podemos observar en la Parva (Fig.4), el tratamiento de 25°C luz tiene un inicio de germinación en los primeros días de siembra aunque sea muy leve. También se muestra que las semillas tratadas en oscuridad comienzan a germinar en el mismo periodo de tiempo en las que las tratadas con luz comienzan un ascenso en el número de semillas, los tres a los 7 días.

También observamos que el tratamiento 25°C oscuridad presenta un crecimiento logarítmico que rápidamente supera a los dos tratamientos, con un valor de germinación del 92% (Tabla.2). Para los tratamientos de 15°C oscuridad (76,4%, Tabla.1) y 25 °C luz (65,3%. Tabla.3) se observa un crecimiento bastante lineal a partir del día 40, en los cuales tienden a ir en paralelo ambos tratamientos, en el momento en el que la germinación a 25°C luz tiende a estabilizarse y dejan de aparecer nuevas germinaciones hasta la finalización del experimento, mientras que el tratamiento en oscuridad 15°C continua creciendo en torno a un 10% hasta el día 55 (cuando se estabiliza) con respecto al de 25°C luz.

En la Fig.4 observamos asimismo que el tratamiento de 25°C presenta una germinación más temprana con respecto a los 15°C pero con un porcentaje mucho menor los primeros 55 días en donde comienza un aumento de germinación en torno al 20% con respecto al tratamiento de 15°C (germinaron un 92 y 76,4% respectivamente). El tratamiento de 15°C en un poco más

lento al inicio (sólo unos seis días) con respecto al de 25°C pero los valores de porcentaje de germinación son más elevados, alrededor de un 25% más con respecto al otro tratamiento. La germinación es rápida en los primeros 45 días ya que después se comienza a notar una ligera estabilidad, que comienza a ser notoria a partir del día 55 cuando comienzan a decaer los valores en torno a un 20% menos por debajo del tratamiento de 25°C, hasta el final del conteo.

Se puede destacar con estos resultados es que La Parva presenta un crecimiento más temprano en condiciones de luz a 25°C en donde esta condición es la que favorece a que las semillas germinen antes, pero también sean las primeras en estabilizarse en el gráfico (Fig.4) en torno al día número 40 (sufren una inhibición al crecimiento debida a la luz), con un porcentaje de germinación mucho menor en comparación con las condiciones de oscuridad. Los tratamientos de oscuridad son más favorables en cuanto a valores de germinación, ya que ambos presentan valores más elevados que el de luz, aunque comiencen un poco más tarde, siendo el que se somete a 25°C el que produce un mayor porcentaje de las tres condiciones.

❖ Ecotipo de **Arctowski**

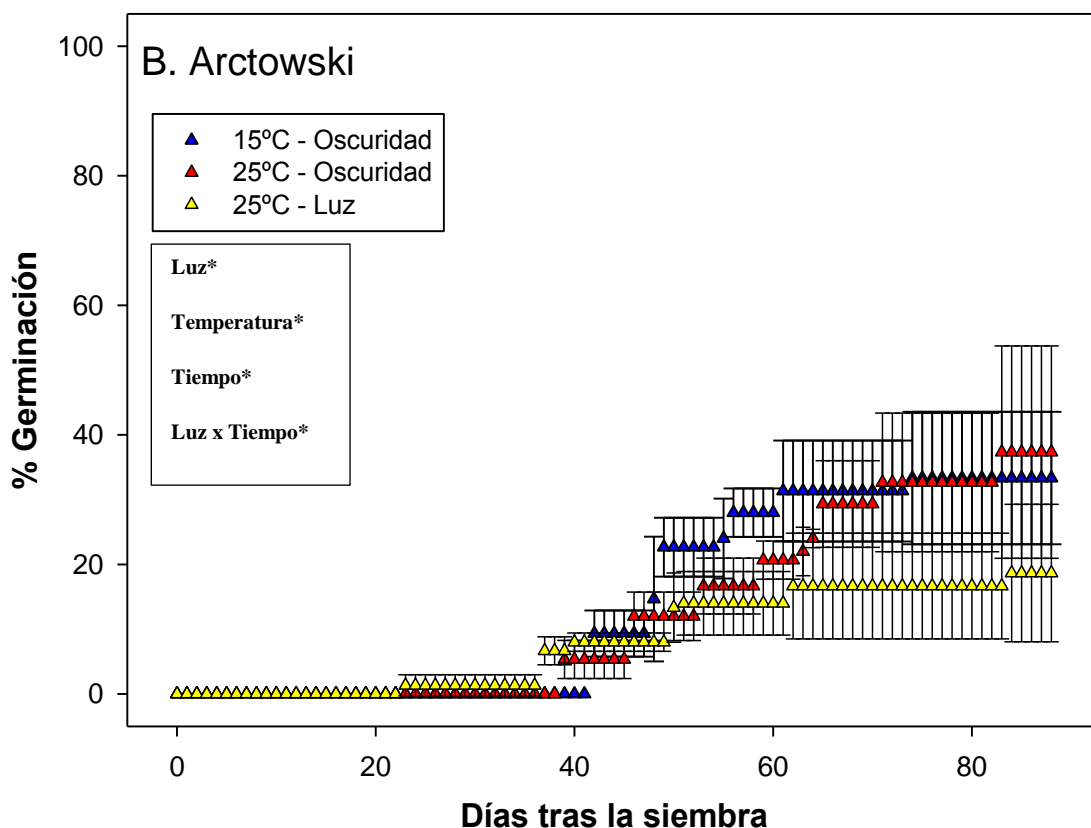


Fig. 5. Representación de los resultados en el ecotipo Arctowski. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento comparando las diferentes condiciones y los parámetros que han tenido un valor significativo (*) en el efecto de la germinación, mediante el estudio ANOVA (Valor significativo, α menor de 0,05).

En Arctowski se puede ver como el tratamiento en condiciones de luz a 25°C favorece el desarrollo más temprano de las semillas con valores extremadamente bajos (un individuo),

durante un periodo de 22 días, donde el número de semillas crece hasta 4 y a su vez comienzan a germinar los tratamientos en oscuridad con resultados también muy bajos para ambos casos (Fig.5). A partir de los 40 días después de la siembra se pueden observar datos de germinación más acusados para los tres tratamientos. Los tratamientos en oscuridad tienen un crecimiento bastante paralelo entre sí a partir del día 63 ya que los porcentajes de germinación son muy similares como se puede ver en las Tablas 1 y 2. En condiciones de 25°C luz el porcentaje de germinación es el más bajo de los tres (18,7%, Tabla.3) casi un 20% menos que los presentes en los tratamientos de oscuridad.

En la Fig.5 se observa también como la germinación a una temperatura de 25°C comienza antes que a 15°C de manera muy leve y que se mantiene lineal hasta el día 37 donde comienza a aumentar, coincidiendo con el principio de germinación a 15°C. Éste último es más acusado entre el periodo de tiempo que va desde el día 43 al 60, en donde comienza a estacionarse presentando casi los mismos valores que a 25°C (Tablas 1 y 2), aunque después sea el de mayor temperatura el que presente un porcentaje un poco más elevado (solo un 4% más en comparación al de 15°C, Tablas 1 y 2).

❖ Ecotipo de Isla Lagotellerie

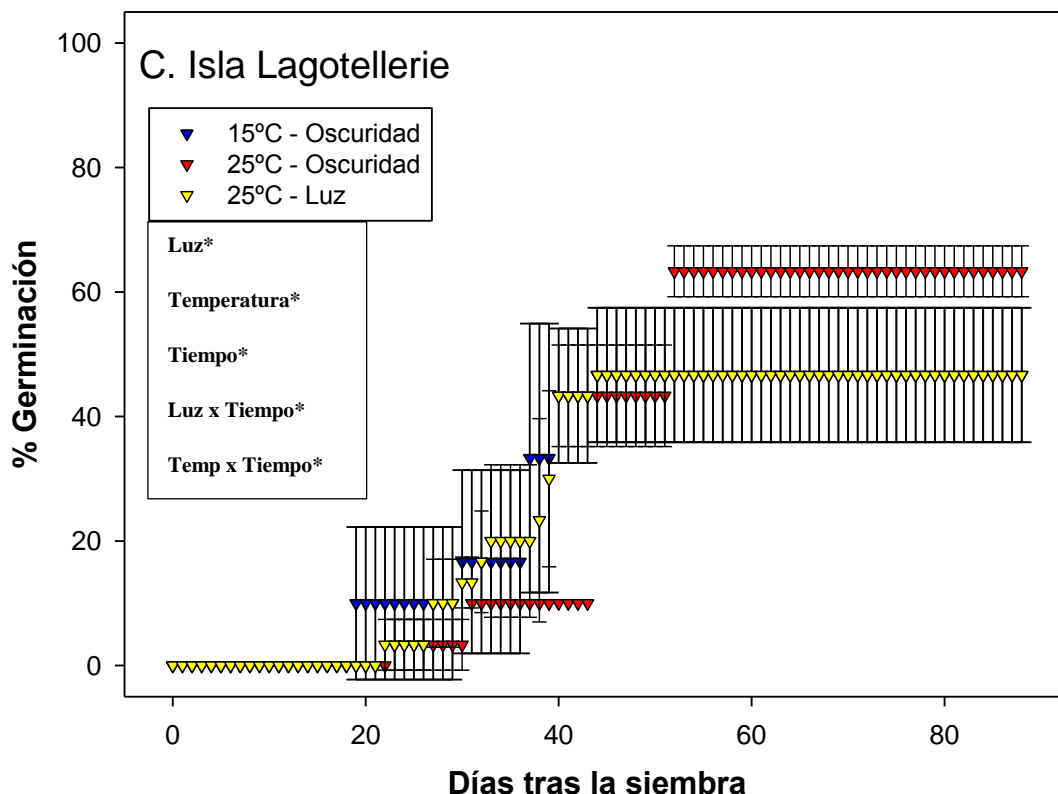


Fig. 6. Representación de los resultados en el ecotipo Isla Lagotellerie. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento comparando las diferentes condiciones y los parámetros que han tenido un valor significativo (*) en el efecto de la germinación, mediante el estudio ANOVA (Valor significativo, α menor de 0,05).

En Isla Lagotellerie se observa que el tratamiento a 25°C luz es el primero en germinar y se mantiene constante durante los primeros 20 días. En torno a este día todos los tratamientos comienzan a germinar. A 25°C luz se produce un crecimiento lineal entre los días 22 al 41, donde se estabiliza con un 46,6% de germinación (Tabla.3) hasta el final, mientras que los tratamientos en oscuridad se mantienen por debajo hasta el día 40 en el caso de 15°C y hasta el día 52 en el caso de 25°C. El tratamiento de 15°C se estabiliza conjunto al de 25°C luz en el día número 40, ya que los porcentajes de germinación son los mismos para ambos valores, 46,6% (Tabla.1 y 3) hasta el final. A 25°C oscuridad se produce un aumento de la germinación a partir del día 52 con respecto a los otros dos tratamientos, aumentando entorno a un 17% más (Fig.6).

En la Fig.6 también se nota la rápida respuesta que presentan las semillas en el tratamiento a 25°C oscuridad aunque sea con valores muy bajos y constantes hasta el día 22, y se mantienen bastante bajos, en torno al 10% hasta el día 43, para después manifestar una germinación más exponencial (alrededor de un 50% más) a partir de dicho día, alcanzando el máximo valor de semillas germinadas en las oscuridad en relación al otro valor de temperatura. El tratamiento a 15°C presenta casi un 17% menos de semillas germinadas en comparación con el de 25°C, quedando por debajo del tratamiento a 25°C a partir de día 43, ya que antes como se observa en la gráfica estaba siempre con valores más elevados hasta que a partir de éste día se estabiliza.

❖ Ecotipo Isla Anchorage

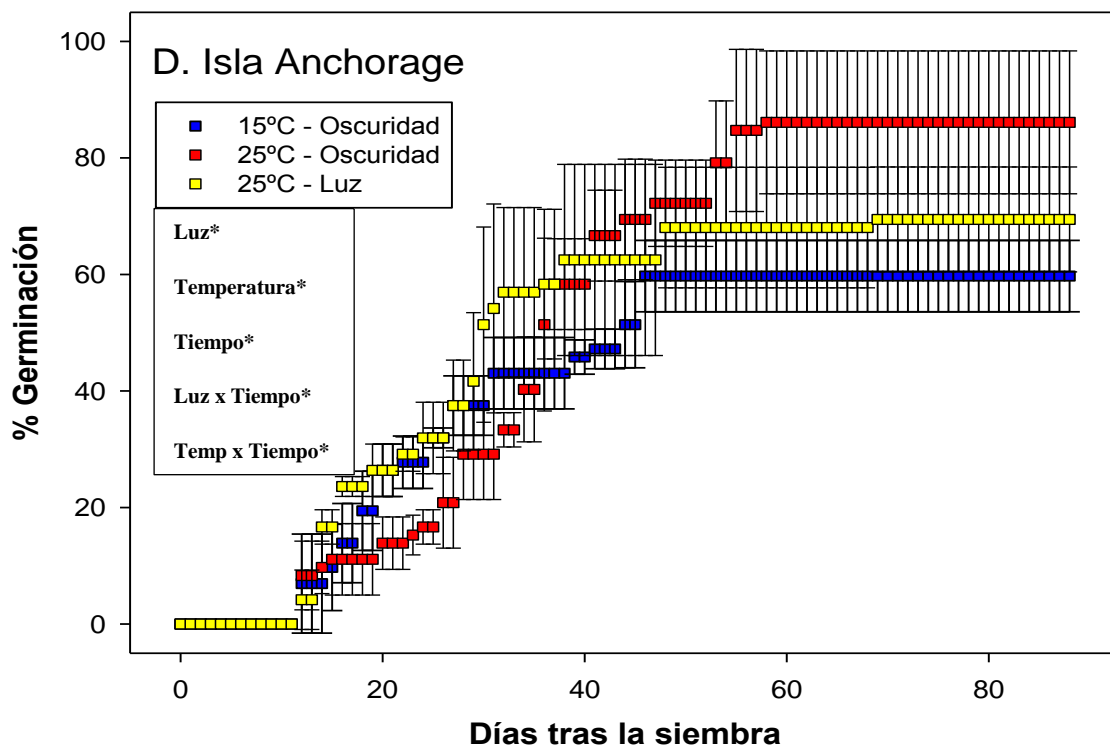


Fig. 7. Representación de los resultados en el ecotipo Isla Anchorage. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento comparando las diferentes condiciones y los parámetros que han tenido un valor significativo (*) en el efecto de la germinación, mediante el estudio ANOVA (Valor significativo, α menor de 0,05).

En Isla Anchorage se observa (Fig.7) que el tratamiento a 25°C luz es el primero en germinar en relación a los tratamientos de oscuridad. Muestra un alto porcentaje de germinación, equiparable en porcentaje a los valores obtenidos por el tratamiento 15°C oscuridad en un periodo de 13-31 días después de siembra, aumentando de un 4% a un 40% en este tiempo y aumentando y desmarcándose de este tratamiento de oscuridad en el periodo de 30 a 40 días en el cual aumenta de un 40% a un 62%, siendo superado por el tratamiento de 25°C luz. Después del día 40 se observa en el tratamiento de 25°C luz un ligero aumento de la germinación (en torno a un 7%) pero no es tan significativo como el anterior. El porcentaje final de germinación para el tratamiento de luz fue un 69,4%, un 10% más del que se obtuvo a 15°C oscuridad (59,7%), mientras que para 25°C oscuridad el valor fue de un 86%.

En los tratamientos de oscuridad (Fig.7) se observa como a 25°C se produce una germinación más rápida que se mantiene estable los primeros 12 días, momento en el cual comienzan a aumentar los valores de manera progresiva y el tratamiento a 15°C comienza a germinar. En primera instancia y durante los días 12 al 37 los valores de germinación a 15°C se mantienen por encima de los de 25°C, luego comienzan a descender un 10% hasta quedar por debajo del de 25°C con un porcentaje final de 59,7%, un veinte por ciento menos que el tratamiento de mayor temperatura (69,4%).

❖ Ecotipo **La Serena**

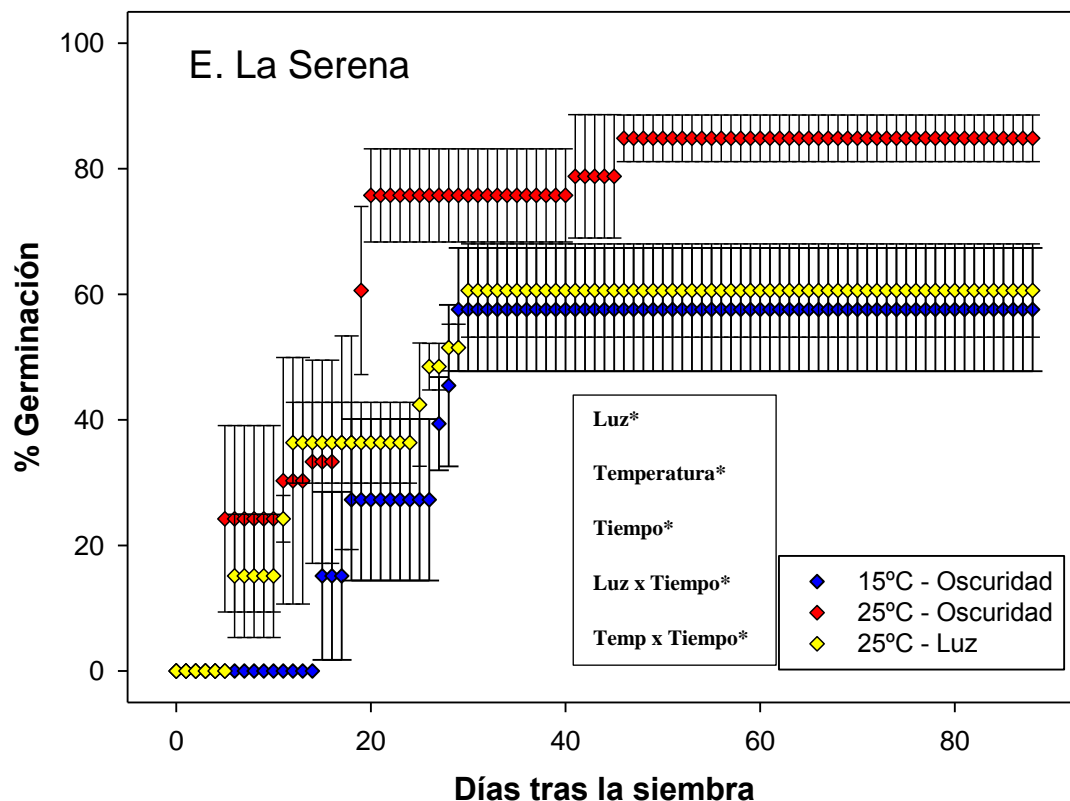


Fig. 8. Representación de los resultados en el ecotipo La Serena. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento comparando las diferentes condiciones y los parámetros que han tenido un valor significativo (*) en el efecto de la germinación, mediante el estudio ANOVA (Valor significativo, α menor de 0,05).

En la Serena (Fig.8) se observa que el tratamiento con luz es el primero en germinar de manera muy lenta los primeros seis días, cuando comienzan a germinar los tratamientos de oscuridad. El tratamiento de oscuridad a 25° C es el primero en desmarcarse con respecto al de luz y 15°C, con un valor de un 10% y 25% mayor respectivamente. A partir del día 6 los tratamientos de 25°C luz y 15°C oscuridad crecen de manera paralela durante toda la experimentación y solo varían en un 3% el valor del porcentaje final de germinación (60,6% y 57,5% respectivamente, Tablas.1 y 3).

En los tratamientos de oscuridad (Fig.8) se muestra como el tratamiento a 25°C comienza a germinar antes que el de 15°C, marcando unos valores mucho mayores a partir del 5 día cuando aumenta hasta un 25%. El tratamiento a 15°C demora el doble de días aproximadamente en germinar y lo hace de una manera mucho más lenta y siempre por debajo de los valores a 25°C. Las diferencias más significativas que se producen entre estas dos temperaturas en los primeros días cuando los valores de germinación a 25°C son un 25% más elevados que a 15°C y el día 20 en donde el porcentaje de germinación a 25°C es un 50% mayor al de 15°C. Los valores finales en oscuridad fueron a 15°C de un 57,5% y 84,8 a 25°C.

❖ **Tratamientos de luz y oscuridad con los cinco ecotipos**

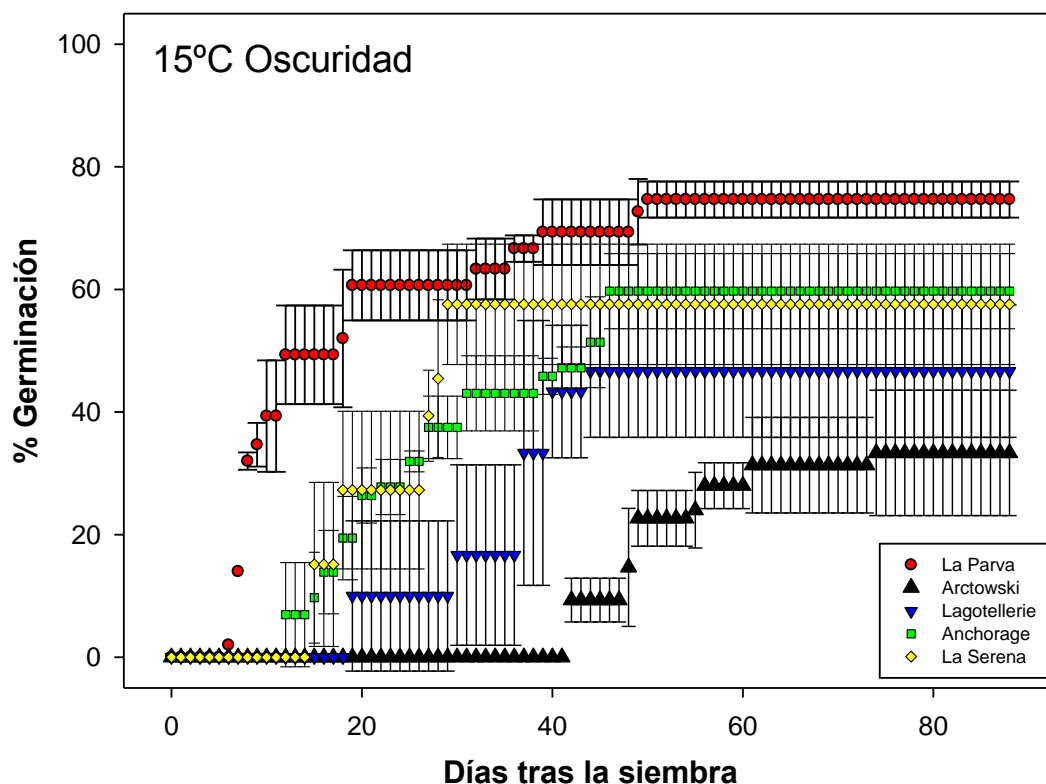


Fig. 9. Representación de la germinación de los cinco ecotipos a 15°C oscuridad. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento.

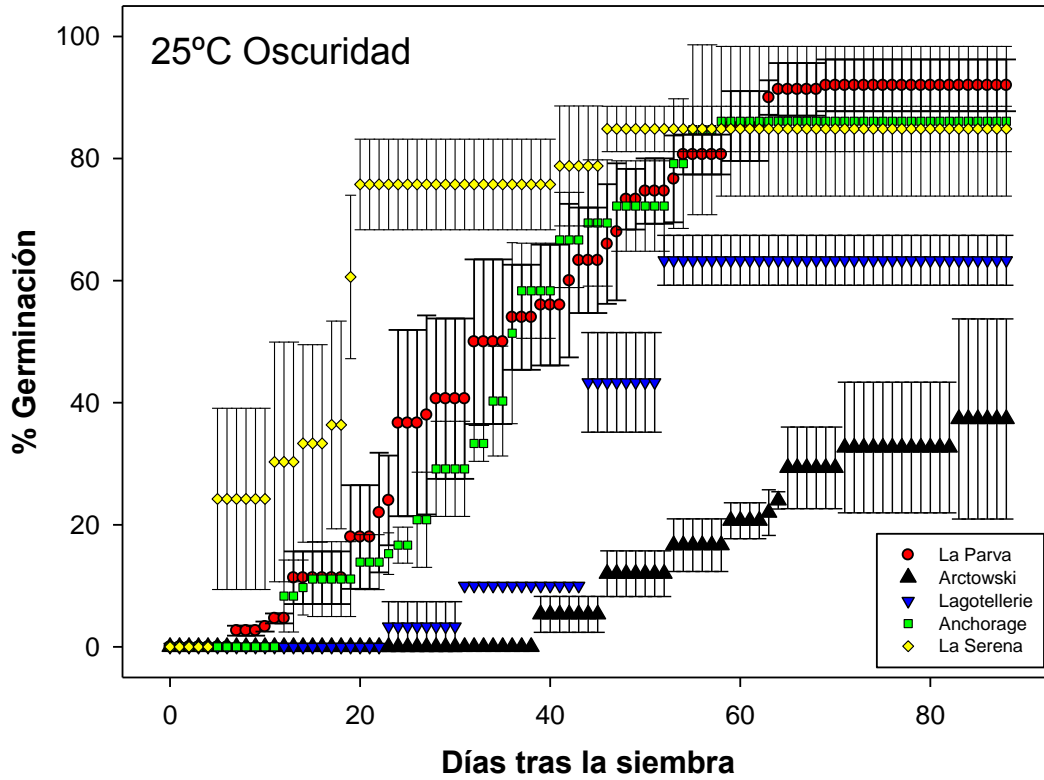


Fig. 10. Representación de la germinación de los cinco ecotipos a 25°C oscuridad. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento.

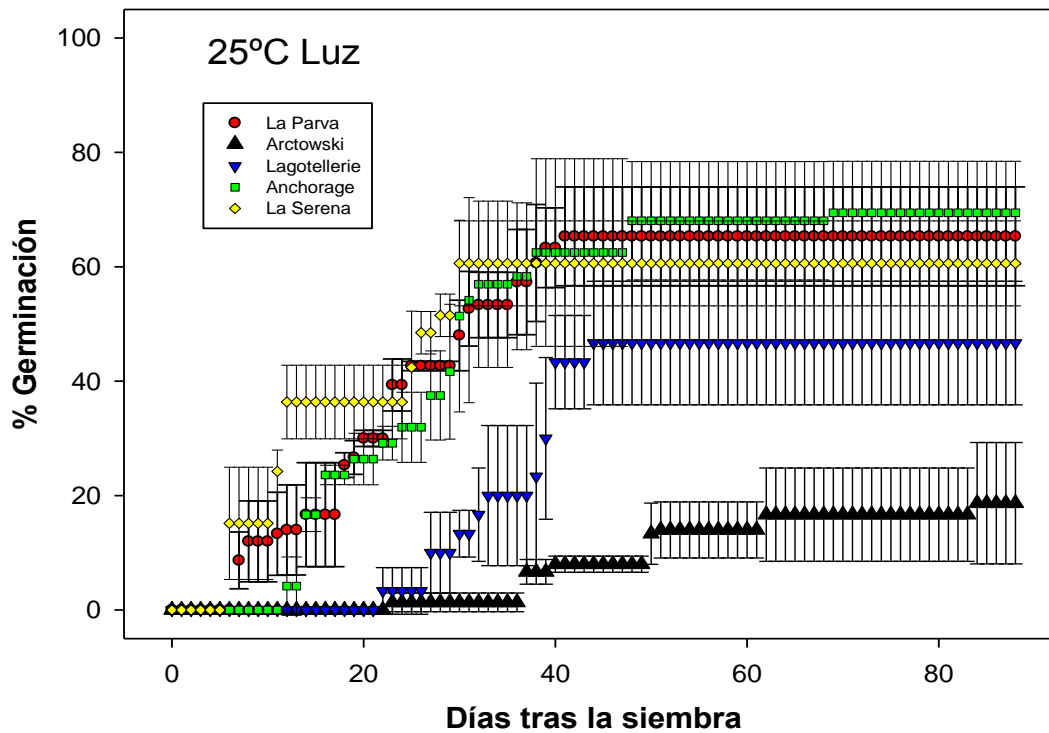


Fig. 11. Representación de la germinación de los cinco ecotipos a 25°C luz. Cada punto representa la media más/menos error estándar de 3 réplicas por tratamiento.

Para el tratamiento de 15°C oscuridad (Fig.9) se observa que La Parva es la primera en germinar en el día número 6 y lo hace de manera rápida y separándose de los otros cuatro ecotipos de manera bastante significativa con un 60% hasta el día 20 en donde parece que crece de manera más pausada hasta llegar al día 45 donde se estabiliza con el mayor porcentaje de germinación, 76,4%. La Serena junto con Isla Anchorage presentan unos valores de germinación bastante similares durante el transcurso de los primeros 30 días, momento en el cual La Serena aumenta casi un 20% más en su germinación con respecto a Isla Anchorage y se estabiliza con un porcentaje de germinación de 57,5%, pero a partir del día 45, Isla Anchorage se estabiliza y supera en apenas un 2% a La Serena en el resultado final de germinación (59,5%). Isla Lagotellerie también presenta un comportamiento en el crecimiento similar al de La Serena e Isla Anchorage, pero sus valores de germinación son significativamente mucho menores, presentando un crecimiento notorio a partir del día 18 hasta el 43 en donde comienza a ralentizarse su germinación en un valor final de 46,6% (entre un 11 y 13% menos que en La Serena e Isla Anchorage). Lo que se evidencia de manera notoria es el bajo porcentaje de germinación que presenta el ecotipo de Arctowski, no solo es la que más ha tardado en germinar con respecto a los demás ecotipos, sino que también el crecimiento en el número de semillas germinadas en el periodo de seguimiento es muy pequeño entre sí exceptuando en el periodo entre los días 38 al 55 en donde aumenta de un 10% a un 30%, para finalizar con 33,3 %.

En la Fig.10, correspondiente al comportamiento de los ecotipos a 25°C oscuridad se observa como La Serena e Isla Anchorage son los primeros en germinar con una diferencia de dos días respectivamente, seguidos por La Parva. La Serena presenta un porcentaje inicial de germinación del 25% que va creciendo de manera moderada hasta el día 20, en donde parece producirse un boom en la cantidad de semillas germinadas aumentando así su porcentaje en un 50% y luego vuelve a moderarse en los siguientes 20 días hasta aumentar en el día 45 un 5% más y estabilizarse en un valor final de 84,8%. Isla Anchorage y La Parva también germinan con dos días de diferencia teniendo un crecimiento muy similar durante los primeros 50 días en los cuales la diferencia de porcentaje de germinación es muy pequeña entre ambas. En el día 55 se produce un ligero aumento en el valor de la germinación tanto para La Parva e Isla Anchorage en torno al 12 y 13% respectivamente, para estabilizarse con un valor final de 92% para La Parva y un 86,1% para Isla Anchorage.

Las semillas procedentes de Isla Lagotellerie comienzan a germinar en el día 22 de forma muy moderada hasta el día 43, en el cual experimenta el primer crecimiento significativo en el número de semillas germinadas, aumentando de un 10% a un 43% aproximadamente, y el siguiente se puede observar en el día 53, donde aumenta un 20% hasta su valor final de germinación 63,3%.

Como se evidencia también en el gráfico del tratamiento a 15°C oscuridad, el ecotipo de Arctowski es el que germina más tarde con unos valores muy bajos. Comienza a germinar 40 días después de la siembra con valores poco significativos y comienza un crecimiento lento y gradual a partir del día 45, alcanzando su porcentaje máximo de germinación el día 83, con un valor de 37,3%.

Con una temperatura de 25°C en condiciones de luz (Fig.11) se observa como este factor externo tiende a acelerar en días la germinación en los cinco ecotipos y el más evidente se produce en Arctowski en relación con los tratamientos de oscuridad. Los ecotipos de La Parva e Isla Anchorage presentan un crecimiento a la par durante el periodo de experimentación, salvo cuando La Parva se estabiliza 6 días antes que Isla Anchorage (se estabiliza en el día 47) y lo hace un 4% por debajo de la misma, alcanzando un valor final de 65,3% frente a un 69,4%.

En el caso de Isla Lagotellerie se observa un crecimiento lento después de los primeros cinco días de germinación, hasta alcanzar un 20% en el día 38 momento en el cual se produce el aumento más acusado que presenta pasando de un 20 a un 44% para luego alcanzar su máximo porcentaje de germinación en día 45 (46,6%) cuando ya se ha estabilizado.

En el ecotipo de Arctowski se puede observar claramente como el factor luz acelera el tiempo de germinación con respecto a los de oscuridad. Mantiene un crecimiento muy bajo constante hasta el final, y en los días 37 al 60 es donde se observa un ligero aumento en el valor de la germinación, que en comparación con el resto de ecotipos es significativamente mucho más bajo ya que solo logra alcanzar un 18,8%.

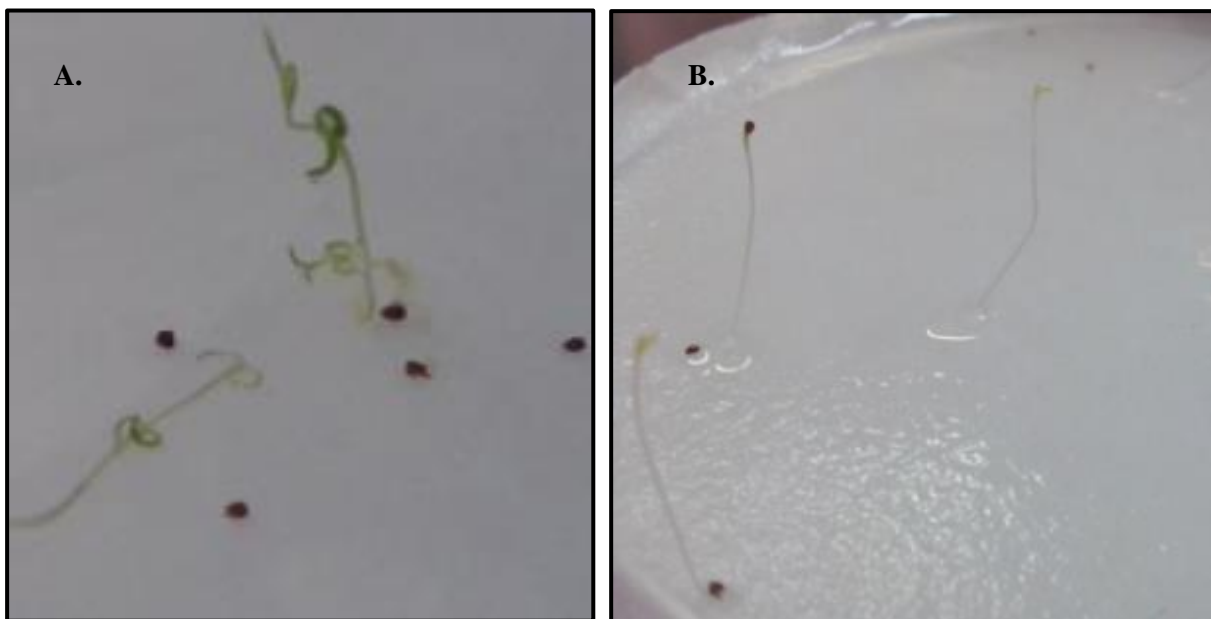


Fig. 12. La imagen A corresponde a semillas de *Colobanthus quitensis* crecidas con luz y la de la B en oscuridad.

Se puede observar claramente la diferencia morfológica que presentan las semillas una vez germinadas en diferentes condiciones. En oscuridad presentan una ausencia de clorofila, un tallo más largo y la hoja del ápice, en comparación a las de luz, además de una evidente diferencia en la morfología de la hoja.

Discusión y Conclusión

Lo primero que podemos evidenciar con bastante claridad gracias a los resultados obtenidos es que la planta *Colobanthus quitensis* presenta una plasticidad morfo fisiológica que le permite adaptarse a las diferentes condiciones de los climas que habita, ya que los ecotipos de los Andes y los Antárticos han respondido variablemente (quizás no tanto en Arctowski) a los diferentes tratamientos.

Lo segundo es que el **factor luz**, si bien favorece en primera instancia a que las semillas germinen algunos días antes con respecto a los tratamientos de oscuridad, **produce los porcentajes más bajos de germinación** en Arctowski y La Parva. Se iguala el valor en Isla Lagotellerie con el tratamiento a 15°C y en La Serena e Isla Anchorage se sitúa con valores de germinación entre medias de los tratamientos a oscuridad a diferentes temperaturas. Ello nos lleva a pensar que en esta especie la luz juega un papel complejo, acelerando la germinación en primera instancia hasta que **se produce una inhibición de la germinación** causada por la luz a medida que los días transcurren. Se desconocen los mecanismos fisiológicos que pueden originar semejante comportamiento dual del factor luz.

En estas condiciones el ecotipo que presenta un porcentaje más bajo de germinación es Arctowski seguido de Isla Lagotellerie, ambas provenientes de un clima Antártico en donde los valores de irradiación suelen ser bastante bajos debido a que el 80% de los días durante el periodo de crecimiento de *Colobanthus quitensis*, los cielos están cubiertos por nubes la mayor parte del tiempo (Sierra-Almeida *et al.*, 2007). Estos valores obtenidos se contrarrestan un poco con los obtenidos por Isla Anchorage, ecotipo también de clima Antártico, el cual responde con el porcentaje más elevado de germinación en este tratamiento y de manera más temprana. Podríamos decir que a la mitad de tiempo del periodo de experimentación es cuando estos dos ecotipos comienzan a despuntar pero quedan con poco éxito germinativo (Fig. 9,10 y 11).

En los ecotipos de clima Andino (La Parva y La Serena) también es evidente el efecto inhibitorio que presenta la luz, ya que los porcentajes son más bajos en comparación con el factor oscuridad en el caso de La Parva y en La Serena a 25°C.

Que en condiciones de luz germinen con unos valores más altos en comparación con los ecotipos Antárticos podría explicarse como una aclimatación o adaptación, debido a que las condiciones de irradiación que se producen en el periodo de crecimiento de *C. quitensis* son mucho más elevadas (mencionadas con anterioridad) y adaptan sus mecanismos fisiológicos a estas condiciones de alta intensidad lumínica.

En condiciones de **oscuridad** los ecotipos parecen **germinar mucho mejor** que en condiciones de luz, si bien el inicio de la germinación se muestra retardado. Los ecotipos Andinos son los que presentan mayor porcentaje de germinación en ambas temperaturas (15°C y 25°C), siendo la Parva la que presenta una mejor adaptación a los márgenes de temperatura establecidos, sobre todo a 25°C, ya que sus porcentajes (76,4% a 15°C, y 92% a 25°C) superan a los de la Serena en ambos tratamientos en un margen del 10-20% (57,5% a 15°C, 84,8% a 25°C). Esta diferencia puede ser debida al clima que se presenta en las

diferentes zonas. Recordemos que La Parva se sitúa a 2700m de altura con presencia de vientos fuertes y periodos cubierto de nieve en donde las condiciones de intensidad lumínica son bastante elevadas, en contraste La Serena es una ciudad con un clima desértico costero en donde el cielo permanece cubierto por la niebla generada por los aires húmedos. Estas adaptaciones que presentan a su microclima las semillas de La Parva pueden favorecer a que encuentren más óptimo germinar a 25°C.

Los ecotipos Antárticos también responden mejor al tratamiento de 25°C oscuridad que al de 15°C, sobre todo Isla Anchorage conjuntamente con Isla Lagotellerie. Estos valores son ligeramente más elevados que los obtenidos a 15°C (Tablas 1 y 2).

Con respecto a Arctowski cabe mencionar que presenta en todos los tratamientos un letargo en la germinación. Esto puede deberse a que no todos los embriones de las semillas eran viables antes de empezar con la experimentación, y que en condiciones de laboratorio no se producen los factores que pueden favorecer al germinado de la especie en las condiciones tan extremas en las que habita. La acción del fuerte viento, descongelación de la nieve o la perturbación de animales como el Lobo fino Antártico (*Arctophoca gazella*), (Ruhland *et al.*, 2000) favorecen a la dispersión y germinación de *Colobanthus quitensis* en este hábitat, ya que por acción mecánica parece que logran debilitar la cubierta que las hace tan resistentes y facilita la salida del embrión.

A modo de **conclusión**, podríamos decir que la especie *Colobanthus quitensis* tiene en sus genes la información necesaria para que esta planta diseñe en su morfología y fisiología mecanismos que la hagan resistente a hábitats extremos y a condiciones que son un poco más favorables para que se desarrollen de manera óptima. Parece ser que el **factor de temperatura no es un condicionante** para el crecimiento de la especie, porque como hemos comprobado germina tanto a 15°C como a 25°C, siendo éste último valor el que se acerca más a su temperatura óptima de funcionamiento obteniendo los mejores resultados para todos los ecotipos (esto podría significar que el calentamiento global en la zona de la Antártida podría favorecer a la aparición y desarrollo de la especie).

Pero sí lo es la luz y la oscuridad. En este aspecto la oscuridad, favorece a una respuesta más adecuada por parte de las semillas, mientras que la luz genera una inhibición.

Globalmente, si bien se observan diferencias entre los ecotipos en cuanto a valores máximos de germinación, todos ellos muestran preferencias de germinación en oscuridad y temperatura elevada. Ello hace suponer que la presencia de *C. quitensis* en la Antártida no se debe a una especial aclimatación de la germinación a esas condiciones en los ecotipos antárticos, sino que se da precisamente a pesar de la ausencia de la misma.

Si se quisiera estudiar más a fondo el comportamiento de la especie en condiciones de laboratorio, tanto los ecotipos Andinos como los Antárticos serían buenos a la hora de obtener resultados en relación a su respuesta a la radiación, crecimiento de las estructuras de la planta (tallo, hojas) a nivel de estudios de aclimatación o genéticos, a fin de encontrar la pauta que permita a esta planta sobrevivir en las condiciones más adversas del planeta como las presentes en la Antártida.

Referencias

- Bravo LA, Saavedra-Mella FA, Vera F, Guerra A, Cavieres LA, Ivanov AG, Hunter NP, Corcuera LJ. 2007. Effect of cold acclimation on the photosynthetic performance of two ecotypes of *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 13, pp. 3581–3590, 2007
- Casanova-Katny M, Bravo LA, Molina Montenegro M, Corcuera LJ, Cavieres LA. 2006. Photosynthetic performance of *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. (Caryophyllaceae) in a high-elevation site of the Andes of central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 79, 41–53.
- Fox AJ, Cooper APR. 1998. Climate-change indicators from archival aerial photography of the Antarctic Peninsula. *International Glaciological Society. Annals of Glaciology.*, 27.
- Mantovani A, Vieira RC. 2000. Leaf micromorphology of Antarctic pearlwort *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. *Polar Biol* (2000) 23: 531±538
- Montenegro MA, Torres-Díaz C, Carrasco-Urra F, González-Silvestre LA, Gianoli F. 2012. Phenotypic plasticity in two antarctic populations *Colobanthus quitensis* of (Caryophyllaceae) under a simulated global change scenario. *Gayana Bot.* 69(1), 2012
- Moore DM (1970) Studies in *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. and *Deschampsia antarctica* Desv.: taxonomy, distribution and relationships. *British Antarctic Survey Bulletin* 23: 63-80.
- Ruhland, C.T, Day, T.A, 2000. Size and longevity of seed banks in Antarctica and the influence of ultraviolet-B radiation on survivorship, growth and pigment concentrations of *Colobanthus quitensis* seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 45 (2001) 143–154.
- Sierra-Almeida A, Casanova-Katny M, Bravo LA, Corcuera LJ, Cavieres LA. 2007. Photosynthetic responses to temperature and light of Antarctic and Andean populations of *Colobanthus quitensis* (Caryophyllaceae). *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 335-343, 2007.
- Xiong FS, Mueller EC, Day TA. 2000. Photosynthetic and respiratory acclimation and growth response of Antarctic vascular plants to contrasting temperature regimes. *American Journal of Botany* 87, 700–710.
- Xiong FS, Ruhland CT, Day TA. 1999. Photosynthetic temperature response of the Antarctic vascular plants *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica*. *Physiologia Plantarum* 106, 276–286.
- Boletín Antártico Chileno. Vol. 29 N° 1. Junio 2010/ ISSN 0716-0763
- <http://memim.com/anchorage-island-antarctica.html>

http://www.ats.aq/documents/recatt/Att202_s.pdf

<https://books.google.es/books?id=hxiQLqjIQ8C&pg=PA55&lpg=PA55&dq=isla+lagotellerie&source=bl&ots=-wCegqC62x&sig=37jWu0ZuOu1hdapt6fd8qtCGu0s&hl=es&sa=X&ved=0CFUQ6AEwDGoVChMlx4SUhoTexgIV6xfbCh0VFgE2#v=onepage&q=isla%20lagotellerie&f=false>

<http://www.welcomechile.com/laserena/>