

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**IDENTIFICACIÓN E INCIDENCIA DE *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. EN
CALAFATE (*Berberis microphylla* G. Forst.) Y MICHAY (*Berberis darwinii* Hook.) EN EL
LLANO CENTRAL DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

ALEJANDRO ELÍAS CÁRDENAS LIZAMA

TEMUCO – CHILE

2012

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**IDENTIFICACIÓN E INCIDENCIA DE *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. EN
CALAFATE (*Berberis microphylla* G. Forst.) Y MICHAY (*Berberis darwinii* Hook.) EN EL
LLANO CENTRAL DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

ALEJANDRO ELÍAS CÁRDENAS LIZAMA
PROFESOR GUÍA: JAIME ANTONIO GUERRERO CONTRERAS
TEMUCO – CHILE

2012

IDENTIFICACIÓN E INCIDENCIA DE *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. EN CALAFATE (*Berberis microphylla* G. Forst.) Y MICHAY (*Berberis darwinii* Hook.) EN EL LLANO CENTRAL DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.

PROFESOR GUÍA : JAIME GUERRERO CONTRERAS.
Ingeniero Agrónomo., Mg. Cs., Dr.
Departamento de Producción Agropecuaria.

PROFESOR CONSEJERO : EMMA BENSCH TAPIA.
Ingeniero Agrónomo., Mg. Cs.
Departamento de Ciencias Agronómicas y
Recursos Naturales.

CALIFICACIÓN PROMEDIO TESIS : 7,0

Mantén tu rostro hacia la luz del sol y no verás la sombra.

Helen Adams Keller (1880-1968)

AGRADECIMIENTOS.

Recordando todos los momentos vividos de esta importante etapa, debo decir que no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de mis padres Elías y María Elena, a quienes les dedico esta investigación. También a mis hermanos Cristián y Jenny, por su respaldo en todo momento.

Quiero agradecer a quien me dio la oportunidad de trabajar en su grupo de investigación, mi profesor guía Sr. Jaime Guerrero Contreras, la experiencia y conocimiento que me transmitió tanto profesional como personal, serán herramientas importantes en mi porvenir. Siempre tendré en mente estas palabras: “un gladiador se prueba en la arena y no baja los brazos ya que se juega la vida”.

A mi profesora consejera Sra. Emma Bensch Tapia la ayuda que me brindó ha sido muy importante para poder llevar a cabo esta tesis. También agradezco a los profesores Sres. Rubén Carrillo L. y Jorge Barahona V., quienes indirectamente aportaron con sus conocimientos en esta investigación.

No olvidaré a todas las personas que de alguna u otra forma estuvieron junto a mí: familiares, amigos y compañeros de laboratorio de fitopatología. Sólo queda decir que este es el fin de una etapa magnífica e irreplicable, de la cual tuve el privilegio de poder realizar y pasar a ser parte de una gran carrera profesional.

ÍNDICE

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Generalidades de la familia <i>Berberidaceae</i> Juss. y género <i>Berberis</i> L.	3
2.2 Características botánicas	7
2.3 Propiedades químicas	10
2.4 Manejo y propagación	13
2.5 Calafate (<i>Berberis microphylla</i> G. Forst)	14
2.5.1 Características botánicas	15
2.5.2 Fenología	15
2.6 Michay (<i>Berberis darwinii</i> Hook.)	16
2.6.1 Características botánicas	17
2.6.2 Fenología	17
2.7 Situación comercial en Chile	17
2.8 Enfermedades fungosas asociadas a calafate y michay	20
2.8.1 Fitopatógenos asociados a calafate	20
2.8.2 Fitopatógenos asociados a michay	20
2.8.3 Generalidades de los Uredinales	22
2.8.4 Descripción de la familia Pucciniaceae	26
2.8.4.1 Descripción del género <i>Puccinia</i> Pers.	27
2.8.5 Ciclo de vida	27
2.8.6 Síntomas y Signos	31
2.8.7 Métodos de control	33
2.8.8 Royas asociadas a calafate y michay.	35
2.9. <i>Puccinia meyeri-albertii</i> P. Magn.	37
2.9.1 Morfología	37
2.9.2 Hospedantes	38

3.	MATERIALES Y MÉTODO	39
3.1	Ubicación y duración del estudio	39
3.2	Materiales	39
3.3.	Método	40
3.3.1	Prueba de germinación de teliosporas	40
3.3.2	Identificación del agente causal y caracterización morfométrica	40
3.3.3	Incidencia	41
3.3.4	Severidad	41
3.3.5	Correlaciones	42
3.4	Fenología de calafate y michay	42
3.5	Diseño experimental y análisis estadístico	43
4.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
4.1	Identificación de <i>Puccinia meyeri-albertii</i> Magn.	43
4.1.2	<i>Puccinia meyeri-albertii</i> Magn. en calafate (<i>Berberis darwinii</i> Hook.)	44
4.1.2.1	Fase teleutosórica	44
4.1.2.2	Fase uredosórica	47
4.1.2.3	Incidencia	48
4.1.2.4	Severidad	49
4.1.3	<i>Puccinia meyeri-albertii</i> Magn. en michay (<i>Berberis darwinii</i> Hook.)	49
4.1.3.1	Fase teleutosórica	49
4.1.3.2	Fase uredosórica	51
4.1.3.3	Incidencia	52
4.1.3.4	Severidad	54
4.2	Caracterización morfométrica de las esporas	54
4.2.1	Teliosporas	55
4.2.2	Uredosporas	56
4.3	Correlaciones	56
	Incidencia y Temperatura en calafate	
4.3.2	Incidencia y Precipitación en calafate	56
4.3.3	Incidencia y Temperatura en michay	58

4.3.4	Incidencia y Precipitación en michay	58
4.4	Fenología de calafate y michay	59
5.	CONCLUSIONES	62
6.	RESUMEN	63
7.	SUMMARY	65
8.	LITERATURA CITADA	67
9.	ANEXO	72

1. INTRODUCCIÓN

La familia Berberidaceae comprende 15 géneros y 650 especies alrededor del mundo. En la zona alto andina de Chile y parte sur de Argentina, el género *Berberis* es el único representante de esta familia con 20 especies, de las cuales 18 están distribuidas en Chile, desde la Región de Antofagasta a la Región de Magallanes y Antártica Chilena.

Las plantas de la familia Berberidaceae han sido de gran interés para los investigadores, debido a la presencia de fitoquímicos destacados como fenoles y alcaloides, que como es sabido, son compuestos naturales con efectos fisiológicos positivos en animales y humanos debido a la capacidad de capturar radicales libres causantes del estrés oxidativo. Por lo tanto el consumo de la fruta de estas plantas es beneficioso para la salud, porque previene enfermedades como las cancerígenas, neurodegenerativas y cardiovasculares.

El calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) y michay (*Berberis darwinii* Hook.) son arbustos siempre verdes nativos del sur de Chile, con frutos comestibles y flores conspicuas que le dan un valor ornamental. Con propiedades terapéuticas como febrífugo, antibiótico y antiséptico al utilizar corteza y raíz; además de tintóreas ya que se pueden teñir algunas fibras usadas en artesanía tradicional chilena, por esta razón, son consideradas “plantas multipropósito”.

Los estudios realizados a estas especies nativas, basados en las propiedades intrínsecas como también a los fitopatógenos asociados, datan de fines del siglo XIX a principios del siglo XX. No obstante, por tratarse de plantas silvestres, las investigaciones más específicas sobre los métodos de manejo productivo como poda, requerimientos nutricionales, riego, así como también, estudios epidemiológicos de plagas y enfermedades, son las limitantes que intervienen en el cultivo de los *Berberis*, tanto como para propósito agroindustrial y de exportación.

Una de las enfermedades más común en calafate y michay en diferentes condiciones edafoclimáticas, es la roya, respecto de la cual hay escasa información científica.

La Hipótesis de trabajo postula que: La roya del calafate y del michay corresponde a *Puccinia meyeri-albertii* Magn., y su incidencia en estructuras vegetativas y reproductivas es diferencial.

Objetivo General:

Identificar el agente causal de la roya en Calafate (*B. microphylla* Forst.) y Michay (*B. darwinii* Hook.), y evaluar la incidencia en ambas especies, en el Llano Central de la Región de la Araucanía.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar morfométricamente la especie de *Puccinia*.
2. Cuantificar la incidencia e intensidad del fitopatógeno, en estructuras vegetativas y reproductivas de calafate y michay.
3. Describir ciclo biológico y sintomatología del agente causal de la roya.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades de la familia Berberidaceae Juss. y Género *Berberis* L.

Distribución geográfica de la familia Berberidaceae Juss. La familia Berberidaceae tiene alrededor de 15 géneros y 650 especies, que se distribuyen principalmente en las zonas templadas del hemisferio Norte. En la zona Andina de América del Sur, el único representante de esta familia, es el género *Berberis* (Landrum, 1999). De acuerdo al número de especies, Singh (2004) indica que los géneros más representativos son: *Berberis* (540), *Mahonia* (60), *Podophyllum* (12), *Jeffersonia* (2) y *Nandina* (1). Estudios recientes indican que a nivel mundial en el hemisferio Norte se reconocen 500 especies representados por *Berberis* y aproximadamente 200 por *Mahonia*, cuyas diferencias radican en su estructura foliar; *Mahonia* posee hojas pinnaticompuestas mientras que *Berberis*, hojas simples (Figura 2). Estos dos géneros tienden a combinarse, dando como resultado un “agujero negro taxonómico” (Landrum, 1999; Fralish & Franklin, 2002).

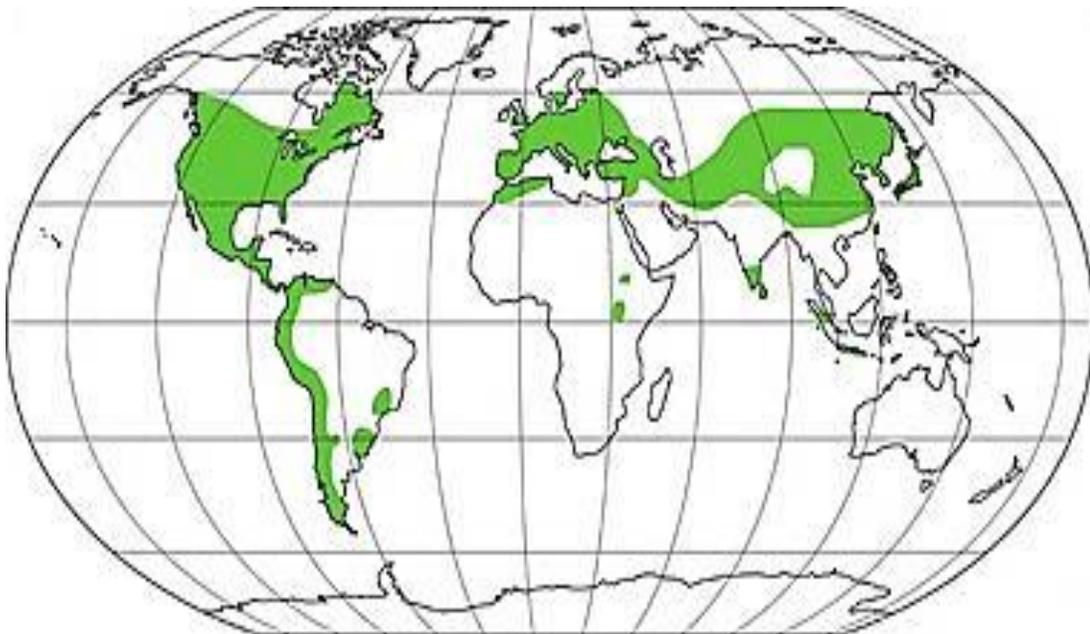


Figura 1. Distribución geográfica de la familia Berberidaceae (zonas en verde).

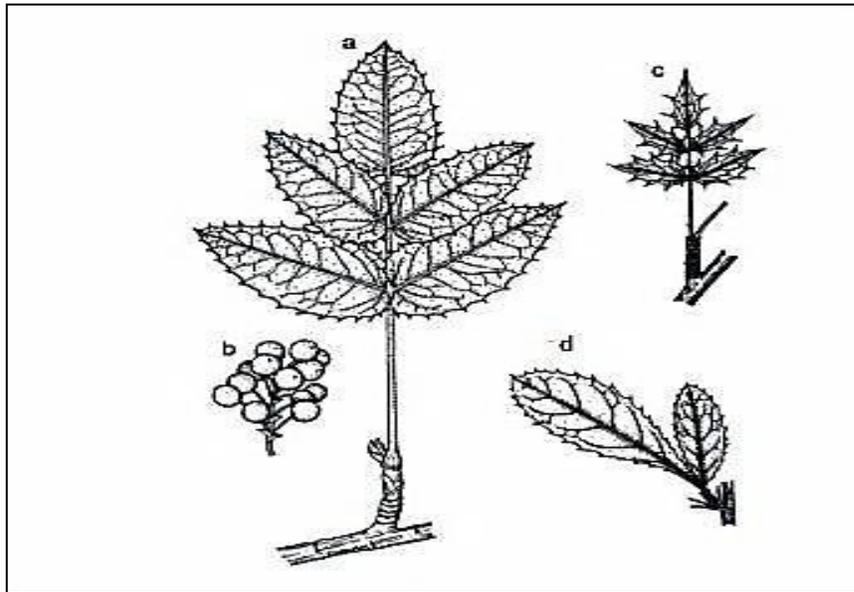


Figura 2. **a)** *Mahonia repens* Lindl., hoja pinnaticompuesta. **b)** *M. repens* Lindl, bayas en inflorescencia. **c)** *M. fremontii* Torr., hoja compuesta. **d)** *Berberis canadensis* Mill., hoja simple.
Fuente: Fralish & Franklin, 2002.

Distribución geográfica del género *Berberis* L. Las especies de hoja simple (*Berberis*) tienen dos importantes centros de diversidad: los *Septentrionales* de Eurasia y nororiente de África con alrededor de 300 especies y los *Austroales* de América del Sur con 200 especies aproximadamente descritas por Ahrendt (1961). Cabe destacar la ausencia de berberidáceas en Australia, donde sólo se encuentran cinco especies naturalizadas, entre ellas *B. darwinii* Hook. (Anónimo, 2009). El género *Berberis* crece en el Norte, Centro y Sudamérica desde los 55° S hasta el Ecuador, (Letcher, 1857 citado por Bottini *et al.*, 1998)

Para Chile y la parte adyacente sur de Argentina, Landrum (1999) informa que la cantidad de especies es inferior a las 60 citadas por Ahrendt (1961), aceptando sólo 20 especies y de éstas 16 se encuentran en la Patagonia (Bottini *et al.*, 1993).

En Chile 18 representantes del género *Berberis* se encuentran distribuidos desde la Región de Antofagasta a la Región de Magallanes y Antártica Chilena (Cuadro 1), incluyendo Archipiélago Juan Fernández (Landrum, 1999). La mayoría de estas especies se encuentra en la región de los bosques andino-patagónicos, formando parte del sotobosque. Otras de estas

especies, son más frecuentes en cierto tipo de bosque, como es el caso de *Berberis serrato-dentata* la cual crece en bosques de Lengua. (Arena *et al.*, 1997; Arribillaga, 2000).

Cuadro 1. Distribución de las especies de *Berberis* presentes en Chile.

Género y Especie	Región
1. <i>Berberis actinacantha</i> Mart.	Antofagasta - Araucanía
2. <i>Berberis chilensis</i> Gillies ex Hook.	Coquimbo - Araucanía
2a. <i>Berberis chilensis</i> var. <i>chilensis</i>	Coquimbo - Araucanía
2b. <i>Berberis chilensis</i> var. <i>brachybotria</i> (Gay) Landrum.	Coquimbo - Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
3. <i>Berberis congestiflora</i> Gay	Araucanía - Los Lagos
4. <i>Berberis corymbosa</i> Hook. y Arn.	Valparaíso (Juan Fernández)
5. <i>Berberis darwinii</i> Hook.	Maule - Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo
6. <i>Berberis empetrifolia</i> Lam.	Coquimbo - Magallanes y Antártica Chilena
7. <i>Berberis glomerata</i> Hook. y Arn.	Coquimbo
8. <i>Berberis horrida</i> Gay	Valparaíso - Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
9. <i>Berberis ilicifolia</i> L. f.	Los Lagos - Magallanes y Antártica Chilena
10. <i>Berberis litoralis</i> Phil.	Atacama
11. <i>Berberis masafuerana</i> Skottsbo.	Valparaíso (Juan Fernández)
12. <i>Berberis microphylla</i> G. Forst.	Maule - Magallanes y Antártica Chilena
13. <i>Berberis montana</i> Gay	Valparaíso - Los Lagos
14. <i>Berberis negeriana</i> Tischler	Biobío
15. <i>Berberis rotundifolia</i> Poepp. y Endl.	Maule - Los Ríos
16. <i>Berberis serrato-dentata</i> Lechler	Maule - Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo
17. <i>Berberis trigona</i> Kunze ex Poepp. y Endl.	Maule - Los Lagos
18. <i>Berberis valdiviana</i> Phil.	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins - Los Ríos

Fuente: Adaptado de Landrum, 1999.

Las dos especies restantes de las 20 descritas por Landrum (1999), corresponden a *Berberis comberi* Sprague & Sandwith y *B. grevilleana* Gillies ex Hook. & Arn., situadas en el suroeste de Argentina.

Antecedentes generales del género *Berberis* L. El nombre genérico *Berberis* es la forma latinizada del nombre árabe berbery que se le da al fruto y significa concha. Algunos autores señalan que el nombre deriva del brillo de sus hojas similar al interior de una concha de ostra.

Averroes (Escritor de medicamentos árabe del siglo XII) aplicó por primera vez el nombre de berbery a este fruto (Arayne *et al.*, 2007).

Algunos *Berberis* se caracterizan por sus diversas utilidades, y en los últimos años se ha observado un creciente interés por el uso comercial de sus frutos ya que pueden ser consumidos frescos o procesados en la agroindustria (mermeladas, jaleas y bebidas alcohólicas). Además de uso ornamental, poseen sustancias tintóreas en corteza y raíces, tienen un alto contenido de antioxidantes y presencia de alcaloides del grupo de la berberina. Se destaca la importancia de los representantes de este género en fitopatología ya que son huéspedes intermediarios de algunas royas en cereales (Arribillaga y Zegers, 1998; Romeo y Sánchez, 2005).

La taxonomía del género *Berberis* todavía es algo incierta a pesar del número de estudios realizados. La aparición de hibridación y tal vez un cierto grado de introgresión en zonas de transición ha producido formas intermedias, que causan dificultades en la taxonomía de este género (Bottini *et al.*, 2007).

La clasificación taxonómica vigente es:

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Magnoliidae

Orden: Ranunculales

Familia: Berberidaceae

Género: *Berberis*

Recientemente Bottini *et al.* (2007), investigaron la relación entre 13 especies del género *Berberis* provenientes de la Patagonia basándose en la secuencia del espacio transcrito interno (ITS) del ADN recombinante. Los resultados sugieren que *B. microphylla* ($2n = 28$) debe diferenciarse de las especies *B. parodii* ($2n = 28$), *B. buxifolia* y *B. heterophylla* ($2n = 56$) las cuales Ladrum (1999) señala como sinónimos. También, *B. heterophylla* debe ser considerada como una especie distinta. Esto no significa que estas especies representen en estricto rigor, linajes independientes, pero existen caracteres como el marcador molecular AFLP e isoenzimas, que permiten diferenciarlos. En este sentido, las respuestas con respecto al origen y las relaciones

de estas especies esperan estudios más intensivos, mientras tanto, lo mejor sería reconocerlas como especies distintas. En el caso de *B. darwinii* este forma un grupo junto a *B. bidentata* y a *B. trigona* con un mismo nivel de ploidía en las tres especies ($2n=2x=28$).

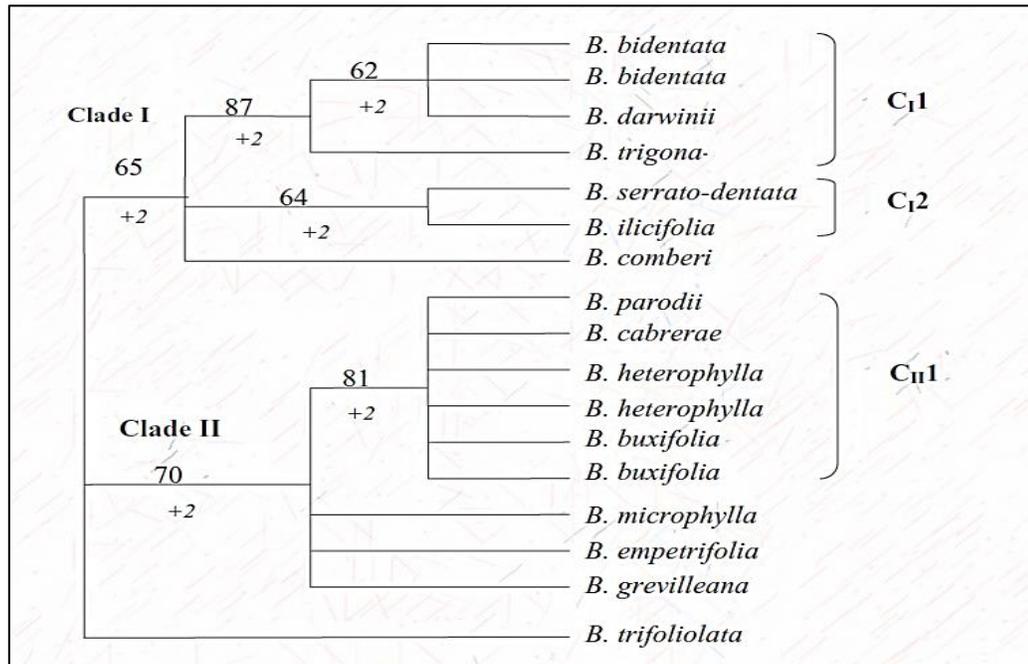


Figura 3. Árbol de consenso estricto de las especies patagónicas de *Berberis* y un exogrupo basado en análisis de parsimonia en la combinación del gen ITS1, ITS2 y 5.8S.

Fuente: Bottini *et al.*, 2007.

2.2 Características botánicas. Las berberidáceas son plantas de aspecto muy diverso, herbáceas o leñosas arbustivas, inermes o espinosas. Hojas persistentes o caedizas, alternas, simples o compuestas, de margen entero o espinoso-dentado, pecioladas. Inflorescencias en panojas, cimas fascículos o solitarias, siempre perfectas, actinomorfas con disposición cíclica. Perianto doble, en ciclos dímeros o trímeros con prefloración imbricada. Pétalos frecuentemente con nectarios. Estambres libres, isostémonos, anteras dehiscentes por dos valvas superiores, univalvas o de dehiscencia longitudinal. Ovario súpero, unilocular pauci o pluriovulado, óvulos basales o insertos en la sutura ventral; estilo ausente o desarrollado; estigma capitado (Fig. 5). Fruto baya o cápsula dehiscente o indehiscente. Semilla endospermada. La Polinización es generalmente

entomógama. Los filamentos estaminales a veces suelen presentar sismonastia al contacto con los insectos (*Berberis* y *Mahonia*); pueden también presentar autogamia. (Romeo y Sánchez, 2005).

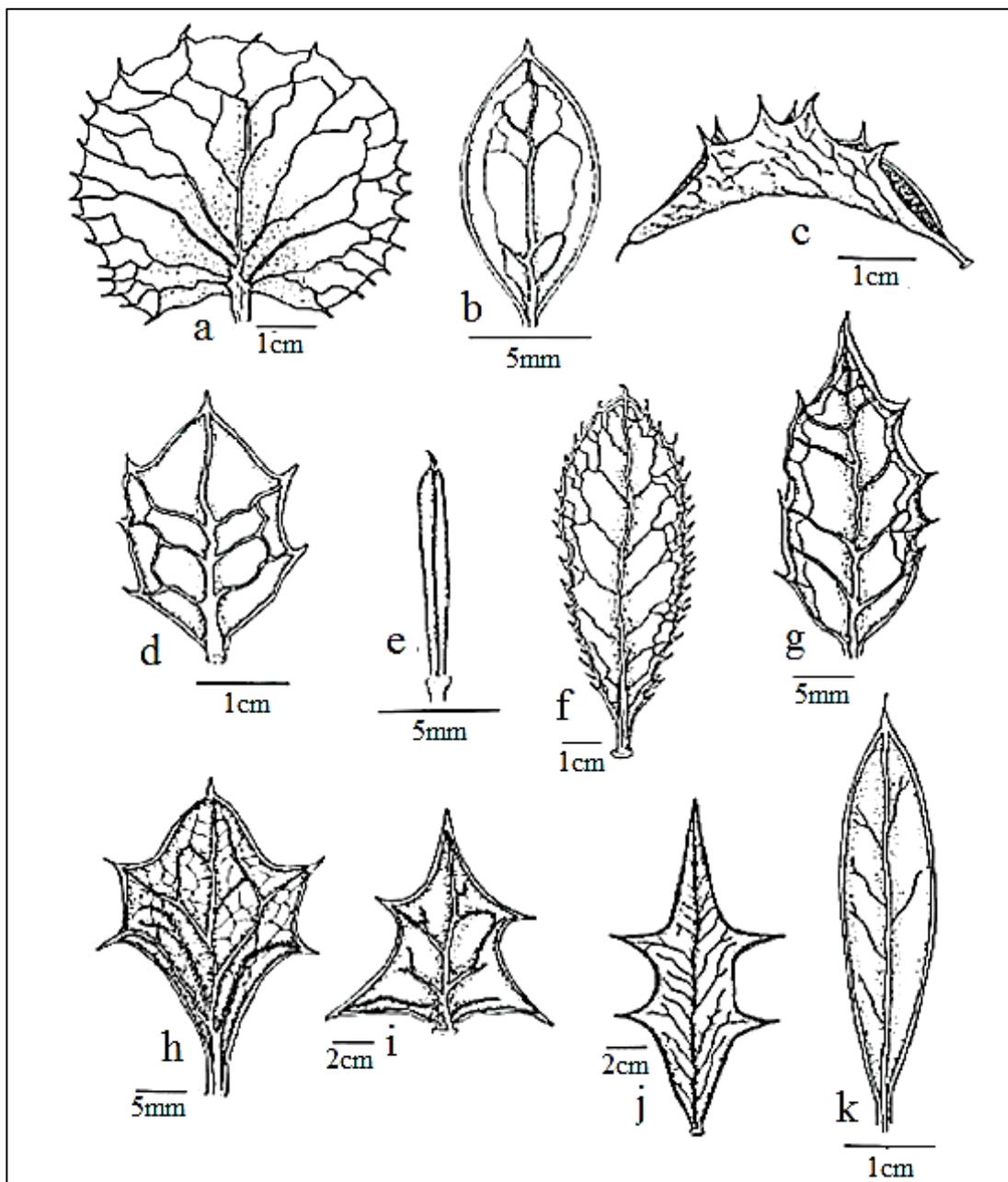


Figura 4. Hojas de *Berberis* L., sp.: a) *B. actinacantha*. b) *B. microphylla*. c) *B. chilensis* var. *Chilensis*. d) *B. darwinii*. e) *B. empetrifolia*. f) *B. serratodentata*. g) *B. chilensis* var. *brachybotria*. h) *B. grevilleana*. i) *B. comberi*. j) *B. comberi*. k) *B. trigona*.

Fuente: Landrum, 1999.

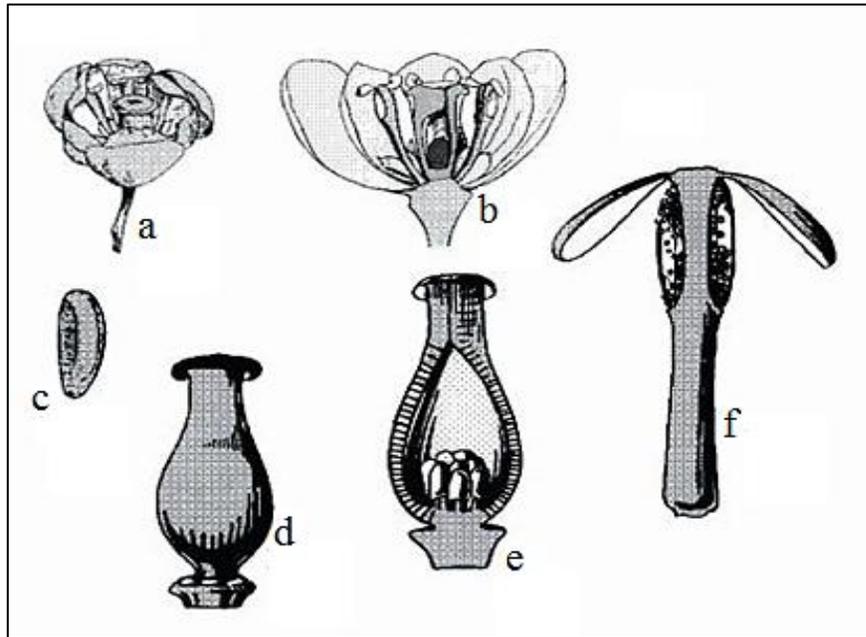


Figura 5. Estructura floral de *Berberis*. **a)** flor. **b)** Sección longitudinal. **c)** Semilla. **d)** Ovario. **e)** sección longitudinal de ovario. **f)** Estambre con antera dehiscente valvar.

Fuente: Singh, 2004.

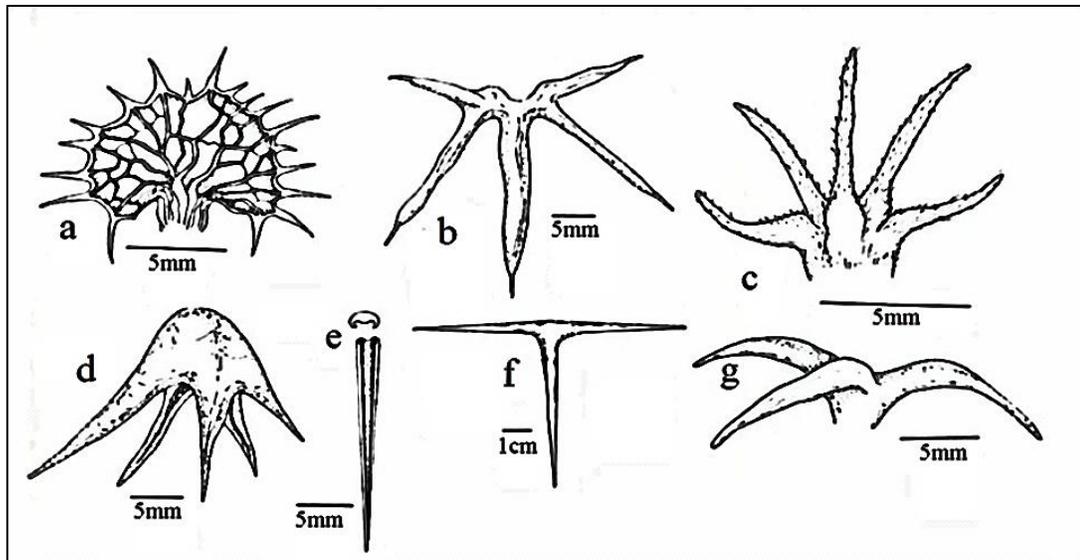


Figura 6. Espinas de *Berberis*: **a)** *B. actinacantha*, espina foliácea. **b)** *B. actinacantha*, espina con forma de estrella. **c)** *B. darwinii*, espina palmeada. **d)** *B. rotundifolia*, espina foliácea. **e)** *B. microphylla*, una de las tres espinas (trífidas). **f)** *B. grevilleana*, espina recta trífida. **g)** *B. trigona*, espina trífida curvada.

Fuente: Landrum, 1999.

2.3 Propiedades químicas. Los estudios químicos de la planta de calafate (*B. buxifolia* Lam.) y michay (*B. darwinii* Hook.) comenzaron a principios del siglo XX con J. Domínguez quien publicó en año 1928 en Contr. Nat. Argentina un trabajo titulado “Berberidaceae” en el que informa de la presencia de berberina, oxiacantina y berbamina en *B. buxifolia*. Posteriormente en el año 1933, B.T. Cromwel publica en Biochemistry Journal un trabajo titulado “Experiment on the Origin and Function of Berberine en *B. darwinii*”. Desde esos años hasta la fecha se han publicado más de 50 trabajos destacando el hecho de que el estudio de los *Berberis* se ha centralizado con bastante intensidad en las especies nativas de Chile (Fajardo *et al.*, 2005).

Metabolitos secundarios. Las plantas producen una amplia y diversa variedad de compuestos orgánicos que parecen no tener ninguna función directa en el crecimiento y el desarrollo, sin embargo, forman parte esencial de los mecanismos activos de defensa de la planta, sea contra herbívoros, microbios fitopatógenos y agentes abióticos protegiendo los tejidos fotosintéticos, además de atraer agentes polinizantes y dispersores de semillas por medio de señales olfatorias y visuales. Estas sustancias producidas se conocen como metabolitos secundarios. Los principales metabolitos secundarios, de acuerdo al origen en sus rutas de biosíntesis, se dividen en terpenos o terpenoides, polifenoles (antocianinas) y alcaloides (Taiz y Zeiger, 2002; Speisky y Gómez, s/f).

Entre los productos naturales de origen vegetal, el interés por los polifenoles se debe principalmente a sus propiedades antioxidantes. Muchos frutos conocidos como berries presentan capacidades antioxidantes superiores, en relación a otras frutas y verduras. En Chile, los berries nativos se encuentran muy arraigados en la cultura Mapuche y rural del país, por su uso medicinal (Fredes, 2009). En este contexto, la evidencia científica señala que el consumo regular de estos berries reduciría el riesgo de desarrollo y/o progresión de varias enfermedades crónicas, incluyendo las cardiovasculares, neurodegenerativas y ciertas formas de cáncer (Neto, 2007; Ceeram, 2008; Basu *et al.*, 2010, citados por Speisky y Gómez, s/f).

Antocianinas. Son el grupo más extendido de flavonoides pigmentados responsables del color rojo, rosa, morado y azul en flores, frutos, tallos y raíces de las plantas. Debido a esto son muy importantes en la atracción de animales para llevar a cabo la polinización y dispersión de semillas (Arribillaga, 2000; Taiz y Zeiger, 2002).

En 1973, Pomillo, en un estudio no cuantitativo, fue el primero en identificar diversas antocianinas en el fruto de calafate utilizando la técnica de cromatografía en papel. Las antocianinas detectadas fueron: peonidina-3-glucosido, malvidina-3-rutinosido, malvidin-3-glucosido, petunidin-3-rutinosido, petunidin-3-rutinosido, petunidina-3-glucosido, peonidina-3-rutinosido-5-glucosido, delphinidin-3-rutinosido, delphinidina-3-glucosido, petunidina-3-rutinosido-5-glucosido, y petunidina-3-gentobiosido. Tres décadas más tarde Ruiz *et al.* (2011) citados por Speiski y Gómez (s/f), dieron a conocer el perfil y la composición polifenólica del calafate, además lo hicieron comparándolo con el maqui y la murtilla. En términos comparativos, el contenido de antocianinas y de flavonoles fue muy similar entre calafate y maqui, sin embargo, el calafate tuvo niveles más altos de flavan-3-oles. Asimismo, Speisky y Gómez (s/f) dicen que la capacidad de absorción de radicales libres de oxígeno en algunos berries nativos como el maqui y el calafate, supera en promedio 2–4 veces el de diversas variedades de arándanos, 3-6 veces el de cerezas, y 5-6 veces el de manzanas.

Cuadro 2. Capacidad de absorción de radicales libres de oxígeno (ORAC) y contenido de polifenoles totales (PFT) de berries nativos y cultivados (valores promedio).

Berries	ORAC ($\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$)		PFT ($\text{mg EAG}/100 \text{ g}$)	
	(peso fresco)	(peso seco)	(peso fresco)	(peso seco)
Arándano	8756	33677	497	1912
Murtilla	10770	43574	453	1833
Maqui	19850	37174	172	647
Calafate	25662	72425	1201	3390

$\mu\text{mol ET}$: micro moles equivalentes trolox. Trolox es un análogo hidrosoluble del alfa-tocoferol y en virtud de su alta solubilidad en agua es universalmente empleado como estándar de comparación en el ensayo ORAC.

mg EAG : miligramos equivalentes de ácido gálico. El ácido gálico es un ácido fenólico cuya alta solubilidad en agua permite su utilización como análogo para el ensayo PFT (polifenoles totales).

Fuente: Adaptado de Speiski y Gómez (s/f).

En la industria alimentaria debido a que existen bastantes restricciones para el uso de colorantes artificiales rojos, su sustitución se está llevando a cabo principalmente por colorantes de origen vegetal como los carotenos, flavonoides y antocianinas, por ser abundantes, fáciles de extraer, solubles en agua y han sido consumidos por el hombre durante generaciones, aunque son bastante más inestables que los colorantes artificiales. Por su naturaleza, ciertos pigmentos

naturales además de sus características cromóforas, poseen propiedades vitamínicas, siendo esto una importante razón que justifica el interés de los científicos por la investigación de todos los aspectos relacionados con la extracción, purificación y estabilización de los pigmentos naturales. (Dupaigne, 1974; Avilés, 1982 citados por Arribillaga, 2000Arribillaga, 2000).

Alcaloides. Compuestos nitrogenados de considerable interés debido a su toxicidad para los seres humanos y sus propiedades medicinales; tal es el caso de la berberina, de color amarillo cristalino, presente en tallos y raíces de las berberidáceas. La berberina y otros componentes relacionados (Oxyacantina, berlambina, etc.) inhiben el crecimiento de muchos microorganismos como bacterias, hongos, protozoos además de actuar como inmunoestimulante, antioxidante, tónico, diaforético y hemostático (Fajardo, 1992; Muñoz *et al.*, 1999; Taiz y Zeiger, 2002; Arayne *et al.*, 2007).

En Chile las especies *B. empetrifolia* Lam, *B. microphylla* G. Forst. y *B. actinacantha* Mart. están citadas como medicinales. Dentro de la cultura mapuche las raíces son utilizadas en fiebres e inflamaciones, dolores estomacales, indigestiones y colitis (Muñoz *et al.*, 1999).

Los alcaloides son extraídos principalmente de raíz, corteza y hojas. De acuerdo con Simian *et al.* (2000), en su análisis a especies nativas tales como *B. buxifolia* Lamark (calafate), *B. darwinii* Hook (michay), *B. empetrifolia* y *B. heterophylla*, la parte de la planta con mayor contenido de berberina es la raíz seguido de las ramas, que concentran la quinta parte de las raíces y es prácticamente inexistente en las hojas. Las ramas son una fuente de berberina más pobre que las raíces, pero que no requiere de la muerte de la planta para su obtención. Además se descubrió que los extractos obtenidos de las hojas tienen actividad antimicrobiana, presentándose como un recurso renovable interesante para estudios futuros.

Son más de 10 los alcaloides determinados en calafate, entre ellos: berberina, berbamina, calafatina, argemonina y nonargemonina; en michay más de 15, algunos son: berberina, berbamina, dihidrorugosinona y chilénina (Fajardo, 1992).

2.4 Manejo y propagación. Se plantan en semisombra o al sol, en suelos de pH neutro a ácido con materia orgánica, se riegan en forma moderada. Pueden podarse, pero demoran algo en retoñar. Es mejor aplicar sólo podas de conducción y limpieza (Riedemann y Aldunate, 2003). Arena *et al.* (2001) indican que el conocimiento de los hábitos de fructificación de estas especies tiene gran importancia al momento de determinar la forma de conducción de las plantas y las distintas operaciones de poda en cultivos comerciales y sostienen que la mayor producción de frutos de calafate se obtiene en las ramas largas de 1 año con respecto a las de mayor edad. El calafate *B. buxifolia*, como especie arbustiva que florece en la ramilla de crecimiento de la temporada, es decir en las ramas de la temporada anterior, por su hábito de crecimiento y fructificación es necesario realizar cada dos años una poda de rejuvenecimiento, eliminando material leñoso, esto contempla sólo el 50 % del follaje, de manera de estimular nuevos centros de crecimiento induciendo una nueva brotación de ramillas y brotes que se convertirían en la próxima temporada, en centros de producción de fruta (Arribillaga, 2000).

Se propagan a través de semillas, rizomas y últimamente cultivo in vitro como multiplicación por yemas axilares y adventicias, neoformación de yemas en callos y embriogénesis somática (Arena *et al.*, 1997). Otro método de multiplicación descrito por Hechenleitner *et al.* (2005) en especies de *Berberis* siempre verdes, es a través de estacas de madera semilignificada en forma de “T” invertida las cuales son tratadas posteriormente con hormona enraizante.

Riedemann y Aldunate (2003) señalan que los *Berberis* poseen una tasa de crecimiento baja alcanzando 2m a los 5 años. Florecen al segundo año a partir de semillas y al primero si se propagan mediante esquejes o estacas. Cabe señalar que el número de anillos observados sería un indicador de la edad de los *Berberis*, debido al hábito de crecimiento arbustivo y la posibilidad de propagación natural a través de rizomas, es probable encontrar en una misma planta, sectores con distinta edad (Arena *et al.*, 2001).

2.5 Calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.).

Sinónimos: *Berberis buxifolia* Lam., *Berberis inermis* Pers., *Berberis heterophylla* Juss. ex Poir., *Berberis marginata* Gay, *Berberis cuneata* DC., *Berberis dulcis* Sweet Brit., *Berberis parodii* Job., *Berberis barilochensis* Job. *Berberis michay* Job. (Landrum, 1999).



Figura 7. Planta de calafate (*B. microphylla*) en floración: **a)** vista general, **b)** flor, **c)** bayas o fruto.

Fuente: Fotos del autor.

Esta especie posee características similares a *B. montana* y probablemente hibrida con *B. valdiviana* y *B. trigona* (Landrum, 1999). Crece en terrenos abiertos desde el nivel del mar hasta los 2500 m.s.n.m. entre Curicó y Tierra del Fuego (35°S, 70°W - 50°S, 73°W). Es una especie común en el matorral, en los bordes y claros de los bosques, en la orilla de cursos de agua y en áreas despejadas, desde la costa hasta la cordillera y en suelos tanto secos como húmedos (Landrum, 1999; Montenegro, 2000; Hoffmann, 2005).

2.5.1 Características botánicas. Arbusto de hoja perenne que alcanza 3 m de altura, ramificación densa y desordenada con ramas glabras y ramillas jóvenes pubescentes de color marrón rojizas, pardo o grises. La corteza es lisa, escamosa o fibrosa con la edad. Las hojas son pequeñas de 6 - 10 mm de largo y entre 2 - 14 mm de ancho, fibrosas, coriáceas, glabras, de color verde brillante por el haz y pálido por el envés, ovaladas a elípticas con peciolo corto de 1,5 mm de largo, ápice mucronado, con margen entero o con 1-2 dientes espinescentes perpendiculares por lado, agrupadas en rosetas formando braquiblastos temporales. Presenta estípulas transformadas en espinas trifidas de color amarillo, que miden de 3 a 45 mm de longitud. (Landrum, 1999; Montenegro, 2000; Riedemann y Aldunate, 2003).

Las flores son perfectas, color amarillo, solitarias largamente pedunculadas de 4-9 mm de diámetro y pedicelo de 5-24 mm de largo. El cáliz tiene 6 sépalos petaloídeos y la corola de 6 pétalos. Cada pétalo desarrolla dos nectarios basales. El androceo está formado por 6 estambres de 2,5-3mm de largo y el gineceo posee un ovario en posición súpera con un estigma sésil con pistilo de 3 mm de largo con cerca 7 óvulos. Las brácteas son ovadas a suborbiculares, 1-2 mm de largo, verde claro a marrón rojizo, tornandose gris con la edad. El fruto es una baya subglobosa de 7-11 mm de diámetro de color azul oscuro con 6 semillas en su interior de color marrón oscuro a negro de 4-6 mm de largo (Landrum, 1999; Montenegro, 2000; Hoffmann, 2005).

2.5.2 Fenología. Presenta las fases fenológicas de Apertura de yema y de hoja, hoja expandida, botón floral verde y amarillo, flor abierta, fruto cuajado y en crecimiento. Considerando la ocurrencia de una fase cuando más del 50 por ciento de la planta presenta la fase fenológica (Coronel *et al.*, 2007). Landrum (1999) indica que la floración ocurre desde agosto a marzo, incrementándose entre octubre y enero; la fructificación parte desde diciembre a marzo. La etapa de floración y fructificación es en función de la latitud, concordando con el estudio de Arena *et al.* (2001) en dos localidades de la Patagonia argentina, en donde la floración es retrasada según incrementa la latitud. El periodo de fructificación dura alrededor de 18 semanas, mientras que el peso máximo de fruto fresco se obtiene en 12 semanas, después de la fase de plena floración. El fruto presenta dos etapas de crecimiento formando una doble curva sigmoidea; la primera que

dura cerca de 42 días desde la fase plena floración, seguido de un periodo sin crecimiento aparente que dura cerca de 14 días. La segunda etapa dura alrededor de 70-84 días (Arena y Curvetto, 2008).

2.6 Michay (*Berberis darwinii* Hook.).

Sinónimo: *Berberis costulata* Gand. (Landrum, 1999).

Berberis corresponde al nombre árabe para sus frutos, el específico *darwinii*, es en honor al científico inglés del siglo XIX Charles Darwin. Especie endémica del Suroeste de América del Sur. Se encuentra en Chile desde la precordillera de Curicó (Región del Maule) hasta cerca del Lago Carrera (Región de Aisén del Gral. Carlos Ibañez del Campo) (37°S, 71°W - 43°S, 72°W) y en Argentina, en el oeste Río Negro y Neuquén, Argentina (Landrum, 1999; Montenegro, 2000).



Figura 8. Planta de michay (*B. darwinii*) en floración: **a)** Vista general, **b)** inflorescencia, **c)** bayas o frutos en racimo.

Fuente: Fotos del autor.

2.6.1 Características botánicas. Arbusto siempre verde de 1,5-3 m de altura, con tallos cubiertos por tricomas filamentosos y algunos glandulares, los cuales reflejan un color rojizo, sobre todo en brotes nuevos debido a la acumulación de antocianos en las vacuolas de las células parenquimáticas. Hojas de borde espinoso con 4-6 pares de espinas, agrupadas, coriáceas de forma obovada, oblanceolada o elípticas de 1,4-3 cm de largo y 0,5-1,4 cm de ancho, 1,2 a 4 veces más largo que ancho, glabras y coriáceas de color verde oscuro brillante en el haz y el verde claro por el envés. Las espinas que corresponden a las estipulas son palmeadas distribuidas de 5-7, cortas de 2 a 7 mm de largo pubescentes. Brácteas ovadas a lanceoladas, 2-4 mm de largo (Landrum, 1999; Montenegro, 2000; Hoffmann, 2005).

La inflorescencia es un racimo formado por cerca de 10 flores de color naranja que van desde los 4,5-7 mm de largo, pedicelo de 5-12 mm de largo. El cáliz está constituido de 6 sépalos petaloídeos anaranjados, la corola está formada por 6 pétalos amarillos con dos nectarios en la base a cada uno de ellos. El androceo está constituido por 6 estambres de 2,5-5mm de largo, el gineceo presenta un ovario posición súpero con pistilo de 3-5 a 5mm de largo. El fruto es una baya subglobosa de color azul oscuro de 7-11 mm de diámetro terminando en un estilo persistente de 1,5-3 mm que contiene 4-6 semillas negras de 4-6 mm de largo. (Landrum, 1999; Montenegro, 2000; Hoffmann, 2005).

2.6.2 Fenología. Según Montenegro (2000) se distinguen dos periodos de floración, siendo más intenso el que ocurre entre invierno y primavera, que el segundo a comienzos de otoño, coincidiendo con lo enunciado por Landrum (1999), quien indica que la primera floración es entre noviembre y febrero, y la segunda entre diciembre y marzo. El periodo de fructificación ocurre entre diciembre a marzo.

2.7 Situación en comercial en Chile del calafate y del michay.

Calafate. Es un producto poco conocido a nivel nacional, sin embargo recientemente han comenzado a generarse algunos nichos de negocio frente a este producto, por tratarse de un producto natural y con numerosas propiedades, que lo hacen estratégico desde el punto de vista

de la producción orgánica (Valdebenito *et al.*, 2003). En general el proceso comercial o la cadena comercial del Calafate son sencillos con actores perfectamente identificados (Figura 9).

El proceso productivo y comercial del producto es sencillo, y consiste en que una vez que es recolectado el fruto por el pequeño propietario o por el recolector, éste es transportado hasta los centros de acopio por los mismos recolectores o por los intermediarios, este proceso es informal, no existiendo ningún tipo de contrato legal de por medio ni menos aún registros de la transacción. Se estima que el calafate se recolecta de la misma manera que los restantes frutos asociados al bosque, es decir, la recolección es realizada por el grupo familiar. Luego es limpiado y vendido a la empresa comercializadora, siendo ésta la que finalmente vende el producto a la empresa demandante, transformadora o exportadora, estos últimos procesos corresponden a transacciones formales, en donde existen registros de montos y volúmenes, así como también los correspondientes registros contables y tributarios (Valdebenito *et al.*, 2003).

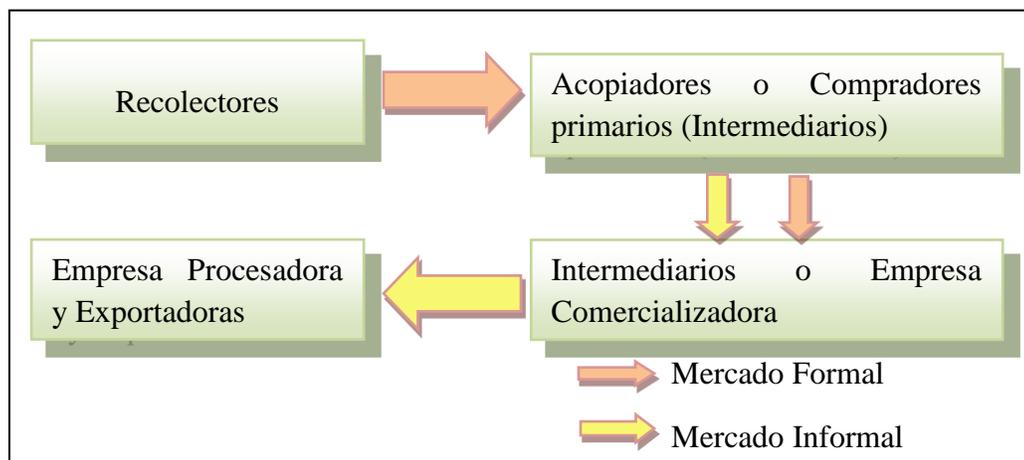


Figura 9. Proceso comercial del calafate con sus principales actores y flujos.

La extracción de productos forestales no madereros (PFNM) es muy heterogénea e irregular y no existen registros de información sistematizada sobre su producción. En el mercado nacional estos productos se comercializan a través de mercados informales, por lo que no existe registro confiable. Pero existe una excepción que está constituida por aquella porción de PFNM, que se exporta de forma regular. Para estos productos existen registros de aduana, que cuantifican las exportaciones efectuadas (Gascón, 2005)

Los únicos registros con que se cuenta en relación a comercialización de calafate, son los relativos a la demanda del producto entre los años 1999 - 2000, aunque no se tienen montos de oferta, por lo que cualquier estimación debe hacerse hoy día en base a lo que se ha consumido, correspondiendo a una demanda cubierta por la oferta (Valdebenito *et al.*, 2003).

Demanda interna de Calafate. A pesar de ser un producto con perspectivas, existe escasa información por tratarse de un producto relativamente nuevo en el mercado. Sin embargo Arribillaga (2000) señala que durante el período 1999 - 2000 se comercializaron entre 100.000 y 150.000 kg, a un precio de US\$ 0,7 por kilo de fruta fresca.

En Chile, la industria de los colorantes utiliza, como materias primas, especies cultivadas como la betarraga, zarzamora, uva, repollo morado y especies silvestres como el maqui. En la región de Aysén, existen dos grandes fuentes silvestres de pigmentos, maqui y calafate, siendo este último donde se ha detectado mayor interés por parte de distintas empresas (Arribillaga, 2000).

Demanda externa de Calafate. No existen antecedentes claros del destino de la demanda, sólo es posible inferir que se trata de empresas del rubro de los alimentos. En cuanto a la productividad en la cosecha, se puede estimar que los rendimientos son más bajos que para el maqui, producto de las espinas que presenta la planta de Calafate. Sin embargo, no existen antecedentes que permitan confirmarlo.

Michay. Los frutos comestibles rara vez son comercializados, debido a su rápida perecibilidad o a sus particulares características de aroma, sabor o textura, son consumidos por los propios recolectores directamente o en bebidas fermentadas tradicionales y mermeladas. No obstante numerosos son los grupos y talleres artesanales del sur de Chile que se dedican al tejido con lana de oveja, tiñen con tintes naturales obtenidos de la raíz de michay, los cuales son atractivos para el consumidor urbano, tanto nacional como internacional. La demanda de la planta es en otoño, y para la raíz es anual. La demanda de los productos naturales es satisfecha por artesanos y recolectores de los alrededores, donde el 75 % de los agentes proveedores de PFM corresponden a recolectores rurales que ofertan sus productos a los distintos lugares de venta

conocidos por ellos y cercanos a sus hogares, participando un 14% los artesanos y 11 % los intermediarios. Cabe agregar que no existen registros de mercado internacional para estos productos (Tacón *et al.*, 2006).

2.8 Enfermedades fungosas asociadas a calafate y michay.

La información de los fitopatógenos asociados a *Berberis* nativos de Chile data de fines del siglo XIX en adelante, de la cual no se profundiza en detalles ya que no hay antecedentes epidemiológicos (etiología, sintomatología, desarrollo).

2.8.1 Fitopatógenos asociados a calafate. En *Berberis microphylla* G. Forst., se han publicado algunas enfermedades fungosas, principalmente de la Clase ascomicetes (Mujica y Vergara, 1945):

Sclerotium dothioides Speg. (1887).

Chaetomium setosum Wint. (1973).

Crumenula antarctica Rehm. (1899)

Curreya berberidis Rehm. (1902)

Gibbera patagonica Rehm. (1902)

Sclerotium dothideoides Speg. (1887)

Plowrightia berberidis (Wahl.) Sacc. (1900)

2.8.2 Fitopatógenos asociados a michay. En *Berberis darwinii* Hook. se estiman cerca de 30 hongos fitopatógenos, siendo tres de vital importancia, entre estos destacan las royas *Puccinia meyeri-albertii* la cual se desconoce su impacto, y *Puccinia berberidis-darwinii* que causa defoliación prematura y muerte de hojas. El tercer patógeno está actualmente en estudio siendo uno de los más perjudiciales para especie, porque causa defoliación prematura y muerte regresiva de ramillas Fowler *et al.* (2009).

Las investigaciones e información acerca de los fitopatógenos asociados a *Berberis*, están en desarrollo. Tal es el caso de los estudios realizados por Smith *et al.* (2004) en *B. darwinii*, *B.*

glaucocarpa y *B. vulgaris* en muestras de hoja, flor y fruto, la presencia de varias enfermedades de origen fungoso, determinando 24 especies de las cuales sólo 5 son consideradas potenciales fitopatógenos de *Berberis* spp; estos son precisados a continuación:

Colletotrichum acutatum. Las lesiones en hojas de la antracnosis son de forma circular a irregular con colores marrón-oscuro a rojo-purpura y son visibles en el lado abaxial de éstas. En frutos maduros los tejidos se vuelven negruzcos.

Colletotrichum gloeosporoides. En hojas los tejidos toman tonos amarillos, rojo-oscuro y marrón con formas irregulares. Los síntomas en flores son muerte regresiva en ramillas con signos de masas de esporas anaranjadas. Los frutos maduros toman un color negruzco.

Pestalotiopsis sp. Lesiones color marrón-rojizo en borde de hojas. Estas lesiones son rodeadas por tejido amarillo clorótico, el cual se va difundiendo hacia el centro de la hoja.

Phomopsis sp. En hojas los síntomas son lesiones variables en color y forma que van de tonos rojizos a marrón oscuro con forma circular a irregular de 1 a 10 mm. Algunas veces se aprecian en el envés de la hoja. En flores los peciolo son ennegrecidos. En frutos se aprecia marchitez y ennegrecimiento o atizonado.

Sclerotinia sclerotiorum. En frutos maduros e inmaduros, los síntomas aparecen como lesiones oscuras circulares pequeñas (2-5 mm). Se le conoce como pudrición blanda blanca o algodonosa.

Smith *et al.* (2004) constataron en *B. glaucocarpa* la incidencia de *Puccinia graminis* en flores; *Aspergillus niger* y *Rhizopus* sp en frutos. Las restantes especies son en su mayoría saprofíticas o patógenos oportunistas secundarios que probablemente infectan al hospedero después del daño inferido por un insecto o por la infección del patógeno primario. Estas especies son: *Alternaria alternata*, *Acremonium* spp., *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium* spp., *Coelomycete* spp., *Diaporthe* sp., *Epicoccum purpurascens*, *Fusarium* spp., *Fusicoccum* sp., *Penicillium* sp., *Phoma* spp., *Stemphylium* sp.



Figura 10. Muerte regresiva en ramillas de michay a causa de un patógeno en estudio.

Fuente: Fowler *et al.*, 2009.

2.8.3 Generalidades de los Uredinales.

Los Uredinales forman un orden de basidiomicetes cuyos componentes provocan las llamadas royas de los vegetales *per se* su acción negativa en la agricultura es muy significativa. Algunas especies presentan gran importancia económica debido a su potencial epidémico y destructivo sobre diferentes cultivos agrícolas y plantaciones forestales. Los hongos-roya tienen una serie de características que los diferencian de los demás hongos, entre las que se destacan su carácter de organismos holobiotrófos, alta especificidad con sus hospedantes, ciclos de vida complejos que incluyen hasta seis estados esporicos y el fenómeno de autoicismo ó heteroicismo. Se distribuyen por todo el mundo y parasitan a los más variados grupos de plantas incluyendo helechos, coníferas y angiospermas tanto mono como dicotiledóneas (Lindquist, 1978; Cummins & Hiratsuka, 2003; Zuluaga, *et al.*, 2008).

Al igual que los oomycetes que causan los mildius, la roya forma un grupo exitoso de parásitos de las plantas, llamados biótrosos obligados. Estos parásitos se caracterizan por su forma de vida en la que el patógeno es absolutamente dependiente del hospedante vivo para

completar su ciclo de vida. El hospedante usualmente sufre sólo un daño limitado durante un largo periodo de tiempo (Voegelé *et al.*, 2009). Lindquist (1978) los describe como parásitos absolutos de fanerófitas a partir de los helechos, y aunque al presente se han podido cultivar algunas royas en medios artificiales muy especializados, estos impiden su uso en prácticas corrientes de laboratorio.

Los Uredinales son conocidos como royas por la inducción de pústulas que contienen esporas con apariencia de polvillo sobre los tejidos de sus hospedantes, también pueden causar hipertrofias e hiperplasias, escobas de bruja y formación de pseudoflores (Cummins & Hiratsuka 2003).

Las royas en Europa, Norte América, Japón, Nueva Zelanda, Argentina, Brasil y Australia han sido razonablemente bien identificadas, pero un número significativo de nuevas especies y quizá nuevos géneros se descubran, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales de América Central, Sudamérica, África y Sureste de Asia. (Cummins & Hiratsuka, 2003).

Reseña histórica. La enfermedad denominada roya, se describe en muchos escritos antiguos relacionados a los cultivos y la agricultura. A pesar de cierta confusión en la traducción, la biblia (Antiguo Testamento alrededor del año 750 A.C.) hace mención de carbones, royas, mildius, tizones y podredumbres. En algunos casos, el problema parecía tener origen en las tormentas de granizo, pero en otros casos era muy claro ver la presencia de un hongo en la plantas, aunque todavía era considerado como el resultado más que la causa de la plaga (Schumann, 1991).

En la antigua Grecia, los escritos Teofrasto (300 A.C.) quien es llamado a menudo el “padre de la botánica” y pupilo de Aristóteles, notó que las plantas variaban en la susceptibilidad a la roya. También escribió sobre el rol de elementos del entorno, como humedad y el movimiento del aire en el desarrollo de las epidemias. Las contribuciones de Teofrasto al conocimiento sobre enfermedades de las plantas fueron bastante limitadas e influenciadas por las creencias de su época. Señaló que enfermedades de las plantas eran mucho más comunes y graves en las tierras bajas que en las laderas y que algunas enfermedades, por ejemplo la roya, es mucho más común y grave en los cereales que en las leguminosas (Schumann, 1991; Agrios, 2005).

Desde muy antiguo, los romanos organizaban festivales anuales llamados Robigalias, dedicados a los dioses de las royas Robigus (masculino) y Robigo (femenino), a quienes ofrecían sacrificios de animales de color rojizo como zorros, perros o bovinos para que evitaran las epifitias de estas enfermedades en cereales. Esta ceremonia se practicó por más de 1700 años (Rocca de Sarasola, 1975; Schumann, 1991). Los esfuerzos para controlar enfermedades de las plantas se vieron obstaculizados por la falta de información sobre las causas de enfermedad y por la creencia de que las enfermedades eran manifestaciones de la ira de los dioses. Sin embargo, Homero (1000 A.C.), menciona las propiedades terapéuticas del azufre en las enfermedades de las plantas, y Demócrito (470 A.C.) recomienda controlar las plagas de plantas al rociarlas con los sobrantes del aceite oliva después de la extracción (Agrios, 2005)

Al parecer, la primera mención histórica de una enfermedad en nuestro territorio nacional corresponde a la “roya del trigo” (*Puccinia graminis*) y que de acuerdo al naturalista Claudio Gay, aparece en Chile a fines del Siglo XVII. El patógeno fue introducido del Perú a través de una importación del cereal realizada en esa época. Probablemente los conquistadores españoles al introducir a Chile numerosas especies cultivadas, importaron junto con ellas algunos de sus problemas fitopatológicos. Era común el movimiento de semillas en las colonias del reino de España y, desde luego, se desconocía en la época que transmitían agentes infecciosos (Ciampi, 2002).

Posición sistemática. Tradicionalmente los hongos de la roya se agrupaban junto con los carbones en la clase Teliomycetes (Jülich, 1981 citado por Voegelé *et al.*, 2009), no obstante, en la actualidad estudios moleculares y ultraestructurales muestran que la roya y los carbones tienen una lejana relación. La clasificación usada actualmente divide el Phylum Basidiomycota en tres clases: Urediniomycetes (royas), Ustilagomycetes (carbones) e Hymenomycetes (setas) (Cummins & Hiratsuka, 2003). Una característica importante que diferencia los urediniomycetes de los otros basidiomicetes es la ausencia de conexión de abrazadera. La sistematización del Orden Uredinales es variada conforme avanzan las investigaciones; se ha considerado que contenga dos familias: *Melampsoraceae* y *Pucciniaceae*. Otros investigadores lo dividen en tres familias: *Melampsoraceae*, *Coleosporiaceae* y *Pucciniaceae* (Lindquist, 1978). Gäumann (1949)

citado por Cummins & Hiratsuka (2003), sitúa el orden con seis familias: *Pucciniastraceae*, *Cronartiaceae*, *Coleosporaceae*, *Chrysomyxaceae*, *Melampsoraceae* y *Pucciniaceae*.

Según lo anterior, Rocca de Sarasola (1975); Cummins & Hiratsuka, 2003 y Zuluaga *et al.*, (2008), señalan que sólo se dio énfasis a la clasificación basada en caracteres morfológicos de las teleutosporas, además expresan que se dificulta cuando no se dispone de las mismas, ya que son más comunes las royas que sólo poseen las otras formas de esporulación y lo es aún más cuando se trata una roya heteroica. Asimismo indican que para la clasificación de algunas royas en los sistemas taxonómicos, además de sus caracteres morfológicos visibles y biométricos, es importante tener en cuenta los poros germinativos de las uredosporas, la morfología de los uredinios, aecios y espermogonios.

Ante la situación planteada, actualmente, Cummins & Hiratsuka (2003) clasifican los uredinales en 13 familias: *Phragmidiaceae*, *Chaconiaceae*, *Coleosporaceae*, *Cronartiaceae*, *Mikronegeriaceae*, *Pakopsoraceae*, *Melampsoraceae*, *Pucciniastraceae*, *Pileolariaceae*, *Pucciniaceae*, *Raveneliaceae*, *Puccinosiraceae* y *Uropyxidaceae*.

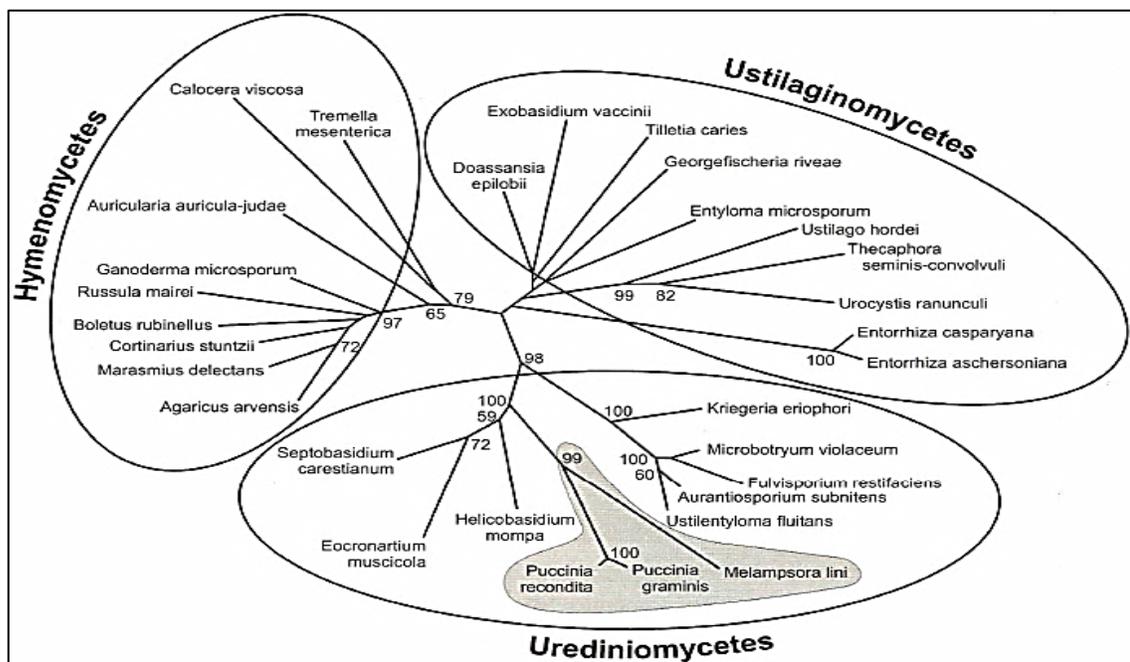


Figura 11. Topología de la división Basidiomycota. Uredinales en zona sombreada.
Fuente: Cummin & Hiratzuka, 2003.

Posición sistemática (Awasthi, 2007):

Reino: Plantae

División: Mycota

Subdivisión: Eumycota

Clase: Basidiomycetes

Subclase: Heteribasidiomycetidae

Orden: Uredinales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

(Según Alexopoulos, 1962)

Reino: Fungi

División: Eumycota

Subdivisión: Basidiomycotina

Clase: Teliomycetes

Orden: Uredinales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

(Según Ainsworth, 1973)

Se han reconocido cerca de 5000 especies de roya (Arauz, 1998), pero el grupo se estima que tiene más de 7000 provenientes de aproximadamente 300 géneros, aunque son reconocidos entre 100 y 125 (Cummins & Hiratsuka, 2003). Este número corresponde aproximadamente al 75% de los géneros y cerca del 95% de las especies pertenecientes a la clase Urediniomycetes (Voegelé *et al.*, 2009).

2.8.4 Descripción de la familia Pucciniaceae. Espermogonios subepidérmicos, globosos, Aecios con o sin peridio, en cuyo caso se llaman ceomoides; ecidiosporas libres o encadenadas. Uredinios con o sin paráfisis, o con peridio tipo empalizada. Teleutosoros subepidérmicos, generalmente más oscuros que los uredosoros, con o sin paráfisis, en algunos casos con peridio tipo empalizada, puede separarse en lóculos por paráfisis estromatoide; teleutosporas oblongas, elipsoidales, obovoides, uni a multicelulares, generalmente con membrana gruesa simple o laminada, lisa o con superficies diversas (espínulas, verrugas, etc.), germinan luego de un período de latencia o enseguida de madurar, septo transversal u oblicuo, 1 poro germinativo en cada célula; la germinación es principalmente por basidio externo. Los géneros de esta familia son: *Chrysella*, *Chrysocyclus*, *Chrysopsora*, *Cleptomycetes*, *Corbulopsora*, *Cumminsiella*, *Gymnosporangium*, *Kernella*, *Miyagia*, *Polioma*, *Puccinia*, *Stereostратum*, *Uromyces*, *Zaghouania*, *Endophyllum* (Lindquist, 1978; Cummins & Hiratsuka, 2003).

2.8.4.1 Descripción del género *Puccinia* Pers. Espermogonia y aecia subepidérmicas, aecia errumpente ya sea de tipo *Aecidium* con peridio y esporas verrugosas dispuestas en cadena, o tipo *Uredo* con esporas verrugosas o con espínulas, dispuestas sobre pedicelos. Uredinia subepidérmica, errumpente sin peridio, pero puede tener paráfisis; urediniosporas dispuestas sobre pedicelos o en cadena, comúnmente verrugosas o con espínulas, provista de varios poros germinativos. Telia errumpente subepidérmica en la mayoría de las especies, pero en algunas especies cubierta por la epidermis y dividida dentro de lóculos por paráfisis estromática; teliosporas típicamente bicelulares (pero puede haber con 1, 3 ó 4 células en algunas especies), solitarias en pedicelos, la mayoría de las esporas tiene pared pigmentada de grado variable, lisas o esculpidas con un poro germinativo en cada célula; germinación principalmente por basidio externo (Cummins & Hiratsuka, 2003).

Puccinia es el género más grande de Uredinales y el primero en ser establecido para este orden en 1979, en honor a un médico de Florencia (T. Puccini), con aproximadamente 3000 a 4000 especies. Las hay heteroicas y autoicas, también existen variaciones del ciclo de vida donde sólo se producen teliosporas. Familias Asteraceae, Cyperaceae, Poaceae y Liliaceae pueden servir como anfitriones para un gran número de especies, pero la mayoría de las plantas vasculares son parasitadas. Hay especies en todas las zonas terrestres, excepto las regiones polares (Rocca de Sarasola, 1975; Cummins & Hiratsuka, 2003; Awasthi, 2007).

2.8.5 Ciclo de vida. Las royas pueden producir hasta cinco tipos de esporas según la especie. Estas esporas con su estructura reproductiva corresponden a espermacios (n) en espormogonios, ecidiosporas (n+n) en ecios, urediniosporas (n+n) en uredinios, teliosporas (n+n y luego 2n) en telios y basidiosporas (n) en basidios. Los espermacios o picniosporas no son infectivos, y su función es dar origen a la condición dicariótica mediante la fusión con hifas receptoras compatibles. Las teliosporas tampoco son infectivas, y su función es la cariogamia y meiosis dando origen al basidio. Las esporas que atacan e infectan a las plantas hospederas son las basidiosporas, eciosporas y uredosporas. La roya, ya sea de carácter autoico o heteroico, su ciclo biológico está formado por micelio localizado o sistémico, especialmente en huéspedes leñosos. En algunos casos hay ciclos únicamente de uredosporas, especialmente en climas cálidos o

climas constantes como en invernaderos, donde se dispone todo el año de hojas que infectar (Smith *et al.*, 1992; Arauz, 1998).

Autoicismo y Heteroicismo. Las royas autoicas producen todos los tipos esporas en un único huésped, mientras que las heteroicas alternan entre dos huéspedes la producción de esporas para completar su ciclo vital (Smith *et al.*, 1992).

Etapas del ciclo de vida. Las royas macrocíclicas o de ciclo de vida largo presentan los cinco tipos de esporas. Las demicíclicas carecen de uredosporas y las microcíclicas o de ciclo de vida corto producen sólo teliosporas como espora dicariótica. Cabe señalar que hay un caso especial, las royas endocíclicas, cuyas eciosporas funcionan como teliosporas (Smith *et al.*, 1992; Arauz, 1998).

Una ruya macrocíclica por lo tanto está constituida por cinco fases de acuerdo con Rocca de Sarasola (1975); Agrios (1996); Malaguti (1997); Awasthi (2010), detalladas a continuación:

Fase O: Espermogonia, procedente de la germinación de una basidiospora haploide, genera espermacios e hifas receptoras. Los espermacios actúan como gametos masculinos y no tienen la capacidad de infectar a las plantas, su función es dar origen a la condición dicariótica mediante la fusión con hifas receptoras compatibles y producir posteriormente un micelio y esporas dicarióticas (aeciosporas). Los espermogonios son autoestériles por lo cual el apareamiento se produce con espermogonios de signo opuesto, es decir, (+) con (-) (heterotalismo).

Fase I: Aecia, asociada al espermogonio por medio de hifas, produce aeciosporas unicelulares dicarióticas, las cuales después de haber infectado al hospedante primario, forman más micelio dicariótico, produciendo uredosporas las que al germinar forman la uredinia.

Fase II: Uredinia, originaria del micelio dicariótico de la aeciospora, produce urediniosporas generadas por la mitosis del micelio. Esta fase es repetitiva puesto que las nuevas urediniosporas reinfectan al hospedero originando nuevos uredinios.

Fase III: Telia, formada en la uredinia la cual cesa la producción de uredosporas progresivamente para crear finalmente teliosporas, tornando la pústula anaranjada a tonos pardo, marrón o gris. Luego de sufrir cariogénesis y meiosis, cada célula de la teliospora emite un basidio que contiene 4 basidiosporas haploides e infectivas, de signo (+) ó (-), a éstas migran cada uno de los núcleos del promicelio. Las teliosporas pueden ser unicelulares (*Uromyces*), bicelulares (*Puccinia*), o pluricelulares (*Phragmidium*). La teliospora es el estado esporico (telomorfo) más común para el reconocimiento de género y nomenclatura de las royas.

Fase IV: Basidia, comúnmente forma 4 basidiosporas haploides provenientes de las teliosporas germinadas. Las cuatro basidiosporas son por pares, de sexualidad opuesta, dos corresponden al signo (+) y las otras dos al (-). Estas basidiosporas llevadas por el viento germinan al contacto con el agua y el micelio subsiste si caen sobre un hospedante susceptible, el cual, penetra en los tejidos de la planta formando una fructificación que recibe el nombre de espermogonio o picnio con los signos (+) y (-) de acuerdo con la basidiosporas que le dio origen.

De acuerdo a lo anterior, las fases **O** y **I** ocurren en el gametofito o generación de células haploides que dan lugar a las gametas o células de reproducción sexual y las **II** y **III** en el esporofito o generación que lleva las esporas asexuales. De Bary en 1864 descubrió el heteroicismo en las royas. De acuerdo con ello, pueden ser autoicas o heteroicas para poder completar su ciclo de vida. La planta en la que se producen las fases **O** y **I** se le denomina hospedante secundario o alternativo y la planta que lleva la fase **III**, es el hospedante principal (Rocca de Sarasola, 1975).

El agracejo común y varias otras especies de *Berberis* y *Mahonia* sirven como los hospedantes alternativos para dos importantes patógenos de la roya de pequeños granos y pastos, *Puccinia graminis* y *P. striiformis*. La erradicación del agracejo se ha practicado durante siglos como un medio para controlar la roya del tallo. Los síntomas más graves y económicamente importantes aparecen en el trigo y algunos cereales relacionados (como es el caso de la cebada, las avenas y el centeno), así como en otras plantas hospederas. (Agrios, 1996; Jin, 2011).

El hospedante alterno en la roya, cumple la función de ser un mecanismo para los intercambios genéticos entre las razas y, tal vez, las poblaciones, también para completar el ciclo biológico. Otra forma es poder sobrevivir en plantas hospedantes susceptibles cuando no se dispone del hospedante primario, por ejemplo el caso de *Puccinia graminis*, en muchas zonas el patógeno sobrevive al período entre los ciclos de cultivo del trigo en un "puente verde" que está constituido por plantas voluntarias del mismo genotipo que se va a sembrar en el próximo año. Para poder efectuar el control, es preciso eliminar el puente verde de plantas hospedantes susceptibles. (Roelfs, Singh y Saari, 1992).

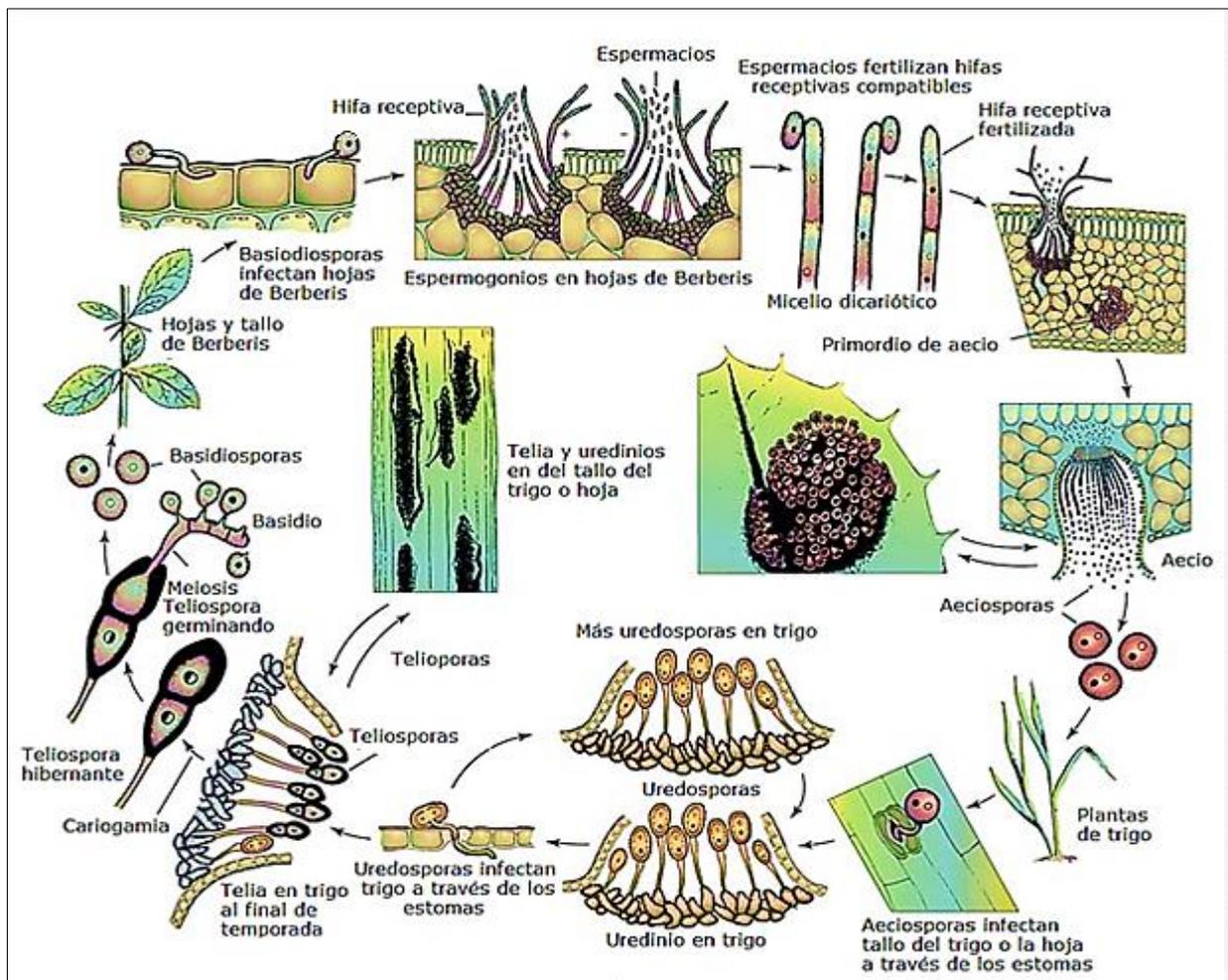


Figura 12 Ciclo biológico de la roya del tallo en trigo causado por *Puccinia graminis tritici*.
Fuente: Agrios, 2005.

2.8.6 Síntomas y Signos. Los ataques de las royas pueden dar lugar a modificaciones fisiológicas y morfológicas del hospedante, entre estas, la fotosíntesis. El hecho de que los agentes patógenos interfieran con la fotosíntesis, produce síntomas de clorosis, lesiones necróticas o grandes áreas necróticas en las partes verdes de la planta, repercuten en reducción del crecimiento y cantidades de frutos (Agrios, 2005).

La roya ataca principalmente a las hojas, los tallos y en ocasiones a los frutos y flores. Por lo común, las infecciones causadas por las royas tienen el aspecto de numerosas manchas rojizas, anaranjadas, amarillas o incluso de color blanco que ocasiona el rompimiento de la epidermis, la formación de hinchamientos e incluso de agallas. La mayoría de las infecciones por royas son estrictamente manchas locales, pero algunas pueden extenderse internamente hasta un grado más o menos limitado (Agrios, 1996).

Las royas pueden modificar la transpiración de las plantas, al infectar las hojas, debido a una disminución parcial de la cutícula, al aumento de la permeabilidad de las células y alteraciones en los estomas. En el caso de la absorción y translocación del agua ya no se llevan a cabo en las hojas debido a la pérdida excesiva de este elemento, estas últimas se marchitan y pierden su turgencia.

Se produce un aumento en la respiración en los hospedantes, donde los tejidos que son afectados, utilizan con mayor rapidez su reserva de carbohidratos que los tejidos sanos. El aumento en la respiración se produce poco después de haberse producido la infección (casi en el momento en que aparecen los síntomas observables) y continúa aumentando durante la multiplicación y esporulación del patógeno. Después de esto, la respiración disminuye hasta su nivel normal e incluso hasta un nivel mucho menor que el de las plantas sanas.

La roya puede interferir en la translocación de los nutrientes orgánicos, es decir, desde las células de la hoja hasta el floema, o con su translocación a través del floema hasta las células que puedan utilizarlos. Los hongos parásitos obligados, como las royas y los mildius, causan una acumulación de productos fotosintéticos y nutrientes inorgánicos en las zonas que han invadido. En esas enfermedades, las zonas infectadas se caracterizan por tener un menor nivel fotosintético y una tasa respiratoria mucho mayor. Sin embargo, la síntesis de almidón y otros compuestos, así

como el peso seco, aumentan temporalmente en esas zonas infectadas, lo cual indica que se han estado translocando varios nutrientes orgánicos desde las zonas infectadas de las hojas, o de las hojas sanas, hasta las zonas que han sido infectadas (Agrios, 1996).

Las cantidades de almidón y oxalato de calcio pueden aumentar o disminuir, notándose además variaciones en el contenido de lípidos, resinas, proteínas y auxinas; o cambios de color comunes en disturbios provocados por estos parásitos. En los órganos atacados por royas se producen a menudo, además, las alteraciones de peso seco, alargamiento de los tejidos e hipertrofia celular (Rocca de Sarasola, 1975).

Se las considera enfermedades de tipo localizado pues las uredosporas germinan y el micelio penetra directamente a través de la cutícula o por los estomas desarrollándose escasamente en diámetro. Algunas son consideradas de tipo semisistémico como *P. striiformis* porque producen una infección en un lugar extendiéndose a ambos lados de la misma sin llegar a abarcar toda la planta. Existen también casos en que son realmente sistémicas, como la roya de la *Salpichroa origanifolia* (huevo de gallo) causada por *Endophyllum pampeanum*, la cual se extiende desde los rizomas hasta las hojas, a lo largo del tallo (Rocca de Sarasola, 1975; Agrios, 2005).

Parasitan generalmente los órganos aéreos de las plantas, muchas solo producen en las hojas y tallos características pústulas de color amarillo, anaranjado o rojizo, pero otras provocan agallas, como *Ravenelia platensis* Speg. Que ataca al ceibo y *Gymnosporangium juniperi virginianae* que lo hace sobre el manzano, causando tumores típicos sobre cedro que es su huésped alternativo. Otras dan lugar a grupos de ramificaciones conocidas como “escobas de bruja” como *Aecidium magellanicum* que afecta a *Berberis buxifolia* causando lesiones sistémicas a nivel local. También pueden producir enanismo de la planta o sus órganos como es el caso de *Uromyces pisi* y *U. caryophyllinus* o provocar la caída de hojas (*Melampsora* spp.) o inducir clorosis como la que acompaña. *Puccinia menthae* ataca los estolones. También atacan al cuello y raíces como *Puccinia carthami* en *Carthamus tinctorius* (Rocca de Sarasola, 1975; Hernández & Hennen, 2003).

2.8.7 Métodos de Control. Los distintos métodos de control pueden clasificarse como reguladores, culturales, biológicos físicos y químicos, dependiendo de la naturaleza de los agentes que se utilicen para controlar las enfermedades. Las medidas reguladoras de control ayudan a eliminar los patógenos de sus hospedantes o de cierta área geográfica. La mayoría de las prácticas culturales y métodos de control evitan que las plantas entren en contacto con el patógeno y permiten erradicar o reducir la abundancia de este último en un campo o un área geográfica. Los métodos de control biológico y algunos métodos culturales ayudan a mejorar la resistencia del hospedante o favorecen el crecimiento de microorganismos que son antagonistas del patógeno. Por último, los métodos de control físicos y químicos ayudan a proteger a las plantas contra el inóculo del patógeno y a curar una infección que ya está en desarrollo. Cabe señalar que los métodos más comunes que se utilizan para proteger directamente a las plantas del ataque de los patógenos comprenden algunos métodos de control biológico (hongos y bacterias antagonistas al patógeno), pero sobre todo, métodos de control químico (Agrios, 1996).

Control cultural. Por medio de cultivares resistentes o inmunes, erradicación del hospedante alternativo que alberga las fases complementarias y de hospedantes intermediarios que sirven de puente o enlace a estos uredinales cuando estos son polívoros (Rocca de Sarasola, 1975; Latorre, 1992).

Control biológico. En base a organismos hiperparásitos de royas tales como *Darluca filum*, *Trichothecium roseum*, *Verticillium niveostratosum*, *V. fungicola*, *Cephalosporium acremonium*, *Xanthomonas uredovorus*, *Bacillus* sp., etc. Además insectos que se alimentan de royas como *Cecidomyiidae*, *Phalacridae*, trips, entre otros. No se lo emplea en forma práctica para controlar las royas ya que su éxito depende estrechamente de las condiciones ambientales que predominan en el momento de la epifitía (Rocca de Sarasola, 1975).

Control químico. Se emplean moléculas químicas sintéticas de acción externa que actúan por protección de las partes indemnes y sustancias de acción interna con efectos erradicantes o sistémicos quimioterapéuticos. Tal es el caso del oxiclورو de cobre, óxido cuproso, hidróxido de cobre y sulfato de cobre formulado como caldo bordelés, por lo cual, se pueden utilizar estos fungicidas de contacto protectores o preventivos. Estos fungicidas solamente tienen efecto

inhibiendo la germinación del patógeno y, en ocasiones, la penetración (Rocca de Sarasola, 1975; Rivillas *et al.*, 2011).

La última compilación de fungicidas específicos para la roya data de la década de 1980. No obstante, las formulaciones a base de azoles y ditiocarbamatos siguen siendo las más efectivas ya que presentan gran actividad biológica a tasas bajas de aplicación. Paralelamente el uso de estos fungicidas en la roya de los cereales trae consigo un riesgo de resistencia medio o muy bajo (Brent, 1995 citado por Voegele *et al.*, 2009). Su mecanismo de acción está relacionado con el bloqueo en la formación de una molécula específica del hongo patógeno llamada Ergosterol, mediante un proceso denominado desmetilación por ello, los fungicidas azoles, subgrupo triazoles, se conocen como Inhibidores de la Desmetilación (DMI) de esteroides, son de acción sistémica y tienen diferente movilidad en la hoja, es así como el producto tiene la capacidad de desplazarse por el mesófilo, el parénquima y hasta llegar cerca de la endodermis. Esta movilidad se conoce como Log Kow. Estos fungicidas tienen un movimiento acropétalo, es decir, se mueven del sitio donde llegó el producto hacia arriba, así como un movimiento basipétalo, que es la capacidad de desplazarse desde el sitio donde el producto entró en contacto con la planta hacia abajo (Latorre, 1992; Jaramillo y Arcila, 2009 citados por Rivillas *et al.*, 2011).

Otro grupo de fungicidas son las estrobirulinas, encontradas originalmente en el hongo *Strobilurus tenacellus* con acción translaminar, es decir, actúan en el mesófilo de la hoja. Tienen una translocación vascular mínima. Su actividad tiene lugar en las mitocondrias, donde inhibe el transporte de electrones de la cadena respiratoria, concretamente en la posición del complejo citocromo-bc1. Estos fungicidas tienen la posibilidad de actuar sobre el proceso de esporulación de la roya, razón por la cual se consideran como erradicantes (Bartlett *et al.*, 2002, citados por Rivillas *et al.*, 2011).

2.8.8 Royas asociadas a calafate (*Berberis microphylla* G. Forst) y michay (*Berberis darwinii* Hook.).

Mujica y Vergara (1945) señalan que para calafate y michay han sido reportados 22 géneros de royas, 15 asociados a calafate y 7 a michay (Cuadro 7). Spegazzini (1921), en su “Nota sobre Uredinales Berberidícolas”, menciona a 16 especies en orden cronológico, basándose en características morfométricas del hongo y del hospedero asociado, se indican dificultades para su identificación exacta, debido principalmente, a que algunos investigadores (Magnus, Dietel, Neger, Sydow, entre otros.) describen la especie con pocos detalles o erróneamente los fitopatógenos.

De estas 16 especies según la morfología de las esporas y hospederos asociados, Spegazzini (1921) llegó a la conclusión de que el grupo se reduciría a sólo dos, como sinónimos de *Puccinia berberidis* Mont. y *Puccinia magellanica* (Berk.) Speg. Por otro lado, Lindquist (1978), considera una afirmación inadmisibles desde todo punto de vista que para Spegazzini (1921) todas las especies de roya sobre *Berberis* pudieran reducirse a solo dos (*P. berberidis* y *P. magellanica*).

Cuadro3. Las royas *Puccinia berberidis* Mont. y *P. magellanica* (Brk.) Speg. con sus sinónimos.

<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1892)	<i>Puccinia magellanica</i> (Berk.) Speg. (1894)
<i>Puccinia antártica</i> Speg. (1887)	<i>Puccinia meyeri-alberti</i> Mgn. (1892)
<i>Uropyxis naumanniana</i> Mgn. (1892)	<i>Uredo antártica</i> Speg. (1887)
<i>Puccinia naumanniana</i> Neger. (1896)	<i>Aecidium léveilleianum</i> Mgn. (1892)
<i>Puccinia stolpiana</i> (Mgn.) Diet. & Ngr. (1899)	<i>Uredo berberidis</i> Lev. (1846)
<i>Uredo stolpiana</i> Mgn. (1892)	<i>Uredo berberidis</i> Hariot. (1891)
<i>Aecidium magellanicum</i> Prk. (1847)	<i>Epithea berberidis</i> Mntgn. (1852)
<i>Aecidium jakobstlii-henrici</i> P. Mgn (1897)	<i>Uredo Aecidiiformis</i> Speg (1887)

Fuente: Adaptado de Spegazzini, 1921

Aecidium berberidis Gml. no ha sido determinada en Sudamérica. En el caso de *Puccinia antarctica* es únicamente habitadora de *Berberis microphylla*. La roya *P. berberidis* var. *Heterosperma* se observó en hojas de *B. darwinii*, las medidas son 40-50 x 20 µm, ápice de 2-3 µm, pedicelo 30-40 x 5-7 µm. *P. berberidis* var. *Typica*, el pedicelo supera los 200 µm y se observó en *B. microphylla* (Spegazzini, 1921).

Cuadro 4. Royas asociadas a calafate y michay.

Hospedero	Fitopatógeno
<i>Berberis microphylla</i> (Calafate)	<i>Aecidium aridum</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Aecidium berberidis</i> Pers. (1896)
	<i>Aecidium jacobsthalii-henrici</i> Magn. (1897)
	<i>Aecidium leveillanum</i> Magn. (1900)
	<i>Aecidium magellanicum</i> Berk. (1888)
	<i>Aecidium tubiforme</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Epitea berberidis</i> Lév. (1852)
	<i>Puccinia barri-aranae</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1900)
	<i>Puccinia graminis</i> Pers. (1911)
	<i>Puccinia meyeri-albertii</i> Magn. (1900)
	<i>Puccinia naumaniana</i> Magn. (1896)
	<i>Puccinia stolpiana</i> (Magn.) Diet. et Neger. (1900)
<i>Uredo berberidis</i> Lév. (1896)	
<i>Uropyxis naumaniana</i> Magn. (1892)	
<i>Berberis darwinii</i> (Michay)	<i>Aecidium aridum</i> Diet. et Neger (1927)
	<i>Aecidium berberidis</i> Pers. (1896)
	<i>Caoma berberidis</i> Diet et Neger (1904)
	<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1921)
	<i>Puccinia berberidis-darwini</i> Jaks. et Holw.(1931)
	<i>Puccinia graminis</i> Pers. (1911)
<i>Puccinia meyeri-albertii</i> Magn. (1900)	

Fuente: Mujica y Vergara, 1945.

2.9 *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. (1892)

Clasificación taxonómica:

Clase: Pucciniomycetes (sin. Urediniomycetes.)

Orden: Pucciniales (sin. Uredinales.)

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

Especie: *meyeri-albertii* (Magnus, P., 1892) (MycoBank, 2012).

Sinónimos: *P. meyeri-alberti* P. (Magnus) Kuntze (1892); *Dicaeoma meyeri-alberti* (Magnus) Kuntze, 1898 (MycoBank, 2012).

2.9.1 Morfología. Las siguientes descripciones, se basan en características de telios y teliosporas:

Según Lindquist (1978), Teleutosoros hipófilos, redondeados pulvinados, castaños luego cinéreos por germinación de las esporas, descubiertos aislados o agrupados; teleutosporas cilíndricas o elipsoidales, generalmente aguzadas en el extremo distal y afinadas hacia abajo, poco o nada contraídas en la zona del tabique, 11-18 x 65-95 μm , membrana hialina o ligeramente coloreada, poro en la célula superior apical y en la inferior septal, de 1-1,5 μm de espesor y 4-6 μm en el ápice; pedicelo hialino, largo, hasta 200 μm y por lo común ensanchado en el centro. Se hallan en algunos casos células unicelulares que parecen ser mesosporas.

Según Hennen *et al.* (2005), Teleutosoros en el lado abaxial de las hojas, esparcidos por separado o confluentes, formando grupos compactos de manchas irregulares redondas de color amarillo-marrón a marrón; las teliosporas son de 70-95 x 11-16 μm , largas y estrechas, cilíndricas, redondeadas, incoloras o marrón pálido, lisas o se estrechan en el ápice, puede estar ligeramente constreñida en el septo, estrechándose por debajo del pedicelo, paredes laterales de 1-1,5 μm de espesor, con ápice de 4-6 (-7) μm de espesor. Pedicelo de hasta a 220 μm de largo, gruesos y persistentes, sin color. Es posible encontrar teliosporas unicelulares combinándose con las bicelulares.

Puccinia meyeri-albertii Mgn frecuentemente se encuentra acompañada por una fase ecídica, correspondiente a *Aecidium leveilleanum* Mgn., que Magnus (1892) citado por Lindquist (1978) considera que pertenece al ciclo de esta roya. Por otro lado Jackson (1927), reportó 6 de ejemplares de *A. leveilleanum* junto a 8 especímenes de *P. meyeri-albertii*, colectados por Holways in South America indicando que puede haber cierta conexión genética entre estas dos especies, pero no mencionó la fase espermogónica, y declaró que los ensayos de inoculación son necesarios para establecer la conexión entre estas dos royas. The Sydows (1923) citados por Hennen *et al.* (2005) reporta la presencia de espermogonia en *P. meyeri-albertii*, pero Lindquist (1982), declaró la ausencia de esta fase en su investigación.

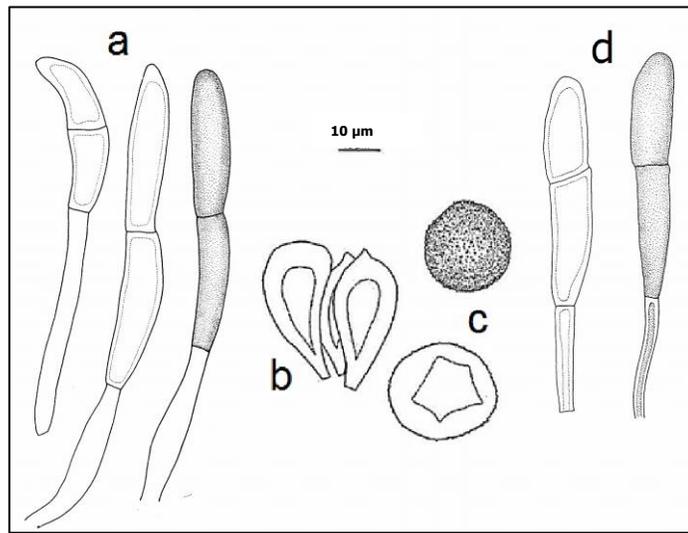


Figura 13. a) teliospora de *Puccinia meyerii-albertii* Magn. b) células peridiales de *Aecidium leveilleanum* Magn. c) Ecdiospora de *A. leveilleanum* Magn.
Fuente: Lindquist, 1978.

2.9.2 Hospedantes. Holotipo. Sobre *Berberis* sp. proveniente de Chile. Esta roya está muy difundida sobre diversas especies de *Berberis* en la región andino-patagónica de Argentina y Chile hasta Río Grande do Sul en Brasil (Lindquist, 1978). *Puccinia meyeri-albertii* P Magn. ha sido reportada en berberidáceas como: *Berberis actinacantha* Mart., *B. laurina* Billb., *B. buxifolia* Lam., *B. chilensis* Gill., *B. congestiflora* Gay., *B. ruscifolia* Lam., *B. spinulosa* A.St-Hil., *B. pearcei* Phil. (Jackson, 1927)

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Ubicación y duración del estudio

El estudio fue realizado en el Campo Experimental Maquehue, ubicado al sur de Temuco (38°50' Latitud Sur y 72°41' Longitud Oeste). La evaluación macro y microscópica de las muestras recolectadas fueron realizadas en el Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Agroindustria, Universidad de la Frontera, entre el periodo de noviembre 2010 y diciembre 2011.

3.2. Materiales

Fungible. Placas de petri, tubo de ensayo, aza de siembra, agua destilada, alcohol, bolsas de polietileno, papel absorbente, papel de envolver, papel aluminio, porta y cubre objeto.

Medio de cultivo. Agar Agua (AA) al 2%.

Material Biológico. 4 plantas de calafate (*Berberis microphylla* Forst.) y 4 plantas de michay (*B. darwinii* Hook.) de aproximadamente 10 años de edad, establecidas en el Campo Experimental Maquehue. Estas plantas fueron introducidas para evaluación desde Coyhaique y han tenido un manejo agronómico mínimo.

Equipos. Lupa estereoscópica Carl Zeiss, modelo Stemi DRC, microscopio óptico marca Nikon modelo Alphaphot-2 YS2-H, cámara de flujo laminar ESCO, Autoclave horizontal Orthmann, destilador de agua Kottermann modelo 1032, estufa de esterilización Heraeus, balanza Arquimed modelo Acculab V-600, agitador de tubos de ensayo Jankle & Kunkel modelo VF2, agitador magnético Fisatom modelo 752A, Cámara fotográfica digital.

3.3. Método.

En las unidades observacionales (plantas de calafate y michay), se realizó un monitoreo y muestreo de estructuras vegetativas y reproductivas sintomáticas cada 15 días consignando síntomas (amarillez, manchas pardo-rojizas, fruto deshidratado) y signos (pústulas anaranjadas

uredosóricas, pústulas marrón teleutosóricas) en hojas y frutos. El material vegetal recolectado se analizó en laboratorio y se mantuvo a 4°C.

3.3.1 Prueba de germinación de teliosporas. Las teliosporas fueron desprendidas de teleutosoros raspados con bisturí estéril, y depositados en tubos de ensayo con 10 ml de agua destilada estéril. Para homogenizar la suspensión, se agregó solvente para romper la tensión superficial de las esporas y se agitó en Vortex por 5 min. Posteriormente con aza de siembra fueron depositadas en placas de petri con medio de cultivo agar agua (2%). Estas fueron dejadas en estufa de cultivo (20°C y 90% H.R.) para ser observadas a intervalos de 24 horas y determinar la viabilidad de las esporas a través de su germinación. El medio de cultivo se elaboró con 5 g de agar disuelto en agua destilada estéril en matraz Erlenmeyer de 250 ml se agitó con plato magnético a velocidad media, para esterilizarlo se dejó en autoclave por 20 minutos a una temperatura de 121°C y 1,5 atm.

3.3.2 Identificación del agente causal y caracterización morfológica. Por medio de lupa estereoscópica y microscopio óptico se observaron y caracterizaron estructuras reproductivas macroscópicas para los estados esporicos observados, determinando pústulas o soros, posición respecto al tejido del hospedante, color, forma, agrupación y consistencia; en estructuras microscópicas, a través de frotis, se detallan magnitudes de 4x, 10x, 40x y 100x forma, color, dimensiones, tamaño de la pared apical y lateral, ornamentación, y largo de pedicelo. La identificación preliminar fue corroborada mediante envío de muestras al Centre for Agricultural Bioscience International (CABI-UK). Las medidas de las teleutosporas se realizaron de acuerdo al procedimiento descrito por Zuluaga *et al.* (2010) y consta de medición mínima - medición máxima, promedio y desviación estándar.

3.3.3 Incidencia. Se evaluó cuantificando la cantidad de frutos y hojas con signos (afectados) en cada ramilla asignada a observación dando un total de 100 hojas y 100 frutos por planta. Se expresó en porcentaje por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de (hojas o frutos) afectados}}{\text{Total (sanos + afectados)}} \times 100$$

(frecuencia)

3.3.4 Severidad. Para describir la magnitud de la enfermedad en la planta, se estimó el área afectada en hojas y frutos con presencia de pústulas (uredinios) a través de una escala de notas (Figura 14) donde cada nota tiene su correspondiente grado de infección cuantificado en porcentaje de severidad, es decir, **notas: 1= 0%** (aparentemente sano); **2=1-25%**; **3=26-50%**; **4=51-75%**; **5=76-100%** de área afectada por roya.

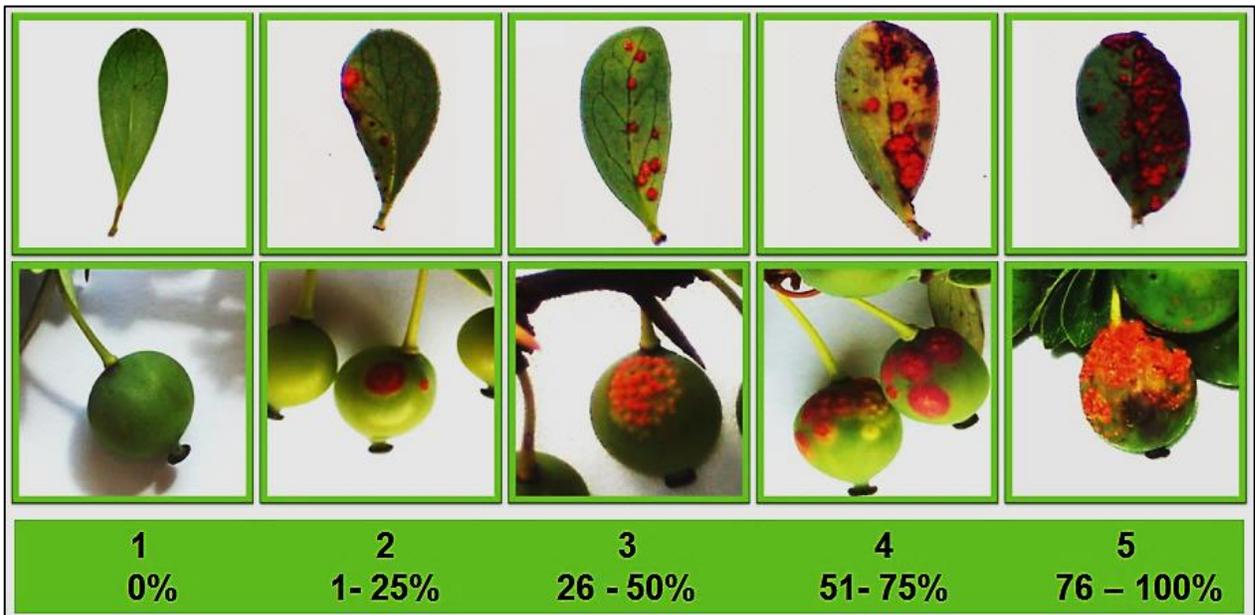


Figura 14. Escala de notas utilizada para evaluación severidad en hojas y frutos de calafate y michay.

3.3.5 Correlaciones. Para establecer si existe relación o correspondencia entre los parámetros de incidencia (%) y los parámetros de temperatura media y precipitación mensuales, se utilizó un modelo de correlación estadística, donde los valores obtenidos como coeficiente de correlación de Pearson, coeficiente de determinación (R^2), la pendiente de la ecuación de la recta, la significancia del valor ($\rho \leq 0.05$) fueron la referencia para la interpretación de los resultados. Se calculó la incidencia (%) de *Puccinia meyeri-albertii* Magn. en promedios mensuales. Los datos

climáticos fueron obtenidos de la Dirección Meteorológica de Chile, correspondientes a la ciudad de Temuco (Valle Central).

3.4 Fenología de calafate y michay.

El criterio para determinar la ocurrencia de las diferentes etapas fenológicas, fue el modelo utilizado por Arena *et al.*, (1997) en el calafate y se adaptó para el michay para estandarizar las comparaciones entre las dos especies, representado a continuación:

Brotación o foliación. Inicio de aparición de nuevas hojas. En el follaje se observó su brotación, maduración, madurez, senescencia y caída.

Botón floral. Se considera cuando en forma masiva aparecen los botones florales.

Inicio floración. La floración está marcada por la aparición de yemas florales

Plena floración. Cuando los botones florales pasan a flores abiertas con sus órganos reproductivos a la vista.

Fructificación. Aparición masiva de los frutos.

Maduración de frutos. Periodo en que inicia y termina la maduración de frutos, alcanzando el estado de madurez.

Se considera la ocurrencia de una fase cuando más del 50% de la planta presenta el estado fenológico.

3.5 Diseño experimental y Análisis estadístico.

En el caso de la cuantificación de incidencia y severidad de la roya, se utilizó un diseño de muestreo al azar en lados diferentes de las plantas de calafate y michay. A saber: cada especie tiene 4 repeticiones, con 5 ramillas por especie, y en cada ramilla 20 frutos y 20 hojas. Cada ramilla tiene asignada una orientación; ramilla: 1=Norte, 2=Sur, 3=Este, 4=Oeste, 5=Aleatoria. La incidencia (%) e intensidad (escala de notas) fueron expresadas en promedios mensuales. En el caso de la incidencia se hizo con la transformación angular arco-seno en la distribución de los datos binomial para aproximarla a una normal.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Identificación de *Puccinia meyeri-albertii* Magn.

4.1.2 *Puccinia meyeri-albertii* Magn. en calafate (*Berberis microphylla* Forst.). En las hojas senescentes del calafate a final de temporada estival, los uredosoros cesaron la producción de uredosporas, pasando a un estado de latencia como micelio subepidérmico evidenciando manchas color marrón (Figura 16 (a, b)), y se observó desde abril hasta fines de la segunda quincena de agosto, y a partir de esa fecha el micelio hibernante comenzó la producción de teliosporas.

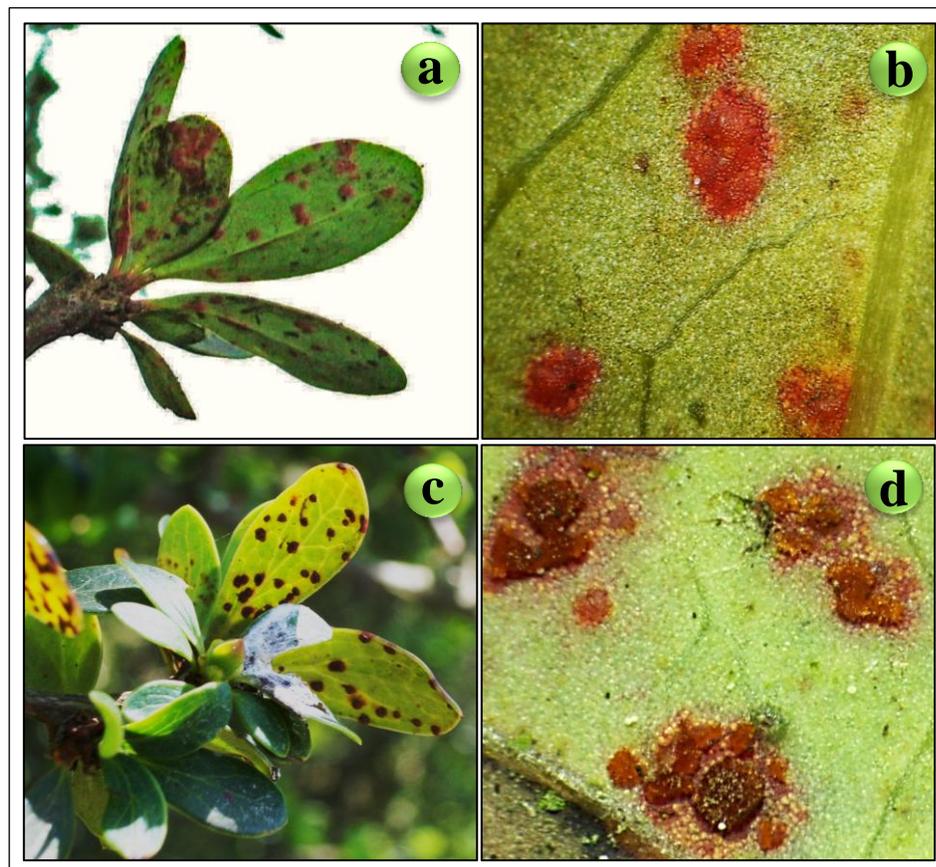


Figura 16. Hojas de temporada anterior de calafate afectadas por *Puccinia meyeri-albertii*: **a)** manchas a causa del micelio subepidérmico, **b)** detalle de manchas (4x), **c)** telios o teleutosoros, **d)** telios maduros (4x).

Se ha confirmado la presencia de *Puccinia berberidis* Montagne, una roya que parasita a *Berberis microphylla*, reportada en Argentina y Chile, sin evidencias del estado anamorfo *Aecidium* sp. *P. berberidis* y *P. meyeri-albertii* se diferencian en el tamaño de sus teliosporas, debido a que en *P. berberidis* son más pequeñas y con pedicelos más cortos (Linguist, 1978; Hennen *et al.* (2005).

4.1.2.1 Fase teleutosórica. A fines de invierno (segunda quincena de agosto a inicios de septiembre) en hojas senescentes de plantas de calafate, fueron observados los signos de teleutosoros en la cara abaxial de las hojas de forma redonda a irregular, descubiertos, compactos, almohadillados, color marrón tornándose grisáceos por germinación de teliosporas, esparcidos o confluentes. Los síntomas fueron amarillez, manchas necróticas en el haz y caída de hojas.

4.1.2.2 Fase uredosórica. Uredosoros fueron detectados en hojas entre fines de Septiembre e inicios de octubre, favoreciendo su crecimiento y desarrollo con temperatura cálida (18 - 25°C), tal como ocurre con algunas royas como *Pucciniastrum americanum*, *Puccinia recondita*, *Phragmidium mucronatum*, entre otras consignadas por Latorre (1992). Los síntomas iniciales en hoja fueron pequeñas manchas amarillo-ocre hipófilas y rojizas epífilas, en fruto inmaduro coloración amarillo-ocre con anillo concéntrico rodeado por un halo rojizo, presentando crecimiento radial en ambos órganos. Con la infección avanzada se observó deformación, momificado y abscisión de frutos (baya y pedúnculo), en hojas deformación, amarillez, manchas marrón y abscisión.

Se detectaron signos tales como uredosoros hipófilos, anaranjados con uredosporas, en hojas, frutos, tallos y ramillas herbáceas. Los síntomas en hojas fueron manchas pardo-rojizas epífilas, amarillez, en casos severos deformación y abscisión; en fruto se observó momificación, maduración prematura, y abscisión. Se evidenció signos de uredinios maduros de color anaranjado, adaxiales, con peridios ampollados subepidérmicos, compactos, que se abren por medio de poros agrupados en forma circular en el órgano afectado. También se desarrollaron uredinios con masas de uredosporas errumpentes en tallos y ramillas no lignificadas formando deformaciones.

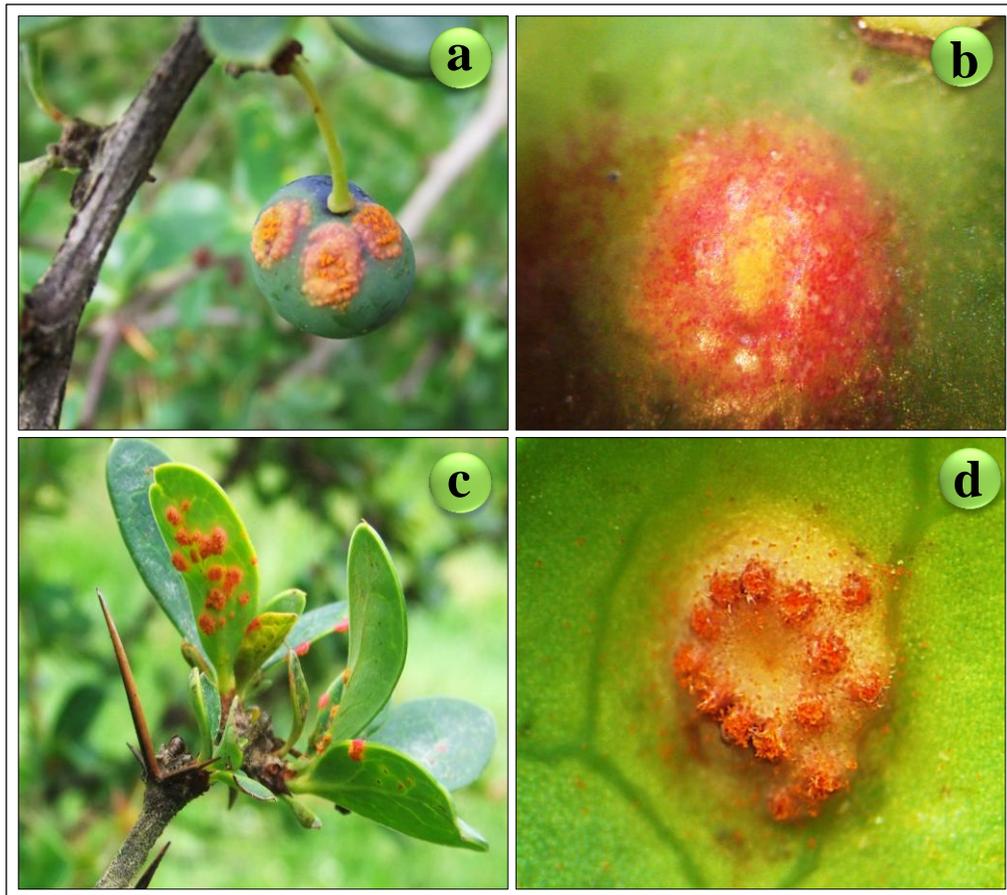


Figura 17. Fase uredosórica de *P. meyeri-albertii*: **a)** pústulas en fruto de calafate, **b)** uredinio en fruto (4x) en fruto, **c)** pústulas en hojas de calafate, **d)** uredinio con uredosporas en hoja (4x).

La fase uredosórica en hojas, tuvo un crecimiento exponencial a contar de octubre, declinando a partir de febrero. En este mes, los uredosoros se tornaron marrón opaco y endurecidos al contacto o presión, conteniendo uredosporas en diferentes grados de deshidratación con paredes gruesas y desiguales, descripción que se asemeja bastante a las ecidiosporas de *Aecidium leveilleum* P. Magn. hecha por Lindquist (1978), quien señala que las ecidiosporas son globosas, elipsoidales u ovoides, 19-27 x 27-38 μm , membrana gruesa desigualmente pesada, 3,5-4 μm con verrugas grandes y desordenadamente distribuidas, las cuales se ubican sobre el holotipo *Berberis microphylla* Forst. = *B. buxifolia* Lam. En la (Figura 13, letra c), se observa una ecidiospora de *A. leveilleum* y las células peridiales, las cuales

muestran similitud a las uredosporas de *P. meyeri-abertii* en forma y tamaño observadas a fines de febrero (Figura 18).

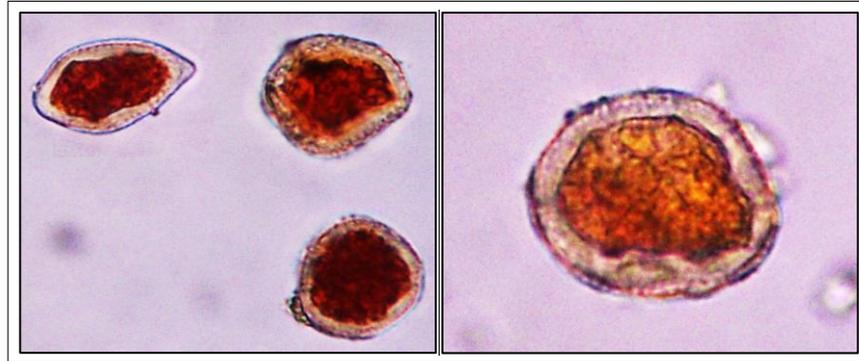


Figura 18. Uredosporas de *P. meyeri-abertii* observadas a fines de temporada estival.

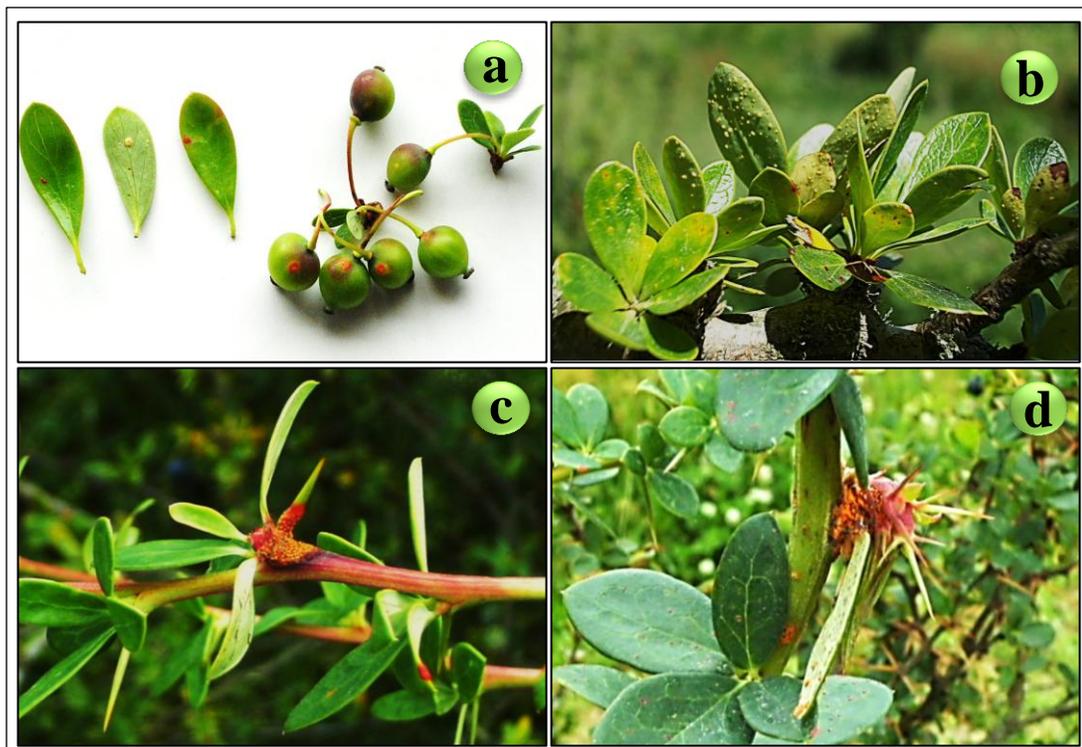


Figura 19. a) Inicio infección de roya en hojas y frutos de calafate con desarrollo de uredinios b) uredinios nuevos en brotes, c) uredinios en peciolo y espina y d) deformación por uredinios en ramilla no lignificada.

El ciclo biológico de la roya *Puccinia meyeri-albertii*, no está claramente dilucidado, por lo que aún faltan estudios que permitan establecer si existe un hospedante alternativo (heteroicismo) y detectar las fases espermogonia y aecia (O y I). Hasta el momento se sabe que produce uredinios y telios afectando a un amplio rango de hospedantes del género *Berberis*. Similar característica se encuentra en las royas *P. striiformis* y *Hemileia vastatrix* donde no se conoce el hospedante alterno ni tampoco las fases de espermogonia y aecia (O y I), completando su ciclo de vida sólo con teliosporas y uredosporas, denominándose royas hemiformes (Roelfs *et al.*, 1992; Arauz, 1998).

4.1.2.3 Incidencia

Fruto. La incidencia promedio en fruto fue aproximadamente un 50% inferior al detectado en hoja con 12,43%, la menor incidencia fue registrada en enero de 2011 con 1,13% en parte debido a que el periodo de fructificación (cuajado a madurez) es relativamente breve con 3 meses, y el patógeno no alcanza su mayor nivel de infección. La mayor incidencia se produjo en noviembre de 2011 con 23,84%, periodo cuando el fruto aun estaba en proceso de maduración tanto en calafate como en michay, el daño en la fruta también se observó a través de la caída de frutos, según señala Agrios (1996) los hospedantes que son atacados por hongos parásitos, aumentan la tasa respiratoria y concentración de etileno, provocando un desprendimiento prematuro del fruto.

Hoja. La incidencia promedio en hojas fue de 25,43%, con un mínimo de 4,72 y un máximo de 36,9% registradas en septiembre y diciembre de 2011 respectivamente. El nivel de incidencia fue considerable en brotes y hojas nuevas, observándose mayor susceptibilidad a *P. meyeri-albertii*.

Las hojas, elemento importante en la fotosíntesis y en la producción de fotoasimilados, además del cierre y apertura de estomas para el intercambio gaseoso, pueden ser afectadas de manera negativa por causa de la roya, tal como se evidenció en los síntomas de amarillez, manchas pardo rojizas y signos de uredinio y telios, causantes de la disminución de los pigmentos fotosintéticos de las partes verdes de las plantas (Taiz & Zeiger, 2002; Agrios 2005).

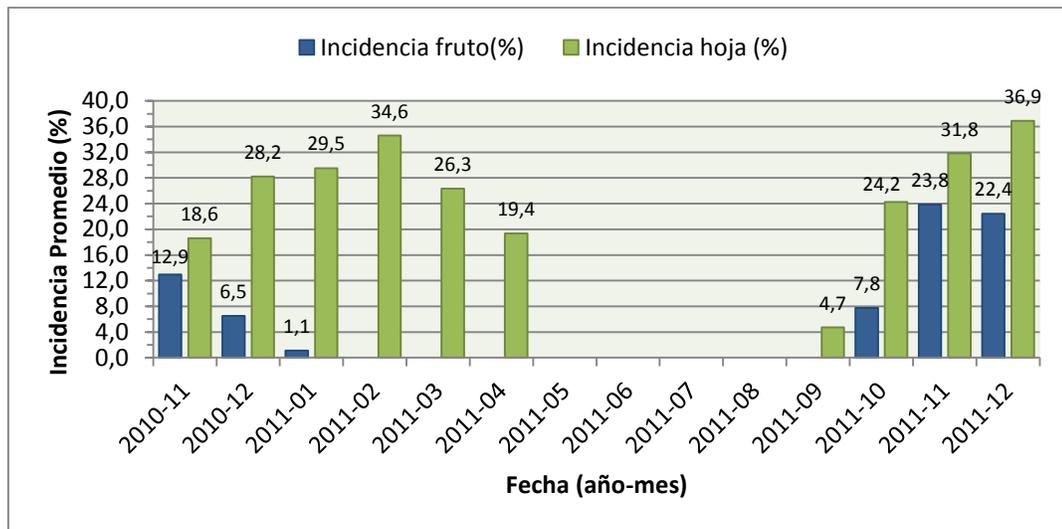


Figura 20. Incidencia promedio de *Puccinia meyeri-alberii* Magn. en fruto y hoja de calafate.

Comparativamente el periodo de infección de la roya fue mayor en hoja que en fruto, la lluvia en primavera sumada a temperaturas cálidas, proporcionaron un ambiente propicio para el desarrollo de la enfermedad. La incidencia y severidad fue directamente proporcional a la madurez.

4.1.2.4 Severidad.

Fruto. Se observaron pústulas desde octubre, aumentando la cantidad y tamaño producto de la reinfección de la uredosporas provenientes de uredinios maduros. Sin embargo no alcanzó la nota máxima (5= 76-100% área afectada) posiblemente debido al periodo de fructificación (octubre - diciembre). El periodo más susceptible observado en la planta fue en octubre mientras que el fitopatógeno coloniza e infecta tejido nuevo en crecimiento, los tejidos maduros son más resistentes a la infección de roya, por ello, la infección tiende a disminuir. La severidad promedio estimada fue baja (nota promedio 1,49) lo que equivale a un rango entre 0 y 1% de área de fruto afectada, la severidad mínima fue 1,01 (0-1% área afectada) registrada en enero de 2011 y la máxima 1,90 (1-25% área afectada) evaluada en noviembre de 2011.

Hoja. La severidad promedio de *Puccinia meyeri-albertii* en hojas varió entre 1,97 y 2 (0-25% de área foliar afectada), las notas mínima y máxima registradas fueron 1,15 (0-1% área afectada) en

septiembre y 2,3 (25-26% de área afectada) en noviembre y diciembre. El periodo de infección de la roya en hoja de calafate, fue de septiembre a principios de abril, siendo el periodo más susceptible en octubre y noviembre cuando el patógeno dispone de tejido vegetal en crecimiento.

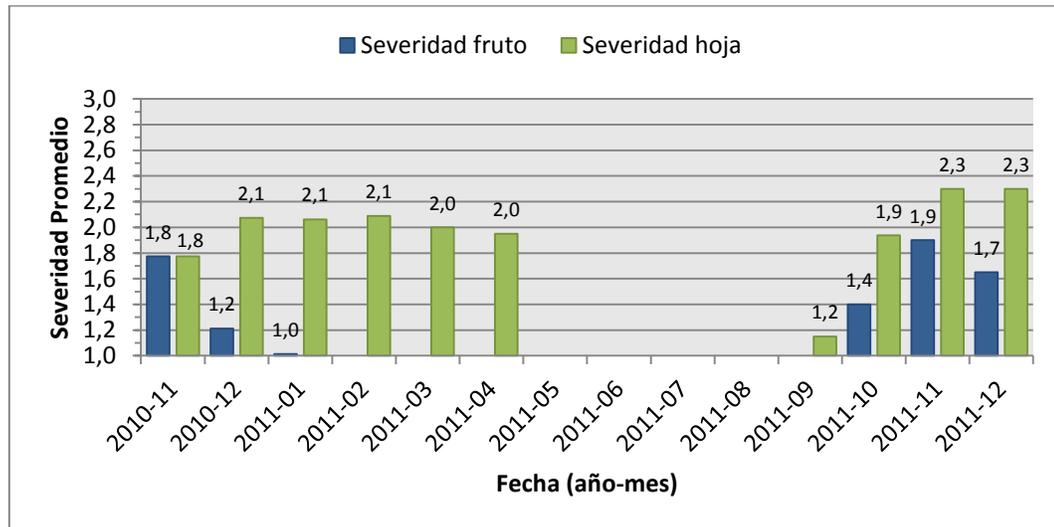


Figura 21. Severidad promedio de *Puccinia meyeri-alberii* Magn. en fruto y hoja de calafate en base al promedio mensual de la escala de notas de 1 a 5.

4.1.3 *Puccinia meyeri-albertii* Magn. en michay (*Berberis darwinii* Hook.).

Resulta oportuno señalar que en los 13 meses de observación de la roya *P. meyeri-albertii*, asociada a *B. darwinii*, se constató que el tejido foliar no fue afectado, ya que no hubo presencia de cuerpos fructíferos del hongo de ninguna fase correspondiente a una roya, tanto a nivel de campo como bajo lupa y microscopio. Sin embargo, se observaron uredosoros de *Puccinia meyeri-albertii* en frutos.

4.1.3.1 Fase teleutosórica. Este estado no fue detectado en estructuras de la planta.

4.1.3.2 Fase uredosórica. Se detectaron uredinios anaranjados, separados o confluentes, de crecimiento generalmente radial con uredosporas subepidermales, luego erumpentes a partir de octubre, afectando a fruto (bayas y pedúnculo). Posteriormente desde febrero se observó una

disminución de esta fase uredosórica hasta declinar completamente en invierno, sin apreciación de otros síntomas en la planta. Los síntomas más comunes en fruto son deformación, momificado y caída prematura. Síntomas observables entre 3 - 4 meses aproximadaente

Las hojas y ramillas del michay presentan barreras defensivas bien conformadas, las hojas del michay tienen estomas más compactos y mayor cantidad de células escleróticas apreciadas al microscopio comparándolas con las hojas del calafate, en este último, se observó que los estomas eran más grandes, esto favoreció la infección de la roya, ya que el tubo germinativo proveniente de una uredospora puede ingresar fácilmente formando haustorios intercelulares según lo planteado por Rocca de Sarasola (1975) y Cummins & Hiratsuka (2003). Hojas esclerotizadas y densas, ramillas con tricomas forman una sumatoria de elementos defensivos físicos ante los fitopatógenos. Los elementos descritos y los que quedan por investigar en el michay, como las barreras defensivas químicas, pueden ser la causa de que no se afecten las hojas y ramillas.



Figura 22. Frutos inmaduros de michay afectados por pústulas uredosóricas de *Puccinia meyeri-albertii*.

4.1.3.3 Incidencia.

La baja incidencia en fruto de michay contrasta con la incidencia observada en calafate. Un factor preponderante, es la fuente de inóculo, en este caso el michay no cuenta con uredinios en hojas en comparación con el calafate, ya que en las hojas se desarrollan primero estas pústulas y tal como señala Latorre (1995), las uredosporas son llevadas por el viento o lluvia. En este sentido el michay al no tener signos de uredinios ni síntomas en las hojas de *P. meyeri-albertii*, la infección se vuelve dependiente de factores ambientales (viento y la lluvia) y una fuente de inóculo adyacente, sea calafate u otro *Berberis* afectado con la roya.

Hoja. No se observó síntomas, las hojas son esclerotizadas con cutícula densa, como factor de defensa físico.

Fruto. La incidencia promedio de la roya en registrada en fruto fue de 4,48%, la mínima se registró en febrero de 2011 (1,48%) y en diciembre de 2011 la más alta con 12,32%. Al igual que en calafate. La incidencia es atribuida a la predisposición de factores favorables como tejido en crecimiento, mayor concentración de azúcares producto de la maduración, a la temperatura relativamente cálida registrada a en primavera y verano y humedad relativa que osciló entre 80 - 90% en el valle central.

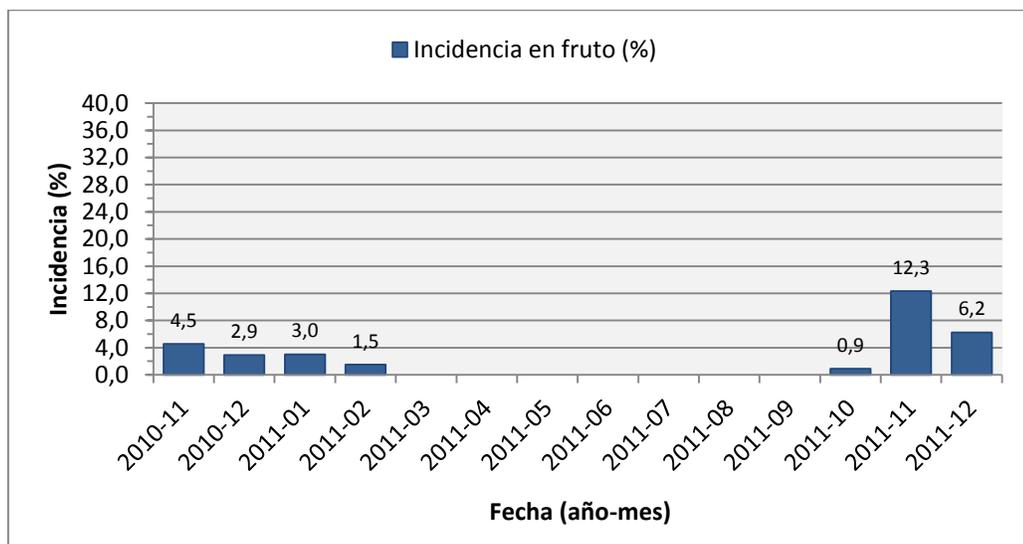


Figura 23. Incidencia promedio de *Puccinia meyeri-albertii* en fruto de michay.

4.1.3.4 Severidad.

Hoja. No se detectó síntomas de roya.

Fruto. La severidad promedio fue de nota 1,20 (0-1% de área de fruto afectada), la nota mínima fue de 1,06 (0 - 1% de área de fruto afectada) en febrero de 2011, la nota máxima fue entre 1,95 y 2 (0-25% área afectada) en noviembre del mismo año. El nivel de severidad se influenció por factores climáticos, temperaturas cálidas moderadas en primavera y la humedad ambiente favorece el desarrollo de la roya, y el desarrollo de fruto verde. Las condiciones desfavorables para la roya que se detectaron fueron las barreras defensivas de la planta, ya que no presentó uredosporas en hojas, indicando un nivel más alto de resistencia que el calafate. Sin dejar de lado la fenología del michay que tuvo una fructificación más retrasada que en calafate, en meses con menos humedad y altas temperaturas (diciembre – enero), fenómenos que explicarían en parte el bajo nivel de severidad.

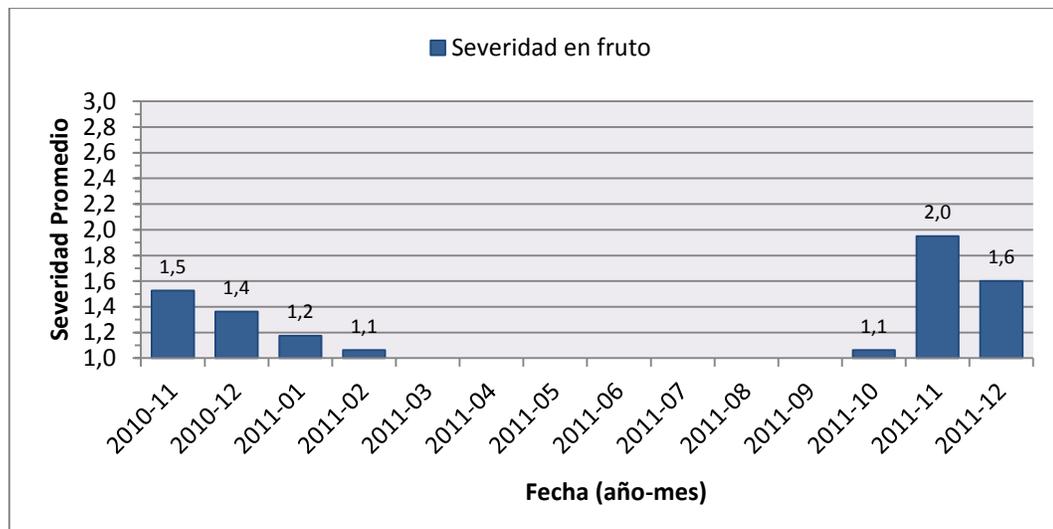


Figura 24. Severidad promedio de *Puccinia meyeri-albertii* Magn. en fruto de michay, en base al promedio de la escala de notas de 1 a 5.

Cuadro 5. Resumen de incidencia y severidad de la roya *Puccinia meyeri-albertii* Magn. en hojas y frutos de calafate y michay

Fecha	Calafate				Michay			
	Incidencia (%)		Severidad (notas)		Incidencia (%)		Severidad (notas)	
	Hoja	Fruto	Hoja	Fruto	Hoja	Fruto	Hoja	Fruto
noviembre-2010	18,59	12,95	1,78	1,78	-	4,53	-	1,53
diciembre-2010	28,23	6,49	2,08	1,21	-	2,92	-	1,36
enero-2011	29,52	1,13	2,06	1,01	-	3,02	-	1,18
febrero-2011	34,61	-	2,09	-	-	1,48	-	1,06
marzo-2011	26,34	-	2,00	-	-	-	-	-
abril-2011	19,35	-	1,95	-	-	-	-	-
mayo-2011	-	-	-	-	-	-	-	-
junio-2011	-	-	-	-	-	-	-	-
julio-2011	-	-	-	-	-	-	-	-
agosto-2011	-	-	-	-	-	-	-	-
septiembre-2011	4,72	-	1,15	-	-	-	-	-
octubre-2011	24,25	7,76	1,94	1,40	-	0,88	-	1,06
noviembre-2011	31,82	23,84	2,30	1,90	-	12,32	-	1,95
diciembre-2011	36,90	22,40	2,30	1,65	-	6,21	-	1,60
PROMEDIO	25,43	12,43	1,97	1,49	-	4,48	-	1,39

*El signo (-) indica sin síntomas y/o estado uredosórico ausente.

Interpretación escala de notas de severidad					
Nota	1	2	3	4	5
Área afectada (%)	0%	1 - 25%	26 - 50%	51 - 75%	76 - 100%

4.2 Caracterización morfométrica de las esporas.

4.2.1 Teleutosporas. bicelurales, cilindríceas o elipsoidales, color ocre, aguzadas en el extremo distal, semicontraídas en la zona del tabique, paredes hialinas a ligeramente pigmentadas, poros germinativos en célula superior (apical) e inferior (septal). Las medidas largo y ancho ($n=32$) fueron respectivamente $(58,0-65,6-82,4 (-90,0) \pm 7,64 \times (10,0-11,8-14,2 (-16,0) \pm 1,8 \mu\text{m L/A}$; ápice agudo, hialino de $(4,0-6,6-11,4 (-14) \pm 2,6 \mu\text{m}$; pedicelo elongado $(70,0-97,0-153,1 (-180,0) \pm 26,9 \mu\text{m}$. semicontraído en la zona de unión con la célula basal o septal, ensanchado en el centro. Las basidiosporas fueron esféricas a ovoides, hialinas, generalmente cuatro unidades en el basidio. Miden entre $6-10 \mu\text{m}$ de diámetro con un promedio de $8,12 \mu\text{m}$, en ($n=20$) unidades. Medidas concordantes con las indicadas por Lindquist (1978) y Hennen *et al* (2005).

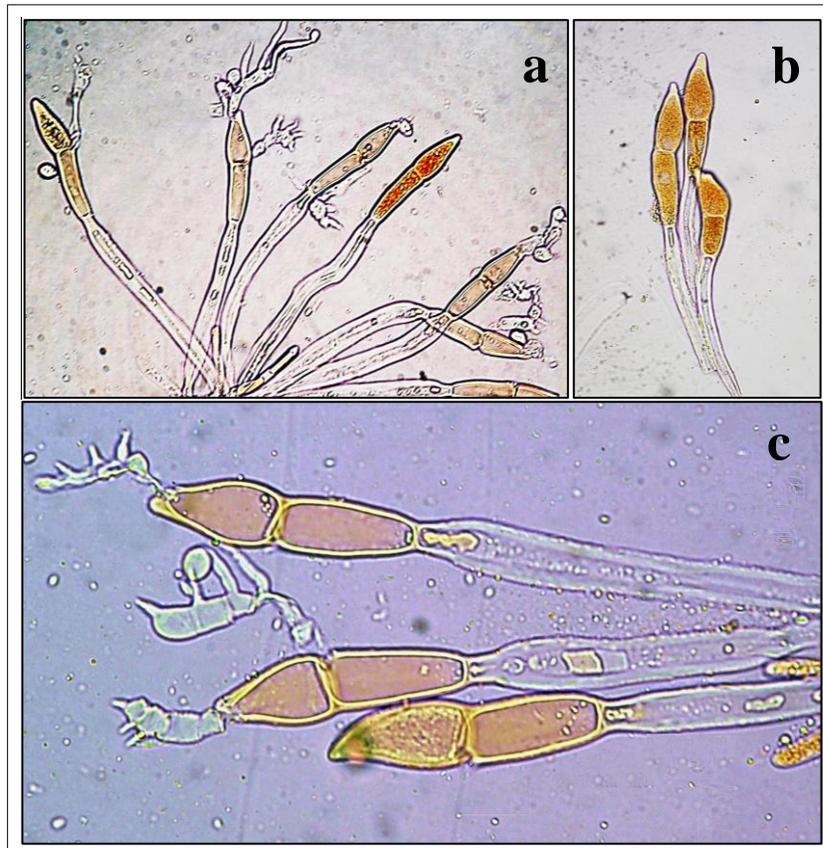


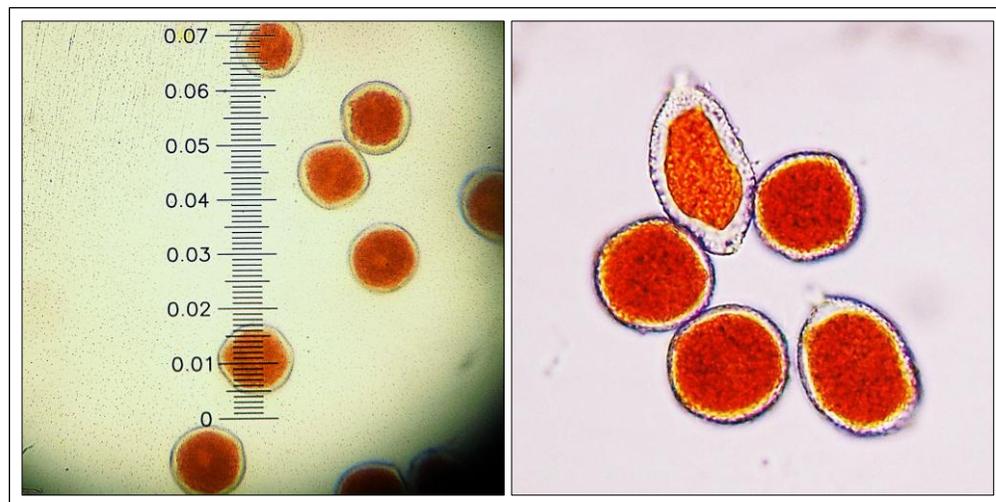
Figura 25. Teliosporas de *Puccinia meyeri-albertii*: a) teliosporas germinadas, b) Teliosporas maduras, c) basidios y basidiospora en teliosporas germinadas.

Cuadro 6. Medidas de teliosporas de *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn.

Parámetro	Medidas (µm)				
	Longitud	Ancho	Ápice	Pedicelo	Longitud total
Mínimo	58,0	10,0	4,0	70,0	134,0
Máximo	90,0	16,0	14,0	180,0	260,0
Promedio	74,2	13,6	8,9	127,4	201,6
*DE	7,64	1,8	2,6	26,9	28,2

*DE= desviación estándar; n=32

4.2.2 Uredosporas. con membrana hialina semirrugosa, anaranjadas predominantemente globosas, otras subglobosas a fusoides de diámetro (20,0-) 23,44-28,56 (-32,0) \pm 3,44 µm, pared de (2,0-) 2,9-3,1(-4,0) \pm 0,9 µm. (n=25).

**Figura 26.** Uredosporas de *Puccinia meyeri-albertii*.**Cuadro 7.** Medidas de urediniosporas de *Puccinia meyeri-albertii* Magn.

Parámetro	Medidas (µm)	
	Diámetro	Pared
mínimo	20,0	2,0
máximo	32,0	4,0
promedio	25,9	2,5
*DE	3,44	0,9

*DE= desviación estándar; n=25

4.3 Correlaciones

El Valle Central de la IX Región de la Araucanía tiene el déficit de humedad estival más severo, debido a la influencia de mayores temperaturas y la radiación. En los meses más cálidos, diciembre, enero y febrero, la temperatura máxima media es de 23 a 24 °C y la mínima media es de 7 a 10 °C. En los meses más fríos, la temperatura máxima media es de 12 °C y la mínima media, es de 3 a 4 °C. La caída pluviométrica anual, oscila entre 1.200 a 1.600 mm con una concentración de 50 a 52 % entre mayo a agosto y de un 20 a un 24 % en la primavera, según lo expuesto por Rouanet (1983). Tomando en cuenta estos parámetros climáticos en el Llano Central, se obtuvieron correlaciones entre los parámetros climáticos de Precipitación y temperatura media mensuales con la incidencia de la roya en hoja y fruto de calafate y michay, interpretando el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de correlación (r), el valor ($p \leq 0,05$) de significancia estadística y la pendiente de la recta.

4.3.1 Incidencia y Temperatura en calafate.

Hoja. Se estableció una correlación directa, con pendiente positiva entre incidencia *P. meyeri-albertii* en hoja y temperatura media mensual ($r = 0,923774$), el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,853359$) indicó un 85% de la variación de la incidencia se explicaría por la presencia del factor temperatura promedio, además el valor ($p < 0,0001$) es significativo.

Fruto. Se estableció una débil correlación ($r = 0,364233$) entre la incidencia de *P. meyeri-albertii* y la temperatura promedio mensual ($R^2 = 0,132666$) con pendiente positiva donde sólo el 13% de la variabilidad de la incidencia es producto de la variable precipitación mensual, el valor ($p = 0,2004$) refleja la mínima significancia de esta interacción.

4.3.2 Incidencia y Precipitación en calafate.

Hoja. Se estableció correlación ($r = -0,7356323$) entre los parámetros incidencia de *P. meyeri-albertii* y la precipitación mensual con pendiente negativa, coeficiente de determinación ($R^2 = 0,541155$) indica una asociación del 54%, por lo tanto la incidencia es inversamente proporcional

a las precipitaciones, un exceso de humedad influye negativamente en el desarrollo del fitopatógeno, con una significancia ($\rho = <0,0027$).

Fruto. La incidencia de *P. meyeri-albertii* y la precipitación mensual presentaron una correlación negativa ($r = -0,70491$), el 50% de la variación de la incidencia sería explicado por la variable precipitación mensual ($R^2 = 0,49691$), donde el valor ($\rho = 0,0049$) fue significativo, indicando que la precipitación es un factor antagónico en el desarrollo de la enfermedad.

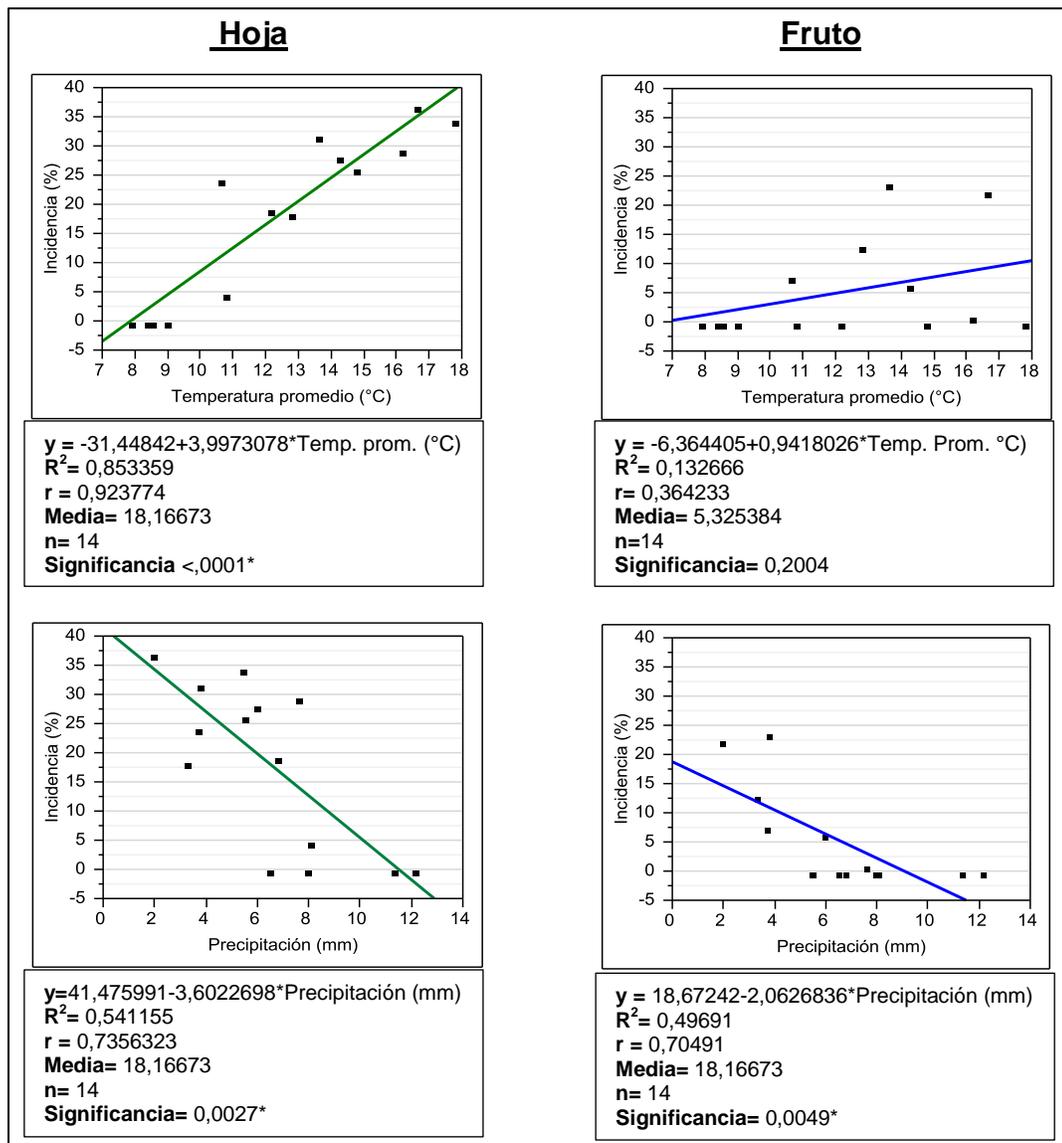


Figura 27. Correlación entre incidencia de *Puccinia meyeri-albertii*, temperatura media y lluvia para hoja y fruto de calafate.

4.3.3 Incidencia y Temperatura en michay.

Fruto. La correlación fue débil ($r = 0,45719$), tal como indica el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,20902$), que solo un 20% de la variable temperatura satisface a la variable incidencia de *P. meyeri-albertii*, el valor ($p = 0,1003$) no es significativo. No hubo una asociación robusta entre las variables.

4.3.4 Incidencia y Precipitación en michay.

Fruto. La precipitación mensual se correlaciono negativamente con la incidencia de la roya ($r = -0,523804$). El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,274371$) indica que solo un 20% de la variable incidencia se explica por la variable precipitación, el valor ($p = 0,0545$) no es significativo. La excesiva lluvia limita el desarrollo del fitopatógeno

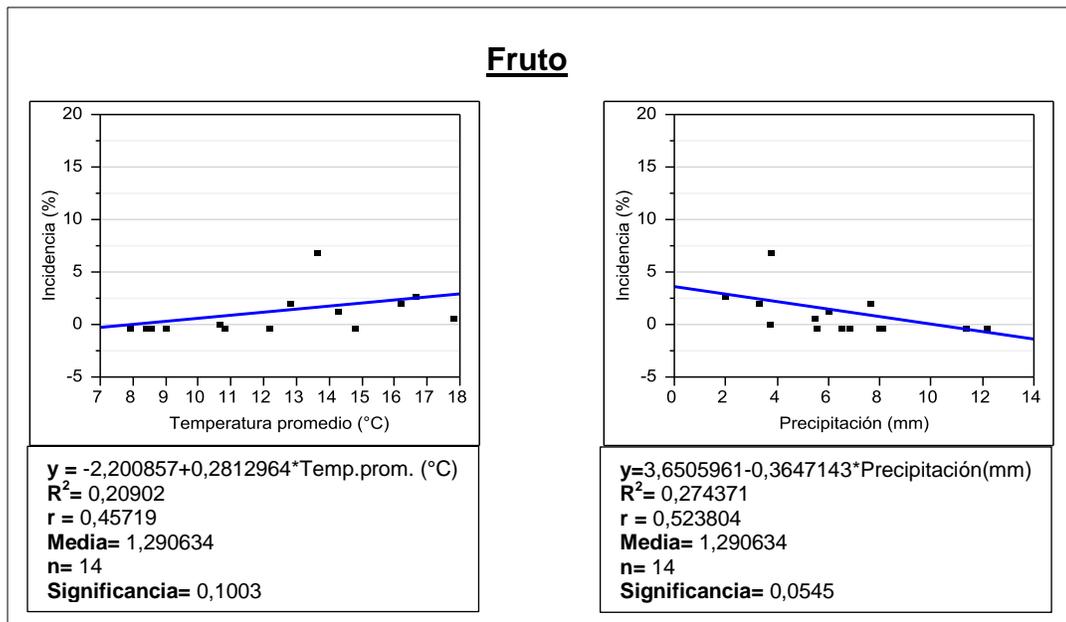


Figura 28. Correlación entre incidencia *Puccinia meyeri-albertii* y precipitación promedio en michay

Los estomas son la puerta de entrada a los fitopatógenos, según indica Agrios (1996), en este sentido, sea una espora o aeciospora, cuando se deposita sobre su huésped, ayudado por el rocío o humedad relativa que se aproxima al punto de saturación el inóculo penetra a través de los

estomas produciendo micelio intercelular. Tal como señala Taiz & Zeiger (2002), los estomas funcionan como válvulas hidráulicas multisensoriales a los factores ambientales como intensidad lumínica, temperatura, humedad relativa, concentración intracelular de CO₂, debido a esta razón al haber alta pluviometría los estomas se cierran y el inóculo pierde viabilidad infectiva, al igual que cuando hay altas temperaturas, en los meses de enero y febrero, los estomas permanecen abiertos pero no hay suficiente humedad para la germinación de las esporas.

4.7 Fenología de calafate y michay

En 13 meses de observación, las plantas de calafate y michay, tuvieron un comportamiento de arbusto siempre verde. El calafate evidenció mayor precocidad en relación al michay, constatando para floración y brotación un desarrollo entre 15 y 20 días antes (Figura 29 y Figura 30).

Las plantas de calafate y michay presentaron una renovación foliar postfloral; en calafate comenzó en la segunda quincena de septiembre y en michay en noviembre. La aparición de ramillas herbáceas ocurre desde noviembre a fines de abril, manteniéndose un follaje maduro desde mayo a septiembre en ambas especies, además el rápido crecimiento se favorece por la mayor cantidad de horas luz, pero sobre todo en las ramillas de la parte superior de las plantas tal como señala Arena *et al.*, 2001. Las nuevas ramillas son de coloración verde y con el paso de los días se tornan rojizo, hasta alcanzar la coloración marrón-grisácea en la madurez. El deshoje es parcial durante el año. La renovación de tallos o ramillas nuevas en michay ocurre a partir de diciembre, la caída de hojas es paulatina y las hojas pueden persistir más de un año, según lo observado.

La floración en calafate comenzó la segunda quincena de agosto con la aparición del botón floral, seguido de la floración plena y anthesis en el mes de septiembre, se registró cuajado de fruto a inicio de octubre. El desarrollo y maduración de las bayas se observó entre octubre y noviembre para concluir en el mes de diciembre con madurez de cosecha.

En el michay la floración comenzó a principios de septiembre con la aparición del botón floral en inflorescencia. La antesis ocurrió la segunda quincena de septiembre y se extendió hasta la primera quincena de octubre donde se produjo el cuajado del fruto. El desarrollo y maduración del fruto se inició a mediados de octubre hasta alcanzar una madurez de cosecha escalonada que inició en diciembre y declinó a fines de enero.

FENOLOGÍA CALAFATE		
Julio	Agosto - Septiembre	Septiembre
		
Yema floral	Botón floral	Floración
Septiembre - Octubre	Octubre - Noviembre	Noviembre
		
Cuaja	Llenado de fruto	Pinta
Diciembre	Enero	Febrero -Junio
		
Madurez de cosecha	Senescencia	Desarrollo vegetativo

Figura 29. Fenología del calafate en el Llano Central de la Región de la Araucanía.

FENOLOGÍA MICHAY		
Septiembre	Septiembre - Octubre	Octubre
		
Botón floral	Floración	Cuaja
Noviembre	Diciembre	Diciembre - Enero
		
Llenado de fruto	Pinta	Madurez de cosecha
Febrero	Marzo - Junio	Julio
		
Senescencia	Desarrollo vegetativo	Yema floral

Figura 30. Fenología del michay en el Llano Central de la Región de la Araucanía.

Los agentes polinizantes observados fueron principalmente del orden Hymenoptera, familia *Apidae*, tales como *Bombus* sp. y *Apis mellifera* L.

5. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el agente causal de la roya del calafate (*Berberis microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.), corresponde a *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn.
2. El ciclo biológico de esta roya fue del tipo hemiforme por ausencia de aecio y espermogonio; la fase uredosórica se observó desde octubre en hojas jóvenes y fruta verde de calafate y en michay sólo en fruto verde, declinando desde febrero, dando paso a la fase de telio y basidio en hojas maduras de calafate.
3. Los síntomas observados en hojas de calafate fueron: amarillez, manchas rojizas adaxiales, pústulas anaranjadas abaxiales y defoliación; en frutos: pústulas anaranjadas, deshidratación y abscisión. En michay fue observado sólo en fruto pústulas anaranjadas, deshidratación y abscisión.
4. La incidencia promedio de *Puccinia meyeri-albertii* en hojas de calafate fue de 25,4% (4,7-36,9%); en frutos de 12,43% (1,13 - 23,84%). En michay la incidencia promedio en fruto fue de 4,5% (0,88 - 12,3%).
5. La severidad promedio de *Puccinia meyeri-albertii* en hojas de calafate fue de 25% (0 - 26% de área afectada); en frutos 25% (0 - 25% de área afectada). En michay la severidad promedio en fruto fue de 1% (0 - 25% de área afectada).
6. Para calafate la incidencia en hojas y frutos estuvo correlacionada directamente con temperatura media ($r= 0,92$ y $r= 0,36$, respectivamente) y en forma negativa con precipitación promedio ($r= -0,73$ y $r= -0,70$). Para michay la correlación entre incidencia de la roya en fruta fue débil para temperatura ($r= 0,45$) y para precipitación ($r= -0,52$).
7. *Puccinia meyeri-albertii* Magn. es un fitopatógeno que puede constituir una importante limitante fitosanitaria para el desarrollo y producción de calafate y michay en la zona Sur de Chile

6. RESUMEN

Calafate (*Berberis microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.) son especies endémicas de la zona andino-patagónica de Chile. La fruta tiene un potencial consumo en fresco, pero preferentemente para uso agroindustrial (mermeladas, jaleas y licores), debido al contenido de antioxidantes, y también por características terapéuticas del alcaloide berberina, que posee actividad antiséptica. El cultivo de estas especies podría constituir una posibilidad comercial rentable; una de sus limitantes son las enfermedades, las que están siendo recientemente estudiadas. Tal es el caso de la roya que afecta a estos *Berberis*. La hipótesis de esta investigación postula que: la roya del calafate y del michay corresponde a *Puccinia meyeri-albertii* Magn., y su incidencia en estructuras vegetativas y reproductivas es diferencial. Por lo tanto el objetivo de este estudio fue identificar la especie asociada a la roya en calafate (*B. microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.), y evaluar la incidencia en ambas especies.

La investigación se realizó entre los meses de noviembre de 2010 y diciembre de 2011, en plantas establecidas en el Campo Experimental Maquehue. La identificación fue determinada en el Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Agroindustria, Universidad De La Frontera, Temuco, Chile.

La identificación de *Puccinia meyeri-albertii* Magn. consideró características morfométricas de teliosporas, identificación corroborada en el Centre for Agricultural Bioscience International (CABI-UK). La evaluación de la incidencia (%) e intensidad (escala de notas, donde: 1=aparentemente sano; 2=1-25%; 3=26-50%; 4=51-75%; 5=76-100%) fue mediante evaluación periódica cada 15 días en condiciones de campo, consignando síntomas (amarillez, manchas pardo-rojizas y fruto deshidratado) y signos (pústulas anaranjadas) en hojas y frutos. En cada oportunidad se muestreó cuatro plantas, 5 ramillas por planta, y en cada ramilla 20 frutos y 20 hojas.

Las conclusiones indicaron que la roya, *Puccinia meyeri-albertii* Magn. es el agente causal asociado al calafate (*B. microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.), y su incidencia promedio fue: hojas de calafate, 25,43% (4,72-36,90%); frutos, 12,43% (1,13-23,84%); hojas de

michay, 0%; frutos, 4,48% (0,88-12,32%). La intensidad promedio: hojas de calafate, 25% (0-26%) de área afectada; frutos, 25% (0-25%) de área afectada; hojas de michay (sin síntomas); frutos, 1% (0-25%) de área afectada. En calafate los niveles de infección de roya tanto en hojas como en frutos, fueron superior a lo cuantificado en michay, en las condiciones de sitio estudiadas.

El ciclo biológico de esta roya fue del tipo hemiforme formado por uredosporas y teliosporas únicamente, observándose desde octubre en hojas jóvenes y fruta verde de calafate la fase uredosórica, mientras que en michay, sólo fue detectada esta fase en fruto inmaduro, posteriormente en febrero comenzó la fase teleutosórica en hojas maduras de calafate. En hojas de calafate los síntomas fueron: amarillez, manchas rojizas adaxiales, pústulas anaranjadas y defoliación; en frutos: pústulas anaranjadas, deshidratación y abscisión. En michay se observó síntomas y signos sólo en fruto de pústulas anaranjadas, deshidratación y abscisión.

La correlación estadística indicó que en calafate, la incidencia de la roya con la temperatura media fue positiva y directamente proporcional en hojas ($r= 0,92$), en frutos positiva y débil ($r= 0,36$). Mientras que la incidencia con la precipitación promedio fue inversamente proporcional en hojas y frutos ($r= -0,73$ y $r= -0,70$, respectivamente). Para michay la correlación entre incidencia de la roya en fruta fue para temperatura media ($r= 0,45$) y para precipitación ($r= -0,52$).

Según lo anterior, *Puccinia meyeri-albertii* Magn. podría constituir una importante limitante fitosanitaria para el desarrollo y producción de calafate y michay en la zona Sur de Chile.

7. SUMMARY

Calafate (*Berberis microphylla* Forst.) and michay (*B. darwinii* Hook.) are endemic to the Andean-Patagonian region of Chile. The fruit has a potential fresh consumption, but preferably is used in agroindustrial processed (jams, jellies and liqueurs), due to the antioxidants content and therapeutic characteristics of the berberine alkaloid, which has antiseptic activity. The commercial production of these species would able be a profitable opportunity. One of its limitations are the diseases, recently studied, such is the case of rust that affects these *Berberis*. The hypothesis of this researching postulate that: the rust of calafate and michay correspond to *Puccinia meyeri-albertii* Magn., and its incidence in vegetative and reproductive structures is differential. Therefore, the aim of this study was to identify the specie associated with calafate (*B. microphylla* Forst.) and michay (*B. darwinii* Hook.), and to evaluate the incidence in both species.

The researching was realized between the months of November 2010 to December 2011, on established plants at Campo Experimental Maquehue. The identification of the rust was determinated at Laboratorio de Fitopatología, Universidad De La Frontera, Temuco, Chile.

Puccinia meyeri-albertii identification considered morphometric characteristics of teliospores, identification corroborated by Centre for Agricultural Bioscience International (CABI-UK). The assessment of incidence (%) and intensity (grade scale, where 1 = apparently healthy, 2 = 1-25%, 3 = 26-50%, 4 = 51-75%, 5 = 76-100%), were carry out by periodic measurements every 15 days in field conditions, consigning symptoms (yellow, reddish-brown stains and dried fruit) and signs (orange pustules) on leaves and fruit. At each opportunity were four plants sampled, considering five twigs and 20 fruits and 20 leaves per twig.

The conclusions indicated that the rust, *Puccinia meyeri-albertii* Magn, is the associated causal agent to calafate (*B. microphylla* Forst.) and michay (*B. darwinii* Hook.), and their average incidence was: calafate leaves, 25.43% (4.72 - 36.90%); fruits, 12.43% (1.13 - 23.84%); michay leaves, 0%, fruits, 4.48% (0.88 - 12.32%). The average intensity: calafate leaves, 25% (0-26%) of the affected area; fruit, 25% (0-25%) of the affected area; michay (leaves (no symptoms); fruits,

1% (0 - 25%) of the affected area). In calafate levels of rust infection in both leaves and fruit, were higher than in michay quantified in site conditions studied.

This rust's cycle was the hemiform type formed by uredospores and teliospores uniquely, observed since October in young leaves and green fruit calafate uredosórica phase, while in michay, this phase was detected only in immature fruit later phase began in February in mature leaves teleutosórica calafate. In leaves calafate symptoms were yellowing, adaxial red spots, orange pustules and defoliation, in fruits: orange pustules, dehydration and abscission. In michay symptoms and signs was observed only in fruit of orange pustules, dehydration and abscission.

The statistical correlation indicates that in calafate the incidence of rust with the average temperature was positively and directly proportional in leaves ($r = 0.92$), positive fruits and weak ($r = 0.36$). While the incidence with average precipitation was inversely on leaves and fruits ($r = -0.73$ and $r = -0.70$, respectively). To michay the correlation between incidence of rust on fruit was for average temperature ($r = 0.45$) and precipitation ($r = -0.52$).

As above, *Puccinia meyeri-albertii* Magn. could be an important limiting plant development and production of calafate and michay in the south of Chile.

8. LITERATURA CITADA

- Agrios, G.** 1996. Fitopatología. Editorial Limusa S.A. de C.V. Mexico D.F. México. 838 p.
- Agrios, G.** 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Ed. Elsevier Academic Press. Burlington, MA, USA. 922 p.
- Anónimo,** 2009. Tasmanian Museum and Art Gallery. Disponible en: http://demo1.tmag.tas.gov.au/treatments/families/Berberidaceae/Berberidaceae_2009_1.pdf Consultado el 10 de julio de 2012.
- Arauz, L.** 1998. Fitopatología: Un enfoque agroecológico. Editorial San José C.R. Universidad de Costa Rica. 461 p.
- Arayne, S., Sultana, N., Bahadur, S.** 2007. The berberis story: *Berberis vulgaris* in therapeutics. Pakistan journal of pharmaceutical sciences. 20(1):83-92.
- Arena, M. y Curvetto, N.** 2008. *Berberis buxifolia* fruiting: Kinetic growth behavior and evolution of chemical. Scientia Horticulturae 118(2): 120–127.
- Arena, M., Peri, P. y Vater, G.** 1997. Propagación y producción de *Berberis* en la Patagonia Austral. Manuales Relacionados Con La Producción Vegetal. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Argentina 64 pp.
- Arena, M., Peri, P. y Vater, G.** 2001. Producción de frutos y crecimiento de *Berberis heterophylla* Juss. en dos sitios de la Patagonia austral. Investigación agraria. Producción y protección vegetales 16(1): 49-58.
- Ahrendt, L.** 1961. *Berberis* and *Mahonia*: a taxonomic revision. J. of the Linnaean Society of Botany 57: 1-410.
- Arribillaga, D.** 2000. Domesticación del Calafate *Berberis buxifolia* L. Para Fines Agroindustriales. Centro Regional de Investigación Tamel Aike. INIA, XI Región. Proyecto FDI – CORFO. 48 p.
- Arribillaga, D. y Zegers, M.T.** 1998. Explotación Industrial del Calafate. Tierra Adentro (Chile). (21):18-19.
- Awasthi, D.K.** 2010. Diversity of Microbes, Fungi and Lichens. Second Edition. Krishna Prakashan Media (P) Ltd. Meerut, Delhi. 428 p.
- Bottini, M.C., Bustos, C. y Bran, D.** 1993. Arbustos de la Patagonia. Calafates y Michay En: Presencia. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA). 8(30): 5-9.

- Bottini, M.C., Bustos, Sanso, A. M., Jouve, N. y Poggio, L.** 2007. Relationships in Patagonian species of *Berberis* (Berberidaceae) based on the characterization of rDNA internal transcribed spacer sequences. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 153: 321–328.
- Bottini, M.C., Orsi, M.C., Greizerstein, E. & Pozo L.** 1998. Relaciones Fenéticas entre especies del género *Berberis* (Berberidaceae) del Noroeste de la Región Patagónica. *Darwiniana*, Instituto de Botánica Darwinion. 35(1-4):115-129.
- Ciampi, L.** 2002. Introducción a la patología vegetal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 231 p.
- Coronel L., Furno M., Arena M.** 2009. Respuestas en la sucesión de fases fenológicas en plantas de *Berberis buxifolia* frente a diferentes dosis de macronutrientes. En: libro de resúmenes XXXII Congreso Argentino de Horticultura.
- Cummins, G., Hiratzuka, Y.** 2003. Illustrated Genera of Rust Fungi, 3rd Edition. American Phytopathological Society, St. Paul. 240 p.
- Fajardo, V.** 1992. Alcaloides en especies del Género *Berberis* de Chile. En: Química de la flora de Chile. Editor Muñoz, O. pp 213-240.
- Fajardo, V., Salmerón, M., Cuadra, P., Herrera, R., Moreno, B. y Villarroel, L.** 2005. Estudio Químico de Plantas Australes En: Flora de Chile Biología, Farmacología y Química. Editores Muñoz, O. y Fajardo, V. pp 101-125.
- Fowler, S., Gourlay, H., Groenteman, R., Hayes, L., Smith, L.** 2009. What's New in Biological Control of Weeds? *Biological Control*. Landcare Research – Manaaki Whenua. (47):1-8.
- Fralish, J & Franklin, S.** 2002. Taxonomy and Ecology of Woody Plants in North American Forests Excluding Mexico and Subtropical Florida. Wiley & Sons, Inc. New York. 624 p.
- Fredes, C.** 2009. Antioxidantes en Berries Nativos Chilenos. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. Sociedad Latinoamericana de Fitoquímica Santiago, Chile 8 (6): 469-478.
- Gascón, A.** 2005. Situación Forestal y Biodiversidad en la Región de Aysén. Proyecto fortalecimiento ciudadano en la región de Aysén. Fundación Manfred Hermsen de Bremen, Alemania y Fundación Weeden de New York, Estados Unidos. 61 p.
- Hechenleitner, P., Gardner, M. F., Thomas, P. I., Echeverría, C., Escobar, B., Brownless, P. y Martínez, C.** 2005. Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. Primera Edición. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 p.
- Hennen, J., Figueiredo, M., de Carvalho, Jr., A. y Hennen, P.** 2005. Catalogue of the species of plant rust fungi (Uredinales) of Brazil. 490 p.

- Hernández, J. and Hennen, H.** 2003. Rust fungi causing galls, witches' brooms, and other abnormal plant growths in northwestern Argentina. *Mycologia*, 95(4):728-755.
- Hoffmann, A.** 2005. Flora Silvestre de Chile: Zona Araucana. 5ª edición. Fundación Claudio Gay. 258 p.
- Jackson, H.S.** 1927. The rusts of South America based on the Holway Collections – II. *Mycologia* 19: 51-65.
- Jin, Y.** 2011. Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis*. *Euphytica* 179(1): 105-108.
- Landrum, L.** 1999. Revision of *Berberis* (Berberidaceae) in Chile and Adjacent Southern Argentina. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 86 (4):793-834.
- Latorre, B.** 1995. Enfermedades de las plantas cultivadas. Alfabetá Impresores. 4ª edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 628 p.
- Lindquist, J.C.** 1978. Fungi, Basidiomycetes, Uredinales. Flora Criptogámica de Tierra del Fuego. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura 11 (2): 7-74.
- Lindquist, J.C.** 1982. Royas de la Republica Argentina y Zonas Limítrofes. Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria., 574 p.
- Malaguti, G.** 1997. Apuntes acerca de las enfermedades de las plantas, causas y control. Universidad Central de Venezuela: Facultad de agronomía. 210 p.
- Montenegro, G.** 2000. Chile nuestra Flora Útil. Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile. 267 p.
- Mujica, F. y Vergara, C.** 1945. Flora Fungosa Chilena. Primera edición. Ministerio de Agricultura, Dirección General Agricultura. Imp. Stanley. Chile. 199 p.
- Muñoz, O., Montes, M. y Wilkomirski, T.** 1999. Plantas Medicinales de Uso en Chile: Química y Farmacología. Editorial Universitaria, S.A. Santiago, Chile. 318 p.
- Mycobank.** 2012. Disponible en: http://www.mycobank.org/Biolomics.aspx?Table=Mycobank&MycoBankNr_=542950. Consultado el 02 de octubre de 2012.
- Riedemann, P y Aldunate, G.** 2003. Flora nativa de valor ornamental identificación y propagación. Editorial Andrés Bello. 516 p.
- Rivillas, C., Serna, C., Cristancho, M., Gaitán, A.** 2011. Roya del Cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costos de control. Editor Marin, S., I.A. Caldas, Colombia. 51 p.

- Rocca de Sarasola, M.** 1975. Fitopatología: Curso Moderno. Tomo II. Dirigido por Sarasola, A y Rocca de Sarasola, M. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 374 p.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P. y Saari, E.E.** 1992. Las Royas del Trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. CIMMYT. México, D.F. 81 p.
- Romeo, R. y Sánchez, A.** 2005. Aportes Botánicos de Salta - Ser. Flora, 7 (9): 1-8.
- Rouanet J.L.,** 1983. Clasificación Agroclimática IX Región, 2^a aproximación macroarea I. investigación y progreso agropecuario (IPA). 2(1): 22-26.
- Schumann, G.L.** 1991. Plant diseases: Their Biology and Social Impact. APS Press, American Phytopathological Society. St. Paul, Minesota, USA. 397 p.
- Simian, P., Castro-Gómez, R., Budinich, M., Del Valle, J. y Arribillaga, D.** 2000. Obtención de extractos de *Berberis* y estudio de su acción antimicrobiana. En: Domesticación del Calafate *Berberis buxifolia* L. Para Fines Agroindustriales. Centro Regional de Investigación Tamel Aike. INIA, XI Región. pp 20-36.
- Singh, G.** 2004. Plant Systematics: An integrated Approach. 2nd Edition. Science Publisher, INC. USA. 561 p.
- Smith I. M., Dunez, J., Lelliott, R. A., Phillips, D. H. y Archer, S. A.** 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Ediciones Mundi-Prensa. 671 p.
- Smith, L.A., Winks, C.J., Waipara, N.W., Gianotti, A.F., Wilkie, J.P. and McKenzie, E.C.H.** 2004. Fungi And Invertebrates Associated With Barberry (*Berberis* spp.) In New Zealand. Landcare Research Contract Report LC0405/026. Prepared for regional councils and the Department of Conservation. 41 p.
- Spegazzini, C.** 1921. Breve Nota Sobre Uredinales Berberidicolos Sudamericanas. Revista Chilena de Historia Natural. Santiago, Chile. 25: 263-279.
- Speisky, H y Gomez, M.** s/f. Berries Nativos son Superfrutas por su Alto Valor ORAC y Contenido Polifenólico. Laboratorio Análisis Antioxidantes. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile. Disponible en: <http://www.portalantioxidantes.com/berries-nativos-son-superfrutas-por-su-alto-valor-orac-y-contenido-polifenolico/> Consultado el 12 de diciembre de 2011.
- Tacón, A., Palma, J., Fernández; U., Ortega, F.** 2006. El Mercado de los Productos Forestales no Madereros y la conservación de los bosques del Sur de Chile y Argentina. WWF. Chile. 96 p
- Taiz, L & Zeiger, E.** 2002. Plant Physiology 3rd. Edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA. 690 p.

- Valdebenito, G., Campos, J., Larrain, O., Aguilera, M., Kahler, C., Ferrando, M., García, E., y Sotomayor, A.** 2003. Innovación Tecnológica y Comercial de Productos Forestales No Madereros (PFNM) en Chile. Boletín Divulgativo N° 11. Proyecto Fondef - Infor - Fundación Chile. 5 p.
- Voegelé, R., Hahn, M. & Mendgen, K.** 2009. The Uredinales: Cytology, Biochemistry, and Molecular Biology. In: The Mycota: Plant Relationships. 2nd Edition. Esser, K. & Deising, H.B. (eds.). Berlin, Heidelberg: Springer. pp 69-98.
- Zuluaga, C., Buriticá, P., Marín, M.** 2008. Generalidades de los Uredinales (Fungi: Basidiomycota) y de sus Relaciones Filogenéticas. Acta Biológica Colombiana. 14(1): 41-56.
- Zuluaga, C., Buriticá, P., Marín, M.** 2011. Filogenia de hongos roya (Uredinales) en la zona andina colombiana mediante el uso de secuencias del ADN ribosomal 28S. Revista de Biología Tropical. 59(2): 517-540.

8. ANEXO

ANEXO 1. Histogramas de las medidas de teliosporas y uredosporas de *Puccinia meyeri-albertii* Magn.

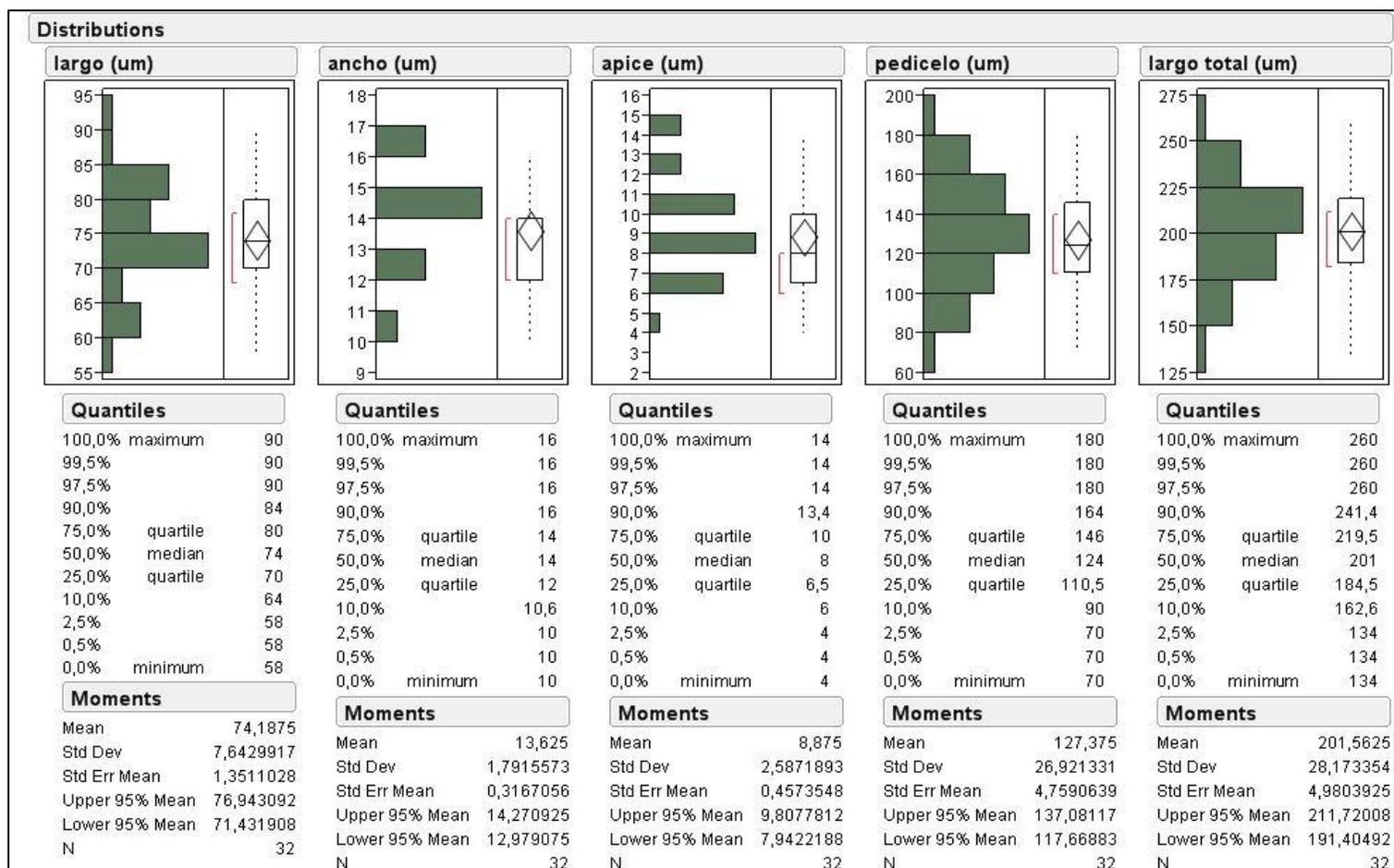


Figura 1A. Análisis de distribución en base a las medidas de las teliosporas de *P. meyeri-albertii*.

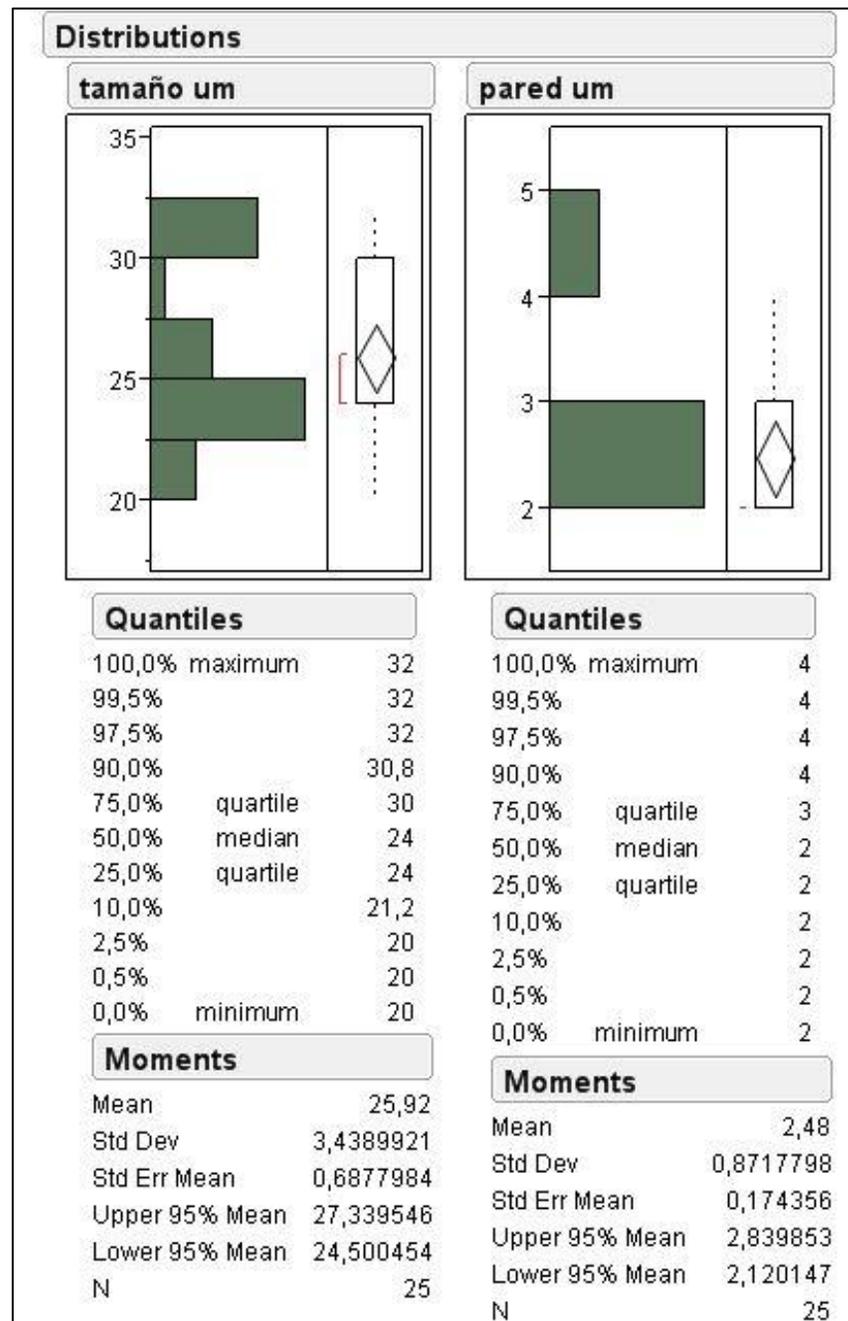


Figura 2A. Análisis de distribución en base a las uredosporas de *P. meyeri-albertii*.

ANEXO 2. Key to the species of *Berberis* in Chile and adjacent Southern Argentina (Landrum, 1999).

- 1a. Spines foliaceous or star-like, with (3-) 5 or more pointed arms radiating from a ± foliaceous blade.
- 2a. Lower leaf surface with raised, reticulate veins, covered with still, erect hair... ***B. horrida***
- 2b. Lower leaf surface smooth, the veins only slightly raised if at all.
- 3a. Leaf blades at anthesis submembranous; leaf margins nearly all entire, with only a few teeth sometimes present; peduncle plus rachis (if any) of inflorescence 1-4 cm long ***B. rotundifolia***
- 3b. At least some leaf blades at anthesis coriaceous: some leaf margins toothed; peduncle and rachis of inflorescence 0-5 cm long.
- 4a. New leaves appearing on flowering branches with entire margins, glaucous beneath; inflorescence with the peduncle plus rachis 2-5 cm long; flowers per inflorescence up to 25; pedicels 2-4 mm long..... ***B. congestiflora***
- 4b. New leaves appearing on flowering branches with toothed margins, not notably glaucous beneath; inflorescence with the peduncle plus rachis 0-3 cm long; flowers per inflorescence up to 14; pedicels 3-20 mm long..... ***B. actinacantha***
- 1b. Spines lacking, or if present without a foliaceous blade, with (1-)3-5 arms
- 5a. Inflorescence a panicle or umbel; spines lacking or insignificant; leaves mostly entire; fruit with a style ca. 1 mm long and stigma 1,5-2 mm wide; endemic to Más a Tierra Island, Juan Fernández Archipiélago..... ***B. corymbosa***
- 5b. Inflorescence a raceme, umbel, or solitary flower; spines often present and robust; fruit often with a style less than 1 mm long and stigma often less than 1,5 mm across; continental or growing on Más Afuera Island, Juan Fernández Archipiélago.
- 6a. Leaves entire, subacicular to linear, up to ca. 1 cm wide, mainly 3 or more times as long as wide.
- 7a. Leaves subacicular. 1-1,2 mm wide; flowers generally solitary.... ***B. empetrifolia***
- 7b. Leaves linear, 4-10 mm wide; flowers in umbels.
- 8a. Style 1,5-3 mm long; spines 3-18 mm long..... ***B. trigona***
- 8b. Style less than 0.5 mm long; spines 7-33(-40) mm long..... ***B. microphylla***

- 6b. Leaves toothed or entire, variously shaped, often over 1 cm wide, often less than 3 times as long as wide.
- 9a. Leaves mainly oblong to narrowly elliptic, 2,3-10 cm long, the margin often with 10 or more teeth per side.
- 10a. Leaves lustrous below; marginal and secondary veins slightly raised above; margins coarsely serrate (rarely entire) with 6-16 spine-tipped teeth per side; peduncle plus rachis 2-8 cm long; endemic near Concepción, Chile, at elevations of ca. 300 m.....***B. negeriana***
- 10b. Leaves dull below; marginal and secondary veins slightly impressed above; margins usually serrate with 10-32 spine-tipped teeth per side; peduncle plus rachis 0,5-1,5 cm long; from Arauco to Aisén. Chile, and Río Negro, Argentina, usually at elevations above 1000 m
.....***B. serratodentata***
- 9b. Leaves variously shaped, often all less than 5 cm long, the margins entire or with fewer than 10 teeth per side.
- 11a. Inflorescence a raceme; style on fruit 1-3 mm long; continental species.
- 12a. Young twigs densely pubescent; spines pubescent, mainly with 5 arms 2-7 mm long, the arms \pm ascending.....***B. darwinii***
- 12b. Young twigs glabrous or papillate-puberulent; spines not pubescent, with 3 (rarely more) arms 4-38 mm long, the laterals often perpendicular to the central.
- 13a. Flowers 5-10 mm long. 3-7 per inflorescence; leaves with impressed marginal and secondary veins above, usually lustrous above, the margins minutely papillate; year-old twigs with distinct longitudinal ridges and grooves
.....***B. ilicifolia***
- 13b. Flowers up to ca. 5 mm long. 6—30 per inflorescence; leaves with flat or slightly raised marginal and secondary veins above, lustrous or not above, the margins not papillate; year-old twigs \pm terete.
- 14a. Leaf apex obtuse to broadly rounded; small veins between secondary veins usually clearly visible below; pedicels 6-15 mm long; spines 0.5-2.3 cm long; inflorescence with up to ca. 20 orange flowers; ovules 5-6; Región de Antofagasta.....***B. litoralis***

- 14b. Leaf apex usually acute; small veins between the secondary veins indistinct below; pedicels 3-10 mm long; spines 1—3.8 cm long; in-florescence with up to ca. 30 yellow flowers; ovules 1-4; Regions Coquimbo – Los Lagos.
- 15a. Leaf margin commonly entire; midvein impressed above; leaves commonly over 5 cm long and 2.5 cm wide, not glaucous below; tree or shrub of forest habitat.....***B. valdiviana***
- 15b. Leaf margin rarely entire; midvein not impressed above; leaves rarely over 5 cm long and 2.5 cm wide, usually glaucous below; shrub of sclerophyllous scrub.....***B. chilensis***
- 11b. Inflorescence an umbel or solitary flower; style on fruit in continental species less than 1 mm long or up to 2 or 3 mm long in *B. montana* and *B. comberi*; style on fruits of Juan Fernández Island species ca. 1 mm long.
- 16a. Leaf margins generally entire; leaves mostly oblanceolate to obovate; spines in-significant or if present those near the tips of twigs often simple (i.e.without lateral arms); flowers mainly over 3 mm long.
- 17a. Spines absent or insignificant; Juan Fernández Archipiélago.
- 18a. Inflorescence multiflorous; leaves often over 1.5 cm wide; Más a Tierra Island.....***B. corymbosa***
- 18b. Inflorescence probably of solitary flowers or few-flowered sessile um-bels; leaves rarely over 1.5 cm wide; Más Afuera Island.....***B. masafuerana***
- 17b. Spines normally present; continental species.
- 19a. Mature leaves submembranous; apex rarely mucronate; style 1-2 mm long; usually near the upper limit of woody vegetation: from Cerro Caqui near Valparaíso (Región Valparaíso) to Volcán Osorno (Región Los Lagos)***B. montana***
- 19b. Mature leaves coriaceous; apex usually mucronate; style less than 0.5 mm long; from near sea level to the upper limit of woody vegetation; from the Andes of Curicó (Región Libertador Gral.Bernardo O’Higgins) to the Strait of Magellan (Región Magallanes Antártica Chilena)***B. microphylla***

- 16b. Leaf margins generally spinescent-toothed; leaves variously shaped: spines normally present (except in *B. comberi*), those near the tips of twigs with 3-5 subequal arms; flowers mainly under 3 mm long.
- 20a. Mature seeds fused into a mass; style 0.5-3 mm long; leaves mostly over 1 cm wide; Mendoza and deserts of Neuquén. Argentina.
- 21a. Plants spineless; style ca. 3 mm long; Neuquén and Mendoza up to (ca. 1100 m.....*B. comberi*
- 21b. Plants with 3-parted spines up to 4.5 cm long; style ca. 0,5 mm long; Mendoza at about 2000 m.....*B. grevilleana*
- 20b. Matures seeds free from each other; style 0-0.5 mm long; leaves mainly less than 1 cm wide; Chile and lake district of Neuquén. Argentina, and farther south.
- 22a. Leaves up to ca. 2 cm long, angularly obovate to oblanceolate to rhomboid, usually arcuate; margin usually with 1-2 spine-tipped teeth per side; Coquimbo.....*B. glomerata*
- 22b. Leaves usually over 2 cm long, variously shaped, usually about flat; margins often with more than 2 spine-tipped teeth per side.
- 23a. Leaf blades mostly not more than 2 times as long as wide; leaf margin often with more than 3 teeth per side, these usually ascending or radiating; inflorescence often with a noticeable peduncle and/or rachis.....*B. actinacantha*
- 23b. Leaf blades 2-7 times as long as wide; teeth of leaf margin often less than 3 per side, usually perpendicular; inflorescence a solitary flower or a sessile umbel.
- 24a. Flower solitary or in pairs, 4-5 mm long; spine arms normally over 5 mm long
.....*B. microphylla*
- 24b. Flowers in umbels of 7-11, ca. 3 mm long; spine arms 1-4 mm long
.....*B. actinacantha*

ANEXO 3. Pauta para la evaluación de la incidencia e intensidad de *Puccinia meyeri albertii* Magn. en calafate y michay.

Fecha			Ramillas									
Especie	Repetición	Órgano	1 (Norte)		2 (Sur)		3 (Este)		4 (Oeste)		5 (Aleatoria)	
			Afectados	Nota	Afectados	Nota	Afectados	Nota	Afectados	Nota	Afectados	Nota
<i>B. microphylla</i>	1	Hoja										
		Fruto										
<i>B. microphylla</i>	2	Hoja										
		Fruto										
<i>B. microphylla</i>	3	Hoja										
		Fruto										
<i>B. microphylla</i>	4	Hoja										
		Fruto										
<i>B. darwinii</i>	1	Hoja										
		Fruto										
<i>B. darwinii</i>	2	Hoja										
		Fruto										
<i>B. darwinii</i>	3	Hoja										
		Fruto										
<i>B. darwinii</i>	4	Hoja										
		Fruto										

*Afectados: cantidad de órganos con signos de roya de un total de 20 órganos.

ANEXO 4. Imágenes de la roya *Puccinia meyeri-albertii* Magn.



Figura 3A. Frutos de michay afectados con uredinios de *P. meyeri-albertii*: **a)** fruto en maduración, **b)** deshidratación de fruto maduro.



Figura 4A. Síntomas de *Puccinia meyeri-albertii* en calafate: **a)** y **b)** ramilla herbácea de calafate con uredosoros, **c)** manchas rojizas epífilas en hojas, **d)** amarillez debida a uredinios hipófilos en hojas, **e)** y **f)** frutos con uredosoros errumpentes.



Figura 5A. Síntomas de *Puccinia meyeri-albertii* en *Berberis comberi*.

Anexo 5. Exposición examen de título.




 Universidad de la Frontera
 Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales
 Temuco - Chile

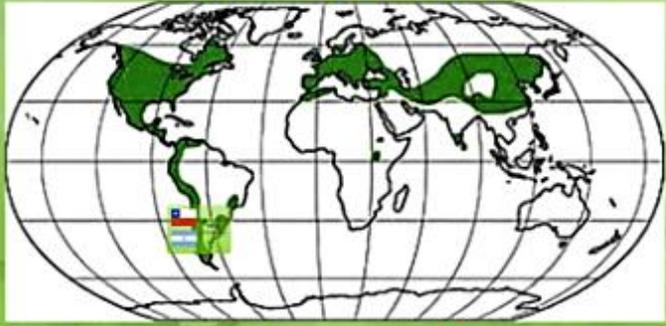
Identificación e incidencia de *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. en Calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) y Michay (*Berberis darwinii* Hook.) en el Llano Central de la Región de la Araucanía

Alejandro ELIAS Cárdenas LIZANA
 Profesor Guía: Jaime Antonio Guerrero Contreras
 Profesor Consejero: Enzo Amador Benoit Tapia

Partes: Lactina, Microscopio, Berberis, Berberis



Introducción



15 géneros → 650 especies → 540 *Berberis* spp.





TOTAL
20 Especies



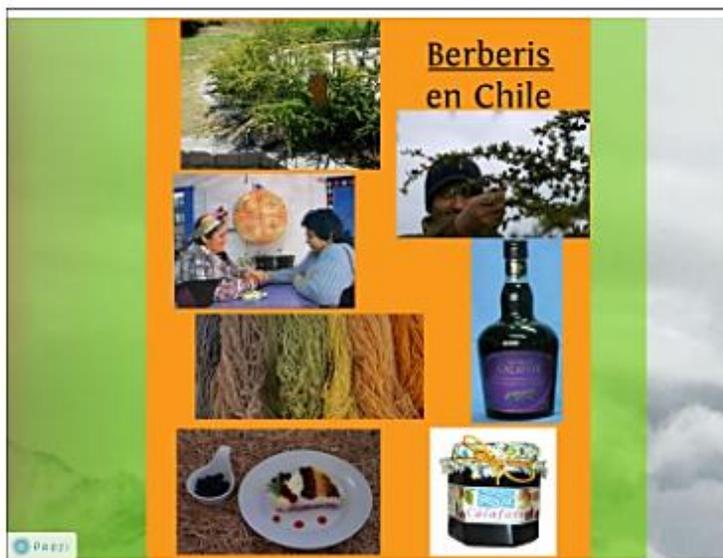
Berberis sp.

berbery





Berberis en Chile

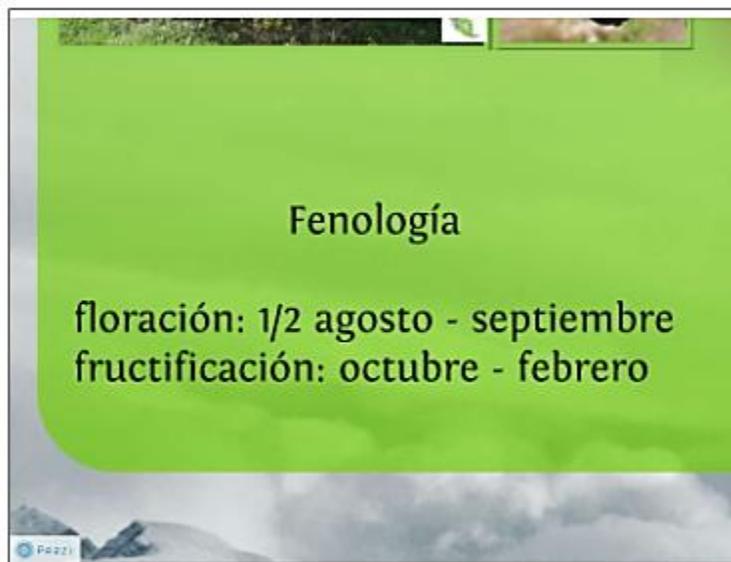




Ubicación taxonómica.

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Magnoliidae
Orden	Ranunculales
Familia	Berberidaceae
Género	<i>Berberis</i>





Fenología

floración: septiembre - octubre
 fructificación: octubre - marzo



Propiedades fitoquímicas

Antocianinas

Son el grupo más extendido de flavonoides pigmentados responsables del color rojo, rosa, morado y azul en flores, frutos, tallos y raíces de las plantas. Debido a esto son muy importantes en la atracción de animales para llevar a cabo la polinización y dispersión de semillas (Arribillaga, 2000; Taiz y Zeiger, 2002).



Alcaloides

Compuestos nitrogenados de considerable interés debido a su toxicidad para los seres humanos y sus propiedades medicinales (Fajardo, 1992).

- Son más de 10 los alcaloides determinados en calafate, entre ellos: berberina, berbamina, calafatina, argemonina y nonargemonina
- En michay más de 15, algunos son: berberina, berbamina, dihidrorugosinona y chilénina



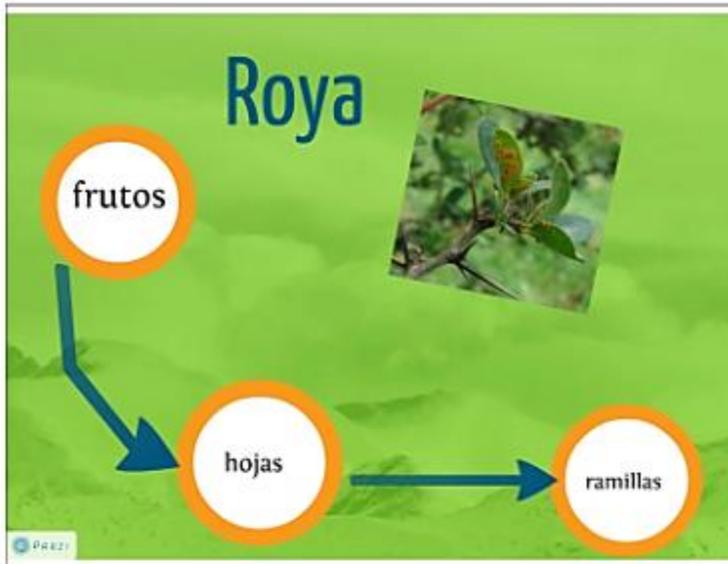
Propiedades Calafate/Michay



Enfermedades fúngicas

Calafate	Michay
<i>Scierottum dothioides</i>	<i>Colletotrichum acutatum</i>
<i>Chaetomium setosum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporoides</i>
<i>Crumenula antarctica</i>	<i>Pestalotiopsis</i> sp.
<i>Curreya berberidis</i>	<i>Phomopsis</i> sp.
<i>Gibbera patagonica</i>	<i>Scierotinia sclerotiorum</i>
<i>Scierottum dothideoides</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
<i>Plowrightia berberidis</i>	<i>Phoma andina</i>





Royas asociadas a calafate y michay

Hospedero	Fitopatógeno
<i>Berberis microphylla</i> (Calafate)	<i>Aecidium aridum</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Aecidium berberidis</i> Pers. (1896)
	<i>Aecidium jacobthali-henrici</i> Magn. (1897)
	<i>Aecidium leveillanum</i> Magn. (1900)
	<i>Aecidium magellanicum</i> Berk. (1888)
	<i>Aecidium tubiforme</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Epinea berberidis</i> Lév. (1852)
	<i>Puccinia harr-aranae</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1900)
	<i>Puccinia graminis</i> Pers. (1911)
	<i>Puccinia mayeri-albertii</i> Magn. (1900) ←
	<i>Puccinia naumantiana</i> Magn. (1896)
	<i>Puccinia stolpiana</i> (Magn.) Diet. et Neger. (1900)
	<i>Uredo berberidis</i> Lév. (1896)
<i>Uropyxis naumantiana</i> Magn. (1892)	
<i>Berberis darwinii</i> (Michay)	<i>Aecidium aridum</i> Diet. et Neger (1927)
	<i>Aecidium berberidis</i> Pers. (1896)
	<i>Caecoma berberidis</i> Diet et Neger (1904)
	<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1921)
	<i>Puccinia berberidis-darwini</i> Jaks. et Holw. (1931)
	<i>Puccinia graminis</i> Pers. (1911)
	<i>Puccinia mayeri-albertii</i> Magn. (1900) ←

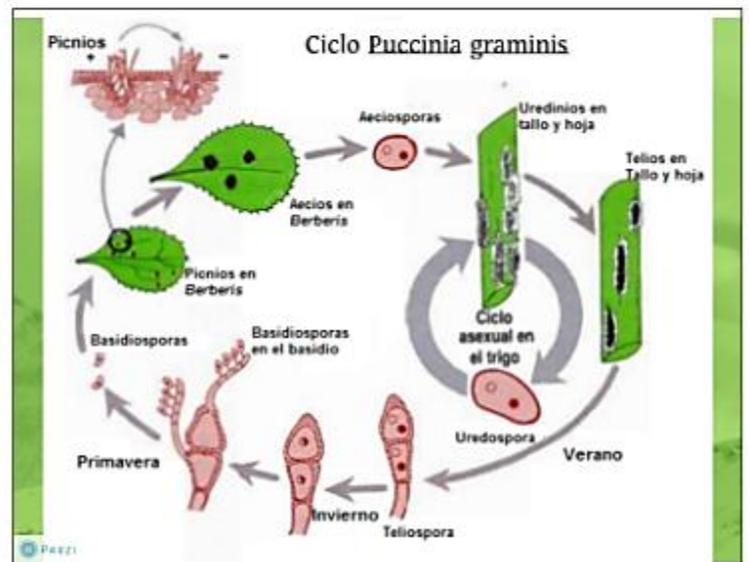
Hospedero	Fitopatógeno
<i>Berberis microphylla</i> (Calafate)	<i>Aecidium aridum</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Aecidium berberidis</i> Pers. (1896)
	<i>Aecidium jacobthali-henrici</i> Magn. (1897)
	<i>Aecidium leveillanum</i> Magn. (1900)
	<i>Aecidium magellanicum</i> Berk. (1888)
	<i>Aecidium tubiforme</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Epinea berberidis</i> Lév. (1852)
	<i>Puccinia harr-aranae</i> Diet. et Neger (1900)
	<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1900)
	<i>Puccinia graminis</i> Pers. (1911)
	<i>Puccinia mayeri-albertii</i> Magn. (1900) ←
	<i>Puccinia naumantiana</i> Magn. (1896)
	<i>Puccinia stolpiana</i> (Magn.) Diet. et Neger. (1900)
	<i>Uredo berberidis</i> Lév. (1896)
<i>Uropyxis naumantiana</i> Magn. (1892)	
<i>Berberis darwinii</i> (Michay)	<i>Aecidium aridum</i> Diet. et Neger (1927)
	<i>Aecidium berberidis</i> Pers. (1896)
	<i>Caecoma berberidis</i> Diet et Neger (1904)
	<i>Puccinia berberidis</i> Mont. (1921)
	<i>Puccinia berberidis-darwini</i> Jaks. et Holw. (1931)
	<i>Puccinia graminis</i> Pers. (1911)
	<i>Puccinia mayeri-albertii</i> Magn. (1900) ←

Generalidades de las Royas

Reino	Fungi
División	Eumycota
Subdivisión	Basidiomycotina
Clase	Teliomycetes
Orden	Uredinales
Familia	Pucciniaceae
Género	<i>Puccinia</i>

Se han reconocido cerca de 5000 especies de roya, pero el grupo se estima que tiene más de 7000 provenientes de aproximadamente 300 géneros, aunque son reconocidos entre 100 y 125 (Arauz, 1998; Cummins & Hiratsuka, 2003).

- Parásito obligado
- Afecta Pteridofitas, gimnospermas y angiospermas
- Autoicas y Heteroicas (heteroicismo)
- Fase 0: Espermogonio
- Fase I: Aecio
- Fase II: Uredinio
- Fase III: Telio
- Fase IV: Basidio
- Macrocíclicas (5 tipos de esporas)
- Microcíclicas (telio y basidiosporas)
- Síntomas: manchas necróticas, clorosis, deformaciones, deshidratación.
- Signos: Pústulas anaranjadas o marrón



Hipótesis

La roya del calafate y del michay corresponde a Puccinia meyeri-albertii Magn., y su incidencia en estructuras vegetativas y reproductivas es diferencial.

Objetivos

General

Identificar el agente causal de la roya en calafate (*Berberis microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.), y evaluar la incidencia en ambas especies, en el Llano Central de la Región de la Araucanía.

Específicos

1. Caracterizar morfológicamente la especie de Puccinia.
2. Cuantificar la incidencia e intensidad del fitopatógeno, en estructuras vegetativas y reproductivas de calafate y michay.
3. Describir ciclo biológico y sintomatología del agente causal de la roya.
4. Realizar correlaciones entre la incidencia de la roya con parámetros climáticos.

General

Identificar el agente causal de la roya en calafate (*Berberis microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.), y evaluar la incidencia en ambas especies, en el Llano Central de la Región de la Araucanía.

Específicos

1. Caracterizar morfológicamente la especie de Puccinia.
2. Cuantificar la incidencia e intensidad del fitopatógeno, en estructuras vegetativas y reproductivas de calafate y michay.
3. Describir ciclo biológico y sintomatología del agente causal de la roya.
4. Realizar correlaciones entre la incidencia de la roya con parámetros climáticos.

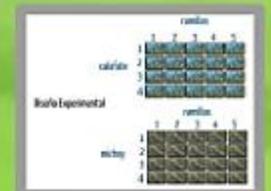
Materiales y Método

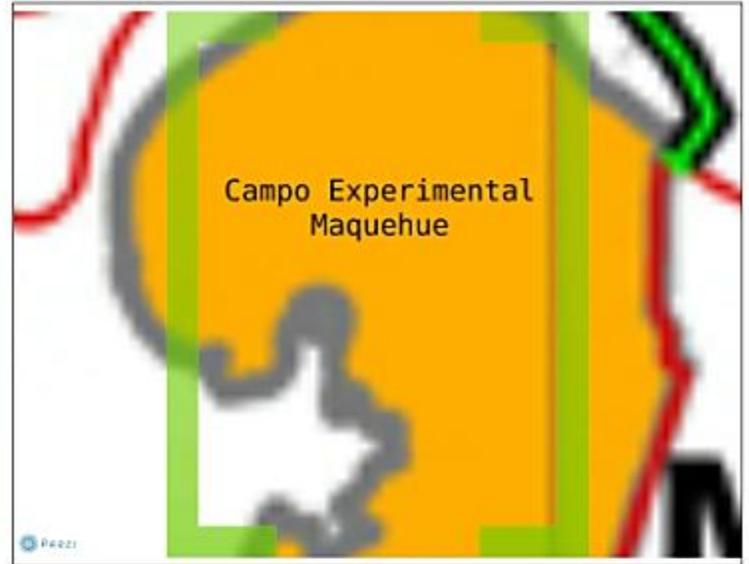


Ubicación y duración del estudio

- Período noviembre de 2010 a diciembre 2011

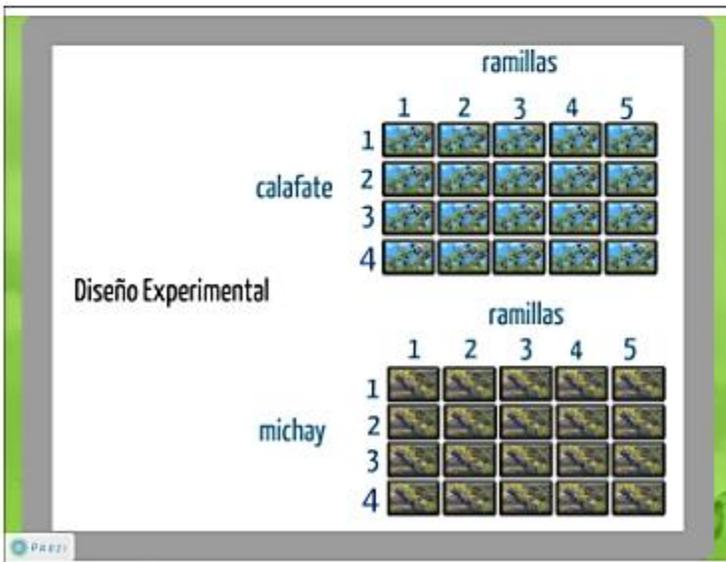
Plano de Ubicación





Ubicación y duración del estudio

- Período noviembre de 2010 a diciembre 2011





Proceso de identificación

Incidencia

- Cuantificación de frutos y hojas afectados por ramilla (cada ramilla con 20 frutos y 20 hojas)

Severidad

- Estimación de área afectada en fruto y hoja
- Utilización de una escala de notas de severidad

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de (hojas o frutos) afectados} \times 100}{\text{Total (sanos + afectados)}}$$



Proceso de identificación

Incidencia

- Cuantificación de frutos y hojas afectados por ramilla (cada ramilla con 20 frutos y 20 hojas)

Severidad

- Estimación de área afectada en fruto y hoja
- Utilización de una escala de notas de severidad



1	2	3	4	5
0%	1- 25%	26 - 50%	51- 75%	76 - 100%

Correlaciones



Incidencia promedio mensual

Correlación

Temperatura media mensual

Precipitación promedio mensual

- Interpretación de coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de correlación (r) y valor p (5%).

Resultados



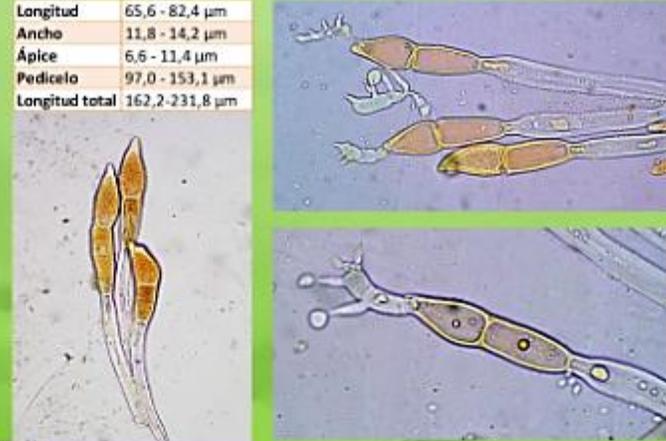
Identificación y Caracterización Morfométrica

Longitud	65,6 - 82,
Ancho	11,8 - 14,

Teliosporas

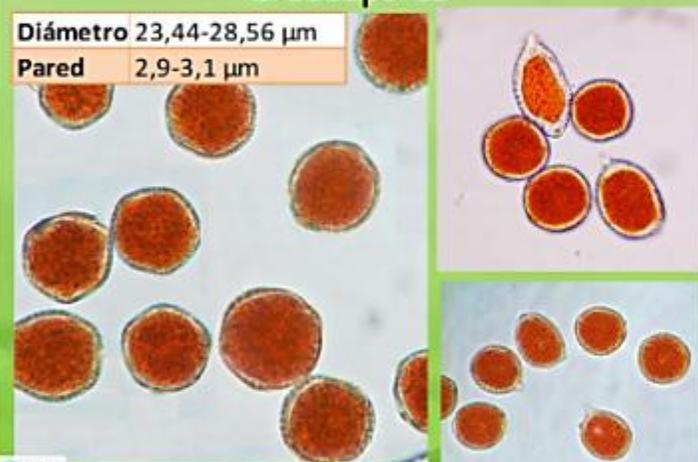
(Lindquist, 1978; Hennen et al., 2005.)

Longitud	65,6 - 82,4 µm
Ancho	11,8 - 14,2 µm
Ápice	6,6 - 11,4 µm
Pedicelo	97,0 - 153,1 µm
Longitud total	162,2-231,8 µm



Uredosporas

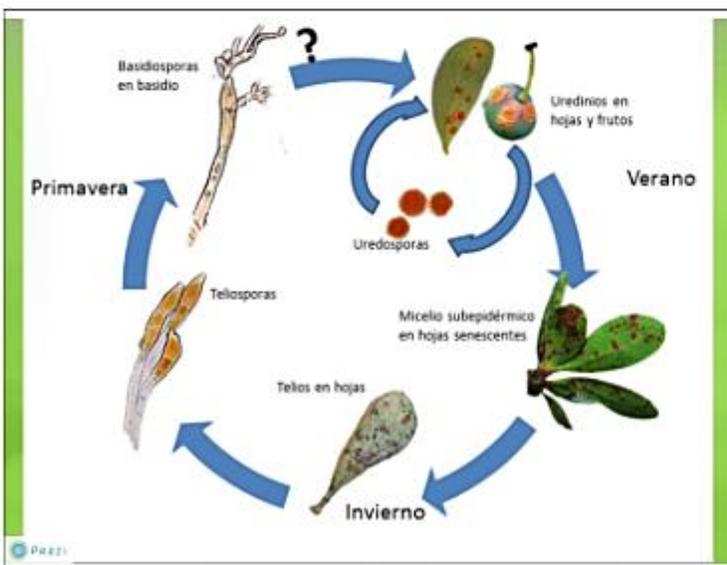
Diámetro	23,44-28,56 µm
Pared	2,9-3,1 µm



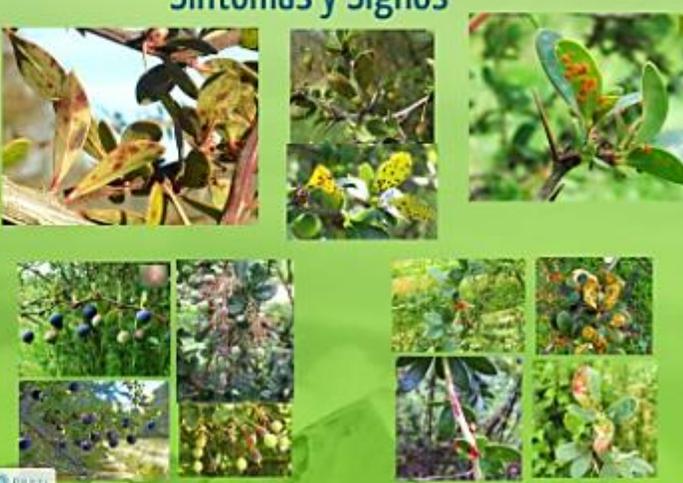
Puccinia meyeri-albertii en calafate y michay

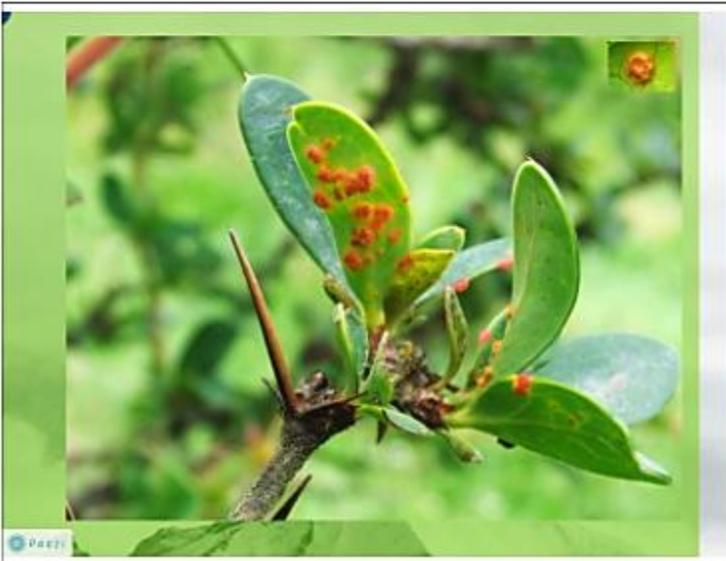
Fase	Michay		Calafate	
	Fruto	Hoja	Fruto	Hoja
Basidio	No	No	No	Si
Espormogonio	No	No	No	No
Aecio	No	No	No	No
Uredinio	Si	No	Si	Si
Telio	No	No	No	Si

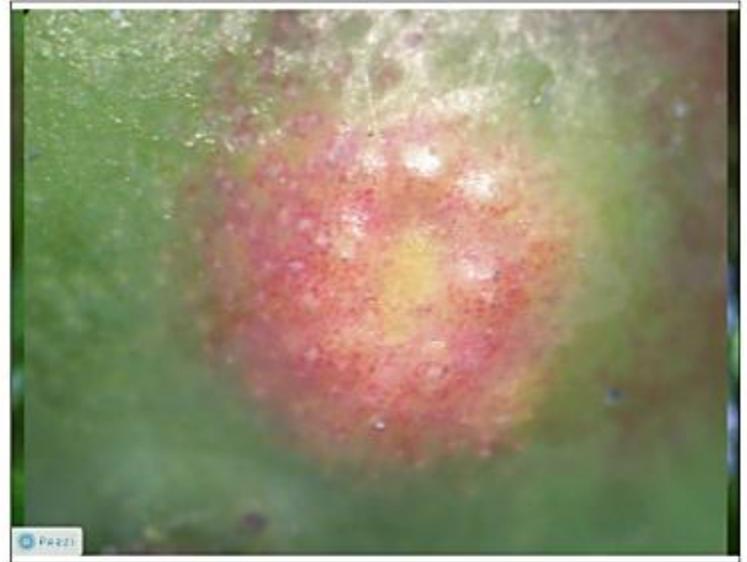
*Inicio de infección en fruto inmaduro y hojas nuevas

Síntomas y Signos

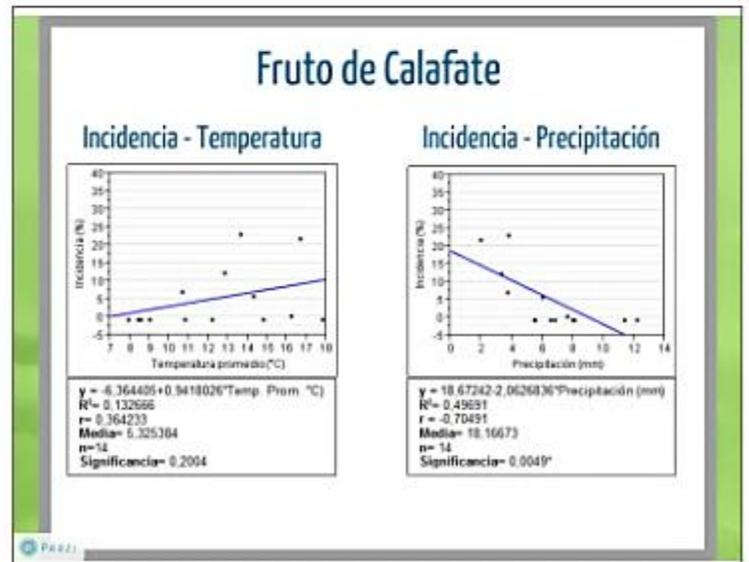
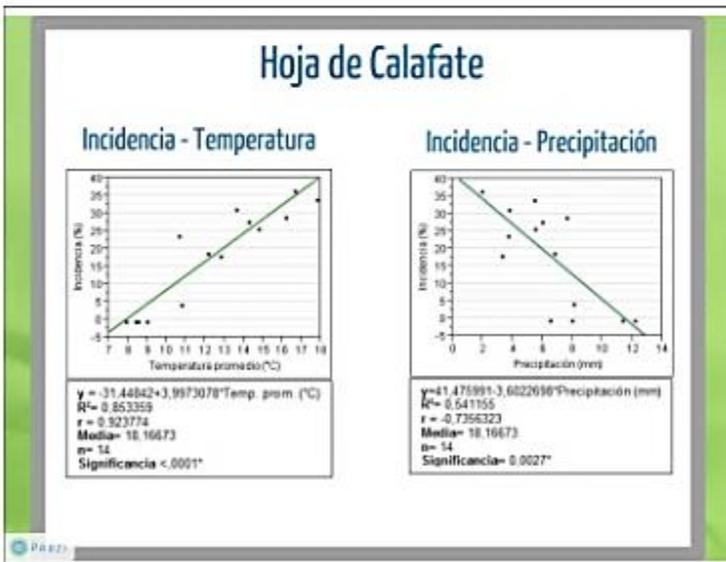






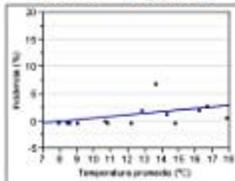
Incidencia y Severidad de *Puccinia meyeri-albertii* Magn. en calafate





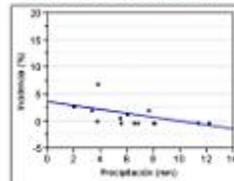
Fruto de Michay

Incidencia - Temperatura



$y = 2,20887 + 0,2812864 \cdot \text{Temp prom. (}^\circ\text{C)}$
 $R^2 = 0,20982$
 $r = 0,45719$
 Media = 1,290634
 $n = 14$
 Significancia = 0,1003

Incidencia - Precipitación



$y = -3,6505961 - 0,3647142 \cdot \text{Precipitación (mm)}$
 $R^2 = 0,274271$
 $r = -0,523804$
 Media = 1,290634
 $n = 14$
 Significancia = 0,0545

PAZS

1. Se determinó que el agente causal de la roya del calafate (*Berberis microphylla* Forst.) y michay (*B. darwinii* Hook.), corresponde a *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn.

2. El ciclo biológico de esta roya fue del tipo hemiforme por ausencia de aecio y espermogonio; se observaron uredinios desde octubre en hojas jóvenes y fruta verde de calafate, en michay sólo en fruto verde declinando desde febrero, dando paso a la fase de telio y basidio en hojas maduras de calafate.

3. Los síntomas observados en hojas de calafate fueron: amarillez, manchas rojizas adaxiales, pústulas anaranjadas abaxiales y defoliación; en frutos: pústulas anaranjadas, deshidratación y abscisión. En michay fue observado sólo en fruto pústulas anaranjadas, deshidratación y abscisión.

PAZS

4. La incidencia promedio de la roya en hojas de calafate fue de 25,4% (4,7-36,9%); en frutos de 12,43% (1,13 - 23,84%). En michay la incidencia promedio en fruto fue de 4,5% (0,88 - 12,3%).

5. La severidad promedio de la roya en hojas de calafate fue de 25% (0 - 26% de área afectada); en frutos 25% (0 - 25% de área afectada). En michay la severidad promedio en fruto fue de 1% (0 - 25% de área afectada).

6. La incidencia de roya con temperatura media se correlacionó fuertemente en hojas de calafate y débilmente en fruto ($r = 0,92$ y $r = 0,36$), mientras que con precipitación promedio fue negativa en hoja y fruto ($r = -0,73$ y $r = -0,70$). Para fruta de michay, la correlación entre incidencia con temperatura y precipitación fue débil ($r = 0,45$ y $r = -0,52$ respectivamente).

7. *Puccinia meyeri-albertii* Magn. es un fitopatógeno que puede constituir una importante limitante fitosanitaria para el desarrollo y producción de calafate y michay en la Zona Sur de Chile.

PAZS



Universidad de la Frontera
 Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales
 Temuco - Chile

Identificación e Incidencia de *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. en Calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) y Michay (*Berberis darwinii* Hook.) en el Llano Central de la Región de la Araucanía



Alejandro ELÍAS Cárdenas LIZAMA

Profesor Guía: Jaime Antonio Guerrero Contreras
 Profesor Colaborador: Emma Andrea Benítez Tapia

PAZS