

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS MENCIÓN ECOLOGÍA Y RECURSOS
NATURALES**



**MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE TRES ESPECIES DE POLYLEPIS
P. microphylla (Wedd.) Bitter, *P. racemosa* Ruiz & Pav. y *P. subsericans* J.F.
Macbr. (ROSACEAE) EN TRES NIVELES ALTITUDINALES, EN
YANACOA, URUBAMBA - CUSCO.**

TESIS PRESENTADA POR:

Br. SANDRA JACKELINE ARROYO ALFARO

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO
DE MAGISTER EN CIENCIAS MENCIÓN
ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES**

ASESOR:

M.Sc. WASHINGTON GALIANO SANCHEZ

CUSCO – PERÚ

2015

TESIS AUSPICIADA POR CONCYTEC - FONDECYT

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	V
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	VI
OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	VII
HIPÓTESIS	VIII
CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes Bibliográficos	1
1.2 Marco Teórico	5
1.3 Aspectos generales del género <i>Polylepis</i>	10
1.3.1 Género <i>Polylepis</i>	10
1.3.2 Ubicación taxonómica, descripción y distribución.....	10
1.3.2.1 <i>Polylepis microphylla</i> (Wedd.) Bitter	11
1.3.2.2 <i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.....	13
1.3.2.3 <i>Polylepis subsericans</i> J.F. Macbr.....	16
1.3.3 La Fotosíntesis.....	18
1.3.3.1 Fluorescencia.....	19
1.3.3.2 Respuestas de las plantas ante los factores abióticos.....	21
Luz Solar	22
Temperatura.....	26
Estrés Hídrico	27
CAPITULO II: AREA DE ESTUDIO	30
2.1 Ubicación Política	30
2.2 Ubicación Geográfica	30

2.3 Descripción de cada bosque.....	30
2.4 Accesibilidad.....	32
2.5 Geología.....	32
2.6 Suelos.....	34
2.7 Recurso hídrico	34
2.8 Características de la zona.....	35
2.9 Zonas de vida Natural.....	36
2.10 Clima.....	37

CAPITULO III: METODOLOGIA46

3.1 Tipo y diseño de investigación.....	46
3.2 Población de estudio.....	47
3.3 Tamaño de muestra.....	47
3.4 Selección de muestra	47
3.5 Materiales.....	48
3.6 Técnica de recolección de datos.....	50
3.6.1 Fase De Campo.....	50
3.6.2 Fase De Herbario	50
3.6.2.1 Herborización	50
3.6.2.2 Taxonomía, Determinación y Distribución	51
3.6.3 Fase De Laboratorio.....	51
3.6.3.1 Características morfológicas.....	51
3.6.3.1.1 Número de hojas y foliolos	51
3.6.3.1.2 Área Foliar y Área foliar específica	52
3.6.3.1.3 Grosor de la Hoja (μm).....	52
3.6.3.1.4 Células epidérmicas y Parénquima clorofiliano.....	53
3.6.3.1.5 Densidad estomática.....	53
3.6.3.1.6 Densidad y forma de tricomas	54
3.6.3.1.7 Ritidoma	54
3.6.3.1.8 Altura de árbol, Diámetro a la altura del pecho – DAP y Densidad de la madera.....	55
3.6.3.2 Características fisiológicas	57
3.6.3.2.1 Contenido de agua actual, agua de saturación, contenido hídrico relativo y déficit de saturación hídrica.....	57

3.6.3.2.2 Medidas de fluorescencia	59
3.7 Análisis e interpretación de la información	60
3.7.1 Análisis estadístico	60
3.7.1.1 Normalidad	60
3.7.1.2 De los parámetros	61
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION	63
4.1 Presentación de resultados	63
4.1.1 Características morfológicas	63
4.1.1.1 Número de hojas y foliolos	63
4.1.1.2 Área Foliar y Área foliar específica.....	65
4.1.1.3 Grosor de la Hoja.....	66
4.1.1.4 Células epidérmicas y Parénquima clorofiliano	67
4.1.1.5 Densidad estomática	69
4.1.1.6 Densidad y forma de tricomas	70
4.1.1.7 Ritidoma	74
4.1.1.8 Altura de árbol, Diámetro a la altura del pecho – DAP y Densidad de la madera	77
4.1.2 Características fisiológicas.....	80
4.1.2.1 Contenido de agua actual, agua de saturación, contenido hídrico relativo y déficit de saturación hídrica	80
4.1.2.2 Medidas de fluorescencia	82
4.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	85
CONCLUSIONES.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97
ANEXOS.....	105

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Pág.

CUADROS

Cuadro 1. Diferencias entre plantas adaptadas a condiciones de sol y sombra.....	24
Cuadro 2. Ubicación Geografía de los bosques de estudio.	30
Cuadro 3. Ubicación geográfica y política de la estación Meteorológica de Urubamba.	38
Cuadro 4. Precipitación estacional y anual 1971 – 2000 en Urubamba, Cusco	39
Cuadro 5. Tendencia de la precipitación 1965 – 2008 en Urubamba, Cusco.	40
Cuadro 6. Promedio Anuales de Temperatura y precipitación en Urubamba (2001-2010)	41
Cuadro 7. Tendencia de la temperatura máxima 1965 – 2008 en Urubamba, Cusco.....	42
Cuadro 8. Tendencia de la temperatura mínima 1965 – 2008 en Urubamba, Cusco.....	42
Cuadro 9. Temperatura registrada en las tres zonas de estudio en Urubamba, Cusco.....	43
Cuadro 10. Humedad relativa registrada en las tres zonas de estudio en Urubamba, Cusco.....	45
Cuadro 11. Descripción de las zonas de estudio, especies y parámetros estudiados.	46

FIGURAS

Figura 1. <i>Polylepis microphylla</i> (Wedd.) Bitter.: a. Rama joven (0.5 X); b. Grupo de hojas jóvenes (3 X); c. Grupo de hojas maduras (5 X); d. Superficie abaxial de la base de foliolos (6 X), e. Superficie abaxial de la base de foliolos (6 X), d. Flor (6 X).	12
Figura 2. <i>Polylepis. microphylla</i> (Wedd.) Bitter	13
Figura 3. <i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.....	14
Figura 4. <i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.: a. Rama (0.5 X); b. Hoja, superficie abaxial (1.5 X), c. Punto de unión de la hoja, parte adaxial (6 X), d. Flor (4.5 X), e. Fruto (4.5 X). Fuente: Simpson, 1979.....	15
Figura 5. <i>Polylepis subsericans</i> J.F. Macbr.: a. Punta de la rama (1.5 X); b. Punto de unión de la hoja, parte adaxial (6 X). Fuente: Simpson, 1979	17
Figura 6. <i>Polylepis subsericans</i> J.F. Macbr. A. Rama con Inflorescencias, B. Hojas.....	17
Figura 7. Diagrama de un cloroplasto mostrando la ubicación de H ⁺ -ATPasas en las membranas de los tilacoides. (Taiz & Zeiger, 2002).	19
Figura 8. Esquema de la visión general de la regulación de la captura de fotones, protección y reparación del daño solar. (Taiz & Zeiger, 2002).....	20
Figura 9. Cinética de la fluorescencia en hojas adaptadas a la oscuridad e iluminadas. Definición de coeficientes de quenching y ecuaciones útiles derivadas de los parámetros de fluorescencia. Material vegetal: hojas, mod: luz modulada de medida, sat: pulso saturante de luz, act: luz actínica. (Azcon – Bieto, 2008).....	21
Figura 10. Algunas características de las hojas de plantas de sol y sombra (Azcon – Bieto, 2008).	23
Figura 11. Mapa de Ubicación de las zonas de estudio, Urubamba – Cusco	31
Figura 12. Climatodiagrama de Urubamba (2001-2010). Fuente: Elaborado en base a datos de SENAMHI.	41
Figura 13. Comparación de los registros de temperatura en las tres zonas de estudio.	44

Figura 14. Comparación de los registros de Humedad relativa en las tres zonas de estudio.	45
Figura 15. Esquema de la colecta de muestra.	47
Figura 16. Peso de los segmentos de 2.5 cm. de las ramas: A. Con corteza, B. Sin corteza.	55
Figura 17. Posición para la medición del diámetro a la altura del pecho – DAP. A. En terreno llano; B. En árbol horquillado y C. En terreno inclinado (FAO, 2004).	56
Figura 18. Numero de hojas por muestra en las tres especies de <i>Polylepis</i>	63
Figura 19. Hojas compuestas de las tres especies de <i>Polylepis</i> . A. <i>Polylepis microphylla</i> , B. <i>Polylepis racemosa</i> y C. <i>Polylepis subsericans</i>	64
Figura 20. Numero foliolos por hoja en las tres especies de <i>Polylepis</i>	64
Figura 21. Área foliar (cm ²) de las tres especies de <i>Polylepis</i>	65
Figura 22. Área foliar específica (cm/g) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	66
Figura 23. Grosor de hoja (µm) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	66
Figura 24. Corte transversal de la hoja. A. <i>Polylepis microphylla</i> , B. <i>Polylepis racemosa</i> , C. <i>Polylepis subsericans</i> . Abreviaturas: Ct: Cutícula, Ea: Epidermis adaxial; Pcl: Parénquima clorofiliano; Pes: Parénquima esponjoso.	67
Figura 25. Largo de células epidérmicas (µm) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	68
Figura 26. Largo de las células del parénquima clorofiliano (µm) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	69
Figura 27. Impresiones epidérmicas para el conteo de estomas: A. <i>Polylepis microphylla</i> , B. <i>Polylepis racemosa</i> y C. <i>Polylepis subsericans</i>	69
Figura 28. Densidad estomática (estomas/mm ²) en las tres especies de <i>Polylepis</i> . ..	70
Figura 29. Tricomas de la superficie abaxial de la hoja de <i>Polylepis microphylla</i> : A. Tricoma unicelular glandular; B: Tricoma multicelular ramificado; C: Corte transversal de la hoja mostrando los tricomas en la superficie abaxial de la hoja.	71
Figura 30. Tricomas de la superficie abaxial de la hoja de <i>Polylepis racemosa</i> : A. Corte transversal de la hoja mostrando los tricomas en la superficie abaxial; B: Tricoma unicelular.	72

Figura 31. Tricomas de la superficie adaxial y abaxial de la hoja de <i>Polylepis subsericans</i> : A. Tricoma unicelular de la superficie adaxial de la hoja; B: Vista lateral del tricoma unicelular de la superficie abaxial de la hoja; C: Corte transversal de la hoja mostrando los tricomas en ambos lados de la hoja.....	73
Figura 32. Medida del Grosor del ritidoma (mm) en las tres especies de <i>Polylepis</i> .	74
Figura 33. Peso del ritidoma (cm) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	75
Figura 34. Muestras de ritidomas: <i>Polylepis microphylla</i> A. Muestra a 10X y B. Muestra a 40X; <i>Polylepis racemosa</i> C. Muestra a 10X y D. Muestra a 40X; <i>Polylepis subsericans</i> E. Muestra a 10X y F. Muestra a 40X.....	76
Figura 35. Altura promedio del árbol (m) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	77
Figura 36. Diámetro a la Altura del pecho – DAP (m) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	78
Figura 37. Densidad de la madera g cm-3 en las tres especies de <i>Polylepis</i>	78
Figura 38. Habito de las especies de <i>Polylepis</i> estudiadas. A. <i>Polylepis microphylla</i> , B. <i>Polylepis racemosa</i> ; C. <i>Polylepis subsericans</i>	79
Figura 39. Contenido hídrico de las hojas en las tres especies de <i>Polylepis</i>	80
Figura 40. Contenido hídrico relativo de las hojas en las tres especies de <i>Polylepis</i>	81
Figura 41. Déficit de saturación hídrica de las hojas en las tres especies de <i>Polylepis</i>	82
Figura 42. Quantum yield (Qy) y Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm') en las tres especies de <i>Polylepis</i>	83
Figura 43. Fluorescencia instantánea (Ft) y Fluorescencia mínima (Fo) en las tres especies de <i>Polylepis</i>	84

DEDICATORIA

*A Dios, a mi madre y hermanas que a través de la distancia nos mantenemos unidas,
apoyándonos en todo momento.*

*A Elias por ser mi complemento y apoyo incondicional, y Andrés Valentino que con su
nacimiento me trajo muchas alegrías, impulsándome a seguir mis objetivos.*

*A todas las personas que con su apoyo de una u otra forma contribuyeron con el
desarrollo de la tesis, Sra. Evelyn, Sr. Ángel, Sra. Fanny, Sra. Sabina, Pilar, Cesítar,
Isau y Zenayda.*

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación fue posible gracias al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC y al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica - FONDECYT.

A los docentes de la UNSAAC, la Blga. María Holgado Rojas por su apoyo con el laboratorio del CIPHAM y al Blgo. Jorge Acurio Saavedra con el laboratorio de microscopia, para el análisis de muestras.

Al Dr. José Ignacio García Plazaola y la Dra. Beatriz Fernández Marín de la Universidad del País Vasco - UPV, por instruirme en el tema de la Fluorescencia.

Al curador del Herbarium Truxillense (HUT), Blgo. Erick F. Rodríguez Rodríguez por apoyarme con material bibliográfico y por permitirme revisar las colecciones con las que cuentan.

A mi asesor M.Sc. Washington Galiano Sánchez, por su apoyo y orientación durante la realización de la tesis.

A todos los docentes de la Maestría de Ecología y Recursos Naturales de la Escuela de Post- Grado de la UNSAAC, por su contribución en mi desarrollo profesional.

RESUMEN

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3.500 m y 4.400(-5.000) m, en donde se presentan extremas condiciones ambientales como temperaturas bajas y periodos secos. El presente trabajo tiene como objetivo describir las características morfológicas y fisiológicas en tres especies de *Polylepis*, *P. microphylla* (Wedd.) Bitter, *P. racemosa* Ruiz & Pav. y *P. subsericans* J.F. Macbr. (Rosaceae) ubicadas en tres niveles altitudinales, en la localidad de Yanacocha, Urubamba - Cusco.

Se colectaron 30 muestras de cada especie y se analizaron parámetros morfológicos: número de hojas y foliolos, área foliar específica, grosor de la hoja, largo de Células epidérmicas y parénquima clorofiliano, densidad estomática, densidad y forma de tricomas, grosor y peso de Ritidoma, altura de árbol, diámetro a la altura del pecho, densidad de la madera; y fisiológicos: Contenido hídrico, contenido hídrico relativo, déficit de saturación hídrica y medidas de fluorescencia. Se encontró que las tres especies de *Polylepis* presentan diferencias en las características morfológicas y fisiológicas antes indicadas excepto en el largo de células epidérmicas, peso de Ritidoma y densidad de la madera. Estas diferencias morfológicas y fisiológicas que presentan cada especie podrían estar relacionadas a las condiciones ambientales de cada nivel altitudinal en el que habitan.

Palabras clave: *Polylepis microphylla*, *Polylepis racemosa*, *Polylepis subsericans*, niveles altitudinales, características morfológicas y fisiológicas.

ABSTRACT

Polylepis forests represent the natural vegetation of the central Andes, at altitudes between 3,500 m and 4,400 (5,000) m, with extreme environmental conditions such as low temperatures and dry periods. This paper aims to describe the morphological and physiological characteristics of three species of *Polylepis*, *P. microphylla* (Wedd.) Bitter, *P. racemosa* Ruiz & Pav. and *P. subsericans* J.F. Macbr. (Rosaceae), located in three altitude levels, in the village of Yanacocha, Urubamba - Cusco.

Thirty samples of each species were collected and morphological parameters were analyzed: number of leaves and leaflets, specific leaf area, leaf thickness, length of epidermal cells and parenchymal chlorophyll, stomatal density, density and shape of trichomes, thickness and weight of outer bark, tree height, diameter at breast height, density of wood; and physiological: water content, relative water content, water saturation deficit and fluorescence measurements. It was found that three species *Polylepis* differ in the morphological and physiological characteristics listed above except along epidermal cells, weight outer bark and wood density. These morphological and physiological differences that occur each species could be related to environmental conditions of each altitudinal level in which they live.

Keywords: *microphylla Polylepis racemosa Polylepis, Polylepis subsericans, altitude levels, morphological and physiological characteristics.*

INTRODUCCIÓN

En la región Cusco existen hasta nueve tipos de clima, predominando una amplia extensión de climas característicos de Selva, con clima cálido húmedo a muy húmedo, en gran parte de las estaciones del año, en las localidades como Urubamba, Sepahua, Malvinas, Echarate y Machu Picchu. Además presenta una región que va de clima semifrío húmedo a clima frío seco en donde se asientan localidades como Anta, Cusco, Urcos y Sicuani. En la zona correspondiente a la microcuenca Huacrahuacho, se presenta un clima de lluvioso a semiseco, con otoños e inviernos secos, presencia de poca humedad y un régimen térmico de frío a semifrío (PACC, 2012).

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3.500 y 4.400 m. de altitud, ocupando una gran variedad de hábitat, desde el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del Altiplano. El género *Polylepis* pertenece a la tribu Sanguisorbeae de la familia Rosaceae, que se caracteriza por una polinización anemófila y por sus frutos secos. En su mayoría árboles de 5-10 m altura, pero también con algunas especies comúnmente arbustivas y otras que llegan a superar los 25 metros (Kessler, 2006).

El género *Polylepis* presenta una gran variabilidad morfológica, la cual es indicativa de la gran amplitud ecológica de las diferentes especies de *Polylepis* y de los bosques formados por ellas. En regiones húmedas las especies de *Polylepis* en estos hábitats son los árboles *P. pauta*, *P. serícea*, *P. lanuginosa*, *P. multijuga*, *P. triacontandra* y *P. lanata*, mientras que la especie parcialmente arbustiva *P. pepeí*

forma la línea superior de bosques a 3.800-4.200 de altitud en el sur de Perú y Bolivia. En hábitats también húmedos, se encuentran bosques de *P. reticulata*, *P. weberbaueri*, *P. racemosa* y *P. incana*. Esta última especie también se extiende hacia hábitats algo más secos en los valles interandinos, donde además crecen *P. subsericans*. En zonas áridas en los altos Andes, las especie de *Polylepis* adaptada a estos hábitats es *P. microphylla* y en la vertiente andina occidental *P. flavipila* y *P. rugulosa* (Kessler, 2006).

En el presente trabajo se analizará los parámetros fisiológicos y morfológicos de *P. microphylla* (Wedd.) Bitter, *P. racemosa* Ruiz & Pav. y *P. subsericans* J.F. Macbr., como, en tres niveles altitudes, procedentes de la localidad de Yanacocha, Provincia de Urubamba, Región Cusco.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Situación Problemática

En la localidad de Yanacocha, Provincia de Urubamba, se presentan tres especies del género *Polylepis* en diferentes niveles altitudinales, siendo *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter, *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., en donde no se cuenta con estudios detallados de su morfología y fisiología, en la Localidad de Yanacocha, Urubamba – Cusco.

Formulación del Problema Objeto de la Investigación

¿Qué características morfológicas y fisiológicas presentarán *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter, *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., en tres niveles altitudinales en Yanacocha, Urubamba - Cusco?

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación a realizarse, nace como una necesidad de contribuir a ampliar la investigación e información en referencia de las características morfológicas y fisiológicas que presentan tres especies de *Polylepis*, en diferentes niveles altitudinales, procedentes de la Localidad de Yanacocha, Provincia de Urubamba, Región Cusco.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Determinar las características morfológicas y fisiológicas que presentan tres especies de *Polylepis*, en tres niveles altitudinales en Yanacocha, Urubamba - Cusco.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las diferencias morfológicas y fisiológicas en las tres especies de *Polylepis*: *P. microphylla* (Wedd.) Bitter, *P. racemosa* Ruiz & Pav. y *P. subsericans* J.F. Macbr.
- Analizar las características morfológicas: Número de hojas y foliolos, área foliar específica, grosor de la hoja, células epidérmicas y parénquima clorofiliano, densidad estomática, densidad y forma de tricomas, ritidoma, altura de árbol, diámetro a la altura de pecho – DAP y Densidad de la madera, en las tres especies de *Polylepis*.
- Analizar las características fisiológicas: Contenido hídrico, contenido hídrico relativo, déficit de saturación hídrica, Medidas de fluorescencia: Quantum Yield (Qy), Rendimiento Cuántico PSII (Fv/Fm'), Fluorescencia Instantánea (Ft) y Fluorescencia Mínima (Fo), en las tres especies de *Polylepis*.

HIPOTESIS

Las tres especies de *Polylepis* ubicadas en tres niveles altitudinales en la Localidad de Yanacocha, Urubamba – Cusco, presentan diferencias morfológicas y fisiológicas.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes Bibliográficos

TOIVONEN, J. (2014). Estudio los aspectos ecofisiológicos, ambientales y antropogénicos que pueden determinar la distribución de los bosques de *Polylepis*, evaluando el grado genético sobre las características ecofisiológicas que permiten a las especies de *Polylepis* crecer en condiciones frías y secas. Además, estudio el rol de los factores medio ambientales y antropogénicos que restringen la distribución de los bosques de *Polylepis*.

TOIVONEN, J. *et al.* (2014) Estudio los rasgos funcionales de tres especies de *Polylepis*, relacionados a las variables climáticas, como temperatura media anual y precipitación. Los rasgos de tamaño de la hoja, tasa de fotosíntesis y ápice radicular se relacionaron con la temperatura, mientras que la compensación de luz y los puntos de saturación de luz estaban relacionados con la precipitación. Empleando un análisis de regresiones lineales, para relacionar los rasgos de clima óptimo de las especies. La mayoría de las relaciones con el clima son el resultado de la especialización de especies a lo largo de un gradiente ambiental. Sin embargo, en muchos casos, las relaciones eran más bien débiles. Esto sugiere que los rasgos funcionales importantes de especies de *Polylepis* implican ambos componentes genéticos y fenotípicos con el objetivo de maximizar su resistencia en las altas elevaciones.

JOMELLI, V. *et al.* (2012) Investiga el potencial dendroclimático de tres especies de *Polylepis*: *P. pepeii*, *P. subsericans* y *P. rugulosa* en los Andes tropicales de Perú y Bolivia. Se estimaron los coeficientes de las funciones de respuesta a partir de una regresión de componentes principales del modelo. Las variables de predicción para la correlación y análisis de respuesta fueron la temperatura mensual y los datos de precipitación. El análisis reveló relaciones positivas significativas entre la temperatura de verano y el crecimiento radial para las tres especies en Perú y Bolivia. Se observaron relaciones positivas entre la precipitación al inicio del periodo de lluvias y el crecimiento radial para las tres especies en Perú, mientras que para Bolivia no se observó ninguna relación.

KESSLER, M. (2006) Investiga los Bosques de *Polylepis* de los Andes centrales, identificando 28 especies del género *Polylepis* describiendo la taxonomía, evolución del género, ecología de las especies y los bosques de *Polylepis*, vegetación asociada, distribución y conservación.

COLMENARES, M. & R. LUQUE. (2005). Estudiaron la anatomía foliar de individuos de *Polylepis sericea* (Rosaceae) a dos altitudes contrastantes, en Venezuela a 4.100 m s. n. m. y en el páramo de Mucubají a 3.500 m s. n. m. en el Estado de Mérida, con el fin de dar a conocer la estructura y determinar la existencia de caracteres disímiles dados por las diferencias altitudinales y/o por la estacionalidad hídrica. Se encontraron caracteres xeromórficos marcados y claras diferencias estructurales dadas en primer lugar por el efecto altitudinal como reducción del área foliar y aumento de tejido clorofiliano, además de diferencias

derivadas del efecto hídrico estacional como engrosamiento cuticular y diferencias en la densidad estomática.

TUPAYACHI, A. (2005) realiza un estudio de La Cordillera de Vilcanota, considerado como el centro de diversidad específica para *Polylepis* con 6 especies de las 10 consideradas para el Perú. En donde su composición varía con la altitud, por encima de 3700 hasta la línea de la nieve está poblado por *Polylepis subsericans*, entre los 3700 a los 4200 m domina por *Polylepis besseri* y *P. racemosa* y en la línea altitudinal más baja de los 3600 a 3700 m se encuentran *Polylepis microphylla*.

GALIANO, W. (1992) Considera a los bosques aislados de *Polylepis* de la Cordillera de Vilcanota, como los árboles que alcanzan el más alto límite altitudinal en el mundo y como base fundamental para el ecodesarrollo.

GALIANO, W. (1990) Estudia la Flora del Bosque de Yanacocha, Provincia de Urubamba, Cusco. Reporta 96 Familias, 270 géneros y 510 taxones específicos e infra específicos con Claves para cada familia y una breve descripción de todos los taxones, se discute también la comparación con flóculas de otras zonas altoandinas.

LAO, R. *et al.* (1990) Realiza una breve revisión de las especies del género *Polylepis*, a través de recopilación de información bibliográfica, trabajo de observación de especímenes de herbario (Universidad Nacional Agraria La Molina y Universidad Nacional Mayor de San Marcos), con la finalidad de usarlos en la reforestación de la Sierra del Perú. Presentando la descripción de 10 especies

consideradas en el estudio de Simpson (1979), y un mapa de la distribución de las especies descritas.

SIMPSON, B. (1979) Realiza una revisión del genero *Polylepis* en los Andes Tropicales, analizando su morfología, anatomía foliar, morfología del polen, ecología y la relación entre poblaciones, reagrupándolos de acuerdo a sus características en 15 especies con una clave de identificación.

1.2 Marco teórico

La formación de bosques de *Polylepis* constituye la asociación arbórea más importante de Altas montañas Tropicales Andinas, el género *Polylepis* es un grupo muy importante de arbustos y árboles de la Familia Rosaceae, distribuidos en la parte boreal y media de los Andes de América del Sur (Hueck, 1972).

El género *Polylepis* es endémico de los Andes y tiene una amplia distribución a través de la cadena de los Andes hacia el Norte y hacia el sur, el rango de distribución de las especies es desde el Norte de Venezuela, pasando por Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia hasta el norte Chileno y noreste de Argentina.

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3.500 m y 4.400(-5.000) m. Las aproximadamente 28 especies del género ocupan una gran variedad de hábitats, desde el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del Altiplano. Sin embargo, durante milenios las actividades humanas en los Andes han destruido a más del 95% de estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística (Kessler, 2006).

En áreas altoandinas del valle sagrado de los Incas, los bosques de *Polylepis*, se encuentran en promedio desde los 3700 m de altitud hasta las zonas perinivales, en forma desfragmentada obedeciendo a la topografía caracterizada por crestas rocosa, al borde de las lagunas altoandinas entre talos y bordes rocosos, ascendiendo a pendientes superiores a 60%, presentando una densidad relativa entre los individuos arbóreos, altura y un grado de desarrollo que alcanzan en diámetro presentando

interacción con la fauna, haciendo unos ecosistemas muy peculiares y sobresalientes en los Andes y únicos en el mundo, por ello se ha nombrado a *Polylepis* como el género arbóreo de dicotiledóneas que ocurren a mayor altura de forma natural en el mundo (Wardle, 1971).

Los bosques de *Polylepis* del valle del Vilcanota correspondiente al Valle Sagrado, constituyen una de las más grandes concentraciones poblacionales y el mayor centro de diversidad genética de los andes con 06 especies para el territorio nacional, siendo *Polylepis besseri*, *P. racemosa*, *P. subsericans*, *P. pauta*, *P. seríceo* y *P. microphylla*.

Las especies de *Polylepis* (queuñas), son arbustos o árboles usualmente nudosos, que derivan de la acepción quechua (Q'ewe o Q'ewiña), que significa retorcido, aludiendo a las características de sus tallos delgados y gruesos, retorcidos con ramajes decumbentes, pero con excepción de algunos individuos distribuidos en pequeñas quebradas alejadas e inaccesibles donde los árboles alcanzan hasta los 18 o 20 metros de altura, hojas siempre verdes que alternan con ramas muertas decumbentes del dosel, la corteza es muy gruesa con producciones laminares denominadas ritidomas , con funciones protectoras muy especialmente a bajas temperaturas.

La polinización por el viento fue un evento evolutivo útil en la adaptación a las tierras montañosas donde los insectos son escasos en áreas más templadas. El Largo de la corteza de *Polylepis* tiene una importante función de protección contra el fuego y de aislamiento contra el frío y heladas nocturnas (Hensen, 1991).

El género *Polylepis* se caracteriza por una polinización anemófila y por sus frutos secos. En su mayoría árboles de 5-10 m altura, pero también con algunas especies comúnmente arbustivas y otras que llegan a superar los 25 m. Los análisis filogenéticos sugieren que *Polylepis* evolucionó en dirección a especies con hojas más gruesas, reducción del número de folíolos, desarrollo de una corteza más gruesa cubierta de ritidomas e inflorescencias reducidas con pequeñas flores. Todas estas son adaptaciones a los hábitats fríos y áridos de los altos Andes. Es muy probable, que la evolución del género haya sido dominada por las marcadas fluctuaciones climáticas durante el período pleistocénico, forzando a las especies a migrar repetidamente a localidad con condiciones ecológicas favorables, así como fragmentando las distribuciones de especies (Kessler, 2006).

Las condiciones ecológicas de los bosques de *Polylepis* se pueden caracterizar principalmente en relación a condiciones de temperatura, humedad y suelos. Debido a su localización a grandes elevaciones en los Andes, los bosques de *Polylepis* están sujetos a amplias fluctuaciones diurnas de temperatura, comúnmente con diferencias de 20-30°C entre las temperaturas máximas del día y las heladas nocturnas. Estas fluctuaciones representan un estrés enorme para las plantas. Sobre todo a altitudes por encima de los 4.000 m, la gran mayoría de las especies muestra adaptaciones a temperaturas bajas. Estas pueden ser morfológicas como las gruesas cortezas de *Polylepis* y el crecimiento en cojines en *Azorella* o fisiológicas como la resistencia al congelamiento que también se observa en *Polylepis* (Goldstein *et al.* 1994; Körner 1999; Hoch & Körner, 2005).

Las condiciones semiáridas a áridas de gran parte de los bosques de *Polylepis* también conllevan a adaptaciones especiales de las plantas. En la época seca, que coincide con la época relativamente más fría, muchas plantas se encuentran en estados inactivos, sobreviviendo como semillas (plantas anuales), bulbos o rizomas subterráneos (geófitos, incluyendo especies de *Solanum*, *Oxalis*, *Ullucus* y *Tropaeolum*) o al menos no mostrando crecimiento (muchos arbustos). Las plantas suculentas son raras en bosques de *Polylepis*, ya que las amplias reservas de agua de éstas son muy susceptibles al congelamiento. En el caso de *Polylepis*, el crecimiento vegetativo tiene lugar sobre todo en la época húmeda y relativamente caliente, mientras que la floración ocurre principalmente en la época seca y fría (Kessler, 2006).

Los bosques andinos de *Polylepis* (Rosaceae) crecen en rodales aislados y desconectados de los bosques montanos a menor altitud. Ha habido una amplia discusión sobre el rol de los factores ambientales y antropogénicos que causan esta distribución fragmentada de los bosques de *Polylepis*, pero la importancia de diferentes factores no está todavía clara. Las especies de las zonas altas presentan hojas de tamaño reducido e incremento en la abundancia de ápices radiculares en comparación con las especies de las zonas más bajas. Estas características parecen haber desempeñado un rol importante en la evolución de las especies y en la adaptación a los hábitats de mayor altitud, especialmente a temperaturas bajas. Asimismo, se presenta una tasa reducida de fotosíntesis en las especies de las zonas altas en comparación con las especies de las zonas más bajas. Esto apoya la hipótesis de limitación de adquisición de carbono en el límite altitudinal arbóreo.

Los bosques de *Polylepis* son ecosistemas que contienen fauna y flora única, son el hábitat de una diversidad de especies endémicas. La fauna asociada a estos bosques depende básicamente de la disponibilidad de alimento y de la interacción de las comunidades de flora y fauna, donde las poblaciones de artrópodos cumplen funciones imprescindibles dentro del ciclo natural del bosque (Oróz, 2005).

Los bosques de *Polylepis* son vitales para la protección del suelo contra el proceso de la erosión, retienen los nutrientes y sedimentos y producen una cantidad vital de oxígeno. Estos bosques representan uno de los hábitats más vulnerables de los altos Andes debido a una actividad antropogénica donde las comunidades campesinas cercanas lo emplean como fuente energética, para la construcción de los techos de sus viviendas, cercado, delimitación de canchas. Los bosques de queuña también son empleados para el pastoreo de animales domésticos con el consiguiente deterioro y muerte de los brinzales (plántulas) de queuña (Simpson, 1979)

1.3 Aspectos Generales del Género *Polylepis*

1.3.1 Género *Polylepis*.

En los Andes Peruanos se registran un total de 19 especies del género *Polylepis*, que representa más del 70 % de las 27 especies registradas en todos los Andes, superando a Bolivia que tiene el 40 % y Ecuador el 25 %. El centro de diversificación del género *Polylepis* serían los Andes del sur del Perú, donde se registran 15 especies, siendo la Región de Cusco con mayor riqueza de especies, con un total de 10 especies, seguido por Ayacucho con 8. Luego Ancash, Junín y Lima con 6, Apurímac con 5 y Puno con 4 (Mendoza & Cano, 2011).

1.3.2 Ubicación Taxonómica, Descripción y distribución

De acuerdo al sistema de clasificación APG III (Angiosperm Phylogeny Group) o del grupo para la filogenia de las angiospermas (APG III, 2009), las ubicaciones taxonómicas para las especies en estudio son:

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Super Orden: Rosanae Takht.

Orden: Rosales Bercht. & J. Presl.

Familia: Rosaceae Juss.

Género: *Polylepis* Ruiz & Pav.

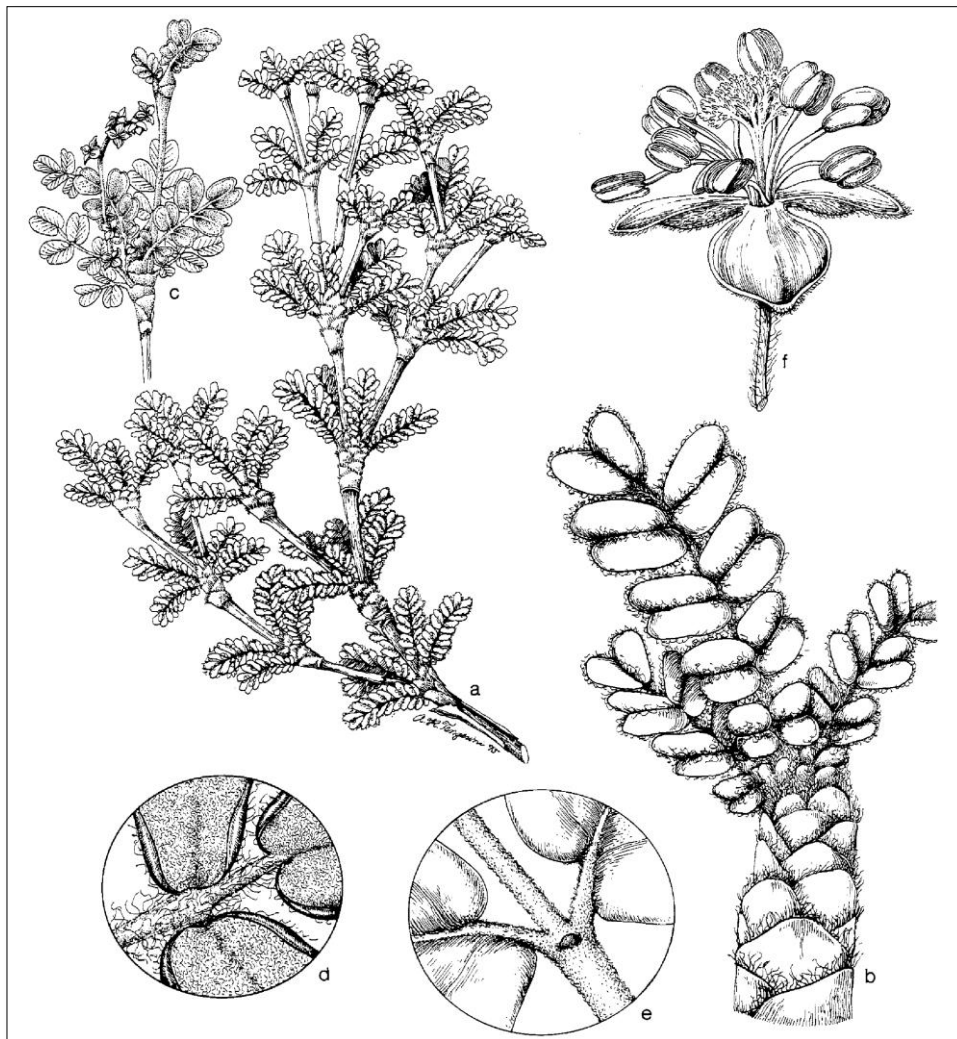
Especies: *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter

Polylepis racemosa Ruiz & Pav.

Polylepis subsericans J.F. Macbr.

1.3.2.1 *Polylepis. microphylla* (Wedd.) Bitter (Simpson, 1979)

Arbustos o arboles pequeños de hasta 1.5 metros de alto. Hojas muy congestionadas al final de las ramas, algunas veces produciendo una apariencia de espiral, imparipinnadas con 3-5 pares de foliolos, obtulado en los bordes, de 0.9 – 2.4 cm de ancho, 1.5 – 5.0 cm de largo, raquis densamente lanoso o lanoso con tricomas glandulares rojo oscuro. Punto de unión de las hojas con mechones de tricomas glandulares multicelulares, vaina de la estipula con espuelas pequeñas y obtusas, afuera de la superficie glabro y debajo de la superficie con tricomas suaves rectos y largos sobresaliendo. Foliolos ovados u obovados, primer (raramente el segundo) par del ápice más largo, uno de estos pares 0.4 – 0.9 cm de ancho, 0.4 – 1.6 cm de largo, márgenes revolutos, ápice fuertemente emarginado, base desigual y cordada, superficie adaxial nítida, rugosa, o pilosa, particularmente en la depresión de la vena media, superficie abaxial panosa. Inflorescencias péndulas, 2.1 - 5.4 cm de largo, con 3 – 7 flores agrupadas en el extremo final, brácteas florales pequeñas, 0.1 -0.2 cm de largo, lanoso o escarioso; raquis lanoso. Flores perfectas, 0.4 – 0.6 cm de diámetro, cuatro sépalos, ovado, seríceo-lanoso en la superficie externa, 6 -16 estambres, morados, lóculos barbados a glabros, base del estilo piloso. Frutos globosos en el contorno, irregularmente espinado, las espinas aplanadas, cuerpo del fruto y espinas con vellos cortos, aproximadamente 0.29 – 0.57 cm de ancho incluyendo espinas, 0.31 – 0.65 cm de largo.



Fuente: Simpson, 1979

Figura 1. *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.: a. Rama joven (0.5 X); b. Grupo de hojas jóvenes (3 X); c. Grupo de hojas maduras (5 X); d. Superficie abaxial de la base de foliolos (6 X), e. Superficie adaxial de la base de foliolos (6 X), d. Flor (6 X).



Figura 2. *Polylepis. microphylla* (Wedd.) Bitter.

Fuente: S. Arroyo A

1.3.2.2 *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. (Simpson, 1979)

Arboles de 4-15 metros de alto. Hojas congestionadas al final de las ramas, imparipinnadas con 1 – 3 pares de foliolos, romboide o obtulado por el borde, 2.3 – 5.0 cm de ancho y 3.5 – 8.8 cm de largo, raquis pilosos, especialmente a lo largo de la línea en la superficie adaxial cerca de la base de la hoja y extendiéndose hacia adentro de la estipula; en el punto de unión de la hoja con un mechón de tricomas rectos, largos y blancos. Foliolos de forma obovada a oblongos, el segundo par de foliolos terminales más largo cuando presentes, siendo de 0.7 a 0.6 cm de ancho y 2.1 – 3.7 cm de largo, márgenes crenados, especialmente en el ápice, el cual es suavemente emarginado, base atenuada o desigual. La superficie del foliolo es glabra, de color verde oscuro, algunas veces con

tricomas dispersos en la depresión de la vena media. La parte abaxial de la hoja con tricomas largos y abundantes insertados en las venas y ligeramente en la superficie, siendo estos tricomas mixtos en variable número entre cortos, retorcidos, multicelulares, a veces glandulares. Inflorescencias colgantes, 4.0 a 11 cm de largo, con 3 – 11 flores, brácteas lanceoladas de 3 mm de largo, con dispersos y retorcidos tricomas. Flores perfectas, 0.9 – 1.0 cm de diámetro, con 4 sépalos, ovados, superficie externa piloso especialmente en el ápice de la superficie interna, siempre con tricomas glandulares multicelulares, estambres de 10 a 20, anteras orbiculares. Frutos turbinados, con 4 – 5 alas irregulares aplanadas proyectándose hacia la parte externa, cuerpo del fruto cubierto de tricomas blancos mezclados con tricomas multicelulares glandulares.



Figura 3. *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. Fuente: S. Arroyo A

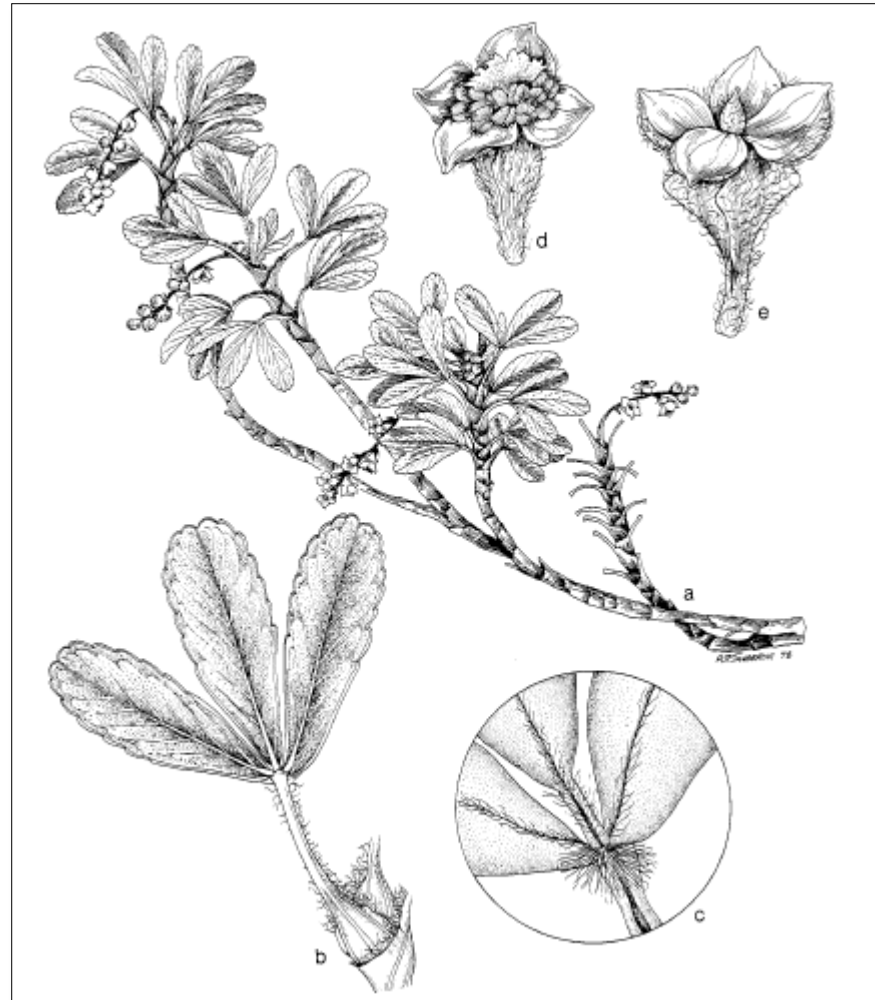


Figura 4. *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.: a. Rama (0.5 X); b. Hoja, superficie abaxial (1.5 X), c. Punto de unión de la hoja, parte adaxial (6 X), d. Flor (4.5 X), e. Fruto (4.5 X). Fuente: Simpson, 1979

1.3.2.3 *Polylepis subsericans* J.F. Macbr (Simpson, 1979)

Arboles de 8 metros de alto. Hojas congestionadas al final de las ramas, imparipinnadas con un par de foliolos, de 1.7 – 3.3 cm de ancho, 3.1 – 3.4 cm de largo, raquis pilosos con tricomas dispersos multicelulares y glandulares. Punto de unión de las hojas con pequeños o largos mechones de tricomas rectos y unicelulares. Folíolos obovados 0.5 a 0.7 cm de ancho y 1.7 a 2.0 cm de largo, márgenes suavemente revolutos, mas o menos entero o suavemente crenado hacia el ápice, el cual es ligeramente emarginado con tricomas. Inflorescencias colgantes de 3 – 4 cm de largo con 3 – 4 flores, brácteas lanceoladas, piloso en la superficie externa, raquis piloso. Flores perfectas con 0.8 cm en diámetro, sépalos cuatro ovados, superficie externa pilosa con tricomas multicelulares extendiéndose hacia el ápice. Estambres de 12 a 13, moradas, cubiertos con tricomas largos y transparentes, base del estilo seríceo. Frutos más o menos cilíndricos con irregulares espinas aplanadas.

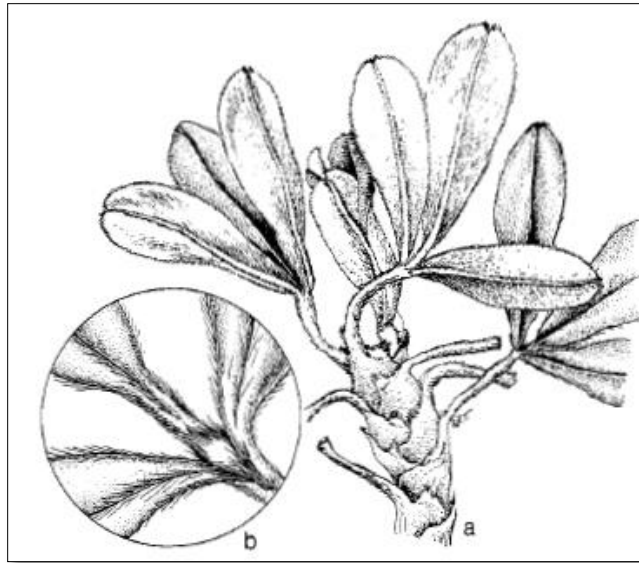


Figura 5. *Polylepis subsericans* J.F. Macbr.: a. Punta de la rama (1.5 X); b. Punto de unión de la hoja, parte adaxial (6 X). Fuente: Simpson, 1979



Figura 6. *Polylepis subsericans* J.F. Macbr. A. Rama con Inflorescencias, B. Hojas. Fuente: S. Arroyo A

1.3.3 La Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas convierten la energía luminosa en energía química en forma de enlaces químicos y es la base de todas las cadenas alimenticias de las que depende la vida animal y humana (González *et al.*, 2008). La tasa de fotosíntesis de una hoja depende de más de 50 reacciones individuales, cada una de las cuales presenta su propia respuesta a cada variable ambiental. Esta tasa fotosintética puede variar debido a variaciones naturales de factores ambientales como la luz y la temperatura (Azcon-Bieto, 2008).

Los cloroplastos (Figura 7) son unos orgánulos capaces de sintetizar azúcares a partir de dióxido de carbono, agua y luz solar, es decir, realizan la fotosíntesis. Tienen forma de disco, de entre cuatro y seis micrómetros de diámetro. Aparecen en mayor cantidad en las células de las hojas, lugar en el cual parece que pueden orientarse hacia la luz (Pérez, 2000).

La fotosíntesis tiene lugar en los cloroplastos y se lleva a cabo gracias a las moléculas de clorofila. Las propiedades de la clorofila permiten que se produzcan reacciones de oxidoreducción (redox) en las membranas tilacoidales para obtener finalmente NADPH y ATP, es decir, energía y poder reductor, que serán utilizados posteriormente para la fijación de dióxido de carbono (Arnon, 1992).

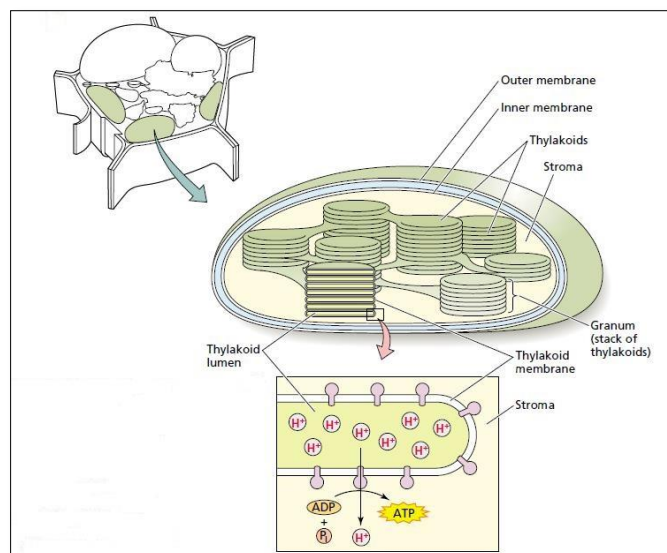


Figura 7. Diagrama de un cloroplasto mostrando la ubicación de H^+ -ATPasas en las membranas de los tilacoides. (Taiz & Zeiger, 2002).

1.3.3.1 Fluorescencia

En la fotosíntesis parte de la energía absorbida es transferida como energía de excitación y atrapada por el centro de reacción, en donde es utilizada para hacer trabajo químicamente útil, y la otra parte es disipada principalmente como calor y en menor grado reemitida como energía luminosa de menor energía (fluorescencia) (Figura 8). Esta distribución de la energía en los tres procesos ocurre simultáneamente, de tal forma que el incremento en la eficiencia de uno de ellos, resultará en la disminución de los otros dos (Figura 9). Por lo tanto, a través de la medición del rendimiento de la fluorescencia de la clorofila se puede obtener información de la eficiencia fotoquímica y la disipación térmica de la energía absorbida (González *et al.*, 2008).

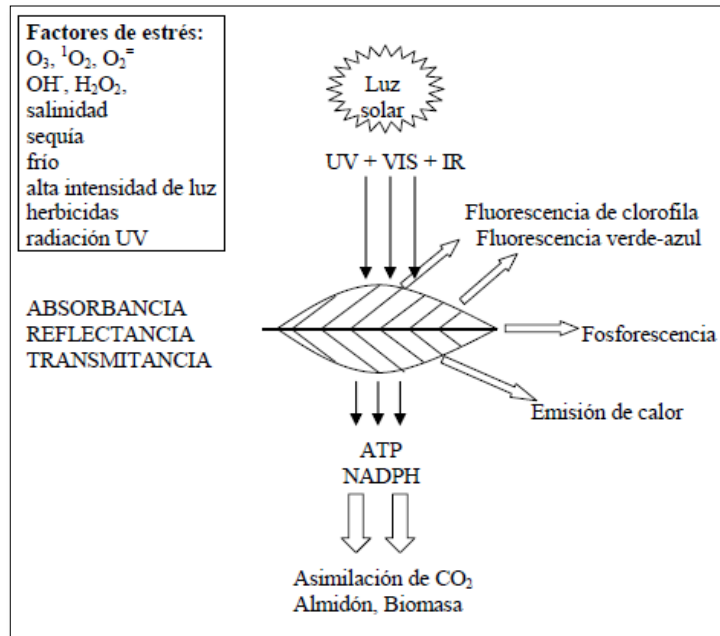


Figura 8. Mecanismos que desarrollan las hojas para disipar el exceso de flujo de energía fotónica que recibe. Se incluyen también algunas sustancias y situaciones inductoras de estrés. (Pérez, 2000).

La fluorescencia emitida por la Clorofila a de las plantas refleja la actividad fotosintética (Figura 9), por lo que su medición constituye una herramienta poderosa en fisiología, ya que es, en la práctica, uno de los pocos métodos no destructivos para el análisis de muchos fenómenos (Krause y Weis, 1984).

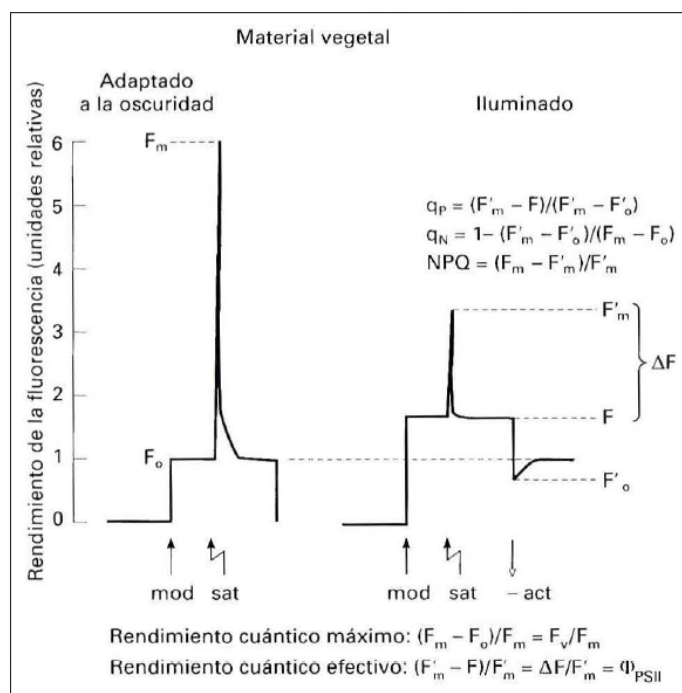


Figura 9. Cinética de la fluorescencia en hojas adaptadas a la oscuridad e iluminadas. Definición de coeficientes de quenching y ecuaciones útiles derivadas de los parámetros de fluorescencia. Material vegetal: hojas, mod: luz modulada de medida, sat: pulso saturante de luz, act: luz actínica. (Azcon – Bieto, 2008).

1.3.3.2 Respuestas de las Plantas ante los Factores Abióticos.

A pesar de que las reacciones químicas que convierten la luz solar en energía química tienen un gran rendimiento, la capacidad de estas reacciones es limitada. Por lo tanto, las plantas suelen absorber más energía luminosa que la que puede ser utilizada en la fotosíntesis. Sin embargo, numerosos factores ambientales pueden limitar la capacidad de las plantas para utilizar la energía que proviene de la luz (Pérez, 2000).

La Luz Solar

El ambiente luminoso al que se encuentran expuestas las plantas afecta a su crecimiento y desarrollo, y determina su morfología foliar y su fisiología, hasta el punto de que únicamente sobreviven las plantas cuya fotosíntesis está adaptada a dichas condiciones de luz. Cabe diferenciar dos tipos de adaptaciones: la de las plantas de sol (o heliófilas) y la de las plantas de sombra (o esciófilas). También existen adaptaciones en los árboles; así, en un mismo árbol hay hojas de sol y de sombra, que corresponden a emplazamientos soleados o sombreados, respectivamente (Azcon – Bieto, 2008).

Las hojas crecidas en condiciones de luz débil (hojas de sombra), aunque normalmente pueden tener mayor superficie que las desarrolladas con una luz intensa (hojas de sol), son más delgadas porque poseen menos capas de células del mesófilo en empalizada, células más cortas, y menor peso por unidad de área foliar (Fig. 10). En las hojas de sol la epidermis, el mesófilo esponjoso y los sistemas vasculares están más desarrollados. También existen diferencias en el aparato fotosintético: las hojas de sombra poseen más grana por cloroplasto y un mayor número de tilacoides apilados por grana que las de sol (Azcon – Bieto, 2008).

.

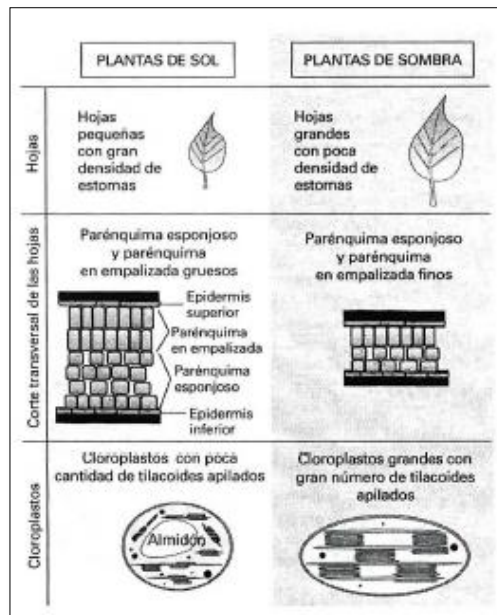


Figura 10. Algunas características de las hojas de plantas de sol y sombra (Azcon – Bieto, 2008).

Las hojas más gruesas de las plantas de sol poseen mayor contenido de clorofila total y carotenos por unidad de área, mientras que las de sombra, más finas y con un peso seco relativamente bajo, contienen más clorofilas por unidad de peso fresco o peso seco, en especial clorofila *b* (Azcon – Bieto, 2008).

A menudo, en la naturaleza la absorción de energía luminosa en las superficies foliares es superior a su capacidad fotosintética, lo que origina un estado de exceso de reducción de los transportadores de la cadena de electrones y una acumulación de energía de excitación no disipada en las antenas asociadas a los centros de reacción. Como consecuencia, la fotoinhibición se favorece y, también, la reducción directa del O_2 por la cadena de transporte de electrones y la posterior

formación de especies activadas de oxígeno (ion superóxido, peróxido de hidrógeno, etc.), que pueden provocar en último término un deterioro fotooxidativo, especialmente del PSII (Azcon-Bieto, 2008).

Cuadro 1. Diferencias entre plantas adaptadas a condiciones de sol y sombra (Azcon – Bieto, 2008).

RASGOS	SOL	SOMBRA
RESPUESTA FOTOSINTÉTICA A LA LUZ		
Tasa de saturación a la luz	Alta	Baja
Irradiancia de saturación (PPFD)	Alta	Baja
Irradiancia de compensación (PPFD)	Alta	Baja
BIOQUIMICA		
Contenido de N, Rubisco y Proteína soluble/masa	Alto	Ligeramente
% Clorofila a/ Clorofila b	Alto	Bajo
% Clorofila/proteína soluble	Bajo	Alto
ANATOMIA Y ULTRAESTRUCTURA		
Tamaño del cloroplasto	Pequeño	Grande
Tilacoide/grana	Bajo	Alto
MORFOLOGIA		
Masa de la hoja/área	Alto	Bajo
Grosor de hoja	Grande	Pequeño
Tamaño de los estomas	Pequeño	Grande
Densidad estomática	Elevada	Baja
% Mesófilo en empalizada/Mesófilo esponjoso	Alto	Bajo
% área del Mesófilo/área foliar	Alto	Bajo
Orientación de la hoja	Erecta	Horizontal
DEL DOSEL		
Índice de área foliar	De alto a bajo	Bajo
Filotaxis	Espiral	Dística
Orientación de las ramas	Erecta	+/- Horizontal
Asimetría de la base foliar	Casi nunca	Infrecuente
DE LA PLANTA		
Partición fraccional en hojas	Baja	Alta
Partición fraccional en raíces	Elevada	Baja
Esfuerzo reproductivo	Elevado	Bajo

Diversos procesos constituyen formas de disipación de energía de excitación: fotoquímicas y no fotoquímicas, los procesos no fotoquímicos consisten principalmente en la disipación térmica (no radiante) de la energía de excitación. Cierta cantidad de la energía luminosa absorbida por las clorofilas se disipa en forma de fluorescencia. Es decir, la energía de los fotones absorbidos se distribuye entre estos tres procesos disipativos, que compiten entre sí. La emisión de fluorescencia constituye una fracción pequeña (3-4%) de la energía total disipada, pero su medida puede servir para conocer la eficiencia de la conversión de energía radiante, ya que los cambios en la cantidad de energía utilizada por los otros procesos da lugar a cambios en la fluorescencia debido a la mencionada competencia entre todos ellos. La fluorescencia se origina casi exclusivamente en el PSII, de modo que los cambios de esta radiación reflejan el estado de dicho fotosistema. Por medio de mediciones rápidas y no destructivas, la emisión de fluorescencia puede ser analizada y evaluada cuantitativamente, lo que proporciona información sobre la tasa de transporte de electrones, el rendimiento cuántico y la existencia de fotoinhibición de la fotosíntesis. Los fluorómetros utilizados para dichas medidas de la fluorescencia son aparatos portátiles o semi portátiles y de bajo consumo, ideales para mediciones *in situ*; y son muy utilizados en estudios ecofisiológicos sobre los factores de estrés que afectan a la foto síntesis, constituyendo una alternativa a los métodos de intercambio de gases (Azcon – Bieto, 2008).

Temperatura

La fotosíntesis puede operar en un amplio rango de temperaturas, las plantas viven y realizan la fotosíntesis en una gran variedad de hábitats que presentan grandes diferencias en sus regímenes térmicos. A ello hay que añadir las fluctuaciones diarias y anuales que presenta la temperatura en estos hábitats. La temperatura de la planta, como organismo poiquiloterma que es, está estrechamente relacionada con la temperatura ambiental. Ello significa que la fotosíntesis deberá enfrentarse con ese amplio rango de temperaturas, así, se encontrará actividad fotosintética próxima a los 0°C en plantas alpinas, y cercana a los 50 °C en algunas especies de desiertos cálidos (Azcon – Bieto, 2008).

Existe una importante variabilidad entre las temperaturas óptima, máxima y mínima en las diferentes especies. Así, cabe destacar que el rango óptimo abarca de 15 a 30 °C para la mayoría de las especies C3, pero las plantas de sombra y las especies que florecen al principio de la primavera tienen un rango óptimo entre 10 y 20 °C; las plantas de sol entre 25 y 35 °C; algunos arbustos de desierto, hasta por encima de 40 °C, mientras que muchas plantas C4 siguen fotosintetizando bien a temperaturas superiores a 40 °C (Azcon - Bieto, 2008).

.

También es variable la temperatura máxima, que podríamos calificar de punto de compensación de calor: con temperaturas altas, la fotosíntesis bruta se reduce rápidamente y la respiración y la fotorrespiración aumentan con gran velocidad, hasta llegar a un punto en que todo el CO₂ asimilado es liberado de nuevo; más allá de este punto, que oscila entre los 40 y los 60 °C, según se trate de plantas leñosas o herbáceas, se observa una emisión neta de CO₂ a la luz. La causa de la reducción de la fotosíntesis bruta a elevada temperatura todavía no se conoce bien: en primer lugar está la pérdida de funcionalidad que debe sufrir la rubisco, como cualquier otra enzima, al aumentar la temperatura (proceso de desnaturalización de las proteínas). De hecho, la capacidad para aclimatare a una cierta temperatura suele ser la principal característica de la adaptación genotípica; así, las plantas de hábitats fríos aclimatan su fotosíntesis mucho más rápidamente y mejor a las temperaturas bajas que aquellas plantas de la misma especie procedentes de hábitats más cálidos, y viceversa (Azcon-Bieto, 2008).

Estrés Hídrico

El estrés hídrico se puede referir al déficit o al exceso de agua (inundaciones). Aquí nos referimos al estrés por déficit hídrico. Los conceptos sequía y déficit hídrico pueden conducir a equívocos conceptuales; sequía se refiere a una condición meteorológica de

ausencia de lluvias y que puede ser tolerada por todas las plantas que la sobreviven (Yepes, 2001).

Déficit hídrico se refiere a que el contenido de agua de un tejido o célula está abajo del contenido de agua más alto, exhibido en el estado de mayor hidratación (Taiz & Zeiger 2009).

Las condiciones de sequía o potenciales hídricos bajos en el ambiente de una planta proporcionan una fuerza conducente a la pérdida de agua. Para resistir estas condiciones, las plantas han creado diferentes estrategias por medio de la evitación y de la tolerancia (Levitt, 1980).

La productividad de las plantas depende de la cantidad disponible de agua y de la eficiencia del organismo en el uso de ella. El agua puede limitar el crecimiento y la productividad de plantas mesófitas, debido a periodos secos inesperados o a una situación de lluvia baja, lo que hace necesario el riego adicional. Dentro de las estrategias de aclimatación al déficit hídrico, está la inhibición de la expansión foliar, aumento de la profundización de las raíces, abscisión foliar y cierre estomático. En las actividades dependientes de la turgencia celular, la expansión foliar y el alongamiento radicular son los más sensibles al déficit hídrico. En un periodo de sequía, la parte aérea de una planta continuará creciendo hasta que la absorción de agua por los pelos absorbentes de la raíz se torne limitante. La disminución

del contenido de agua en las hojas genera una disminución del volumen celular, de la presión de turgencia, esto promueve que las paredes celulares se aflojen, disminuyendo la expansión foliar. La relación de biomasa raíz: parte aérea, parece estar gobernada por un balance entre el agua absorbida por las raíces y la fotosíntesis de la parte aérea. Esto significa que los productos fotosintéticos que no son usados para el crecimiento foliar son acumulados en las extremidades de las raíces que crecen en busca de agua (Taiz & Zeiger 2002, Lambers 2008, Salisbury & Ross 2000).

El área foliar de las plantas va cambiando una vez sus hojas alcanzan la madurez. Si la planta sufre un estrés hídrico después que su área foliar se ha desarrollado, la planta pierde hojas, en gran parte, debido a la síntesis y sensibilidad al etileno. Una de las respuestas encontradas ante eventos de estrés hídrico es el aumento de la concentración de ácido abscísico (ABA) en hojas, comparado con las raíces, de manera que esta hormona promueve el cierre estomático, mientras disminuye la transpiración y mejora la eficiencia del uso del agua (Yepes, 2011).

CAPITULO II

AREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación Política

El presente estudio se encuentra en la Localidad de Yanacocha, Distrito de Huayllabamba, Provincia de Urubamba, Región Cusco.

2.2 Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación, comprende territorialmente la microcuenca de Wayoqhari – Yanacocha que pertenece al Distrito de Huayllabamba.

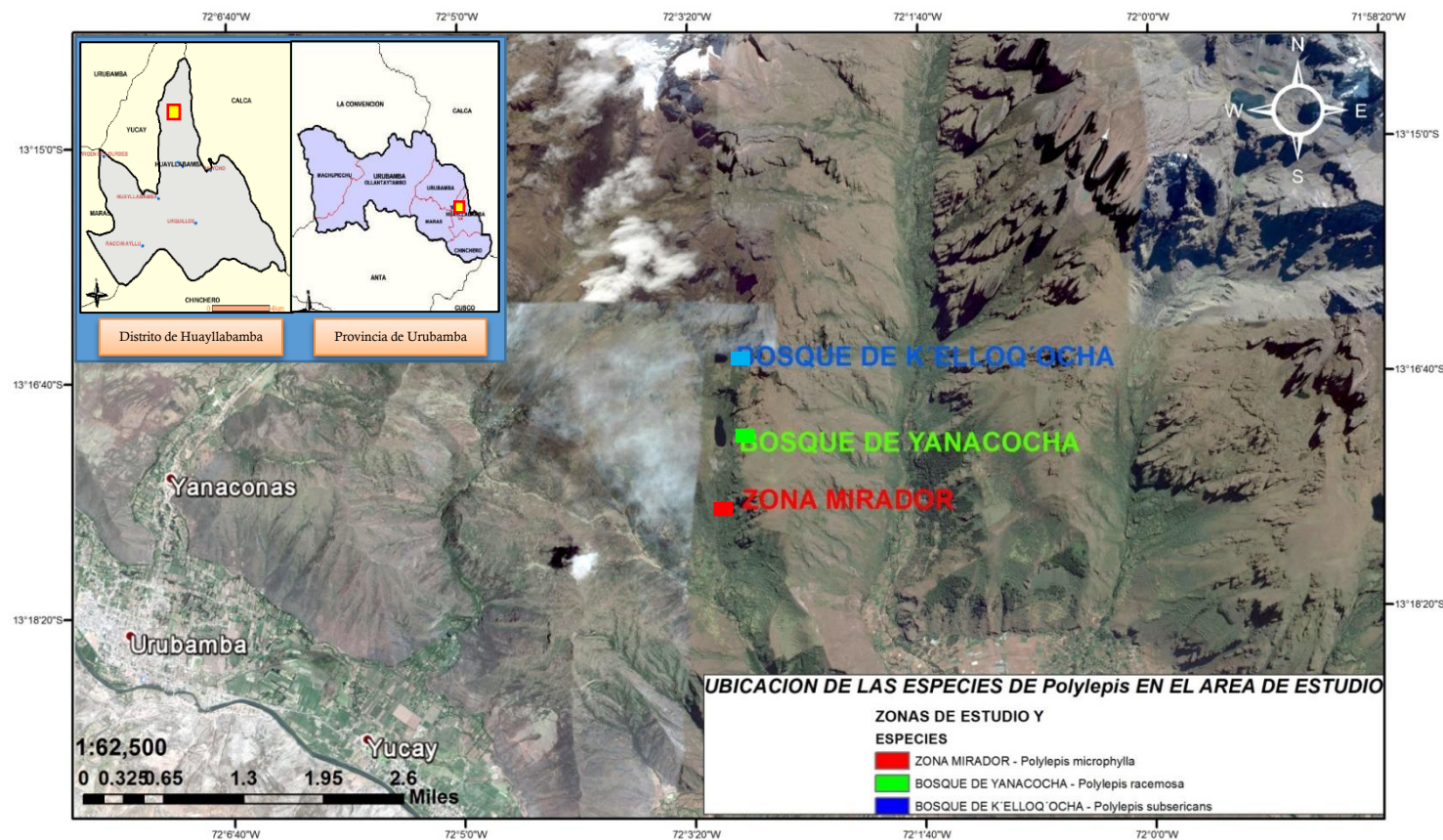
Cuadro 2. Ubicación Geografía de los bosques de estudio.

DISTRITO	MICROCUENCA	BOSQUE	COORDENADAS GEOGRAFICAS	ALTITUD (m.s.n.m)
Urubamba	Wayoqhari - Yanacocha	K'elloq'ocha	S 13°14'34.9'' W 72°01'13.4''	4343 m
Urubamba	Wayoqhari – Yanacocha	Yanacocha	S 13°17'8.13'' W 72° 2'58.25''	3965 m
Urubamba	Wayoqhari - Yanacocha	Mirador	S 13°17'54.42'' W 72° 2'35.46''	3564 m

2.3 Descripción de cada Bosque.

Bosque de Yanacocha.- Ubicado a 10 Kilómetros al Norte del poblado de Huayocari, en el Distrito de Huayllabamba, Provincia de Urubamba. Coordenadas S 13°17'8.13'' W 72° 2'58.25'' y a una altura de 3965 m.s.n.m.

MAPA DE UBICACION DE LAS ZONAS DE ESTUDIO URUBAMBA - CUSCO



Bosque de K'elloqocha.- Ubicado a 12 Kilómetros al Norte del poblado de Huayocari, y a una hora y media del bosque de Yanacocha, en el Distrito de Huayllabamba, Provincia de Urubamba, Coordenadas S 13°14'34.9" W 72°01'13.4"y a una altura de 4343 m.s.n.m.

Zona Mirador.- Ubicado a 10 Kilómetros al Norte del poblado de Huayocari, en el Distrito de Huayllabamba, Provincia de Urubamba, Coordenadas S 13°17'54.42" W 72° 2'35.46"y a una altura de 3564 m.s.n.m.

2.4 Accesibilidad

El acceso al área de evaluación es por la carretera asfaltada Cusco – Urubamba, con un desvío al pueblo de Huayocari,

El recorrido empieza en el centro poblado de Huayocari, se realiza una caminata de aproximadamente dos horas llegando a la Zona de Mirador, se continua cuatro horas más de caminata hasta llegar a la laguna de Yanacocha, posteriormente de allí a una hora de caminata cuesta arriba se llega a la Laguna de K'elloqocha, siendo un total de 7 horas para llegar a este bosque.

2.5 Geología.

La zona de estudio pertenece a la unidad morfológica conocida como Cordillera Oriental cuyas partes elevadas frecuentemente se hallan con glaciares las que muestran evidencias de antiguas glaciaciones. A continuación se describe la estratificación local de la microcuenca de Wayoqhari - Yanacocha, que fue

registrado por Kalafatovich (1956) y Carlotto *et al.* (1996), de la más antigua a la más reciente:

B.1. Grupo Mitu: Pérmico Superior – Triásico Inferior.

Aflora en la parte alta de la quebrada desde los 3200 m hasta los 4400 m se presenta casi de gran espesor en forma masiva y en paquetes volcánicos de gran espesor. Las rocas volcánicas, tobas y coladas son de color rojo violeta.

B.2. Formación Puquin: Senoniano – Maestrichtiano (Cretácico Superior)

Aflora en la parte media de la quebrada y en ambos márgenes de la misma. Las secuencias basales están compuestas por calizas, magras y lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita, mientras que la parte media y superior por lutitas verdes y rojas asociadas a yesos laminares, nodulosos y en malla.

B.3- Formación Quilque y Chilca.- Paleozoico inferior al Paleozoico Superior. Eoceno inferior.

Aflora en la parte media de la quebrada, entre los 3200 m de altitud, son formaciones de poco espesor, hacia la base se tiene la formación Quilque compuesta por lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados. Los blancos arenos – conglomerados presentan laminaciones oblicuas curvas. La formación Chilca se encuentra en la parte superior y está constituido por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas, que pasan gradualmente areniscas rojas feldespáticas.

B.4. Grupo San Jerónimo: Eoceno medio – Oligoceno inferior.

Aflora en la parte baja de la microcuenca, desde los 3200 m de altitud, hasta la desembocadura de la misma en el río Urubamba. Este grupo está formado por la formación kayra y Soncco, que forman en conjunto constituido por areniscas feldespáticas intercalados con niveles de lutitas rojas y micro conglomerados con clastos y cuarcíticas (formación Kayra); mientras que la formación Soncco en su parte inferior presenta lutitas rojas intercaladas con areniscas finas y mineralización de cobre. La parte superior de esta formación está compuesta por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos.

B.5. Depósitos aluviales: Cuaternario.

Están constituidos por clastos y bloques de rocas volcánicas en una matriz areno – arcillosa. Se presentan en el fondo de quebrada y forman un amplio cono alude aluviales y su desembocadura en el río Urubamba.

2.6 Suelos.

Los suelos de la puna están conformados principalmente a partir de depósitos glaciares, aluviales, coluviales y material residual antiguo. La textura de los suelos de “queñuales” es de consistencia franco, con un drenaje rápido a muy rápido en las laderas, generalmente el horizonte “B” es de poca potencia, pero permite buenas condiciones edáficas y topográficas.

2.7 Recurso Hídrico.

El riachuelo se origina en las lagunas de origen glacial de Azulcocha (4400 m.s.n.m), solo temporal, cuyas aguas fluyen a K’elloqocha (4300 m.sn.m.) que

después de un corto recorrido caen abruptamente hacia las inmediaciones de la laguna de Yanacocha (3965 m) en una cascada de 25 metros observable en la estación lluviosa. De Yanacocha el riachuelo de escaso volumen recorre el valle de Wayoqhari sin llegar a Urubamba.

2.8 Característica de la zona

El clima del valle Sagrado es variado, de acuerdo a una serie de factores geográficos, tales como:

- a. **Altitud.** Uno de los efectos más notables de la altitud es la disminución de la temperatura en los ascensos, en una proporción cercana a los 0.6°C por cada 100 metros de elevación, que sería la gradiente térmica que correspondería al Sur del Perú, y por lo tanto aplicable al ámbito de estudio (De Olarte, 1991). La gradiente térmica sufre variaciones gracias a la influencia de otros factores como la exposición al sol y a los vientos, el relieve, etc.
- b. **Latitud.** Tiene una menor importancia que todos los factores geográficos pues su efecto sobre la temperatura no solo sería compensado sino superado por factores como la altitud y el relieve.
- c. **El relieve.** Tiene singular importancia como factor climático. La elevada Cadena del Vilcanota constituye una notable barrera climática que tiene una decisiva influencia en la dirección de los vientos y la distribución de las precipitaciones, en lo profundo del Valle de Urubamba, se observa una gran sequedad casi todo el año, siendo el piso de este valle un “bolsillo seco”; aun en tiempo de lluvias,

es frecuente que mientras en el fondo del valle reina un tiempo seco y soleado, las cumbres de la Cadena del Vilcanota están cubiertas de nubes y neblinas superiores a los 4000 m, existen bosques alto andinos de Q'euñas, tupidos y siempre verdes (De Olarte, 1991).

d. La exposición. En un relieve tan complejo y quebrado, como es el que nos presenta el territorio estudiado, es natural que las condiciones de exposición al sol y a los vientos varíen notablemente de un lugar a otro, las profundas quebradas y las pequeñas quebradas secundaria influyen en la cantidad de insolación y en el tiempo de exposiciones a los rayos solares a lo largo del día según su profundidad y orientación.

2.9 Zona de Vida Natural

Las zonas de vida son determinadas de acuerdo a características de biotemperatura, precipitación y evapotranspiración potencia. Además las comunidades vegetales contribuyen en la identificación de formaciones vegetales. Los bosques de *Polylepis* en los altos Andes del Valle de Urubamba (Holdridge, 1967; Galiano, 1990), se encuentran ocupando las siguientes zonas de vida:

Paramo muy húmedo Subandino Subtropical (pmh - SaS).

Esta zona de vida conocida también como puna húmeda en el sur del Perú, presenta un promedio de precipitación total anual que varía entre 640 mm y 800 mm, con una temperatura media anual entre 6° C y 3°C, es una zona de clima frío., según el Diagrama de Holdridge esta zona de vida tiene una evapotranspiración potencia que varía entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.59) del promedio de precipitación total por año. Esta zona de vida comprende los densos bosques de *Polylepis*,

ubicadas desde los 3900 hasta los 4500 m de altitud, con un sotobosque de arbustos y hierbas así como de una abundante presencia de colchones de musgos entre las rocas del piso del bosque y los troncos de los árboles, esto debido a la alta humedad reinante al interior.

Tundra pluvial Subandino Subtropical (tp-SaS)

Zona de vida que comprende al sistema ecológico del desierto frío andino de la puna húmeda, se ubica el páramo muy húmedo subalpino y subtropical y por debajo del piso Nival. Presenta un clima gélido, los suelos son mayormente rocosos por erosión de las antiguas montañas glaciares, en cuyos resquicios se encuentran una vegetación dispersa y discontinua condicionada y adaptada a la alternancia diaria de hielo-deshielo y donde *Polylepis subsericans* asciende por las lenguas de suelos crioturbados en un franco proceso de colonización hacia las crestería rocosas provocadas por erosión glaciar, altitudinalmente se encuentran por encima de los 4500m.

2.10 Clima

Según Bowman (1938) y Tosi (1960), la parte inferior del valle del Urubamba constituye una "bolsa seca" con extrema sequedad durante la mayor parte del año. La falta de precipitación en los resultados en el piso de valle hace el aire más caliente de forma ascendente en relación a la relativamente gran calor diurna, por otra parte, está influenciada por la orientación del valle, en relación con las mayores alturas de la Cordillera de los Andes, la que actúa como una barrera orográfica para

generar un lluvia pronunciada, y no permite el paso de los vientos cargados de humedad de los Bosques de la Amazonía.

Se presentan diversas bandas térmicas directamente relacionados con la altitud siendo: son también: (1) en la parte más alta de la zona por encima de 4000 m de altitud, las temperaturas son extremadamente frías con promedios inferiores a 0°C; (2) a partir de 3700 a 4000 m es una zona de temperatura fría con isotermas de promedio entre 6 y 8 C; (3) De 3300 a 3700 m es una franja de transición entre el clima normalmente frío y templado con temperaturas medias registradas sobre todo alrededor de 10 a 11 C; y (4) De 2.900-3300 m es un clima relativamente cálido, con registros de Temperatura de 14.1 °C. El promedio de cinco años de precipitación registrada en Urubamba es de 455,3 mm (Galiano, 1990).

La zona de estudio presenta un clima que va de templado a cálido con dos estaciones bien definidas la época de lluvias que inicia en el mes de Noviembre, y se prolonga hasta el mes de Abril, y la época de secas en los meses de Mayo a Octubre.

Los datos fueron obtenidos del SENAMHI.

Cuadro 3. Ubicación geográfica y política de la estación Meteorológica de Urubamba.

Estación	UBICACIÓN			Latitud	Longitud	Altitud
	Región	Provincia	Distrito			
Urubamba	Cusco	Urubamba	Urubamba	13°18'38''	13°18'38''	2863

Fuente: SENAMHI 2010.

2.10.1 Precipitación

Se ha observado que la mayor parte del año reina una relativa humedad. Las lluvias suelen comenzar desde octubre, aunque sin gran intensidad, siendo enero y febrero los meses más lluviosos. A lo largo de los valles que forman los ríos Urubamba y Vilcanota las precipitaciones presentan valores medios entre 200 y 1000 mm. En otoño, a lo largo de los ríos Vilcanota y Urubamba las precipitaciones aumentan a medida que disminuye la altitud. Durante el invierno los rangos de precipitación se encuentran entre 0 y 50 mm. en los valles de los ríos Urubamba, Vilcanota, Apurímac, Velille y Santo Tomás. En la primavera en los valles del Urubamba, Vilcanota, Apurímac y Santo Tomás las precipitaciones poseen valores entre 100 y 200 mm (PACC, 2012).

Cuadro 4. Precipitación estacional y anual 1971 – 2000 en Urubamba, Cusco

LOCALIDAD	Rango Anual (mm)	Rango Verano (mm)	Rango Otoño (mm)	Rango Invierno (mm)	Rango Primavera (mm)
Urubamba	200-1500	200-1000	50-70	0-200	100-500

Fuente: PACC, 2012.

Tendencias Lineales

La tendencia espacial en el periodo anual es positiva (aumento) con valores del orden de 0.22 a 2.20 mm/año en Cusco (Urubamba, Cay Cay) con nivel de significancia de 99%.

De otro lado, la tendencia de la precipitación anual estimada por SENAMHI en las estaciones Urubamba, Granja Kcayra y Sicuani ubicadas en la parte

alta de la cuenca del río Urubamba, son de aumento de la precipitación en el periodo de 1965-2006 siendo del orden de 0.7 a 2.9 mm/año, mayores en relación al periodo actual (1965-2008) de 0.22 a 2.20 mm/año. Si bien es cierto es de aumento en el periodo actual, aparentemente está tendiendo hacia una disminución en la década reciente (2001-2008) que se ve reflejado en los valores de tendencia de los últimos cuarenta y cuatro años.

Cuadro 5. Tendencia de la precipitación 1965 – 2008 en Urubamba, Cusco.

ESTACION	Tendencia Anual (mm/año)	Tendencia Verano (mm/año)	Tendencia Otoño (mm/año)	Tendencia Invierno (mm/año)	Tendencia Primavera (mm/año)
Urubamba	2.03 NS: 99%	1.11 NS: 99%	0.03 NS: 52%	0.04 NS: 62%	0.92 NS: 99%

Fuente: PACC, 2012.

2.10.2 Temperatura

La temperatura es una variable de importancia en la distribución altitudinal con gran frecuencia en la flora, fauna y actividades humanas. De acuerdo a la gradiente térmica, el área de estudio presenta un clima frígido. La gradiente térmica calculada para los andes del sur del Perú y aplicado al territorio estudiado, nos da el siguiente valor para la Temperatura media anual de 3°C a 4500m de altitud.

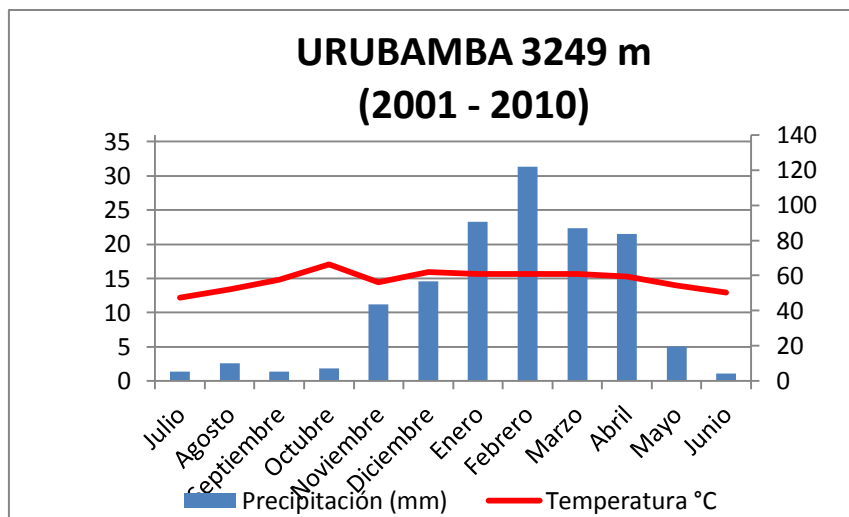


Figura 12. Climatodiagrama de Urubamba (2001-2010). Fuente: Elaborado en base a datos de SENAMHI.

Cuadro 6. Promedio Anuales de Temperatura y precipitación en Urubamba (2001-2010)

Meses	Temperatura °C	Precipitación (mm)
Julio	12.24	5.24
Agosto	13.38	10.22
Septiembre	14.85	5.52
Octubre	17.02	7.05
Noviembre	14.42	43.45
Diciembre	15.95	56.7
Enero	15.65	90.67
Febrero	15.68	121.94
Marzo	15.68	86.89
Abril	15.26	83.53
Mayo	13.96	19.75
Junio	12.96	4.24
Total		535.2
Promedio	14.75	

Fuente: Elaborado en base a datos de SENAMHI.

Tendencia anual y estacional de la temperatura máxima.

La tendencia de la temperatura máxima en el periodo anual es positiva o de calentamiento Urubamba aunque con valores pequeños, variando entre 0.007 y 0.05 °C/año (PACC, 2012).

Cuadro 7. Tendencia de la temperatura máxima 1965 – 2008 en Urubamba, Cusco.

ESTACION	Tendencia Anual (°C/año)	Tendencia Verano (°C/año)	Tendencia Otoño (°C/año)	Tendencia Invierno (°C/año)	Tendencia Primavera (°C/año)
Urubamba	0.007 NS: 94%	0.01 NS: 77%	0.02 NS: 96%	0.005 NS: 72%	0.01 NS: 83%

Fuente: PACC, 2012.

Tendencia anual y estacional de la temperatura mínima.

La tendencia anual y estacional de la temperatura mínima, durante el periodo 1965-2008 presenta comportamiento similar al de la temperatura máxima; tendencias positivas o de calentamiento son observadas en gran parte de las estaciones analizadas de Cusco (Urubamba, Granja Kcayra y Acomayo) con valores del orden de 0.003 a 0.04 °C/año, con alta significancia. Las tendencias en las temperaturas máximas y mínimas del aire, además de la influencia de la variabilidad natural del clima, estarían asociadas a forzantes antropogénicas.

Cuadro 8. Tendencia de la temperatura mínima 1965 – 2008 en Urubamba, Cusco.

ESTACION	Tendencia Anual (°C/año)	Tendencia Verano (°C/año)	Tendencia Otoño (°C/año)	Tendencia Invierno (°C/año)	Tendencia Primavera (°C/año)
Urubamba	0.02 NS: 99%	0.02 NS: 99%	0.02 NS: 99%	0.02 NS: 99%	0.02 NS: 99%

Fuente: PACC, 2012.

2.10.3 Temperatura y Humedad de las Zonas de Estudio

Se tomaron datos de temperatura en las zonas de estudio de Yanacocha y Mirador, cada cuatro horas por cinco días por mes en cada salida de campo correspondiendo del mes de Febrero 2014 – Enero 2015. Los datos del bosque de K'elloq'ocha fueron tomados de Díaz, 2013.

Cuadro 9. Temperatura registrada en las tres zonas de estudio en Urubamba, Cusco (Febrero 2014 – Enero 2015).

Meses	K'elloq'ocha	Yanacocha	Mirador
Febrero	5.95	13.7	15.74
Marzo	6.15	13.46	15.35
Abril	5.44	11.46	14.80
Mayo	4.32	9.17	13.77
Junio	3.44	7.57	12.42
Julio	3.05	8.56	12.82
Agosto	4.28	9.5	13.37
Septiembre	4.98	11.65	14.42
Octubre	6.36	14.94	15.47
Noviembre	7.87	13.46	15.40
Diciembre	6.24	15.69	16.65
Enero	6.45	13.66	15.35
Promedio	5.38	11.90	14.63

El promedio anual de temperatura (Cuadro 9) más alta registrado es de 14,63°C y pertenece a la zona de Mirador, siendo el mes de Diciembre el que presenta la mayor temperatura con 16.65 °C y el mes de Junio con la temperatura más baja de 12.42°C. Le sigue el bosque de Yanacocha con una temperatura promedio de 11.9°C siendo el mes de Diciembre con mayor temperatura de 15.69°C y el mes de Junio con la temperatura más baja de 7.57. El bosque con la temperatura promedio más baja es K'elloq'ocha con 5.38°C., siendo el mes de Noviembre con la temperatura más alta con

7.87°C y el mes de Julio con la temperatura más baja con 3.05°C (Figura 15).

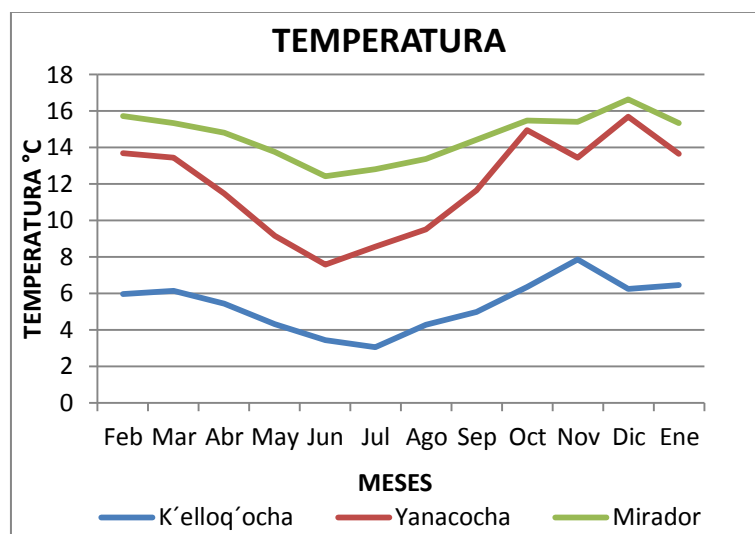


Figura 13. Comparación de los registros de temperatura en las tres zonas de estudio (Febrero 2014 – Enero 2015).

El promedio anual de humedad relativa más alta registrado es de 93.07 y pertenece al bosque de K'elloq'ocha, siendo el mes de Marzo el que presenta la mayor humedad con 104.05 °C y el mes de Agosto con la Humedad más baja de 81.09°C. Le sigue el bosque de Yanacocha con humedad relativa promedio de 68.17 siendo el mes de Enero con mayor humedad de 81.72 y el mes de Octubre con la humedad más baja de 57.44. La zona con la Humedad más baja es Mirador con 63.64, siendo el mes de Abril con la humedad más alta con 72.82 y el mes de Agosto con la Humedad más baja con 57.14.

Cuadro 10. Humedad relativa registrada en las tres zonas de estudio en Urubamba, Cusco (Febrero 2014 – Enero 2015).

Meses	K'elloq'ocha	Yanacocha	Mirador
Febrero	105.7	75.83	66.65
Marzo	104.05	80.33	71.05
Abril	103.18	71.17	72.82
Mayo	88.74	65.06	67.35
Junio	82.76	60.76	60.81
Julio	84.45	61.39	60.05
Agosto	81.09	61.11	57.14
Septiembre	91.42	62.83	58.21
Octubre	88.53	57.44	57.73
Noviembre	85.84	69.89	59.63
Diciembre	99.24	70.50	63.27
Enero	101.78	81.72	68.96
Promedio	93.07	68.17	63.64

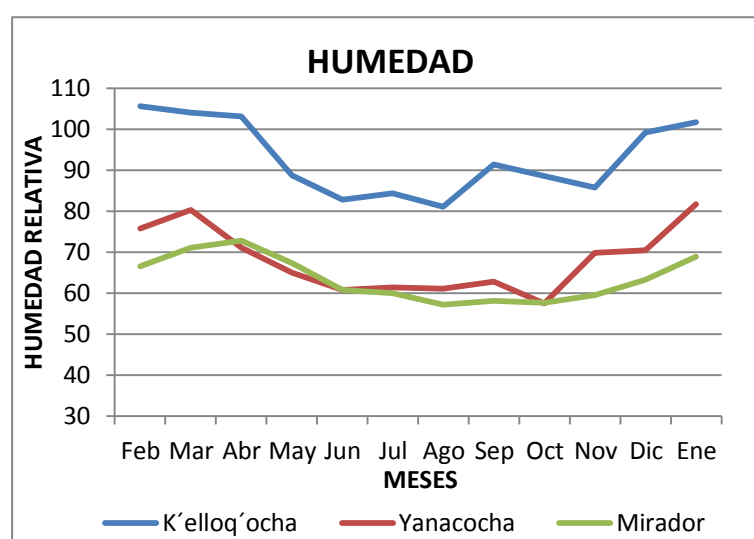


Figura 14. Comparación de los registros de Humedad relativa en las tres zonas de estudio (Febrero 2014 – Enero 2015).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

3.1.1 Diseño de Investigación

El presente estudio corresponde a un diseño de investigación no experimental del tipo transeccional. Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Sampieri *et al.*, 2010). En el presente trabajo se describen las características morfológicas y fisiológicas que presentan tres especies de *Polylepis* en tres niveles altitudinales en Yanacocha, Urubamba – Cusco.

Cuadro 11. Descripción de las zonas de estudio, clima, especies y parámetros estudiados.

BOSQUE	ALTITUD (M.S.N.M)	ESPECIE ESTUDIADA	CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA	PARAMETROS EVALUADOS
K'elloq'ocha	4343 m	<i>Polylepis subsericans</i> J.F. Macbr	Temperatura fría con promedio entre 6 y 8 °C	Características morfológicas: Número de hojas y folíolos, Área foliar y área foliar específica, Grosor de la Hoja, Células epidérmicas y Parénquima clorofiliano, Densidad estomática, Densidad y forma de tricomas, Ritidoma, Altura de árbol, diámetro a la altura de pecho – DAP Y Densidad de la madera. Características fisiológicas: Contenido hídrico, contenido hídrico relativo, déficit de saturación hídrica, Medidas de fluorescencia: Quantum Yield (Qy), Rendimiento Cuántico PSII (Fv/Fm'), Fluorescencia Instantánea (Ft) y Fluorescencia Mínima (Fo).
Yanacocha	3965 m	<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.	Franja de transición entre el clima normalmente frío y templado con temperaturas medias registradas sobre todo alrededor de 10 a 11 °C	
Mirador	3564 m	<i>Polylepis microphylla</i> (Wedd.) Bitter	Clima relativamente cálido, con registros de Temperatura de 14.1 °C	

3.2 Población de Estudio

La población de estudio comprende a las especies *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter, *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis subsericans* J.F. Macbr, ubicados en los bosques de Mirador, Yanacocha y K'elloq'ocha respectivamente, que están ubicados en la Localidad de Yanacocha, Comunidad de Huayabamba, Provincia de Urubamba.

3.3 Tamaño de la Muestra

Se establecieron 10 transectos de 30 x 2m en cada bosque (Cámara & Díaz del Olmo, 2013), en donde se seleccionaron 3 individuos al azar en cada uno, siendo 30 individuos por especie, dando un total de 120 individuos seleccionados entre las tres especies estudiadas.

3.4 Selección de la Muestra

Para muestras empleadas para los trabajos en laboratorio, de los 30 individuos seleccionados se colectó una rama expuesta al sol de 30 cm de largo, sin considerar el brote foliar (Madidi, 2012), en donde cada muestra colectada fue etiquetada.



Figura 15. Esquema de la colecta de muestra.

3.5 Materiales

3.5.1 Material Biológico

Se trabajó con especies de *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter, *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., procedentes de la localidad de Yanacocha, Provincia de Urubamba, Región Cusco.

3.5.2 Materiales de Campo

- GPS Garmin.
- Fluor Pen FP-100 Photon Systems Instruments.
- Micrómetro.
- Termómetro – Higrómetro digital.
- Papel periódico
- Bolsas
- Pabilo
- Cámara fotográfica
- Tijera de podar

3.5.3 Materiales de Laboratorio

- Microscopio biológico
- Microscopio estereoscópico
- Balanza analítica.
- Escáner Canon MX370
- Estufa.
- Cámara fotográfica
- Lámina Portaobjetos

- Lámina cubreobjetos
- Tubos de ensayo
- Pipetas graduadas de 2 y 5 ml
- Azul de metileno
- Aceite de inmersión
- Ácido acético
- Formol 40 %
- Alcohol 70 %
- Safranina
- Lugol
- Algodón
- Navajas.
- Probeta.
- Tijera de podar
- Bisturí
- Bolsas
- Pinzas

3.5.4 Programas

- R – commander
- IBM SPSS Statistics 19
- ImageJ 1.49c

3.6 Técnica de Recolección de Datos

3.6.1 Fase de Campo

Se seleccionaron al azar 30 individuos de cada especie en los bosques de K'elloq'ocha, Yanacocha y Mirador, de cada individuo seleccionado se colectó una rama expuesta al sol de 30 cm de largo, para posteriormente ser analizadas en laboratorio.

3.6.2 Fase de Herbario

Para muestras empleadas en la identificación de especies, se colectaron muestras representativas de cada especie con inflorescencias y/o frutos, realizando cortes en la planta con una tijera de podar, los ejemplares se colocaran dentro de las «camisetas» de periódicos, se anotaron los datos en el cuaderno de campo como hábito, lugar de colección, fecha, altitud. Una vez obtenida una determinada cantidad de muestras, se elaboraron paquetes para colocarlo entre dos tapas de la prensa botánica y proceder al amarre (Rodríguez y Rojas, 2006).

3.6.2.1 Herborización

Se emplearon las técnicas de herborización conocidas (Womersley, 1981; Rodríguez & Rojas, 2006). El material botánico a colectar se depositó en el Herbarium Truxillense (HUT) de la Universidad Nacional de Trujillo (acrónimos en Holmgren *et al.*, 1990), como especímenes de respaldo. Los especímenes están registrados en el

herbario HUT bajo los códigos N° 58304 (*P. microphylla*), 58306-58307 (*P. racemosa*), 58308-58309 (*P. subsericans*).

3.6.2.2 Taxonomía, Determinación y Distribución.

Para el análisis de nombres científicos, nombres vulgares, origen, distribución, ecología y taxonomía y descripción de las especies se efectuó la revisión de bibliografía especializada. La determinación de las especies se realizó por comparación con las colecciones registradas en el Herbario Vargas (CUZ) de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco y con ayuda de investigadores botánicos.

3.6.3 Fase de Laboratorio

3.6.3.1 Características Morfológicas

3.6.3.1.1 Número de hojas y folíolos.

Para ello, se midieron 25 cm desde el ápice de la rama hacia la base de la muestra colectada y en este punto se cortó. Los brotes foliares fueron removidos y no incluidos en la medida de 25 cm. Se registró el número total de hojas que se encontraron en este segmento.

Al presentar las especies de *Polylepis* hojas compuestas, además de contar todas las hojas se contaron los folíolos de las hojas seleccionadas de la rama de 25 cm. Usando el número de hojas en combinación con el área foliar específica, se obtiene el área fotosintética.

3.6.3.1.2 Área foliar y Área foliar específica

Del segmento de 25 cm de la rama colectada, se escogió una hoja, siendo considerado como la unidad muestral. Se escogieron hojas en transición de jóvenes a maduras es decir fotosintéticamente más productivas, completamente expandidas, sin signos de senescencia, herbivoría, sin síntomas de patógenos, y no cubiertas por líquenes, hongos, hepáticas. Las hojas extraídas se colocaron en papel bond para posteriormente escanearlas a 200 dpi (dots per inch – puntos por pulgada) en un scanner Canon MX370, evitando que no estén sobrelapadas. Se colocó una regla al lado de las muestras para la referencia. Las muestras fueron procesadas con el programa ImageJ, en donde se obtuvo el área foliar.

Las muestras fueron secadas en estufa y posteriormente secadas para obtener el área foliar específica, el cual está definido como el área de un lado de la hoja fresca dividida por la masa de la hoja seca, expresada en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. Para el cálculo de SLA se incluyeron los peciolulos (hojas compuestas).

3.6.3.1.3 Grosor de la Hoja (μm)

Se midió el grosor de las 3–5 folíolos, de las hojas que fueron utilizadas para calcular el área específica foliar (SLA), utilizando un micrómetro. La medición se realiza entre las venas secundarias, evitándolas. Las muestras fueron procesadas con el programa ImageJ.

3.6.3.1.4 Células epidérmicas y Parénquima clorofiliano.

Para la observación de las células epidérmicas y del parénquima clorofiliano se realizaron cortes transversales de las hojas con preparaciones en fresco. Se observaron al microscopio para identificar el tejido parenquimatoso, se tomaron fotografías con esquemas y descripciones. Para luego ser analizadas con el programa ImageJ.

3.6.3.1.5 Densidad estomática.

Cada planta tiene una densidad estomática específica que influye directamente en su tasa transpiratoria. La densidad estomática es función del número de estomas más el tamaño de las células epidermales; por esta razón se ve afectada por la apertura de los estomas y la expansión de las células epidermales la cual depende de muchas variables ambientales (Royer, 2001).

Las impresiones epidermales de hojas se tomaron utilizando esmalte de uñas transparente (El-Sharkawy *et al.* 1985), aplicando sobre la hoja y retirados después de dejarlos secar utilizando cinta pegante. Esta impresión fue montada sobre láminas y observada bajo la lente de un microscopio óptico. El número de células epidermales y de estomas se cuantifico en varios campos. Las muestras fueron procesadas con el programa ImageJ.

Se empleó la siguiente ecuación para promediar la densidad estomática de hojas:

$$\text{Densidad estomatica} = \frac{\text{Numero de estomas}}{\text{Area}}$$

Los datos obtenidos se calcularon en número de estomas/ mm⁻².

3.6.3.1.6 Densidad y forma de tricomas

Se tomaron dos discos de 3 mm de diámetro por muestra y se contaron los tricomas en el lado adaxial de la hoja con ayuda de un microscopio estereoscopio, los datos obtenidos se calcularon en número de tricomas/ mm⁻². Las muestras fueron procesadas con el programa ImageJ.

3.6.3.1.7 Ritidoma

Para el estudio de ritidomas, se tomó una pieza de 2.5 cm de la muestra para densidad de la madera y se midió el diámetro máximo con corteza en la parte apical con un vernier milimetrado y se pesó en una balanza, posteriormente con un estilete o una hoja de afeitar fina, se sacó la corteza cuidadosamente y se midió el diámetro de nuevo y se pesó, esto para obtener el Grosor y peso del ritidoma (Figura 16).

Para la morfología del ritidoma se tomaron muestras y se colocaron en una lámina portaobjetos con una gota de agua, se observaron al microscopio. Las muestras fueron procesadas con el programa ImageJ.

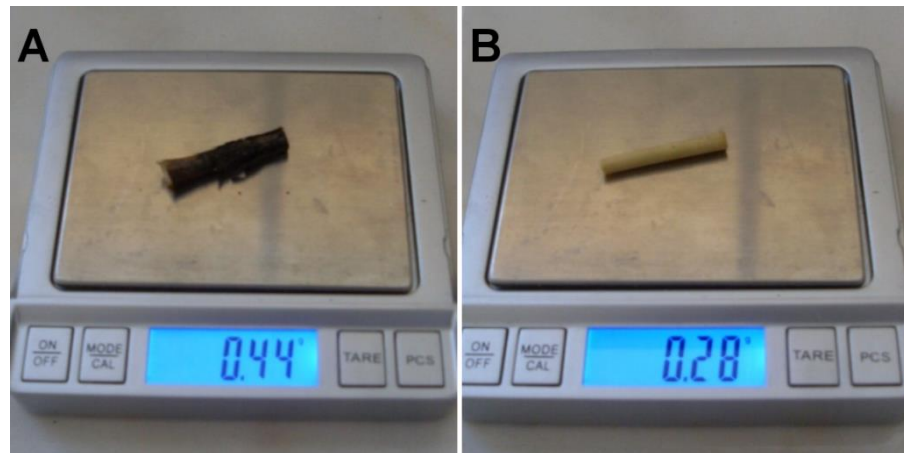


Figura 16. Peso de los segmentos de 2.5 cm. de las ramas: **A.** Con ritidoma, **B.** Sin ritidoma.

3.6.3.1.8 *Altura de árbol, Diámetro a la altura de pecho (DAP) y Densidad de la madera.*

El diámetro del árbol se mide con la corteza, a la altura del pecho, 1,3 m., sobre el terreno llano. La medición se realizó con la ayuda de una cinta diamétrica, cuya unidad está en centímetros, en caso de un terreno inclinado la medición del DAP se realiza desde la posición cuesta arriba A 1.3 m (FAO, 2004). Para el caso donde el árbol presenta horquillas se realizó la medida de DAP en cada uno y se

realizó la medición del diámetro de cada tronco y se sumó para cada árbol (Figura 17).

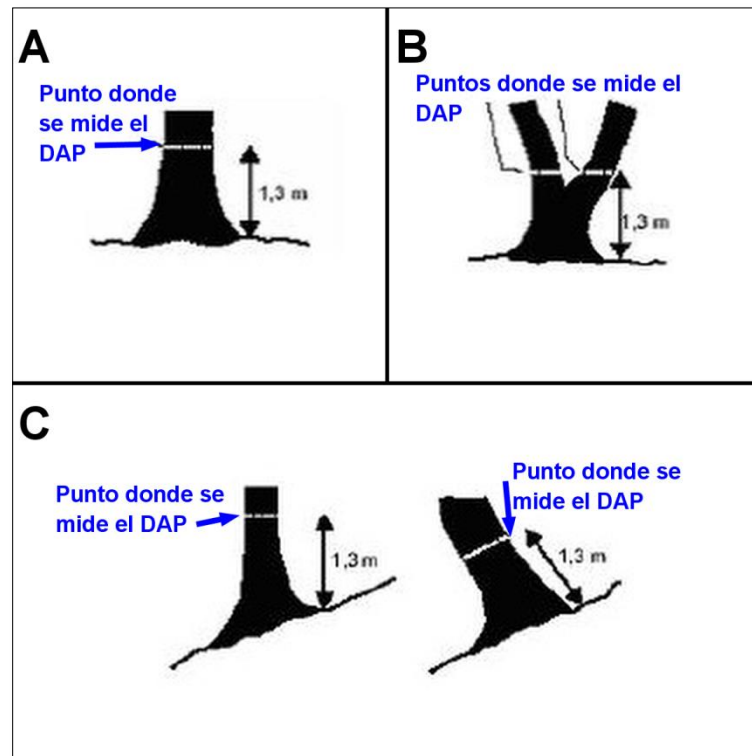


Figura 17. Posición para la medición del diámetro a la altura del pecho – DAP. **A.** En terreno llano; **B.** En árbol horquillado y **C.** En terreno inclinado (FAO, 2004).

La densidad específica de la madera es la masa secada en horno de una sección de tallo dividido por el volumen de la misma sección medido en fresco. Es expresado en g mm^{-3} , lo cual corresponde con kg dm^{-3} . Del restante de la rama que se cortó del árbol se procedió a cortar un trozo de 2.5 cm de longitud, es decir, la parte distal de donde se realizó el corte de 25 cm. Este pequeño segmento de 2.5 cm se pesó con corteza y sin corteza; posteriormente se secó en el horno a 103°C durante 24 horas. Una vez completamente seco se pesó

(masa seca). Posteriormente se rehidrato con agua durante dos días (Madidi, 2012).

El volumen de la muestra (tallo fresco) se determinó por el principio de Arquímedes (Hacke *et al.* 2005). Se pesó un recipiente con agua, posteriormente con la ayuda de una aguja se sumergió el trozo de madera (sin corteza y sin médula) y se volvió a pesar, cuidando que la muestra no toque ni el fondo ni las paredes del recipiente. Se restan los pesos y se obtiene el peso de desplazamiento con este valor se obtuvo el volumen de la muestra con la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de la madera} = \frac{\text{Peso del desplazamiento (g)}}{0.998 \text{ (g} \cdot \text{cm}^3\text{)}}$$

Donde 0.998 g cm⁻³ es la densidad del agua a 20°C. Se anota el peso del desplazamiento y la temperatura del agua donde se tomó el volumen.

3.6.3.2 CARACTERISTICAS FISIOLÓGICAS

3.6.3.2.1 *Contenido de agua actual, agua de saturación, contenido hídrico relativo y déficit de saturación hídrica.*

De las hojas que fueron utilizadas para calcular el área específica foliar (SLA), se escogieron y extrajeron 1 hojas homogénea, evitando

perder el pecíolo conservando la mayor proporción del mismo (mínimo 5mm), las hojas fueron pesadas.

Después de pesar las hojas, se colocaron en una cámara húmeda, la cual se preparó utilizando un recipiente de vidrio, en el fondo de la cámara se colocó algodón húmedo dejando una capa de agua lo suficiente para que los pecíolos queden sumergidos. Posteriormente, se introdujeron las hojas en el recipiente con el pecíolo sumergido, se tapó y colocó en un lugar con baja iluminación por dos horas, pasado el tiempo se retiró las hojas secando el exceso de agua, luego se procedió a pesar. De esta manera se determinó la masa en estado de saturación o turgencia. Posteriormente se empaco y llevo a una estufa por 24 horas a 70°C, luego de esto se pesaron las hojas secas (Pérez *et al.*, 2010)

$$CH = \left(\frac{mf - ms}{ms} \right) \times 100$$

$$CHR = \left(\frac{mf - ms}{mt - ms} \right) \times 100$$

$$DSH = \left(\frac{mt - mf}{mt - ms} \right) \times 100$$

Donde

CH: Contenido hídrico,

CHR: Contenido hídrico relativo,

DSH: Déficit de Saturación Hídrica,

mf: masa fresca,

ms: masa seca

mt: masa a plena turgencia

3.6.3.2.2 Medidas de fluorescencia.

Las medidas de fluorescencia fueron realizadas con un fluorímetro portátil de luz modulada (Fluor Pen FP-100), las muestras se analizaron en campo, tanto aquellas expuestas a la luz solar así como las previamente adaptadas a la oscuridad, para lo cual se empleó papel aluminio. Los parámetros evaluados fueron:

- **Quantum yield (Qy)** El parámetro más usado en la emisión de la fluorescencia, es el rendimiento cuántico máximo para la fotoquímica primaria cuando todos los centros de reacción del Fotosistema II (PSII) están oxidados o abiertos.
- **Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm')** Parámetro que indica la máxima eficiencia de Fotosistema II (PSII) en especímenes previamente adaptados a la oscuridad.
- **Fluorescencia instantánea (Ft)** El parámetro que indica la fluorescencia inicial o basal, en especímenes adaptados a la oscuridad.
- **Fluorescencia mínima (Fo)** El parámetro que indica la fluorescencia inicial o basal.

3.7 Análisis e Interpretación de la Información

3.7.1 Análisis Estadístico

3.7.1.1 Normalidad.

Para conocer si existe una distribución normal en los datos evaluados, se aplicó el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para todos los parámetros.

El **Test de Shapiro-Wilk** se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea como hipótesis nula que una muestra $x_1, \dots, x_n$ proviene de una población normalmente distribuida. Fue publicado en 1965 por Samuel Shapiro y Martin Wilk. El estadístico del test es:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

- $X(i)$ (con el subíndice i entre paréntesis) es el número que ocupa la i -ésima posición en la muestra;
- $\bar{x} = (x_1 + \dots + x_n) / n$ es la media muestral;
- las variables a_i se calculan:

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^\top V^{-1}}{(m^\top V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

Donde:

$$m = (m_1, \dots, m_n)^\top$$

siendo $m_1, \dots, m_n$ son los valores medios del estadístico ordenado, de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, muestreadas de distribuciones normales. V es la matriz de covarianzas de ese estadístico de orden.

La hipótesis nula se rechazará si W es demasiado pequeño. Siendo la hipótesis nula que la población está distribuida normalmente, si el p-valor es menor a α (nivel de confianza) entonces la hipótesis nula es rechazada (se concluye que los datos no vienen de una distribución normal). Si el p-valor es mayor a α , no se rechaza la hipótesis y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

HIPÓTESIS

H₀: Los Datos provienen de una distribución normal

H₁: Los datos no provienen de una distribución normal

Si el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

3.7.1.2 De los Parámetros.

Se trabajaron con datos cuantitativos, para todos los parámetros se realizó el análisis estadístico de ANOVA con un nivel de confianza del 95% para conocer si existen diferencias significativas en los parámetros evaluados entre las 3 especies de *Polylepis*.

Para analizar pares de muestras de especies y en los diferentes parámetros se realizó el Test de Tukey para realizar comparaciones 2 a 2, con un nivel de significancia del 95 % como método de comparaciones múltiples, para conocer si existen diferencias significativas entre los datos obtenidos de los parámetros evaluados entre las especies.

Para todos los casos se tienen las siguientes hipótesis

H₀: $U1 = U2$ No hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*.

H₁: $U1 \neq U2$ Existen diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*.

Si el p- valor < 0.05, entonces se acepta la H₁ en donde hay diferencias significativas entre los datos obtenidos en los diferentes sustratos.

Estos análisis se realizaron con el software estadístico SSPS 16 y R-Commander.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de Resultados

4.1.1 Características Morfológicas

4.1.1.1 Número de Hojas y Foliolos.

De la porción de 25 cm. tomada de cada individuo, se obtuvo (Figura 18) que la especie con mayor número de hojas por muestra es *P. microphylla* con un promedio de 110.85 hojas, seguido de *P. subsericans* con 35.67 y *P. racemosa* con 33.67. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.1) existen diferencias significativas de *P. microphylla* con las otras dos especies, pero no existen diferencias significativas entre *P. racemosa* y *P. subsericans*.

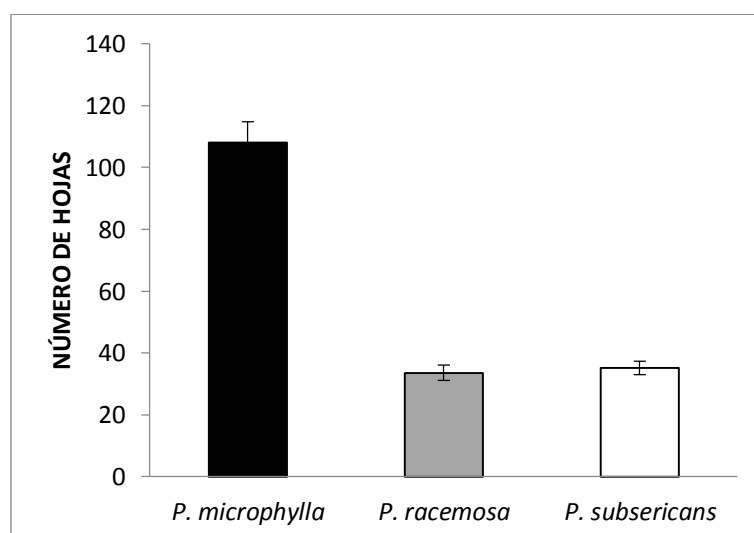


Figura 18. Numero de hojas por muestra en las tres especies de *Polylepis*.

Las tres especies de *Polylepis* estudiadas tienen hojas compuestas imparipinnadas (Figura 19), variando en el número de folíolos en donde (Figura 20), *P. microphylla* presenta el mayor número de folíolos con un promedio de 13 folíolos por hoja, seguido de *P. racemosa* con 6.18 y *P. subsericans* con 3. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.1) existen diferencias significativas entre *P. microphylla* con las otras dos especies, pero no entre *P. subsericans* y *P. racemosa*.

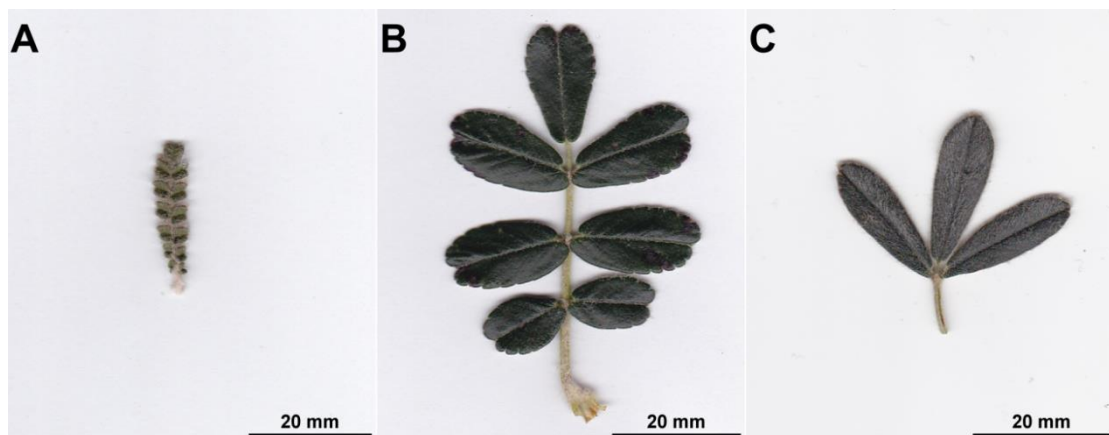


Figura 19. Hojas compuestas de las tres especies de *Polylepis*. **A.** *Polylepis microphylla*, **B.** *Polylepis racemosa* y **C.** *Polylepis subsericans*.

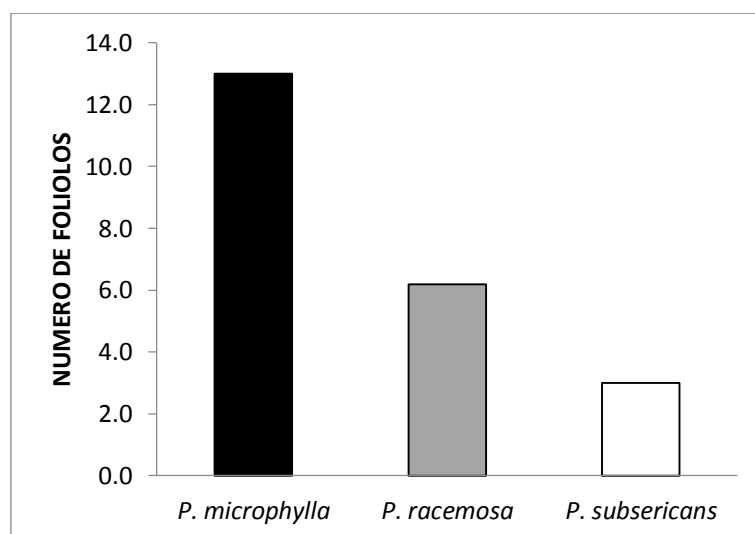


Figura 20. Numero folíolos por hoja en las tres especies de *Polylepis*.

4.1.1.2 Área foliar y Área Foliar Específica

De las muestras analizadas para cada especie se obtuvo que la especie con mayor valor para el Área Foliar (Figura 21) es *P. racemosa* con un promedio de 6.27 cm², seguido de *P. subsericans* con 4.84 cm² y *P. microphylla* con 0.88 cm². De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.2) existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para el área foliar.

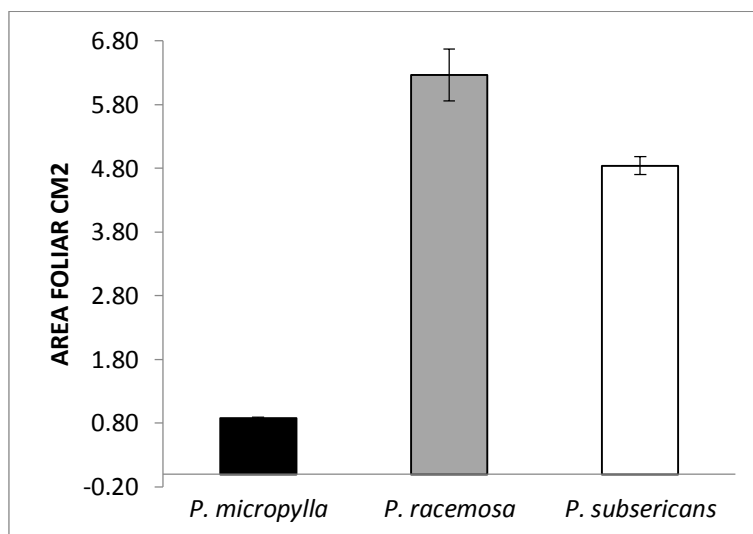


Figura 21. Área foliar (cm²) de las tres especies de *Polylepis*.

Para el Área Foliar Específica se obtuvo que la especie con mayor valor (Figura 22) es *P. subsericans* con un promedio de 133.16 cm² g⁻¹, seguido de *P. racemosa* con 81.20 cm² g⁻¹ y *P. microphylla* con 59.01 cm² g⁻¹. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.2) existen diferencias significativas de *P. subsericans* con las otras dos especies, pero no existe diferencias significativas entre *P. microphylla* y *P. racemosa*.

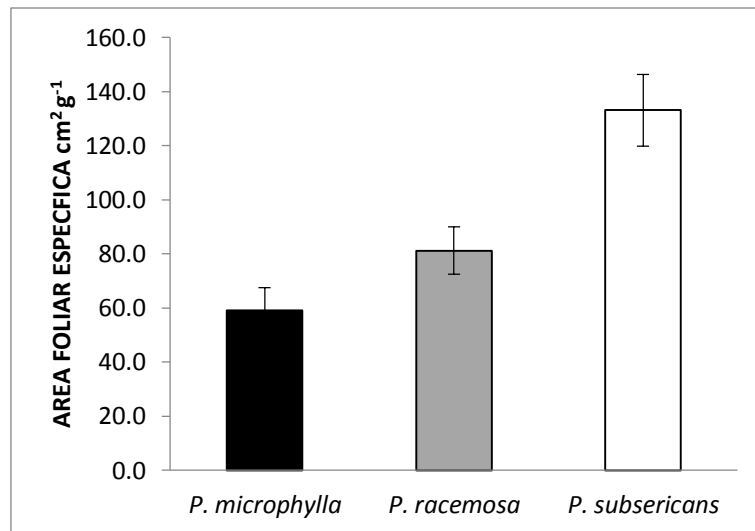


Figura 22. Área foliar específica (cm/g) en las tres especies de *Polylepis*.

4.1.1.3 Grosor de la Hoja (μm)

De las muestras analizadas para cada especie se obtuvo que la especie con mayor Grosor de hoja (Figura 23) es *P. microphylla* con un valor promedio de 411.12 μm , seguido de *P. racemosa* con 396.84 μm y *P. subsericans* con 376.70 μm . De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.3) existen diferencias significativas entre *P. microphylla* y *P. subsericans*, pero no existen diferencias significativas entre *P. racemosa* con las especies de *P. microphylla* y *P. subsericans*.

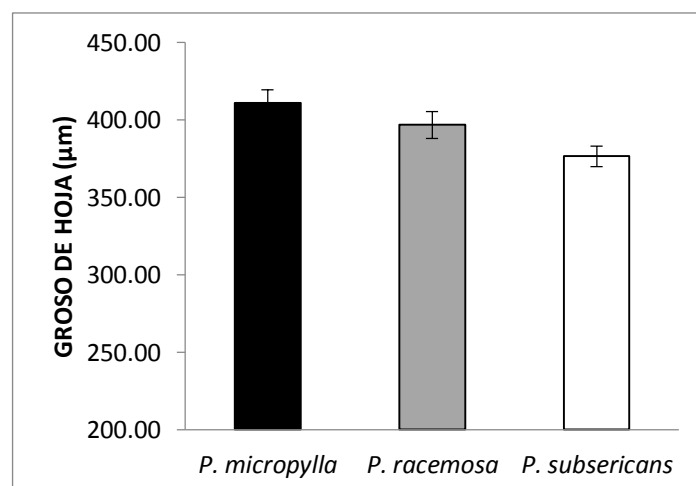


Figura 23. Grosor de hoja (μm) en las tres especies de *Polylepis*.

4.1.1.4 Células Epidérmicas y Parénquima Clorofiliano.

Las hojas de las especies estudiadas están construidas sobre un plan de arreglo dorsiventral de células, con la epidermis y la capa de empalizada en la superficie adaxial y el tejido esponjoso en la superficie abaxial (Figura 24). Entre las tres especies de *Polylepis* existen diferencias en las células que componen la estructura de la hoja.

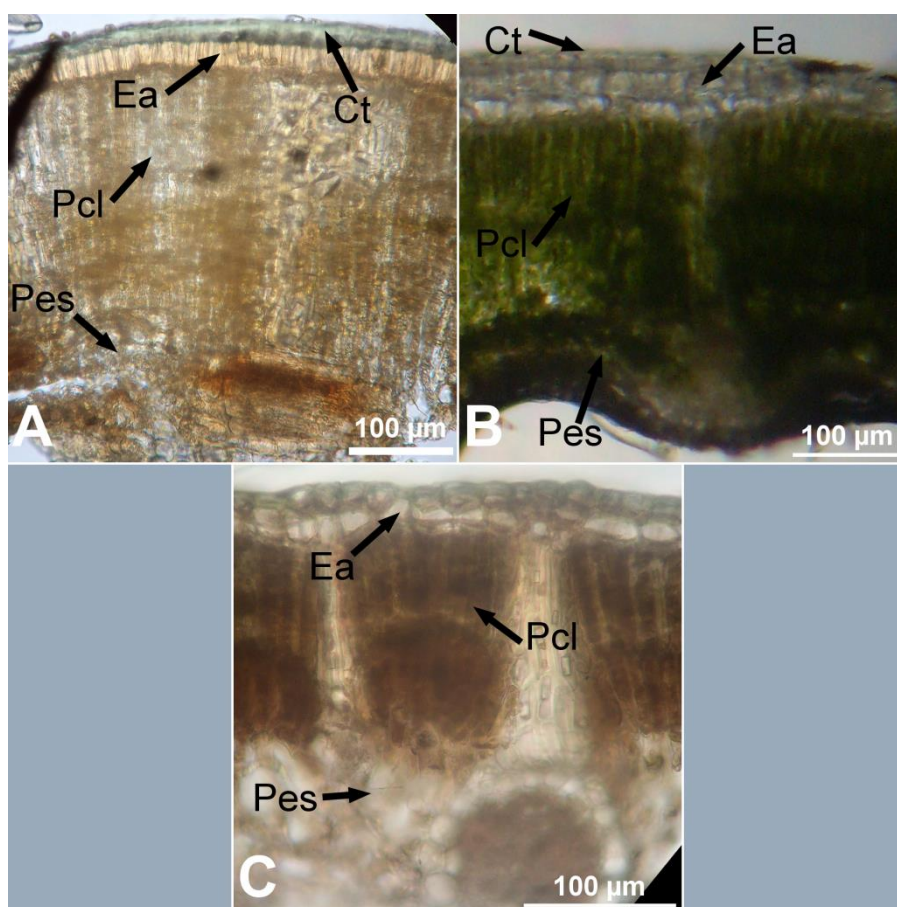


Figura 24. Corte transversal de la hoja. **A.** *Polylepis microphylla*, **B.** *Polylepis racemosa*, **C.** *Polylepis subsericans*. Abreviaturas: **Ct**: Cutícula, **Ea**: Epidermis adaxial; **Pcl**: Parénquima clorofiliano; **Pes**: Parénquima esponjoso.

En el parámetro del Largo de las células epidérmicas de los cortes transversales de las hojas se obtuvo que la especie con mayor valor (Figura

25) es *P. subsericans* con un promedio de 35.11 μm , seguido de *P. racemosa* con 33.58 μm y *P. microphylla* con 32.84 μm . De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.4) no existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis*.

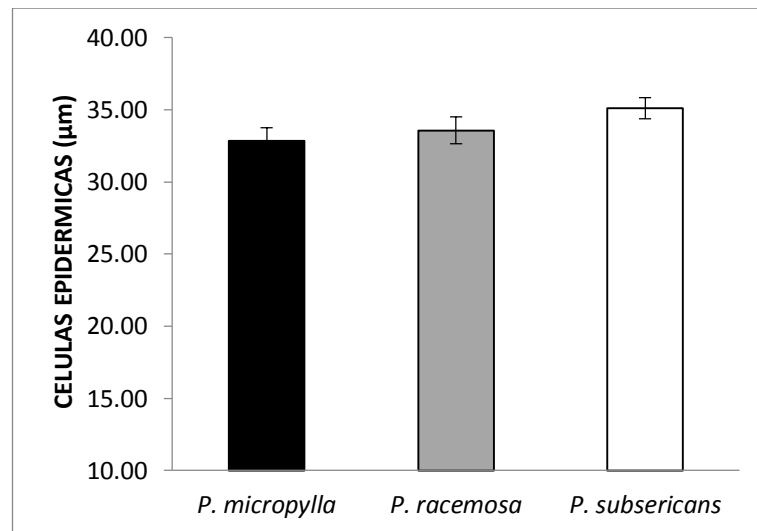


Figura 25. Largo de células epidérmicas (μm) en las tres especies de *Polylepis*.

En el parámetro largo de las células del parénquima clorofiliano de los cortes transversales de las hojas, se obtuvo que la especie con mayor valor (Figura 26) es *P. racemosa* con 95.77 μm , seguido de *P. subsericans* con 60.13 μm y *P. microphylla* con 34.75 μm . De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.4) existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis*. Pero además se observó que *P. microphylla* presentaba el parénquima clorofiliano con cuatro corridas de células en comparación con las otras dos especies que solo presentaban dos corridas de células en este tejido, haciendo que el grosor de hoja sea mayor que *P. subsericans* y *P. racemosa*.

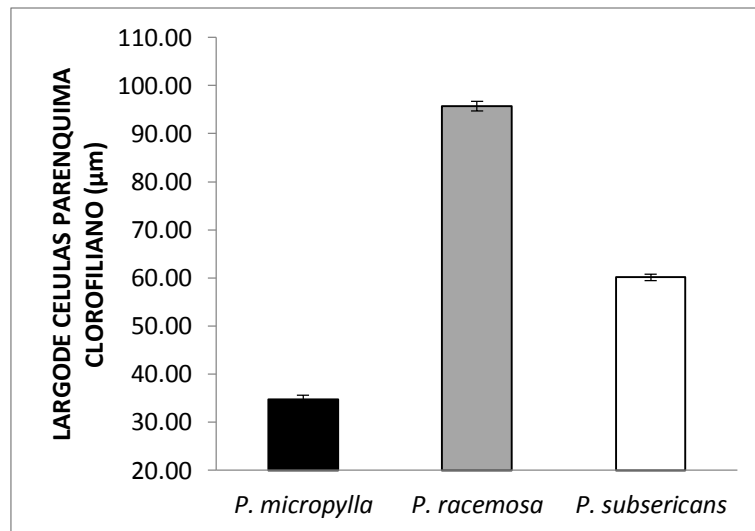


Figura 26. Largo de las células del parénquima clorofiliano (μm) en las tres especies de *Polylepis*.

4.1.1.5 Densidad Estomática.

Para el parámetro de densidad estomática (Figura 27 y 28) se encontró que la especie *P. subsericans* presenta el mayor número de estomas por mm² con un valor promedio de 19.76 estomas/mm², seguido de *P. microphylla* con 11.36 estomas/mm² y *P. racemosa* con 11.02 estomas/mm². De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.5) existen diferencias significativas entre *P. subsericans* con *P. racemosa* y *P. microphylla*, pero no existen diferencias significativas entre estas dos últimas especies.

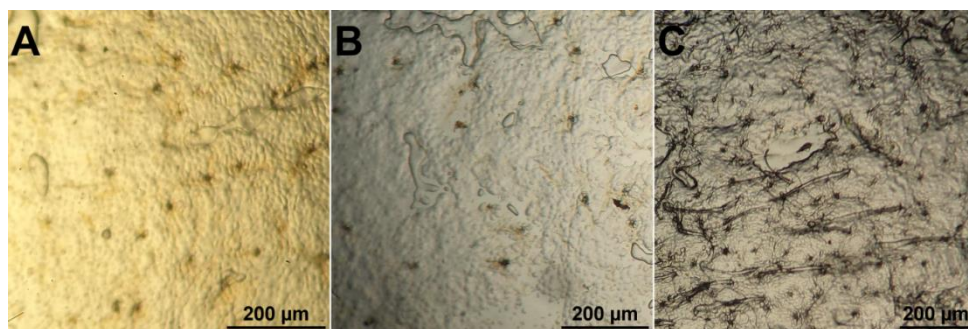


Figura 27. Impresiones epidermales para el conteo de estomas: **A.** *Polylepis microphylla*, **B.** *Polylepis racemosa* y **C.** *Polylepis subsericans*.

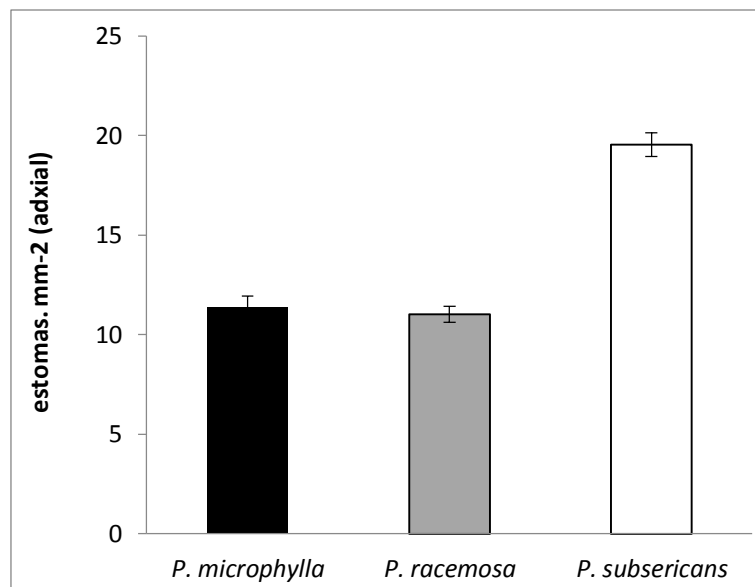


Figura 28. Densidad estomática (estomas/mm²) en las tres especies de *Polylepis*.

4.1.1.6 Densidad y Forma de Tricomas.

De las tres especies evaluadas se encontró que la única especie que presenta tricomas en ambas superficies de la hoja es *P. subsericans* con un promedio de 3.37 Tricomas mm⁻², las otras dos especies *P. racemosa* y *P. racemosa* solo presentan tricomas en la superficie abaxial de la hoja.

De acuerdo a su morfología de los tricomas (Molist *et al.*, 2014), *P. microphylla* presenta dos tipos de tricomas en la superficie abaxial de la hoja siendo unicelular glandular y multicelular ramificado (Figura 29); *P. racemosa* presenta un solo tipo en la superficie abaxial de la hoja del tipo unicelular filiforme (Figura 30) y *P. subsericans* presenta tricomas en ambos lados de la hoja, siendo ambos del tipo unicelular filiforme (Figura 31).

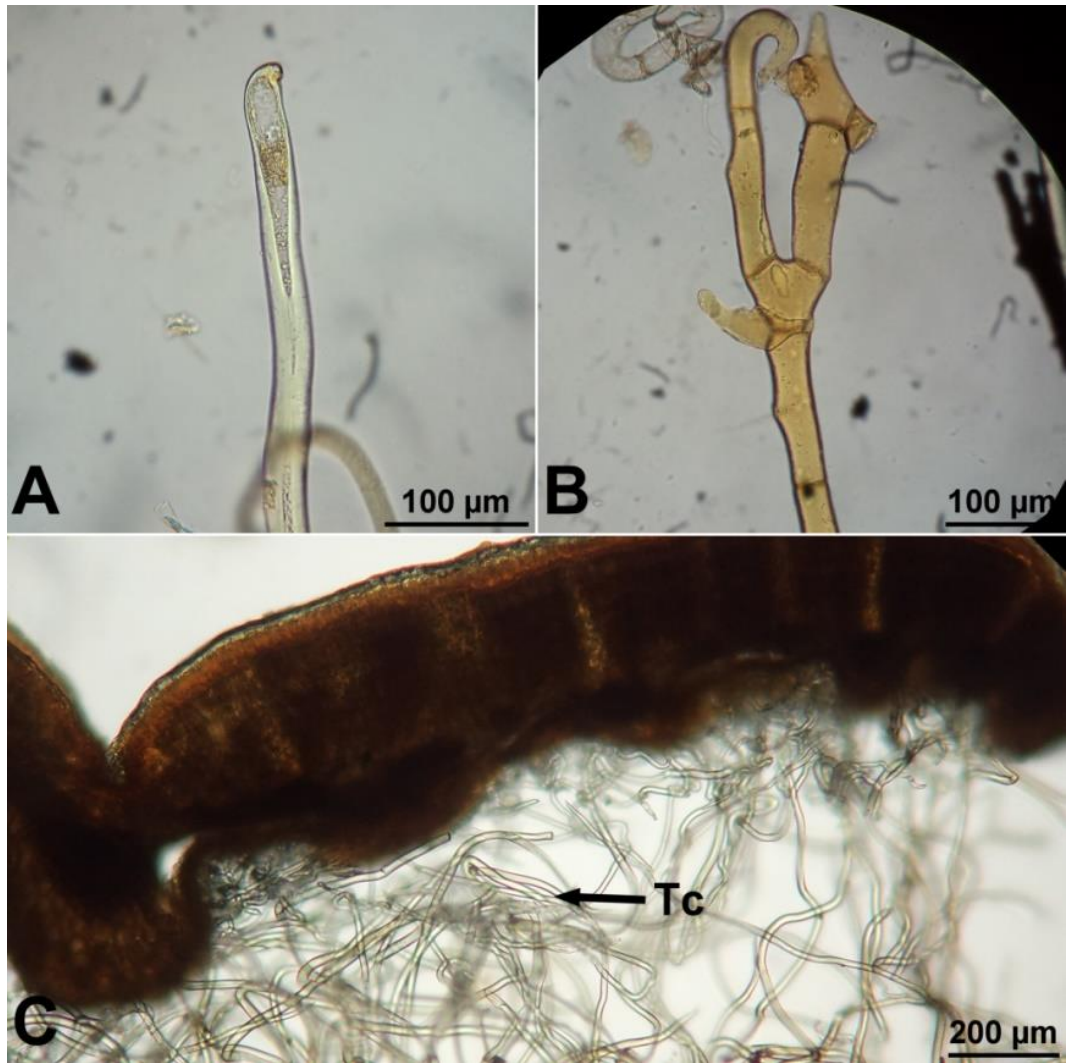


Figura 29. Tricomas de la superficie abaxial de la hoja de *Polylepis microphylla*: **A.** Tricoma unicelular glandular; **B:** Tricoma multicelular ramificado; **C:** Corte transversal de la hoja mostrando los tricomas en la superficie abaxial de la hoja.

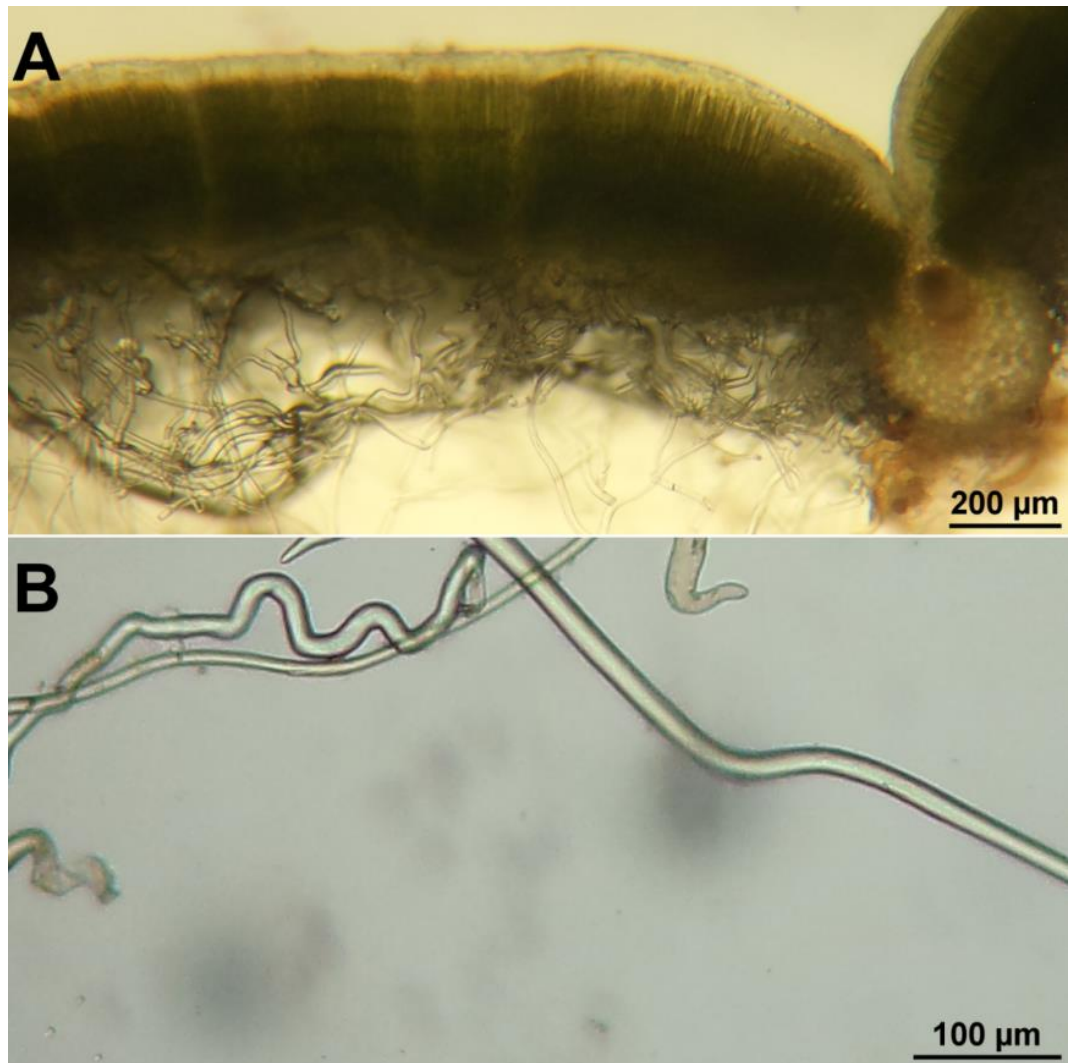


Figura 30. Tricomas de la superficie abaxial de la hoja de *Polylepis racemosa*: **A.** Corte transversal de la hoja mostrando los tricomas en la superficie abaxial; **B:** Tricoma unicelular.

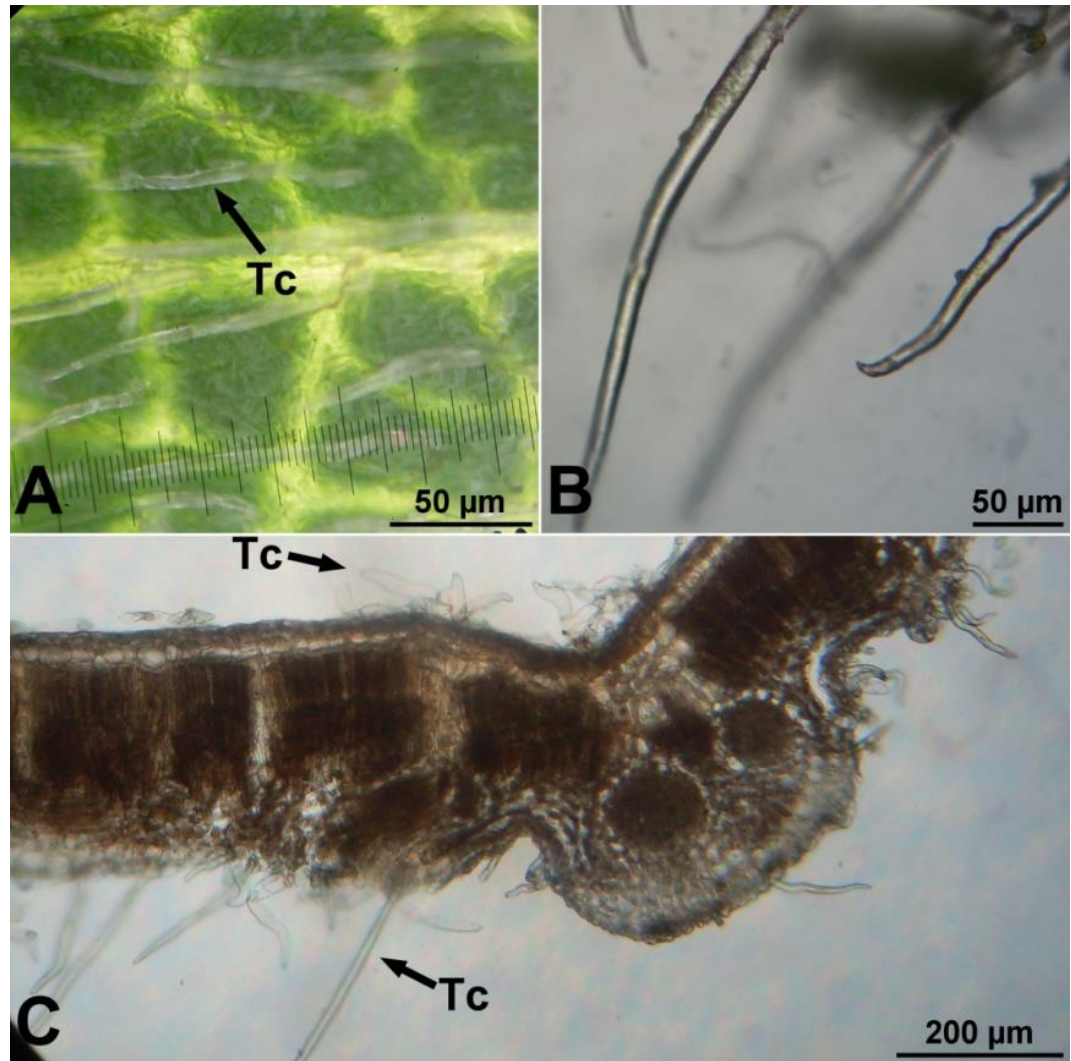


Figura 31. Tricomas de la superficie adaxial y abaxial de la hoja de *Polylepis subsericans*: **A.** Tricoma unicelular de la superficie adaxial de la hoja; **B:** Vista lateral del Tricoma unicelular de la superficie abaxial de la hoja; **C:** Corte transversal de la hoja mostrando los tricomas en ambos lados de la hoja.

4.1.1.7 Ritidoma.

El ritidoma para cada especie se diferenci6 por las agrupaciones celulares que presentan, en el caso de *P. microphylla* presentaba agrupaciones alargadas con dos filas de c6lulas (Figura 34 A y B), para *P. racemosa* las agrupaciones celulares tambi6n eran alargadas pero con dos filas de c6lulas que se mezclan con una fila de c6lulas (Figura 34 C y D) y en *P. subsericans* las agrupaciones celulares eran de forma el6ptica (Figura 34 E y F). En el color, el ritidoma de *P. microphylla* es amarillento y de *P. racemosa* con *P. subsericans* era de color marr6n amarillento.

En el par6metro Grosor del ritidoma se obtuvo que la especie con mayor valor (Figura 32) es *P. subsericans* con un promedio de 4.32 mm, seguido de *P. racemosa* con 3.75 mm y *P. microphylla* con 2.22 mm. De acuerdo al an6lisis estad6stico (Anexo 17.6) existen diferencias significativas entre *P. microphylla* con las otras dos especies, pero no existe diferencias significativas entre *P. subsericans* y *P. racemosa*.

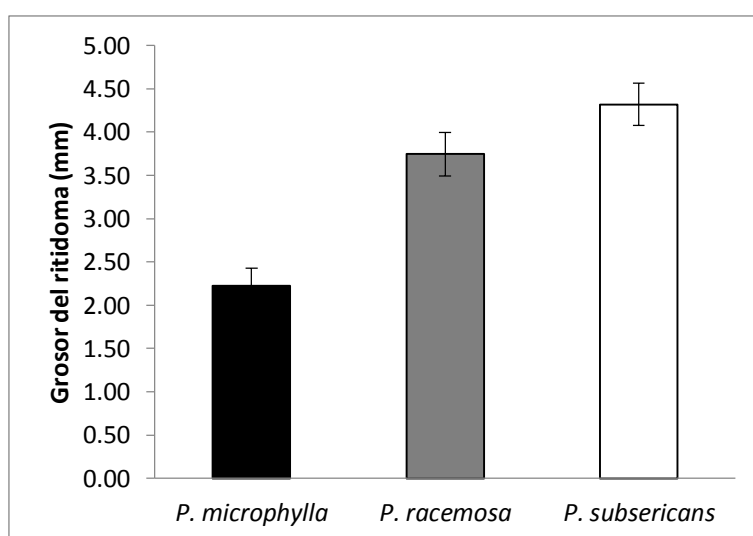


Figura 32. Medida del Grosor del ritidoma (mm) en las tres especies de *Polylepis*

Para los valores de peso del ritidoma se obtuvo que la especie con mayor valor (Figura 33) es *P. microphylla* con un promedio de 0.198 g, seguido de *P. racemosa* con 0.195 g y *P. subsericans* con 0.170 g. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.7) no existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para los valores de peso de ritidoma.

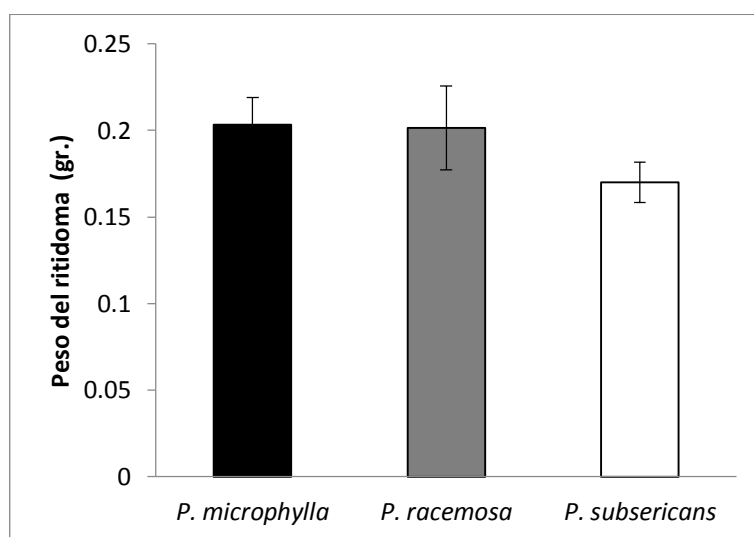


Figura 33. Peso del ritidoma (cm) en las tres especies de *Polylepis*

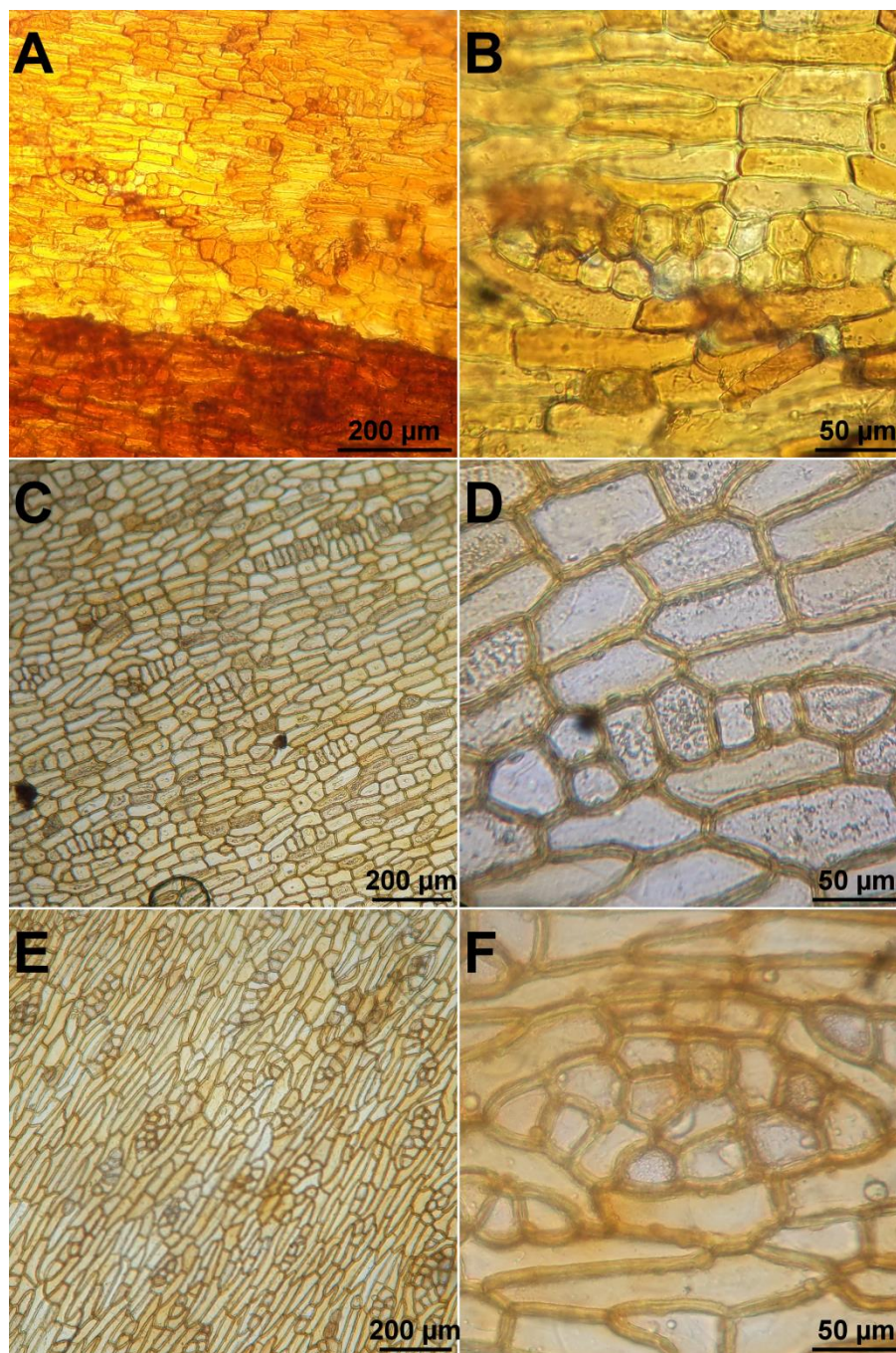


Figura 34. Muestras de ritidomas: *Polylepis microphylla* **A.** Muestra a 10X y **B.** Muestra a 40X; *Polylepis racemosa* **C.** Muestra a 10X y **D.** Muestra a 40X; *Polylepis subsericans* **E.** Muestra a 10X y **F.** Muestra a 40X

4.1.1.8 Altura del árbol, DAP y Densidad de la Madera

De las muestras analizadas para cada especie se obtuvo que la especie con mayor altura, es *P. subsericans* con un valor promedio de 5.6 m, seguido de *P. racemosa* con 5.5 m y *P. microphylla* con 1.3 m (Figura 35). De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.8) no existen diferencias significativas entre *P. subsericans* y *P. racemosa*, pero si existen diferencias significativas de estas dos especies con *P. microphylla*.

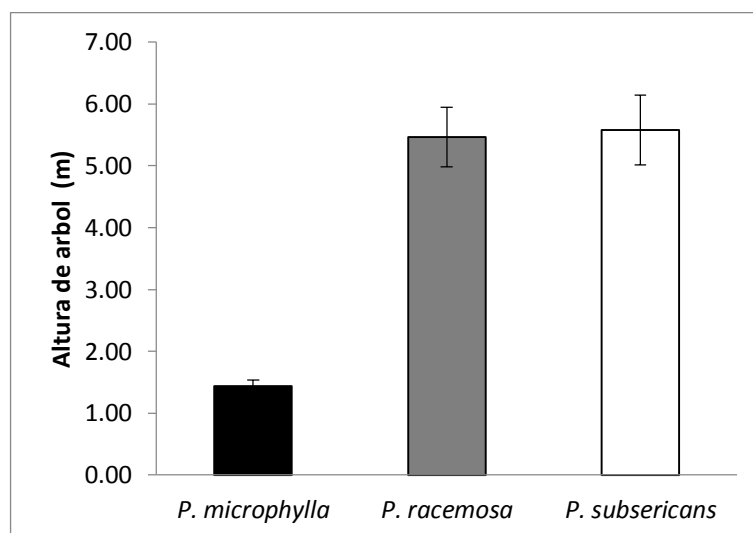


Figura 35. Altura promedio del árbol (m) en las tres especies de *Polylepis*

Para el diámetro a la altura del pecho DAP, se obtuvo que la especie con mayor DAP es *P. racemosa* con un valor promedio de 31.1 cm, seguido de *P. subsericans* con 25.13 cm y *P. microphylla* con 4.08 cm (Figura 36). De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.8) no existen diferencias significativas entre *P. subsericans* y *P. racemosa*, pero si existen diferencias significativas de estas dos especies con *P. microphylla*.

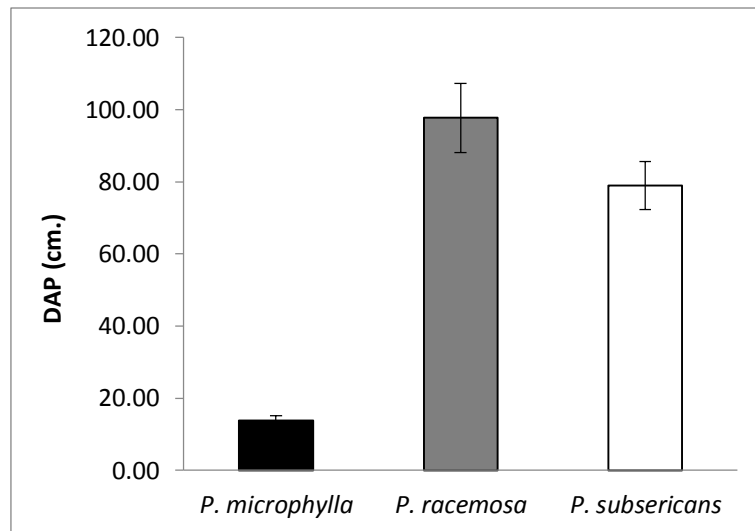


Figura 36. Diámetro a la Altura del pecho – DAP (m) en las tres especies de *Polylepis*

Para Densidad de la Madera, de las muestras analizadas para cada especie se obtuvo que la especie con mayor valor es *P. racemosa* con un valor promedio de 0.438 g.cm-3, seguido de *P. subsericans* con 0.411 g.cm-3 y *P. microphylla* con 0.405 g.cm-3 (Figura 37). De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.9) no existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para la densidad de la madera.

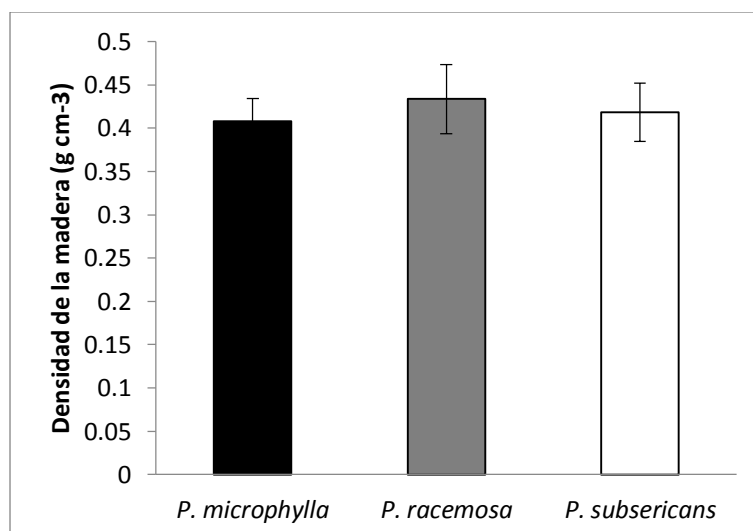


Figura 37. Densidad de la madera g cm-3 en las tres especies de *Polylepis*.

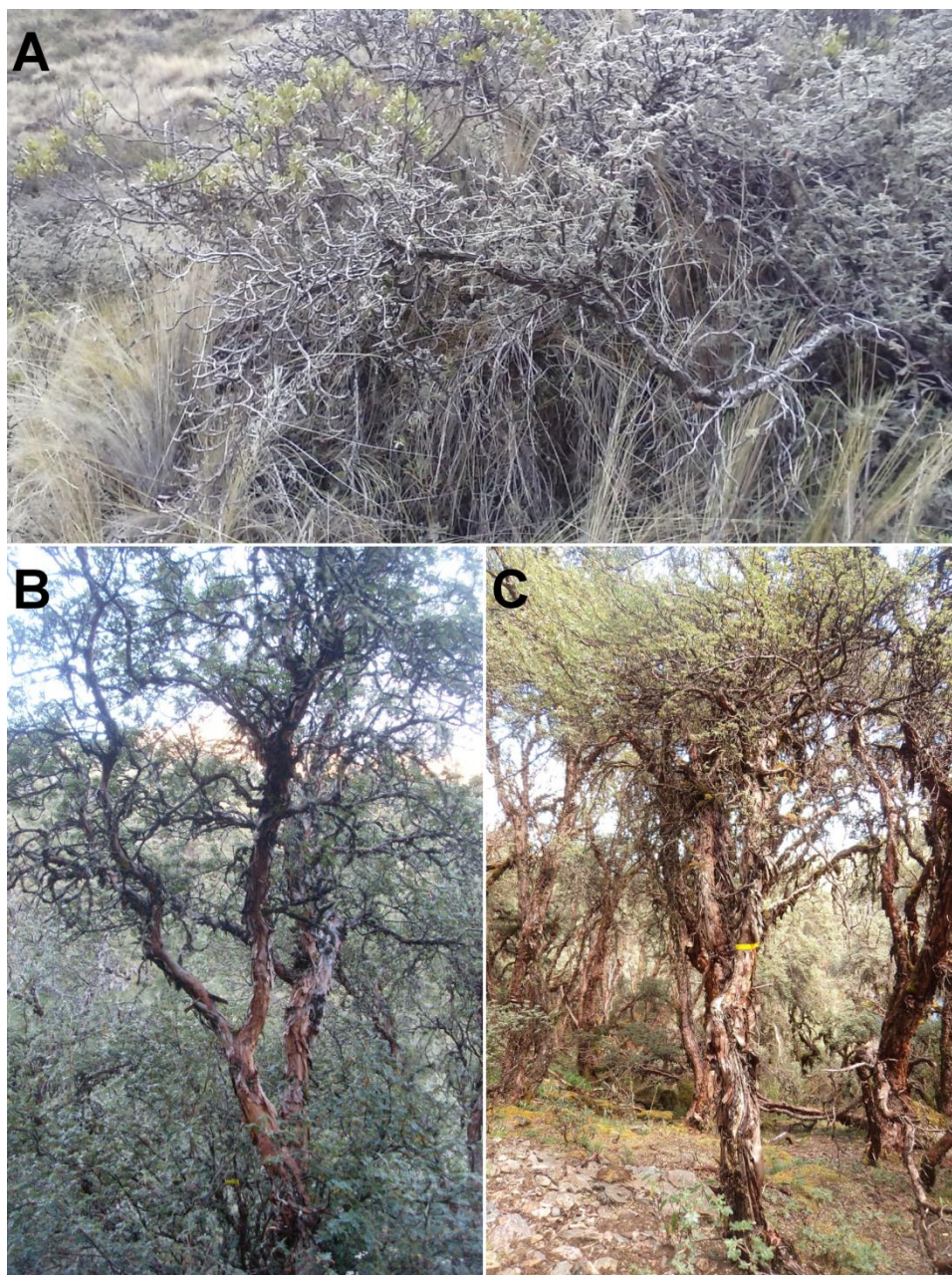


Figura 38. Habito de las especies de *Polylepis* estudiadas. **A.** *Polylepis microphylla*, **B.** *Polylepis racemosa*; **C.** *Polylepis subsericans*

4.1.2 Características Fisiológicas

4.1.2.1 Contenido de agua actual, agua de saturación, contenido hídrico relativo y déficit de saturación hídrica.

Para el análisis de contenido hídrico (CH), los resultados indican (Figura 39) que la especie que presenta mayor valor es *P. subsericans* con un valor promedio de 268.82 seguido de *P. racemosa* con 163.23 y *P. microphylla* con 106.75. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.10) existen diferencias significativas entre las especies de *P. subsericans* con las otras dos especies, pero no existen diferencias significativas entre *P. racemosa* y *P. microphylla*.

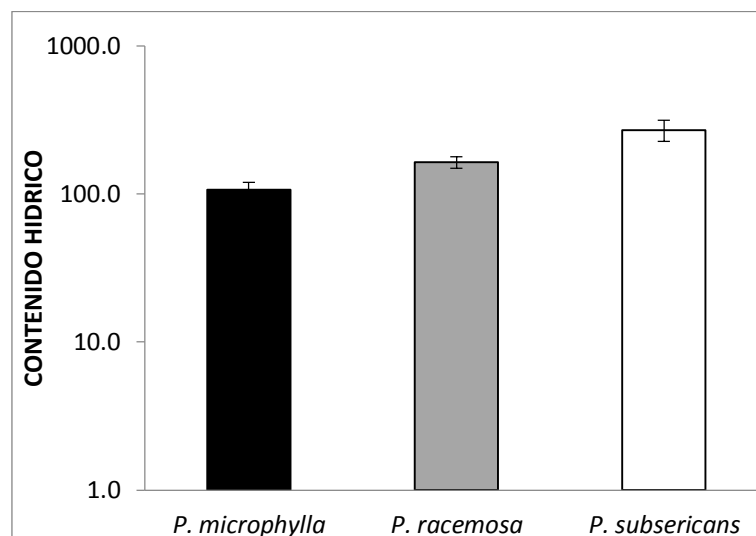


Figura 39. Contenido hídrico de las hojas en las tres especies de *Polylepis*.

Para el **Contenido hídrico relativo** (CHR) se obtuvo que (Figura 40) la especie que presenta mayor valor es *P. racemosa* con un mayor promedio de 77.59 seguido de *P. subsericans* con 76.45 y *P. microphylla* con 58.21. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.11) existen diferencias

significativas entre las especies de *P. microphylla* con las otras dos especies, pero no existen diferencias significativas entre *P. subsericans* y *P. racemosa*.

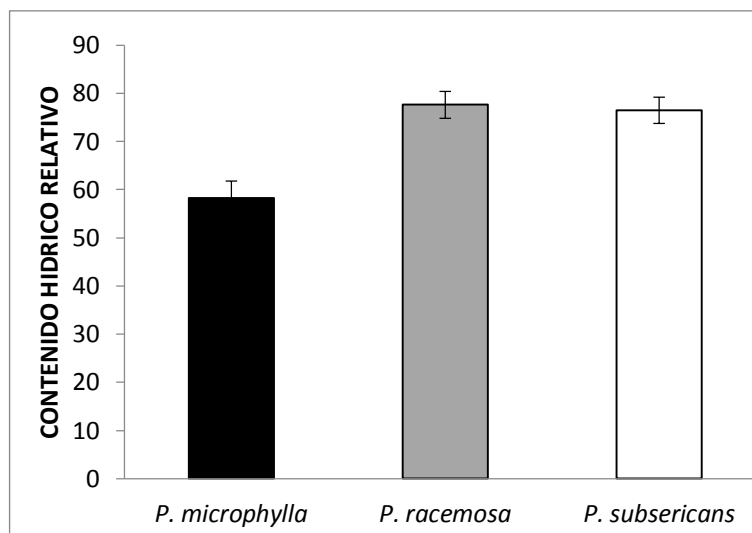


Figura 40. Contenido hídrico relativo de las hojas en las tres especies de *Polylepis*.

Para el **Déficit de Saturación Hídrica** (CHR) se obtuvo que (Figura 41) la especie que presenta mayor valor es *P. microphylla* con un mayor promedio de 41.78 seguido de *P. subsericans* con 23.55 y *P. racemosa* con 22.41. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.12) existen diferencias significativas entre las especies de *P. microphylla* con las otras dos especies, pero no existen diferencias significativas entre *P. subsericans* y *P. racemosa*.

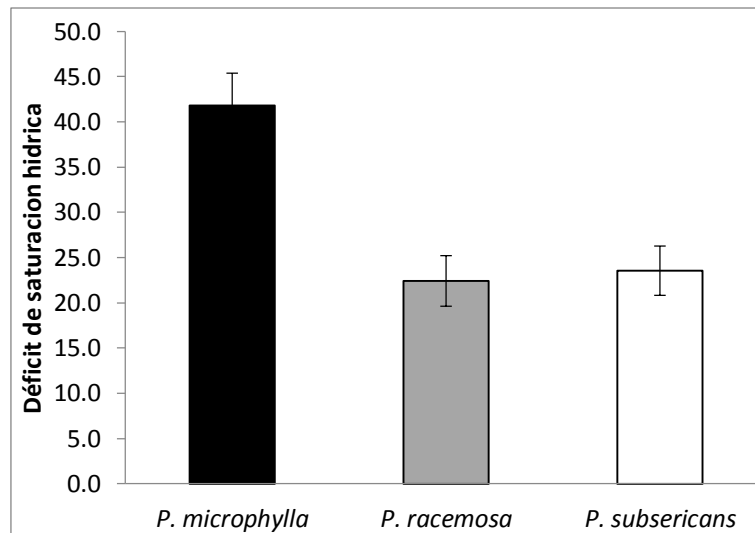


Figura 41. Déficit de saturación hídrica de las hojas en las tres especies de *Polylepis*.

4.1.2.2 Medidas de Fluorescencia.

Para los valores de **Quantum yield** (Qy) se obtuvo que (Figura 42) la especie que presenta mayor valor es *P. subsericans* con un mayor promedio de 0.733 seguido de *P. racemosa* con 0.684 y *P. microphylla* con 0.540. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.13) existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para los valores de Qy.

En el **Rendimiento cuántico PSII** (F_v/f_m') se obtuvo que (Figura 42) la especie que presenta mayor valor es *P. subsericans* con un mayor promedio de 0.773 seguido de *P. racemosa* con 0.730 y *P. microphylla* con 0.588. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.14) existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para los valores de F_v/f_m' .

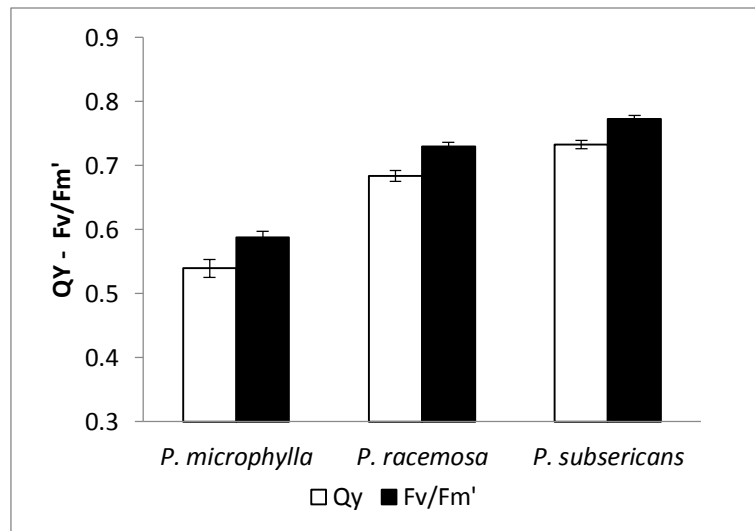


Figura 42. Quantum yield (Qy) y Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm') en las tres especies de *Polylepis*.

Para los valores de **Fluorescencia instantánea (Ft)** se obtuvo que (Figura 48) la especie que presenta mayor valor es *P. microphylla* con un mayor promedio de 2049.150 seguido de *P. racemosa* con 1983.217 y *P. subsericans* con 1126.33. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.15) existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para los valores de Ft.

En la **Fluorescencia mínima (Fo)** se obtuvo que (Figura 48) la especie que presenta mayor valor es *P. microphylla* con un mayor promedio de 2806.117 seguido de *P. racemosa* con 2157.067 y *P. subsericans* con 1426.633. De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 17.16) existen diferencias significativas entre las tres especies de *Polylepis* para los valores de Fo.

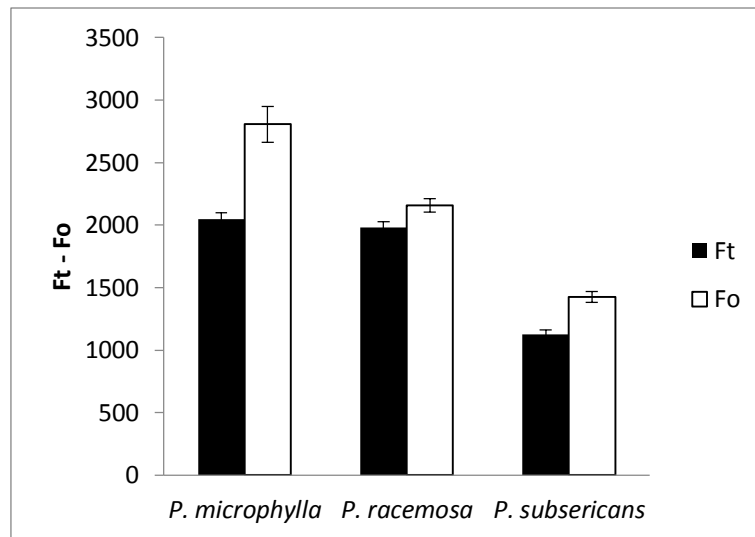


Figura 43. Fluorescencia instantánea (F_t) y Fluorescencia mínima (F_o) en las tres especies de *Polylepis*.

4.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados

Las especies de *Polylepis* son arbustos o árboles nativos que se encuentran a medianas y altas elevaciones en los Andes, algunas especies de *Polylepis* forman bosques que crecen muy por encima de la línea normal de distribución de árboles, a más de 5.000 m.s.n.m. En consecuencia, *Polylepis* parece ser el género de angiospermas que forman bosques naturales que alcanzan el más alto límite altitudinal en el mundo, en dónde la base fisiológica para su crecimiento a estas altitudes aún no ha sido estudiada (Simpson, 1979; Galiano, 1990).

El género *Polylepis* presenta una capacidad de habitar en elevaciones altas y parecen basarse en ciertas adaptaciones funcionales determinadas genéticamente al frío y las condiciones secas, en donde su distribución se ve limitada por un número de factores naturales y antropogénicos (Toivonen, 2014).

En la cordillera del Vilcanota, entre elevaciones de 3700 a 4860 m se encuentran los bosques homogéneos de “Queñás”, ocupando las formaciones morrénicas, borde de las lagunas altoandinas, paredes escarpadas, valles colgantes, talos y bordes rocosos, colonizando a los suelos crioturbados generados por los efectos de la erosión glaciaria. La composición del bosque varía con la altitud, es dominante entre los 3700 a los 4200 m por *Polylepis besseri* y *P. racemosa*, por encima de esta altitud, hasta la línea de la nieve está poblado por *Polylepis subsericans* a excepción de la microcuenca de Wayt'ampu. En la línea altitudinal más baja de los 3600 a 3700 m, en los flancos montañosos con mayor exposición solar, se encuentran pequeños núcleos boscosos de *Polylepis microphylla*, recludos entre formaciones rocosas, con formas achaparradas que no sobrepasan los 2 m (Tupayachi, 2005).

En el valle de Urubamba se presentan diversas bandas térmicas directamente relacionados con la altitud: 1. En la parte más alta de la zona, más de 4000 m de altitud, las temperaturas son extremadamente frías; 2. A partir de 3700 a 4000 m.s.n.m es una zona de temperatura fría con isotermas promedio entre 6 y 8°C; 3. Entre los 3300 a 3700 m.s.n.m es una franja de transición entre el clima normalmente frío y templado con temperaturas medias de 10 a 11°C; y de 2.900 a 3300 m.s.n.m es un clima relativamente cálido, con registros de 14.1 C en Urubamba, el promedio de precipitación es 455,3 mm (Galiano,1990).

En el presente trabajo de investigación encontramos en Urubamba a tres especies de *Polylepis* en diferentes altitudes y condiciones climáticas, en el bosque de K'elloq'ocha a 4343 m.s.n.m con temperaturas frías entre 3 y 8°C a *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., en el bosque de Yanacocha a 3965 m.s.n.m con temperaturas entre 8 a 16°C a *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y en la zona de Mirador a 3564 m.s.n.m con clima relativamente cálido y temperatura promedio de 14.63°C a *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter. En donde *P. subsericans* especie arbórea presenta individuos con una altura promedio de 5.6 m de alto ubicados mayormente en zonas de sombra ligeramente iluminados, *P. racemosa* con individuos de 5.5 m de altura más expuestos a zonas de sol, y entre formaciones rocosas y con mayor exposición solar a *Polylepis microphylla* con formas achaparradas con un promedio de 1.3 m de alto.

La densidad estomática varia con los cambios de altitud y con la estacionalidad hídrica, el incremento de la densidad estomática se da cuando aumenta la altitud,

ello se debe a la disminución en la presión parcial del CO₂ (Woodward & Bazzaz, 1988).

Encontramos que *P. subsericans* presenta el mayor número de estomas por mm² con un valor promedio de 19.76 estomas/mm² y es la especie que se encuentra a mayor altitud, con valores menores se encuentran *P. microphylla* y *P. subsericans* las cuales se ubican a menor altitud, lo cual indicaría que *P. subsericans* presenta mayor densidad estomática como un mecanismo para contrarrestar la disminución parcial del CO₂.

Simpson (1979) examinó la anatomía de las hojas de las poblaciones de 12 especies de *Polylepis*, en donde encontró modificaciones de la estructura interna de la hoja que se correlacionan con los hábitats variables de los diferentes taxones, De acuerdo al estudio realizado por Colmenares *et al.* (2005) en *P. seríceae* Wedd. encontró diferencias estructurales por el efecto altitudinal como reducción del área foliar y aumento de tejido clorofiliano, además de diferencias derivadas del efecto hídrico estacional como engrosamiento cuticular y diferencias en la densidad estomática.

Para Las hojas crecidas en condiciones de luz débil (hojas de sombra), aunque normalmente pueden tener mayor superficie que las desarrolladas con una luz intensa (Azcon – Bieto, 2008). Dentro de las estrategias de aclimatación al déficit hídrico, está la inhibición de la expansión foliar. La reducción en el tamaño de la lámina podría estar correlacionado con una disminución en las tasas transpiratorias en hábitats secos (Taiz & Zeiger, 2002; Lambers, 2008; Salisbury & Ross, 2000). Un carácter dado por el efecto altitudinal es la reducción del área foliar (Colmenares *et al.*, 2005). Para el área foliar encontramos que *P. racemosa* es la

especie con mayor área foliar, siguiéndole *P. subsericans* y *P. microphylla*, a pesar que *P. racemosa* es la especie más expuesta al sol que *P. subsericans*, en este caso el menor valor de área foliar podría deberse a un efecto altitudinal ya que es la especie que se ubica en el bosque a mayor altitud. La especie *P. microphylla* que está más expuesta al sol es la que presenta menor área foliar pero es compensado por el número de hojas por porción de muestra (20cm) siendo los valores mayores a *P. subsericans* y *P. racemosa*, tomando en cuenta además que es la especie que habita en el bosque con menos porcentaje de humedad, esto podría ser una aclimatación a hábitats secos.

Las hojas expuestas a luz débil son más delgadas porque poseen menos capas de células del mesófilo en empalizada, células más cortas, y menor peso por unidad de área foliar en comparación a las hojas de sol en donde la epidermis, parénquima clorofiliano, el mesófilo esponjoso y los sistemas vasculares están más desarrollados, También existen diferencias en el aparato fotosintético: las hojas de sombra poseen más grana por cloroplasto y un mayor número de tilacoides apilados por grana que las de sol (Azcon – Bieto, 2008). Por lo que *P. subsericans* siendo la especie ubicada en un hábitat con menos horas luz es la que presenta el menor valor para el largo de células del parénquima, comparado con las otras dos especies, en donde *P. microphylla* siendo la especie más expuesta al sol es la que presenta el mayor valor.

La disminución del Área Foliar Específica es un indicativo de estrés hídrico al cual está sometido la especie (Pyykoo, 1966), en este caso encontramos que la especie

con menor área foliar específica es *P. Microphylla* siendo la más expuesta a la luz solar y con bajo porcentaje de humedad comparado con las otras zonas de estudio.

Las condiciones ecológicas de los bosques de *Polylepis* se pueden caracterizar principalmente en relación a condiciones de temperatura, humedad y suelos. Debido a su localización a grandes elevaciones en los Andes, los bosques de *Polylepis* están sujetos a amplias fluctuaciones diurnas de temperatura, con diferencias de 20-30°C entre las temperaturas máximas del día y las heladas nocturnas. Estas fluctuaciones representan un estrés enorme para las plantas. Sobre todo a altitudes por encima de los 4.000 m, la gran mayoría de las especies muestra adaptaciones a temperaturas bajas. Estas pueden ser morfológicas como las gruesas cortezas de *Polylepis* o fisiológicas como la resistencia al congelamiento que también se observa en *Polylepis* (Goldstein *et al.* 1994; Körner, 1999; Hoch & Körner, 2005). La corteza externa del género *Polylepis* está formada por ritidoma membranáceo papiráceo, de color rojizo a marrón amarillento que se desprende de forma continua en capa delgadas. El espesor de la corteza puede alcanzar valores de 3 cm la que le sirve como material aislante de las heladas nocturnas y de la radiación diurna (Lao *et al.*, 1990). En el parámetro Grosor del ritidoma *P. subsericans* es la especie que presenta el mayor valor seguido de *Polylepis racemosa*, con la que no existen diferencias significativas, siendo esta una adaptación para combatir las bajas temperaturas, el menor grosor de ritidoma lo presenta *P. microphylla* ya que habita un ambiente más cálido que las otras dos especies.

El agua constituye gran parte de las plantas (Kramer y Boyer, 1995; Taiz y Zeiger, 2002). En solución acuosa ocurre la mayor parte de las reacciones metabólicas, además de procesos necesarios como el crecimiento celular, la fotosíntesis y por

tanto la misma productividad (Taiz y Zeiger, 2002). Por esta razón, la escasez de agua en el ambiente de la planta origina respuestas en su crecimiento y productividad.

El estrés hídrico origina efectos negativos en el desarrollo de las plantas, debido a esto y a la intensificación de períodos de sequía por el cambio climático global (Damour *et al.*, 2010). Si el suelo se seca, se reduce el paso de agua del suelo a la planta, lo que origina déficit hídrico y por tanto cierre de estomas (Domec *et al.*, 2010; Dodd & Davies, 2010). Sin embargo, cada especie vegetal tiene un umbral de respuesta al potencial hídrico y a los factores que influyen en la apertura estomática (Taiz & Zeiger, 2002). Una medida del estado hídrico de la planta se realiza por medio del contenido hídrico relativo, que es un indicador del balance hídrico de la planta porque expresa la cantidad absoluta de agua que necesita la planta para alcanzar una saturación total (González y González-Vilar, 2001). *P. subsericans* presenta el mayor valor de contenido hídrico seguido de *P. racemosa* y *P. microphylla*, esto coincide con el tipo de hábitat en la que se presentan, ya en el contenido hídrico relativo es decir la cantidad de agua que requiere cada especie encontramos que *P. racemosa* presenta el mayor valor seguido de *P. subsericans* y *P. microphylla*, aunque no existen diferencias significativas entre las dos primeras lo que indica que estas especies requieren más cantidad de agua. Para el déficit del contenido hídrico encontramos que *P. microphylla*, seguido de *P. subsericans* y *P. racemosa*, no existiendo diferencias significativas entre las dos últimas, lo que indica que *P. microphylla* al estar en un ambiente con mayor incidencia solar, con mayores temperaturas y menor humedad es que a pesar de presentar este déficit de

agua se ha adaptado a estas condiciones ya que su contenido hídrico relativo es menor que las otras dos especies.

Uno de los principales efectos de las condiciones de estrés en las plantas es la generación de estrés fotooxidativo que se compensa en parte por la activación de los llamados mecanismos de fotoprotección. Estos mecanismos incluyen un conjunto completo de las estrategias que reducen la eficiencia de absorción de energía de la luz, aumentar la tasa de disipación de energía y mejorar la detoxificación de especies oxidativas. Un mecanismo morfológico visible es la pubescencia de las hojas, donde se ha encontrado que disminuye la absorbancia de la radiación solar debido principalmente a un aumento de la reflectancia en la hoja (Ehleringer, 1984). Además, Karabourniotis y Bornman (1999) propusieron que la ocurrencia de una capa de tricomas densos, especialmente en las hojas jóvenes, puede jugar un papel protector no sólo contra el daño de la radiación UV-B, sino también contra la alta radiación visible y esta función se lleva a cabo con independencia de la diferencia en la anatomía de pelos individuales. Según Simpson (1979), la densa cubierta de tricomas o resina en la superficie abaxial de las hojas ayudan a prevenir la desecación cuando los estomas están cerrados en especies presentes en hábitats secos. En el presente estudio encontramos que de las tres especies solo *P. subsericans* presenta tricomas en ambas caras del mesofilo, siendo los tricomas de la superficie adaxial un mecanismo de incremento de la reflectancia de la hoja y así disminuir la absorción de la radiación solar. *P. racemosa* y *P. microphylla* al encontrarse en hábitats con menor humedad presentan tricomas en la superficie abaxial como un mecanismo para evitar la desecación.

La densidad de madera de un árbol es una variable interesante porque informa sobre la cantidad de carbono que la planta destina al costo de construcción (Chave, 2002). La densidad de madera varía dentro de la planta, durante la vida de la planta y entre individuos de una misma especie. Además, las ramas y las partes exteriores del tronco tienden a presentar densidades de madera más bajas que la médula del tronco. La densidad de la madera varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma, y depende del grado de humedad y la zona donde habita un árbol. En el presente estudio encontramos que las tres especies de *Polylepis* presentan valores similares en la densidad de la madera no habiendo diferencias significativas.

El parámetro de Rendimiento cuántico PSII (F_v/f_m') es una estimación del rendimiento cuántico máximo del PSII, y su disminución indica daño por fotoinhibición. El rendimiento cuántico del PSII informa de la probabilidad de que un fotón de luz absorbido sea utilizado en el PSII liberando un electrón a la cadena de transporte electrónico. Los valores de F_v/f_m' de una gran variedad de plantas no estresadas adaptadas a la oscuridad es de 0.75-0.85. (Azcon-Bieto, 2008). Hojas sanas que no están sufriendo ningún tipo de estrés poseen típicamente valores de alrededor de 0,8. Este índice muestra una clara correlación con el porcentaje de centros funcionales del fotosistema II, por lo que su disminución es considerada un indicador de pérdida de función a nivel del aparato fotosintético (Bilger *et al.*, 1995). Sin embargo, también se ha descrito una disminución de este parámetro asociado a procesos de fotoprotección (Osmond *et al.* 1999). Los valores presentados para las tres especies estudiadas con luz modulada son menores al 0.8, presentando el mayor valor es *P. subsericans* (0.773) seguido de *P. racemosa* (0.730) y *P. microphylla* con (0.588), existiendo diferencias significativas entre las

tres especies, indicando que existen factores de estrés con mayor grado en el hábitat de *P. microphylla* pero que a su vez se asocian a mecanismos de fotoprotección.

Para el parámetro conocido como Quantum yield (Qy) o rendimiento efectivo del PSII, es proporcional al rendimiento cuántico de la asimilación de CO₂ en condiciones no-fotorespiratorias (Genty *et al.* 1989). Su valor puede estar entre 0 y 0.8. En donde la especie que presenta mayor valor es *P. subsericans* (0.733) seguido de *P. racemosa* (0.684) y *P. microphylla* (0.540), no existiendo diferencias significativas entre las tres especies.

La fluorescencia inicial Fo es un parámetro que se afectado por cualquier estrés ambiental que cause alteraciones estructurales en los pigmentos del PSII, centro colector de la radiación solar, fundamental en el proceso de fotosíntesis. Los daños causados por altas temperaturas y fotoinhibición producen altos valores de Fo (Azcon-Bieto, 2008). En la Figura 48 observamos que la especie que presenta mayor valor de Fo es *P. microphylla* (2806.117) seguido de *P. racemosa* (2157.067) y *P. subsericans* con 1426.633, por lo que se podría indicar que hay una posible alteración en el centro colector de radiación solar a nivel de pigmentos y complejos en *P. microphylla*.

La Fluorescencia instantánea (Ft), normalmente disminuye cuando las hojas son sometidas a temperaturas altas pero no dañinas, tratamientos con temperaturas altas producen un aumento en Fo y disminución en Ft, acompañado en una inhibición del PSII (Azcon-Bieto, 2008). Los resultados obtenidos indican que todas las especies presentan valores altos de Fo con disminución de Ft, en donde indicarían que se ven afectados por la radiación solar, en donde la especie *P. microphylla* es la que

presenta los valores más altos comparados con las otras dos especies indicativo de un mecanismo de fotoprotección a través de la fotoinhibición.

CONCLUSIONES

- Las tres especies, *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter, *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis subsericans* J.F. Macbr presentan diferencias en las características morfológicas y fisiológicas.
- Se encontró que las tres especies de *Polylepis* presentan diferencias en el número de hojas y foliolos, área foliar específica, grosor de la hoja, largo de células del parénquima clorofiliano, densidad estomática, densidad y forma de tricomas, grosor del ritidoma, altura de árbol, diámetro a la altura del pecho, Contenido hídrico, contenido hídrico relativo, déficit de saturación hídrica y medidas de fluorescencia.
- No se presentaron diferencias significativas en el largo de células epidérmicas, peso de Ritidoma y densidad de la madera.
- *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter que habita a 3564 m.s.n.m, zona con clima relativamente cálido, con registros de Temperatura de 14.63 °C presenta características de zonas cálidas con mayor radiación solar como reducida área foliar, cuatro corridas de células de parénquima clorofiliano, mayor grosor de hoja y de cutícula, tricomas en la superficie abaxial de la hoja, menor contenido hídrico relativo, bajo valor de Rendimiento cuántico PSII indicativo de estrés por radiación solar pero a su vez como mecanismo de fotoinhibición relacionado a otras características morfológicas como mayor grosor de cutícula en el mesofilo.
- *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. especie que se encuentra en el bosque de Yanacocha a 3965 m.s.n.m, siendo una franja de transición entre el clima normalmente frío y templado con temperatura promedio de 11.9 °C., presenta

características morfológicas y fisiológicas similares a las presentadas por *P. microphylla* como mayor largo del parénquima clorofiliano, mayor grosor de hoja, tricomas en la superficie abaxial de la hoja, valores bajos para el Rendimiento cuántico PSII, indicativo de estrés y de un mecanismo de fotoprotección para la disipación de la energía solar, las cuales podrían estar relacionadas con estrés hídrico y alta radiación solar.

- *Polylepis subsericans* J.F. Macbr, especie que se encuentra en el bosque de K'elloq'ocha ubicado a 4343 m.s.n.m con Temperatura promedio de 5.38 °C, ubicado a 4343 m.s.n.m presenta características morfológicas y fisiológicas de zonas de mayor altitud como mayor número de estomas por mm², mayor grosor del ritidoma relacionado con temperaturas bajas, tricomas en la superficie adaxial de la hoja para disminuir la absorción de la radiación solar, mayor contenido hídrico relativo relacionado a su habitat más húmedo y un óptimo valor para el Rendimiento cuántico PSII.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APG III.** 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Botanical Journal of the Linnean Society, 2009, 161, 105–121.
- ARNON, D.I.** 1992. Conceptual evolution in photosynthesis: the quest for a common denominator. En Trens in photosynthesis research. Barber, J., Guerrero, M.G., Medrano, H. (eds.) Intercept Limited. Andover.
- AZCON-BIETO, J.** 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª edición. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España. 656 págs.
- BILGER, W.; SCHREIBER, U. & M. BOCK.** 1995. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. Oecologia 102: 425-432.
- BOWMAN, I.** 1938. Los Andes del Sur del Perú. Editorial. La Colmena Arequipa-Perú.
- CÁMARA A., R. & F. DÍAZ DEL OLMO.** 2013. Muestreo en transecto de formaciones vegetales de fanerófitos y caméfitos (I): fundamentos metodológicos. Estudios Geográficos Vol. LXXIV, 274, pp. 67-88. Universidad de Sevilla, España.
- CARLOTTO, V.; GIL, W.; CÁRDENAS, J.; CHÁVEZ, R.; & VALLENAS, V.** 1996. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca-Boletín N° 65 Serie A: Carta Geológica Nacional. (Hojas 27r y 27s). INGEMMET. Lima-Perú.

- COLMENARES A., M; RADA, F. & R. LUQUE.** 2005. Anatomía Foliar de *Polylepis sericea* Wedd. (Rosaceae) a dos altitudes en los Altos Andes Venezolanos. *Plantula* 3 (3): 141 – 148.
- CHAVE, J.** 2002. Manual de Campo: Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Sixth Framework Programme (2002-2006). Lab. Evolution et Diversité Biologique. Université Paul Sabatier 31000 Toulouse, France.
- DAMOUR, G.; SIMONNEAU, T.; COCHARD, H. & L. URBAN.** (2010). An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, Cell and Environment* 33, 1419-1438
- DE OLARTE.** 1991. Geografía. Editorial Andina. S.R.Ltda. Cusco.
- DIAZ P. V., M.** 2013. Diversidad Liqueñica en Árboles de *Polylepis* y la importancia de su conservación en las localidades de Cancha-Cancha, Contorqayku, Quellococha y Mantamay, Cordillera del Vilcanota, Cusco. Tesis para optar el título de Biólogo.
- DODD, I. C. & W. J. DAVIES.** 2010. Hormones and the regulation of water balance. Pp 519-538. En: Davies PJ (Ed) *Plant hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action*. Third Edition. Springer, Netherlands. 802 pp.
- DOMEC, J. C.; KING, J. S.; NOORMETS, A.; TREASURE E.; GAVAZZI, M.J.; SUN, G. & S. G. MCNULTY**(2010) Hydraulic redistribution of soil water by roots affects whole-stand evapotranspiration and net ecosystem carbon exchange. *New Phytologist* 187, 171-183
- EL-SHARKAWY, M. A; COCK, J. H. & A. D. P. HERNANDEZ.** 1985. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research* 7:137-149.

- EHLERINGER, J.** 1984. Ecology and ecophysiology of leaf pubescence in North American desert plants. In: Rodriguez E, Healey PL, Mehta I (eds) Biology and chemistry of plant trichomes. Plenum, New York, pp 113–132.
- FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.** 2004. INVENTARIO FORESTAL. MANUAL DE CAMPO: Programa de los Recursos Forestales Guatemala.
- GALIANO, W.** 1990. The Flora of Yanacocha; A Tropical High Andean Forest in Southern Peru. A thesis for the degree of master of Science. University of Missouri. St. Louis. U.S.A. 270 págs.
- GALIANO, W.** 1992. Recursos Forestales Nativos Altoandinos de las Provincias del Cusco y el Valle Sagrado de los Incas en el Sur Este peruano. Medio Ambiente y Desarrollo 1: 25-34, Cusco.
- GENTY B.; BRIANTAIS J. & N. BAKER.** 1989. Biochimica et Biophysica Acta. 990: 87-92.
- GONZÁLEZ M., S; PERALES V., H & M. O. SALCEDO A.** 2008. La Fluorescencia de la Clorofila A como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de Plantas y Algas. REB 27(4): 119-129.
- GOLDSTEIN, G., MEINZER, F.C., RADA, F.** 1994. Environmental Biology of a Tropical Treeline Species, *Polylepis sericea*. Capítulo 7. Tropical Alpine Environments: Plant form and function. Rundel, P.W., Smith, A.P, Meinzer, F.C. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, pp. 129-149.
- GONZÁLES L. & M. GONZÁLES-VILAR.** 2001. Determination of relative water content. En: Reigosa, MJ. Handbook of plant ecophysiology techniques. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Netherland. 452pp.

- HACKE, U. G., J. S. SPERRY & J. PITTERMANN.** 2005. Efficiency versus safety tradeoffs for water conduction in angiosperm vessels versus gymnosperm tracheids. In N. M. Holbrook and M. A. Zwieniecki [eds.]. Vascular transport in plants, 333–353. Elsevier Academic Press, Amsterdam, Netherlands.
- HENSEN, L.** 1991. El bosque de Kewiña de Chorojo: Ejemplo de un sistema Agroforestal Andino Sostenible. Agroecología. Universidad de Cochabamba, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba – Bolivia.
- HOCH, G. & C. KÖRNER.** 2005. Growth, demography and carbon relations of *Polylepis* trees at the world's highest treeline. *Functional Ecology* 19: 941-951.
- HOLMGREN, P.; N. H. HOLMGREN & L. C. BARNETT.** 1990. Index Herbariorum. Part I, The Herbaria of the world, 8th edition. New York Botanical Garden. New York, NY, U.S.A
- HOLDRIDGE, L. R.** 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA.
- HUECK, K.** 1972. As florestas da America do Sul. Sao Paulo. Universidade de Brazilia. 466 pág.
- JOMELLI, V.; PAVLOVA, I; GUIN, O.; SOLIZ-GAMBOA, S.; CONTRERAS, A.; TOIVONEN, J. M. & P. ZETTERBERG.** 2012. Analysis of the dendroclimatic potential of *Polylepis pepeii*, *P. subsericans* and *P. rugulosa* in the tropical andes (Peru-Bolivia). *Tree-Ring Research* 68(2): 91–103.
- KARABOURNIOTIS, G. & J. F. BORNMAN.** 1999. Penetration of UV-A, UV-B and blue light through the leaf trichome layers of two xeromorphic plants, olive and oak, measured by optical fibre microprobes. *Physiol Plant* 105:655–661

- KALAFATOVICH, C.** 1956. La glaciación Pleistocénica en Urubamba. Revista Universitaria UNSAAC: 235-252. UNSAAC, Cusco.
- KESSLER, M.** 2006. Bosque de *Polylepis*. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Pág. 110-120.
- KÖRNER, CH.** 1999. Alpine Plant Life: functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer. Berlin, Heidelberg, Nueva York.
- KRAUSE, G.H., WEIS, E.** 1984. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals. Photosynthesis Research 5: 139-157.
- LAMBERS, H., S. CHAPIN & T. PONS.** 2008. Plant physiological ecology. Springer. New York. 604 pp.
- LAO M., R; ZEVALLOS P., R & DE LA CRUZ S., H.** 1990. Información preliminar de la ecología, dendrología y distribución geográfica de las especies del género *Polylepis* en el Perú. Revista Espacio y Desarrollo 2: 47-62.
- LEVITT, J.** 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2nd. edition. V 1: chilling, freezing and high temperature stresses. V 2: water stress, dehydration and drought injury. Academic Press. 607 pp.
- MENDOZA, W. Y A. CANO.** 2011. Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. Rev. Peru. biol. 18(2): 197 – 200.
- MOLIST, P.; POMBAL, M. A. & M. MEGÍAS.** 2014. Atlas de Histología Vegetal y Animal, Tejidos vegetales de protección. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo.
- ORÓZ, A.** 2005. Evaluación de la biodiversidad de los bosques de *Polylepis* del Corredor de Conchucos – Huaraz. Asociación de Ecosistemas Andinos – ECOAN.

- PÉREZ, L.V.; ROJAS, Y. A. & L. M. MELGAREJO.** 2010. Experimentos en Fisiología Vegetal, Capítulo IV: Agua. Universidad Nacional de Colombia.
- PÉREZ R., C.** 2000. El Ciclo de las Xantofilas en Plantas Sometidas a Estrés Nutricional o Climático. Tesis Doctoral. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Departamento de Nutrición Vegetal Estación Experimental de Aula Dei Zaragoza. 254 pp.
- PROGRAMA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO - PACC.** 2012. Caracterización Climática de las Regiones Cusco y Apurímac. Serie impresa de investigación regional N°1.
- PYYKKÖ, M.** 1966. The leaf anatomy of East Patagonian xeromorphic plants. *Annales Botanici Fennici* 3 (4): 453-622.
- MADIDI.** 2012. Protocolo para la medición de características funcionales. La Paz – Bolivia.
- OSMOND C. B.; ANDERSON J. M.; BALL M. C. & J. J. EGERTON.** 1999. Compromising efficiency: the molecular ecology of light-resource utilization in plants. In 'Physiological Plant Ecology' (Press MC, Scholes JD eds.) Blackwell Science.
- RODRIGUEZ R., E Y R. P. ROJAS G.** 2006. El Herbario: Administración y Manejo de Colecciones Botánicas. Jardín Botánico de Missouri – PERU.
- ROYER, D. L.** 2001. Stomatal density and stomatal index as indicators of paleoatmospheric CO₂ concentration. *Review of Palaeobotany and Palynology* 114: 1-28.
- SALISBURY, F. & F. ROSS.** 2000. Fisiología de las Plantas. Thompson Editores Spain Paraninfo, S.A. España. 947 pp.

- SAMPIERI H., R; FERNANDEZ C., C. & M. BAPTISTA L.** 2010. Metodología de la Investigación. Quinta Edición. Editorial McGRAW-Hill/Interamericana Editores, s.a. México.
- SIMPSON, B. B.** 1979. A revisión of the Genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). Smithsonian Contributions to Botany. Number 43. Smithsonian Institution Press. Washington. U.S.A.
- TAIZ, L. Y E. ZEIGER.** 2002. Plant Physiology. Tercera Edición. Editorial Sinauer Associates. Inc Publishers. 674 páginas.
- TOSI, J.** 1960. Zonas de Vida Natural en el Perú, Instituto Inter-Americano de Ciencias Agrícola de la OEA: Zona Andina, Boletín Técnico No. 5, Lima.
- TOIVONEN M., J.** 2014. Determinants of *Polylepis* (Rosaceae) forest distribution and treeline formation. in the High Andes. University of Turku. Finland 2014.
- TOIVONEN M., J.; HORNA, V.; KESSLER, M.; RUOKOLAINEN, K. & D. HERTEL.** 2014. Interspecific variation in functional traits in relation to species climatic niche optima in Andean *Polylepis* (Rosaceae) tree species: evidence for climatic adaptations. Functional Plant Biology 41: 301–312
- TUPAYACHI H., A.** 2005. Flora de la Cordillera de Vilcanota. Arnaldoa, 12 (1-2): 126-144. ISSN 1815-8242.
- WARDLE, P.** 1971. An explanation for alpine timberline. N.Z. Journal of Botany 9: 371 -402.
- WOMERSLEY, J.** 1981. Plant collecting and Herbarium development, a manual. FAO Plant Production and Protection Paper. Rome 33: 1 -137.
- WOODWARD, F. I. & BAZZAZ, F. A.** 1988. The Responses of Stomatal Density to CO₂ Partial Pressure. Journal of Experimental Botany 39 (12): 1771-1781.

YEPES, A. & M. SILVEIRA B. 2001. Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global. Colombia Forestal 14(2): 213-232.

ANEXOS

Anexo 01. Datos obtenidos de número de hojas y número de folíolos en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. subsericans</i>		<i>P. racemosa</i>		<i>P. microphylla</i>	
N°	N° HOJAS	N° FOLIOLOS	N° HOJAS	N° FOLIOLOS	N° HOJAS	N° FOLIOLOS
1	36	3	36	7	112	13
2	42	3	30	7	84	13
3	29	3	35	6	63	13
4	25	3	17	7	121	13
5	54	3	54	5	70	13
6	46	3	31	5	126	13
7	19	3	43	6	69	13
8	44	3	15	5	112	13
9	26	3	42	7	130	13
10	35	3	15	6	154	13
11	40	3	53	5	169	13
12	29	3	14	7	129	13
13	28	3	51	6	102	13
14	54	3	35	6	83	13
15	22	3	41	7	62	13
16	43	3	15	5	153	13
17	26	3	34	6	111	13
18	55	3	54	7	82	13
19	20	3	43	7	61	13
20	41	3	35	7	150	13
21	29	3	14	5	102	13
22	26	3	42	6	188	13
23	54	3	34	7	115	13
24	27	3	13	7	180	13
25	24	3	41	6	60	13
26	56	3	55	5	80	13
27	36	3	34	7	112	13
28	20	3	15	7	70	13
29	42	3	40	6	122	13
30	25	3	26	5	70	13
Promedio	35.67	3.00	33.67	6.18	110.85	13.00
SD	3.88	0.00	4.52	0.15	9.05	0.00

Anexo 02. Datos obtenidos de número de área foliar (cm²) , peso seco (g) y Área foliar específica (cm² g⁻¹) en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. microphylla</i>			<i>P. racemosa</i>			<i>P. subsericans</i>		
N°	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
1	0.79	0.03	30.31	6.05	0.16	37.84	6.32	0.06	105.25
2	1.09	0.01	182.00	5.93	0.13	45.62	4.82	0.09	53.50
3	0.71	0.01	59.08	4.27	0.09	47.47	4.60	0.06	76.67
4	0.83	0.02	46.00	6.62	0.13	50.91	6.70	0.03	223.27
5	0.75	0.03	28.88	6.80	0.19	35.78	5.65	0.03	188.27
6	0.95	0.02	52.72	11.79	0.13	90.71	5.91	0.06	98.45
7	1.01	0.03	38.69	9.79	0.09	108.77	6.68	0.03	222.67
8	0.94	0.02	52.11	7.90	0.06	131.68	5.42	0.06	90.30
9	0.81	0.02	40.60	10.15	0.09	112.82	4.44	0.06	73.95
10	1.02	0.04	26.87	9.07	0.09	100.72	7.29	0.06	121.47
11	0.91	0.04	23.82	8.65	0.13	66.54	7.24	0.03	241.37
12	0.79	0.01	60.77	8.78	0.13	67.55	8.72	0.13	67.05
13	1.08	0.02	56.58	9.84	0.13	75.69	5.98	0.06	99.68
14	0.91	0.03	33.81	10.72	0.19	56.42	7.14	0.09	79.31
15	0.94	0.02	49.68	10.04	0.16	62.72	6.17	0.06	102.83
16	1.16	0.01	165.29	7.27	0.13	55.93	8.40	0.06	140.00
17	1.01	0.03	37.48	7.41	0.13	56.99	5.34	0.03	177.93
18	0.88	0.02	51.47	6.61	0.13	50.87	6.99	0.13	53.75
19	1.05	0.02	55.16	10.25	0.09	113.87	7.66	0.06	127.73
20	0.71	0.01	64.64	10.45	0.13	80.35	4.44	0.06	73.92
21	1.06	0.02	62.47	8.99	0.03	299.67	3.54	0.03	118.00
22	0.95	0.03	37.92	11.56	0.16	72.23	5.05	0.03	168.17
23	0.77	0.03	28.63	14.64	0.22	66.53	3.85	0.01	384.80
24	0.96	0.03	38.52	12.08	0.16	75.52	4.95	0.03	165.10
25	1.02	0.01	204.40	9.68	0.13	74.48	7.36	0.07	105.09
26	0.86	0.02	50.29	13.87	0.22	63.06	5.88	0.06	98.03
27	0.62	0.03	24.92	6.68	0.13	51.37	6.99	0.07	99.84
28	0.98	0.03	32.70	11.69	0.13	89.88	7.28	0.06	121.27
29	0.90	0.04	23.79	10.40	0.13	80.01	4.51	0.06	75.20
30	1.11	0.01	110.70	10.25	0.09	113.93	7.26	0.03	241.87
Promedio		0.88	59.01		6.27	81.20		4.84	133.16
SD		0.021	8.41		0.406	8.78		0.138	13.28

Anexo 03. Datos obtenidos de Grosor de hoja (μm) en *Polylepis subsericans* J.F.

Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

Grosor de hoja (μm)			
N°	<i>P. microphylla</i>	<i>P. subsericans</i>	<i>P. subsericans</i>
1	400.57	386.93	317.54
2	496.37	408.29	429.34
3	292.49	289.19	352.19
4	238.34	315.16	359.48
5	438.68	295.90	432.95
6	393.71	234.04	276.30
7	432.22	273.13	296.47
8	489.83	434.98	390.30
9	451.55	390.91	339.12
10	380.45	447.55	305.09
11	410.49	361.04	392.82
12	295.60	393.87	355.54
13	403.76	397.78	309.91
14	417.23	428.82	405.99
15	445.34	367.56	354.50
16	412.39	340.74	290.50
17	362.94	408.29	371.64
18	275.43	409.61	408.90
19	399.68	440.40	316.29
20	399.46	412.63	397.51
21	317.52	379.45	412.69
22	359.17	398.56	351.63
23	543.08	405.49	362.69
24	311.28	411.12	376.65
25	382.08	386.93	386.68
26	359.92	579.90	388.08
27	389.66	488.16	368.23
28	371.16	400.95	402.75
29	340.00	493.68	339.20
30	384.19	540.60	381.08
31	403.35	494.47	368.23
32	544.10	442.04	375.34
33	584.80	469.73	378.42
34	497.17	537.78	343.75
35	470.83	457.37	372.50
36	406.35	496.65	347.18
37	413.01	381.08	311.18
38	346.24	333.31	415.55
39	416.48	305.94	393.76
40	387.93	381.89	353.66
41	421.96	338.00	407.57
42	435.41	395.96	374.28

43	496.48	354.92	348.95
44	408.74	312.28	322.48
45	379.33	343.46	334.06
46	437.89	385.12	330.35
47	451.80	420.49	486.14
48	458.81	434.09	379.72
49	470.89	357.31	473.95
50	493.34	448.30	513.41
51	381.47	401.66	380.89
52	487.38	383.78	426.11
53	405.36	378.63	534.24
54	351.77	393.08	414.83
55	437.69	450.37	407.63
56	399.68	375.07	447.20
57	388.22	433.79	394.08
58	446.26	324.60	347.18
59	429.00	368.19	328.10
60	420.99	289.64	419.10
Promedio	411.12	396.84	376.70
SD	8.37	8.62	6.61

Anexo 04. Datos obtenidos de Largo de células epidérmicas y largo de células del parénquima clorofiliano en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. microphylla</i>		<i>P. racemosa</i>		<i>P. subsericans</i>	
N°	Largo células epidérmicas μm	Largo células parénquima clorofiliano μm	Largo células epidérmicas μm	Largo células parénquima clorofiliano μm	Largo células epidérmicas μm	Largo células parénquima clorofiliano μm
1	35.99	34.17	42.59	100.04	40.16	65.26
2	30.19	30.06	33.50	97.20	35.97	64.66
3	36.63	28.74	37.24	78.34	27.55	56.28
4	36.52	34.46	30.98	103.73	25.55	56.73
5	49.69	33.11	32.68	85.26	43.29	60.12
6	35.44	30.06	41.14	90.24	41.48	65.37
7	49.32	34.16	50.99	94.88	38.66	61.43
8	31.54	26.41	31.39	80.82	35.72	62.70
9	32.39	25.62	41.80	104.27	37.15	72.44
10	44.49	34.16	35.84	88.52	30.81	58.91
11	42.70	27.36	34.20	84.77	33.59	62.67
12	34.40	27.75	37.53	94.05	44.15	60.61
13	51.98	38.44	32.74	97.79	36.14	53.76
14	29.78	34.17	37.82	106.02	37.65	56.82
15	31.78	33.11	50.52	91.15	24.80	61.30
16	39.94	35.80	43.59	103.59	36.89	61.71
17	34.76	30.06	52.38	109.64	37.65	54.60
18	31.74	36.54	51.12	106.28	45.02	64.06
19	41.39	34.31	37.46	94.81	44.15	59.10
20	21.45	33.11	25.44	95.30	36.75	60.13
21	27.76	34.42	37.29	96.39	32.76	62.70
22	21.78	31.54	31.34	96.98	40.27	51.92
23	35.46	30.57	32.81	93.39	34.47	50.87
24	30.62	27.83	35.16	107.17	29.92	58.55
25	31.74	25.37	27.94	91.83	33.64	51.39
26	26.65	24.92	33.29	97.13	31.93	67.87
27	28.99	30.73	23.35	103.59	32.73	60.27
28	22.15	28.84	23.08	98.18	35.56	61.17
29	33.00	27.83	28.96	94.65	42.33	58.35
30	36.84	26.77	25.44	101.68	40.43	53.91
31	26.74	55.36	32.14	95.27	35.63	66.79
32	24.24	49.29	31.82	105.65	30.50	57.47
33	49.92	41.52	29.33	87.41	33.53	57.09
34	45.09	40.86	26.98	102.06	37.12	65.97
35	28.19	43.88	24.36	95.56	33.92	68.02
36	37.46	51.78	22.65	112.67	28.51	64.11

37	36.56	38.49	26.75	91.66	30.35	58.66
38	23.35	44.95	29.39	97.71	31.55	63.86
39	29.35	38.43	24.55	94.82	40.43	58.23
40	32.88	39.55	32.64	94.16	49.78	59.71
41	26.34	37.28	30.55	101.77	39.96	53.57
42	33.71	32.66	36.76	83.22	34.00	53.07
43	28.43	31.39	25.75	101.35	35.48	50.81
44	30.14	36.85	25.75	105.78	43.91	59.66
45	38.60	36.35	28.59	101.28	40.30	57.24
46	34.43	35.48	33.29	106.77	33.53	67.28
47	35.45	32.11	28.03	83.78	32.03	57.48
48	30.11	36.51	32.08	89.37	23.43	65.88
49	28.85	31.84	46.39	93.83	31.22	51.09
50	35.00	28.82	34.08	93.24	37.13	64.65
51	28.35	36.29	34.55	77.98	37.49	53.07
52	27.65	35.88	28.75	92.31	27.14	59.01
53	25.78	40.69	30.44	93.48	24.62	55.68
54	23.06	48.41	31.01	82.40	25.57	57.90
55	24.55	31.25	36.20	89.49	27.86	62.22
56	29.70	34.57	30.15	101.47	31.57	57.41
57	29.24	35.48	30.90	89.84	30.85	60.33
58	27.13	36.31	33.53	89.84	36.28	71.31
59	30.88	34.16	37.86	101.07	39.22	71.06
60	32.09	38.32	39.80	103.15	36.52	63.55
Promedio	32.84	34.75	33.58	95.77	35.11	60.13
SD	0.92	0.82	0.92	1.02	0.73	0.68

Anexo 05. Datos obtenidos de la densidad estomática en *Polylepis subsericans* J.F.

Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

Densidad estomática (estomas/mm²)			
N°	<i>P. microphylla</i>	<i>P. racemosa</i>	<i>P. subsericans</i>
1	8.90	9.93	28.11
2	18.93	9.24	18.77
3	14.61	10.42	19.07
4	8.81	13.66	23.30
5	10.97	8.75	17.99
6	11.17	9.83	20.15
7	10.67	9.04	18.09
8	12.35	12.78	18.48
9	10.18	12.58	16.91
10	7.73	13.96	16.71
11	9.79	16.91	18.58
12	11.76	8.85	28.60
13	19.91	10.32	17.99
14	8.22	13.27	19.56
15	11.36	9.53	18.28
16	8.81	12.38	17.59
17	15.10	9.44	27.62
18	10.38	14.35	18.58
19	8.61	13.17	19.27
20	10.77	10.81	23.79
21	18.44	8.35	17.40
22	8.90	8.65	16.42
23	14.90	14.06	22.80
24	11.76	12.97	16.22
25	11.46	10.03	17.50
26	7.53	9.14	18.48
27	10.67	9.44	19.66
28	8.32	9.63	18.97
29	10.28	13.56	20.64
30	9.40	12.19	17.20
Promedio	11.36	11.02	19.76
SD	0.60	0.41	0.62

Anexo 06. Datos obtenidos de la densidad de tricomas en *Polylepis subsericans* J.F.

Macbr.

N°	<i>P. subsericans</i>
1	1.84
2	1.91
3	2.37
4	2.90
5	2.37
6	2.12
7	2.51
8	3.40
9	2.44
10	3.36
11	4.07
12	5.02
13	2.80
14	3.50
15	3.96
16	3.08
17	3.33
18	4.07
19	3.26
20	4.85
21	4.21
22	4.00
23	3.57
24	3.72
25	2.55
26	3.68
27	4.95
28	5.63
29	3.61
30	2.05
Promedio	3.37
SD	0.18

Anexo 07. Datos obtenidos de Grosor de Ritidoma (cm) y Peso de Ritidoma (g) en *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

Nº	Diámetro tallo con Ritidoma (cm)	Diámetro tallo sin Ritidoma (cm)	Grosor del ritidoma (cm)	Peso tallo con Ritidoma (g)	Peso tallo sin Ritidoma (g)	Peso del Ritidoma (g)
1	0.459	0.258	0.201	0.3	0.26	0.04
2	0.815	0.624	0.191	0.44	0.25	0.19
3	0.624	0.318	0.306	0.35	0.16	0.19
4	0.815	0.459	0.357	0.41	0.22	0.19
5	0.815	0.717	0.099	0.41	0.28	0.13
6	0.385	0.204	0.182	0.35	0.13	0.22
7	1.032	0.624	0.408	0.6	0.41	0.19
8	0.580	0.459	0.122	0.41	0.19	0.22
9	1.032	0.624	0.408	0.7	0.41	0.29
10	0.624	0.459	0.166	0.32	0.28	0.04
11	0.815	0.459	0.357	0.57	0.32	0.25
12	0.624	0.459	0.166	0.82	0.47	0.35
13	0.538	0.385	0.153	0.47	0.35	0.12
14	0.459	0.318	0.140	0.32	0.16	0.16
15	0.459	0.318	0.140	0.46	0.34	0.12
16	0.717	0.385	0.331	0.4	0.21	0.19
17	1.150	0.717	0.433	0.61	0.42	0.19
18	0.717	0.538	0.178	0.43	0.24	0.19
19	0.538	0.385	0.153	0.31	0.27	0.04
20	0.459	0.258	0.201	0.36	0.14	0.22
21	0.717	0.385	0.331	0.56	0.31	0.25
22	0.589	0.538	0.051	0.42	0.2	0.22
23	0.538	0.258	0.280	0.34	0.15	0.19
24	0.624	0.459	0.166	0.82	0.47	0.35
25	0.538	0.385	0.153	0.81	0.46	0.35
26	0.717	0.624	0.092	0.4	0.27	0.13
27	0.624	0.459	0.166	0.48	0.36	0.12
28	1.150	0.717	0.433	0.71	0.42	0.29
29	0.385	0.258	0.127	0.31	0.15	0.16
30	0.717	0.538	0.178	0.83	0.48	0.35
PROMEDIO			0.222			0.198
SD			0.020			0.016

Anexo 08. Datos obtenidos de Grosor de Ritidoma (cm) y Peso de Ritidoma (g) en *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

Nº	Diámetro tallo con Ritidoma (cm)	Diámetro tallo sin Ritidoma (cm)	Grosor del ritidoma (cm)	Peso tallo con Ritidoma (g)	Peso tallo sin Ritidoma (g)	Peso del Ritidoma (g)
1	0.920	0.385	0.535	0.4	0.38	0.02
2	1.990	1.404	0.586	1.26	0.79	0.47
3	0.920	0.538	0.382	0.51	0.38	0.13
4	0.920	0.459	0.462	0.44	0.22	0.22
5	0.815	0.538	0.277	0.47	0.38	0.09
6	1.032	0.624	0.408	0.76	0.6	0.16
7	0.459	0.258	0.201	0.32	0.19	0.13
8	1.032	0.624	0.408	0.79	0.47	0.32
9	0.459	0.318	0.140	0.35	0.28	0.07
10	1.032	0.624	0.408	0.52	0.39	0.13
11	0.815	0.538	0.277	0.47	0.38	0.09
12	1.150	0.717	0.433	0.77	0.61	0.16
13	2.153	1.541	0.611	1.27	0.8	0.47
14	1.032	0.538	0.494	0.45	0.23	0.22
15	0.717	0.459	0.258	0.46	0.37	0.09
16	0.538	0.318	0.220	0.33	0.2	0.13
17	0.815	0.459	0.357	0.5	0.37	0.13
18	0.920	0.459	0.462	0.44	0.22	0.22
19	0.920	0.538	0.382	0.75	0.59	0.16
20	1.834	1.274	0.561	1.25	0.78	0.47
21	0.815	0.385	0.430	0.43	0.21	0.22
22	0.920	0.624	0.296	0.48	0.39	0.09
23	0.385	0.204	0.182	0.31	0.18	0.13
24	0.920	0.538	0.382	0.51	0.38	0.13
25	1.150	0.717	0.433	0.8	0.48	0.32
26	1.990	1.404	0.586	1.26	0.79	0.47
27	0.538	0.385	0.153	0.36	0.29	0.07
28	1.032	0.624	0.408	0.76	0.6	0.16
29	0.920	0.538	0.382	0.78	0.46	0.32
30	0.385	0.258	0.127	0.34	0.27	0.07
PROMEDIO			0.375			0.195
SD			0.025			0.024

Anexo 09. Datos obtenidos de Grosor de Ritidoma (cm) y Peso de Ritidoma (g) en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr.

N°	Diámetro tallo con Ritidoma (cm)	Diámetro tallo sin Ritidoma (cm)	Grosor del ritidoma (cm)	Peso tallo con Ritidoma (g)	Peso tallo sin Ritidoma (g)	Peso del Ritidoma (g)
1	0.717	0.318	0.398	0.35	0.19	0.16
2	1.032	0.538	0.494	0.57	0.38	0.19
3	0.920	0.459	0.462	0.54	0.28	0.26
4	1.404	0.920	0.484	0.79	0.63	0.16
5	1.404	0.717	0.688	0.82	0.63	0.19
6	0.815	0.459	0.357	0.54	0.35	0.19
7	0.459	0.258	0.201	0.22	0.19	0.03
8	1.541	1.032	0.510	0.95	0.73	0.22
9	0.815	0.538	0.277	0.51	0.41	0.1
10	1.541	1.032	0.510	0.8	0.64	0.16
11	1.032	0.538	0.494	0.55	0.29	0.26
12	1.150	0.624	0.525	0.58	0.4	0.18
13	0.538	0.318	0.220	0.23	0.2	0.03
14	0.920	0.538	0.382	0.55	0.36	0.19
15	1.541	0.815	0.726	0.83	0.64	0.19
16	1.274	0.815	0.459	0.78	0.62	0.16
17	0.815	0.385	0.430	0.36	0.2	0.16
18	0.920	0.459	0.462	0.56	0.37	0.19
19	0.385	0.204	0.182	0.21	0.18	0.03
20	0.815	0.385	0.430	0.53	0.27	0.26
21	0.920	0.624	0.296	0.52	0.42	0.1
22	1.032	0.538	0.494	0.57	0.38	0.19
23	0.717	0.385	0.331	0.53	0.34	0.19
24	1.274	0.624	0.650	0.81	0.62	0.19
25	0.624	0.258	0.366	0.34	0.18	0.16
26	0.717	0.459	0.258	0.5	0.4	0.1
27	1.685	1.150	0.535	0.96	0.74	0.22
28	0.717	0.318	0.398	0.35	0.19	0.16
29	0.920	0.459	0.462	0.54	0.28	0.26
30	1.404	0.920	0.484	0.94	0.72	0.22
PROMEDIO			0.432			0.170
SD			0.024			0.012

Anexo 10. Datos obtenidos para la altura de árbol (m) y Diámetro a la Altura del Pecho – DAP (m) en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. microphylla</i>		<i>P. racemosa</i>		<i>P. subsericans</i>	
N°	Altura de árbol (m)	Diámetro a la Altura del Pecho – DAP (m)	Altura de árbol (m)	Diámetro a la Altura del Pecho – DAP (m)	Altura de árbol (m)	Diámetro a la Altura del Pecho – DAP (m)
1	1.2	3.82	5.5	17.51	3.4	21.65
2	1.5	5.41	13.0	34.38	1.9	32.47
3	1.6	7.00	4.0	21.33	5.0	28.33
4	1.8	5.73	7.0	55.07	2.8	21.33
5	0.8	2.55	3.0	14.64	3.4	10.03
6	1.0	3.50	2.5	11.46	4.3	12.19
7	0.8	0.95	7.0	20.69	4.9	10.82
8	1.5	4.77	2.4	19.42	4.5	12.89
9	1.8	5.73	9.0	53.79	4.5	53.79
10	1.9	7.32	6.0	26.74	3.2	17.83
11	1.1	1.27	5.0	24.19	5.5	22.60
12	1.1	2.86	8.0	50.93	4.0	15.60
13	1.3	3.82	4.5	15.60	5.0	30.56
14	1.1	3.34	2.5	8.59	4.0	37.56
15	1.3	4.70	3.0	18.14	7.5	34.70
16	1.5	4.14	3.5	31.51	4.5	17.83
17	1.7	6.56	3.0	24.83	5.5	26.42
18	0.7	2.07	4.0	42.02	6.0	53.16
19	2.1	6.05	3.5	17.83	2.0	22.28
20	1.8	5.09	5.0	15.28	2.5	23.24
21	1.0	1.10	4.5	22.92	7.0	21.01
22	1.5	6.36	3.0	27.06	10.0	46.15
23	1.3	4.14	5.0	20.37	3.0	13.37
24	1.6	5.09	9.0	23.24	5.0	14.96
25	0.9	2.34	8.0	52.52	11.0	28.65
26	0.8	2.80	5.0	40.74	8.0	15.92
27	1.2	3.38	10.0	76.39	3.0	15.92
28	0.7	0.78	9.0	49.02	10.0	31.19
29	1.4	4.30	5.0	51.25	15.0	32.15
30	1.7	5.26	4.0	45.52	11.0	29.28
Promedio	1.3	4.08	5.5	31.10	5.6	25.13
SD	0.1	0.33	0.5	3.04	0.6	2.12

Anexo 11. Datos obtenidos para la densidad de la madera en *Polylepis subsericans* J.F.

Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. microphylla</i>	<i>P. racemosa</i>	<i>P. subsericans</i>
Nº	Densidad de la madera	Densidad de la madera	Densidad de la madera
1	0.220	0.541	0.160
2	0.571	0.792	0.381
3	0.371	0.251	0.311
4	0.571	0.341	0.691
5	0.501	0.511	0.190
6	0.351	0.251	0.631
7	0.381	0.541	0.381
8	0.441	0.281	0.351
9	0.381	0.230	0.381
10	0.481	0.789	0.631
11	0.321	0.230	0.388
12	0.451	0.544	0.165
13	0.220	0.187	0.344
14	0.432	0.221	0.162
15	0.219	0.234	0.68
16	0.443	0.176	0.198
17	0.348	0.238	0.163
18	0.498	0.765	0.635
19	0.453	0.234	0.362
20	0.21	0.876	0.354
21	0.213	0.267	0.763
22	0.375	0.653	0.387
23	0.387	0.659	0.432
24	0.541	0.21	0.689
25	0.367	0.542	0.321
26	0.218	0.687	0.634
27	0.223	0.463	0.633
28	0.784	0.538	0.344
29	0.698	0.534	0.435
30	0.567	0.235	0.352
Promedio	0.405	0.438	0.411
SD	0.031	0.068	0.058

Anexo 12. Datos obtenidos para el análisis de Contenido hídrico, Contenido hídrico relativo y Déficit de Saturación Hídrica en *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

Nº	Peso fresco (g)	Peso Turgente (g)	Peso seco (g)	Contenido hídrico CH	Contenido hídrico relativo CHR	Déficit de Saturación Hídrica DSH
1	0.032	0.044	0.026	23.08	33.33	66.67
2	0.018	0.026	0.006	200.00	60.00	40.00
3	0.026	0.032	0.012	116.67	70.00	30.00
4	0.032	0.05	0.018	77.78	43.75	56.25
5	0.076	0.082	0.026	192.31	89.29	10.71
6	0.044	0.064	0.018	144.44	56.52	43.48
7	0.032	0.044	0.026	23.08	33.33	66.67
8	0.026	0.038	0.018	44.44	40.00	60.00
9	0.038	0.044	0.02	90.00	75.00	25.00
10	0.082	0.094	0.038	115.79	78.57	21.43
11	0.076	0.082	0.038	100.00	86.36	13.64
12	0.027	0.033	0.013	107.69	70.00	30.00
13	0.045	0.065	0.019	136.84	56.52	43.48
14	0.033	0.045	0.027	22.22	33.33	66.67
15	0.027	0.039	0.019	42.11	40.00	60.00
16	0.019	0.027	0.007	171.43	60.00	40.00
17	0.033	0.045	0.027	22.22	33.33	66.67
18	0.043	0.063	0.017	152.94	56.52	43.48
19	0.033	0.06	0.019	73.68	34.15	65.85
20	0.025	0.031	0.011	127.27	70.00	30.00
21	0.025	0.037	0.017	47.06	40.00	60.00
22	0.031	0.043	0.025	24.00	33.33	66.67
23	0.077	0.083	0.027	185.19	89.29	10.71
24	0.075	0.081	0.025	200.00	89.29	10.71
25	0.017	0.025	0.005	240.00	60.00	40.00
26	0.031	0.04	0.017	82.35	60.87	39.13
27	0.031	0.043	0.025	24.00	33.33	66.67
28	0.039	0.045	0.03	30.00	60.00	40.00
29	0.082	0.094	0.038	115.79	78.57	21.43
30	0.037	0.043	0.01	270.00	81.82	18.18
Promedio				106.746	58.217	41.783
SD				12.997	3.604	3.604

Anexo 13. Datos obtenidos para el análisis de Contenido hídrico, Contenido hídrico relativo y Déficit de Saturación Hídrica en *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

Nº	Peso fresco (g)	Peso Turgente (g)	Peso seco (g)	Contenido hídrico CH	Contenido hídrico relativo CHR	Déficit de Saturación Hídrica DSH
1	0.28	0.32	0.16	75.00	75.00	25.00
2	0.25	0.28	0.13	92.31	80.00	20.00
3	0.19	0.28	0.09	111.11	52.63	47.37
4	0.22	0.28	0.13	69.23	60.00	40.00
5	0.28	0.35	0.19	47.37	56.25	43.75
6	0.32	0.35	0.13	146.15	86.36	13.64
7	0.32	0.35	0.09	255.56	88.46	11.54
8	0.22	0.25	0.06	266.67	84.21	15.79
9	0.25	0.28	0.09	177.78	84.21	15.79
10	0.35	0.32	0.09	288.89	113.04	-13.04
11	0.32	0.44	0.13	146.15	61.29	38.71
12	0.35	0.41	0.13	169.23	78.57	21.43
13	0.28	0.38	0.13	115.38	60.00	40.00
14	0.41	0.54	0.19	115.79	62.86	37.14
15	0.38	0.44	0.16	137.50	78.57	21.43
16	0.32	0.38	0.13	146.15	76.00	24.00
17	0.28	0.35	0.13	115.38	68.18	31.82
18	0.22	0.32	0.13	69.23	47.37	52.63
19	0.32	0.35	0.09	255.56	88.46	11.54
20	0.35	0.41	0.13	169.23	78.57	21.43
21	0.16	0.16	0.03	433.33	100.00	0.00
22	0.44	0.47	0.16	175.00	90.32	9.68
23	0.38	0.51	0.22	72.73	55.17	44.83
24	0.51	0.54	0.16	218.75	92.11	7.89
25	0.35	0.41	0.13	169.23	78.57	21.43
26	0.6	0.63	0.22	172.73	92.68	7.32
27	0.35	0.38	0.13	169.23	88.00	12.00
28	0.35	0.38	0.13	169.23	88.00	12.00
29	0.35	0.41	0.13	169.23	78.57	21.43
30	0.25	0.28	0.09	177.78	84.21	15.79
Promedio				163.23	77.59	22.41
SD				14.528	2.780	2.780

Anexo 14. Datos obtenidos para el análisis de Contenido hídrico, Contenido hídrico relativo y Déficit de Saturación Hídrica en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr.

N°	Peso fresco (g)	Peso Turgente (g)	Peso seco (g)	Contenido hídrico CH	Contenido hídrico relativo CHR	Déficit de Saturación Hídrica DSH
1	0.16	0.19	0.06	166.67	76.92	23.08
2	0.22	0.25	0.09	144.44	81.25	18.75
3	0.09	0.1	0.06	50.00	75.00	25.00
4	0.13	0.14	0.03	333.33	90.91	9.09
5	0.25	0.26	0.03	733.33	95.65	4.35
6	0.13	0.16	0.06	116.67	70.00	30.00
7	0.09	0.13	0.03	200.00	60.00	40.00
8	0.13	0.19	0.06	116.67	53.85	46.15
9	0.19	0.2	0.06	216.67	92.86	7.14
10	0.22	0.25	0.06	266.67	84.21	15.79
11	0.13	0.16	0.03	333.33	76.92	23.08
12	0.35	0.38	0.13	169.23	88.00	12.00
13	0.22	0.25	0.06	266.67	84.21	15.79
14	0.25	0.28	0.09	177.78	84.21	15.79
15	0.19	0.28	0.06	216.67	59.09	40.91
16	0.32	0.35	0.06	433.33	89.66	10.34
17	0.16	0.17	0.03	433.33	92.86	7.14
18	0.25	0.35	0.13	92.31	54.55	45.45
19	0.19	0.2	0.06	216.67	92.86	7.14
20	0.16	0.19	0.06	166.67	76.92	23.08
21	0.09	0.13	0.03	200.00	60.00	40.00
22	0.22	0.25	0.03	633.33	86.36	13.64
23	0.13	0.14	0.01	1200.00	92.31	7.69
24	0.16	0.17	0.03	433.33	92.86	7.14
25	0.16	0.22	0.07	128.57	60.00	40.00
26	0.16	0.19	0.06	166.67	76.92	23.08
27	0.13	0.22	0.07	85.71	40.00	60.00
28	0.09	0.1	0.06	50.00	75.00	25.00
29	0.13	0.16	0.06	116.67	70.00	30.00
30	0.09	0.13	0.03	200.00	60.00	40.00
Promedio				268.82	76.45	23.55
SD				43.446	2.693	2.693

Anexo 15. Datos obtenidos de Quantum yield (Qy) y Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm') en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. microphylla</i>		<i>P. racemosa</i>		<i>P. subsericans</i>	
N°	QY	Fv/fm'	QY	Fv/fm'	QY	Fv/fm'
1	0.58	0.66	0.64	0.76	0.75	0.77
2	0.55	0.56	0.71	0.76	0.77	0.78
3	0.53	0.62	0.63	0.76	0.77	0.65
4	0.57	0.67	0.56	0.76	0.78	0.74
5	0.58	0.62	0.62	0.7	0.78	0.67
6	0.48	0.63	0.54	0.73	0.67	0.8
7	0.49	0.57	0.66	0.78	0.54	0.77
8	0.65	0.7	0.67	0.76	0.7	0.78
9	0.5	0.57	0.67	0.78	0.61	0.8
10	0.55	0.65	0.59	0.73	0.74	0.83
11	0.51	0.45	0.72	0.7	0.74	0.81
12	0.52	0.48	0.74	0.74	0.7	0.78
13	0.66	0.69	0.7	0.77	0.77	0.8
14	0.5	0.46	0.72	0.72	0.73	0.78
15	0.43	0.51	0.68	0.8	0.74	0.76
16	0.63	0.65	0.71	0.77	0.74	0.81
17	0.48	0.51	0.7	0.77	0.76	0.81
18	0.61	0.66	0.66	0.75	0.76	0.72
19	0.57	0.62	0.67	0.76	0.71	0.82
20	0.62	0.56	0.67	0.65	0.79	0.77
21	0.64	0.65	0.72	0.77	0.75	0.8
22	0.59	0.45	0.73	0.67	0.74	0.78
23	0.59	0.57	0.7	0.64	0.71	0.65
24	0.58	0.45	0.7	0.61	0.75	0.78
25	0.04	0.65	0.72	0.72	0.74	0.78
26	0.53	0.63	0.79	0.64	0.76	0.77
27	0.52	0.57	0.72	0.78	0.75	0.77
28	0.63	0.63	0.67	0.69	0.78	0.8
29	0.55	0.57	0.71	0.78	0.74	0.67
30	0.51	0.63	0.78	0.73	0.72	0.77
31	0.53	0.62	0.67	0.76	0.76	0.8
32	0.63	0.57	0.55	0.77	0.78	0.78
33	0.49	0.63	0.7	0.65	0.74	0.74
34	0.66	0.62	0.69	0.75	0.77	0.65
35	0.52	0.57	0.78	0.72	0.79	0.77
36	0.51	0.46	0.73	0.64	0.61	0.76
37	0.48	0.63	0.71	0.73	0.72	0.8

38	0.48	0.62	0.66	0.62	0.75	0.82
39	0.58	0.57	0.64	0.69	0.7	0.78
40	0.55	0.57	0.72	0.71	0.74	0.81
41	0.51	0.63	0.7	0.76	0.77	0.77
42	0.58	0.48	0.71	0.7	0.74	0.72
43	0.59	0.66	0.73	0.78	0.78	0.78
44	0.5	0.45	0.74	0.72	0.74	0.83
45	0.52	0.67	0.75	0.78	0.71	0.82
46	0.59	0.56	0.72	0.76	0.67	0.78
47	0.43	0.65	0.58	0.77	0.74	0.67
48	0.5	0.45	0.63	0.61	0.77	0.81
49	0.57	0.7	0.56	0.77	0.7	0.72
50	0.64	0.45	0.63	0.77	0.54	0.74
51	0.04	0.63	0.78	0.67	0.75	0.76
52	0.55	0.66	0.74	0.76	0.75	0.8
53	0.62	0.65	0.79	0.8	0.76	0.83
54	0.55	0.69	0.78	0.76	0.71	0.81
55	0.61	0.51	0.63	0.64	0.74	0.81
56	0.57	0.56	0.58	0.76	0.74	0.77
57	0.63	0.65	0.54	0.7	0.76	0.78
58	0.58	0.57	0.64	0.77	0.78	0.81
59	0.53	0.51	0.79	0.75	0.75	0.8
60	0.65	0.65	0.67	0.74	0.73	0.81
Promedio	0.540	0.588	0.684	0.730	0.733	0.773
SD	0.014	0.010	0.008	0.007	0.007	0.006

Anexo 16. Datos obtenidos de Fluorescencia instantánea (Ft) y Fluorescencia mínima (Fo) en *Polylepis subsericans* J.F. Macbr., *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. y *Polylepis microphylla* (Wedd.) Bitter.

ESPECIE	<i>P. microphylla</i>		<i>P. racemosa</i>		<i>P. subsericans</i>	
Nº	Ft	Fo	Ft	Fo	Ft	Fo
1	2104	5642	1241	2134	915	1301
2	2532	3565	1930	1780	1031	1181
3	2195	4762	1776	2543	807	850
4	2441	4038	1836	2355	1079	1598
5	2357	2871	2584	1619	1012	1977
6	1353	3282	2015	2177	935	1097
7	2503	4038	1888	2234	1202	1410
8	2999	1847	1678	1708	1014	1044
9	2512	1558	1417	2267	883	1138
10	2475	2064	1766	1586	821	1001
11	1959	2519	2295	2454	828	987
12	1717	3493	1941	1762	1143	1322
13	2195	2806	2159	1642	1200	1717
14	2008	1805	2085	2135	907	1433
15	1623	1790	1914	2672	695	1453
16	2084	2293	2054	2260	1319	1525
17	1978	2196	2515	2502	993	1006
18	2046	3565	2439	2652	1009	1395
19	2129	2064	2646	1679	1300	1450
20	2004	4762	2464	1611	1749	1792
21	2286	1847	1682	1370	1798	2317
22	1896	1790	1845	1628	1050	2015
23	1887	3565	1856	2543	1445	1607
24	2273	1673	1781	1628	1462	1670
25	1653	1558	1721	1369	1599	1629
26	1793	2196	1777	1680	1026	1281
27	1471	4038	2053	2276	1037	1217
28	1319	2871	1767	1781	1523	1682
29	1616	2064	2583	2354	1025	1204
30	2130	1805	1931	1734	983	1500
31	2194	5642	2645	1618	1524	1978
32	2513	1673	2160	1781	1201	1681
33	2358	4038	1240	2501	1750	1139
34	2285	2871	1722	1560	1444	1409
35	3000	3493	1913	2176	1301	1434
36	2007	3282	2516	2261	992	849
37	1960	2519	2053	2789	1032	988
38	1977	2293	2086	2354	914	1000

39	2274	2806	2014	2543	984	1302
40	2103	2293	1418	1673	906	1321
41	1654	3493	1887	2897	822	1526
42	2130	1790	1683	2876	1008	1096
43	2083	2064	1929	1707	1026	1007
44	1897	2519	1857	2388	827	1716
45	1792	3282	1677	2501	1201	1451
46	2476	2806	1837	2653	1078	1216
47	2502	1790	2158	2671	1799	1599
48	2442	5642	1767	2653	1025	1628
49	2003	1558	2463	2453	1038	1182
50	1617	1847	1846	2345	806	1669
51	2194	2871	2456	2589	1013	1396
52	1320	2493	2440	2455	1142	1452
53	2045	2196	1544	2567	1051	1045
54	1624	1673	2134	2261	934	1203
55	1716	4762	2014	1679	884	1793
56	2533	3282	2647	2467	1013	1606
57	1352	1847	1780	2354	1600	1501
58	2001	1805	1942	2234	1461	2014
59	1889	1805	1230	1610	696	1282
60	1470	3565	2296	2673	1318	2316
Promedio	2049.150	2806.117	1983.217	2157.067	1126.333	1426.633
SD	49.125	141.734	46.106	55.334	36.018	43.355

Anexo 17. Análisis Estadístico

Normalidad

Para conocer si existe una distribución normal en los datos evaluados, se aplicó el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para todos los parámetros.

Hipótesis

H₀: Los Datos provienen de una distribución normal

H₁: Los datos no provienen de una distribución normal

Si el p- valor > 0.05 , entonces se acepta la H₀ en donde los datos provienen de una distribución normal.

Anova y Test de Tukey

Para todos los casos se tienen las siguientes hipótesis

H₀: $U1 = U2$ No hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*

H₁: $U1 \neq U2$ Existen diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*

Si el p- valor < 0.05 , entonces se acepta la H₁ en donde hay diferencias significativas entre los datos obtenidos en los diferentes sustratos.

17.1 Número De Hojas y Número De Foliolos.

ANEXO 17.1.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, en el número de hojas.

Especie	Número de hojas
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9336
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9105
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9115

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p- valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.1.2

Análisis de ANOVA, para número de hojas y número de foliolos.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Número de hojas	Entre especies	108767	2	54384	95.47	2×10^{-16}
	Dentro de cada especie	49560	87	570		
Número de foliolos	Entre especies	0.7045	2	0.3523	21.66	2.32×10^{-8}
	Dentro de cada especie	1.4149	87	0.0163		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis* para número de hojas y número de foliolos.

ANEXO 17.1.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de número de hojas y número de foliolos.

Comparación entre pares de especies	P-Valor número de hojas	P-Valor número de foliolos
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000	0.0000381
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.9664611	0.1958400

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual hay diferencias significativas.

17.2 Área Foliar y Área Foliar Específica

ANEXO 17.2.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, en el Área Foliar Específica.

Especie	P(valor) Área Foliar	P(valor) Área Foliar específica
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9802	0.666
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9131	0.658
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9675	0.838

Los datos del Área Foliar Específica presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.2.2

Análisis de ANOVA, para el Área Foliar Específica.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Área Foliar	Entre especies	935.7	2	467.9	127	2×10^{-6}
	Dentro de cada especie	652.2	177	3.7		
Área Foliar Específica	Entre especies	86900	2	43450	13.41	8.41×10^{-6}
	Dentro de cada especie	281954	87	3241		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el Área Foliar Específica.

ANEXO 17.2.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Área Foliar Específica.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Área Foliar	P-Valor Área Foliar específica
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.000161	0.2915099
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	2.175×10^{-5}	0.0000073
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	2.175×10^{-5}	0.0018802

Los datos sombreados corresponden a valores de $p\text{-valor} < 0.05$, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.3 Grosor de hoja

ANEXO 17.3.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, de Grosor de hoja.

Especie	Largo epidermis
<i>Polylepis microphylla</i>	0.964
<i>Polylepis racemosa</i>	0.980
<i>Polylepis subsericans</i>	0.982

Los datos del Grosor de hoja presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.3.2

Análisis de ANOVA, para el Grosor de hoja.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Grosor de hoja	Entre especies	35895	2	17947	4.768	0.00962
	Dentro de cada especie	666236	177	3764		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el Grosor de hoja.

ANEXO 17.3.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Grosor de hoja.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Grosor de hoja
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.4113636
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0068955
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.1730131

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.4 Células Epidérmicas y Parénquima Clorofiliano

ANEXO 17.4.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para el largo de células epidérmicas y largo del parénquima clorofiliano.

Especie	Largo epidermis	Largo células parénquima
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9386	0.928
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9301	0.9839
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9894	0.9819

Los datos del Largo de células epidérmicas y largo del parénquima clorofiliano presentan el p- valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.4.2

Análisis de ANOVA, para el largo de células epidérmicas y largo del parénquima clorofiliano.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Largo epidermis	Entre especies	161	2	80.48	1.814	0.166
	Dentro de cada	7852	177	44.36		
Largo células parénquima clorofiliano	Entre especies	112736	2	56368	1295	2×10^{-16}
	Dentro de cada	7705	177	44		

Para los valores de Largo de la epidermis el p-valor > 0.05 , por lo tanto se acepta la hipótesis nula, en la cual **No hay diferencias significativas** entre las especies de *Polylepis*.

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el largo células parénquima clorofiliano.

ANEXO 17.4.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de largo de células epidérmicas y largo del parénquima clorofiliano.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Largo epidermis	P-Valor Largo células parénquima
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.8169050	0.0086618
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.1513854	2.17×10^{-5}
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.4193367	2.175×10^{-5}

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, en la cual hay diferencias significativas para el largo de células del parénquima clorofiliano.

17.5 Densidad estomática

ANEXO 17.5.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para la densidad estomática.

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.7879
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9058
<i>Polylepis subsericans</i>	0.8496

Los datos de la densidad estomática presentan el p- valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.5.2

Análisis de ANOVA, para la densidad estomática.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Densidad estomática	Entre especies	1431.1	2	715.6	79.19	2.57×10^{-20}
	Dentro de cada especie	786.1	87	9.0		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para la densidad estomática.

ANEXO 17.5.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de la densidad estomática.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Grosor del ritidoma
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.9883
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0001068
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.0001068

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas.**

17.6 Grosor del ritidoma

ANEXO 17.6.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para el Grosor de Ritidoma.

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.8848
<i>Polylepis racemosa</i>	0.955
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9648

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p- valor > 0.05, entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.6.2

Análisis de ANOVA, para el Grosor de Ritidoma.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Grosor del ritidoma	Entre especies	0.7045	2	0.3523	21.66	2.32×10^{-8}
	Dentro de cada especie	1.4149	87	0.0163		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el Grosor de Ritidoma.

ANEXO 17.6.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Grosor de Ritidoma.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Grosor del ritidoma
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000381
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.1958400

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas.**

17.7 Peso del Ritidoma

ANEXO 17.7.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para Peso del Ritidoma.

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9382
<i>Polylepis racemosa</i>	0.8362
<i>Polylepis subsericans</i>	0.8837

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p- valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.7.2

Análisis de ANOVA, para Peso del Ritidoma.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Peso del Ritidoma.	Entre especies	0.0143	2	0.007164	0.735	0.483
	Dentro de cada especie	0.8482	87	0.009750		

El p-valor > 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis nula, en la cual **No hay diferencias significativas** entre las especies de *Polylepis* para Peso del Ritidoma.

ANEXO 17.7.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Peso del Ritidoma.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Peso del Ritidoma.
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.9939869
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.5177216
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.5828225

Los datos del p-valor son mayores a 0.05 (p-valor > 0.05), por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis nula, en la cual **No hay diferencias significativas**.

17.8 Altura de árbol y Diámetro a la altura del Pecho - DAP

ANEXO 17.8.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para Altura de árbol y Diámetro a la altura del Pecho – DAP.

Especie	P(valor) Altura de árbol	P(valor) DAP
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9707	0.9731
<i>Polylepis racemosa</i>	0.8963	0.9018
<i>Polylepis subsericans</i>	0.8658	0.9126

Los datos de Altura de árbol y Diámetro a la altura del Pecho – DAP presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.8.2

Análisis de ANOVA, para Altura de árbol y Diámetro a la altura del Pecho – DAP.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Altura de árbol	Entre especies	12093	2	6047	43.61	7.62×10^{-14}
	Dentro de cada especie	12064	87	139		
Diámetro a la altura del Pecho - DAP	Entre especies	352.7	2	176.4	31.48	5.18×10^{-11}
	Dentro de cada especie	487.4	87	5.6		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para Altura de árbol y Diámetro a la altura del Pecho – DAP.

ANEXO 17.8.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Altura de árbol y Diámetro a la altura del Pecho – DAP.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Altura de árbol	P-Valor DAP
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.000107	0.0001068
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.000107	0.0001068
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.9805	0.1275

Los datos del p-valor son mayores a 0.05 ($p\text{-valor} > 0.05$), por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis nula, en la cual **No hay diferencias significativas**.

Los datos sombreados corresponden a valores de $p\text{-valor} < 0.05$, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.9 Densidad de la Madera

ANEXO 17.9.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para la Densidad de la madera.

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9378
<i>Polylepis racemosa</i>	0.875
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9003

Los datos de Densidad de la madera presentan el p- valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.9.2

Análisis de ANOVA, para Densidad de la madera.

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Densidad de la madera	Entre especies	0.0104	2	0.00519	0.151	0.82
	Dentro de cada especie	2.9943	87	0.03442		

El p-valor > 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis nula, en la cual **No hay diferencias significativas** entre las especies de *Polylepis* para Densidad de la madera.

ANEXO 17.9.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Densidad de la madera.

Comparación entre pares de especies	P-Valor Densidad De La madera
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.8490054
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.9743557
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.9423061

Los datos del p-valor son mayores a 0.05 (p-valor > 0.05), por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis nula, en la cual **No hay diferencias significativas**.

17.10 Contenido Hídrico (CH)

ANEXO 17.10.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para Contenido Hídrico (CH)

Especie	P(valor)
<i>Polylepis subsericans</i>	0.728
<i>Polylepis racemosa</i>	0.8886
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9287

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.10.2

Análisis de ANOVA, para Contenido Hídrico (CH).

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Contenido Hídrico (CH)	Entre especies	406098	2	203049	8.955	0.000291
	Dentro de cada especie	1972754	87	22675		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el Contenido Hídrico (CH).

ANEXO 17.10.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Contenido Hídrico (CH).

Comparación entre pares de especies	P-Valor Contenido Hídrico (CH)
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.3187303
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0002114
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.0215341

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.11 Contenido Hídrico Relativo (CHR)

ANEXO 17.11.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para Contenido Hídrico Relativo (CHR)

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9008
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9591
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9209

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p- valor > 0.05, entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.11.2

Análisis de ANOVA, para Contenido Hídrico Relativo (CHR).

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Contenido Hídrico Relativo (CHR)	Entre especies	7089	2	3544	12.67	1.48×10^{-05}
	Dentro de cada especie	24333	87	280		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis* para el Contenido Hídrico Relativo (CHR).**

ANEXO 17.11.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Contenido Hídrico Relativo (CHR).

Comparación entre pares de especies	P-Valor Contenido Hídrico Relativo (CHR)
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000651
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0001743
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.9621516

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas.**

17.12 Déficit de Saturación Hídrica (DSH)

ANEXO 17.12.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para Déficit de Saturación Hídrica (DSH)

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9008
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9591
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9209

Los datos del número de hojas y número de folíolos presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.12.2

Análisis de ANOVA, para Déficit de Saturación Hídrica (DSH).

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Déficit de Saturación Hídrica (DSH)	Entre especies	7089	2	3544	12.67	1.48×10^{-5}
	Dentro de cada especie	24333	87	280		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el Déficit de Saturación Hídrica (DSH).

ANEXO 17.12.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Déficit De Saturación Hídrica (DSH).

Comparación entre pares de especies	P-Valor Déficit De Saturación Hídrica (DSH)
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000651
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0001743
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.9621516

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.13 Quantum Yield (Qy).

ANEXO 17.13.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para Quantum yield (Qy)

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.674
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9522
<i>Polylepis subsericans</i>	0.7577

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p- valor > 0.05, entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.13.2

Análisis de ANOVA, para Quantum yield (Qy)

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Quantum yield (Qy)	Entre especies	1.212	2	0.6061	96.45	2×10^{-16}
	Dentro de cada especie	1.112	177	0.0063		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis* para el Quantum yield (Qy).**

ANEXO 17.13.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de Quantum yield (Qy).

Comparación entre pares de especies	P-Valor Quantum yield (Qy)
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.0025089

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05, por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas.**

17.14 Rendimiento Cuántico PSII (Fv/fm')

ANEXO 17.14.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para el Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm')

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9033
<i>Polylepis racemosa</i>	0.8802
<i>Polylepis subsericans</i>	0.8394

Los datos del número de hojas y número de folíolos presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.14.2

Análisis de ANOVA, para el Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm')

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm')	Entre especies	1.1195	2	0.5598	162.5	2×10^{-16}
	Dentro de cada especie	0.6098	177	0.0034		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis*** para el Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm').

ANEXO 17.14.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos del Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm').

Comparación entre pares de especies	P-Valor Rendimiento cuántico PSII (Fv/fm')
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.0002931

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.15 Fluorescencia Instantánea (Ft)

ANEXO 17.15.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para la Fluorescencia instantánea (Ft)

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9029
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9567
<i>Polylepis subsericans</i>	0.9751

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.15.2

Análisis de ANOVA, para la Fluorescencia instantánea (Ft)

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Fluorescencia instantánea (Ft)	Entre especies	31803737	2	15901869	136.2	2×10^{-16}
	Dentro de cada especie	20660899	177	116728		

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas** entre las especies de *Polylepis* para la Fluorescencia instantánea (Ft).

ANEXO 17.15.3

Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de la Fluorescencia instantánea (Ft).

Comparación entre pares de especies	P-Valor Fluorescencia instantánea (Ft).
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	0.54204

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas**.

17.16 Fluorescencia Mínima (Fo)

ANEXO 17.16.1

Datos del p-valor para el test de Normalidad de Shapiro-Wilk, para la Fluorescencia mínima (Fo).

Especie	P(valor)
<i>Polylepis microphylla</i>	0.9656
<i>Polylepis racemosa</i>	0.9166
<i>Polylepis subsericans</i>	0.8846

Los datos del número de hojas y número de foliolos presentan el p-valor > 0.05 , entonces se acepta la H_0 en donde los datos provienen de una distribución normal.

ANEXO 17.16.2

Análisis de ANOVA, para la Fluorescencia mínima (Fo)

PARAMETRO		Suma de cuadrados	Df	Media de cuadrados	F	P(valor)
Fluorescencia mínima (Fo)	Entre especies	57155460	2	28577730	57.09	2×10^{-16}
	Dentro de cada especie	88606714	177	500603		

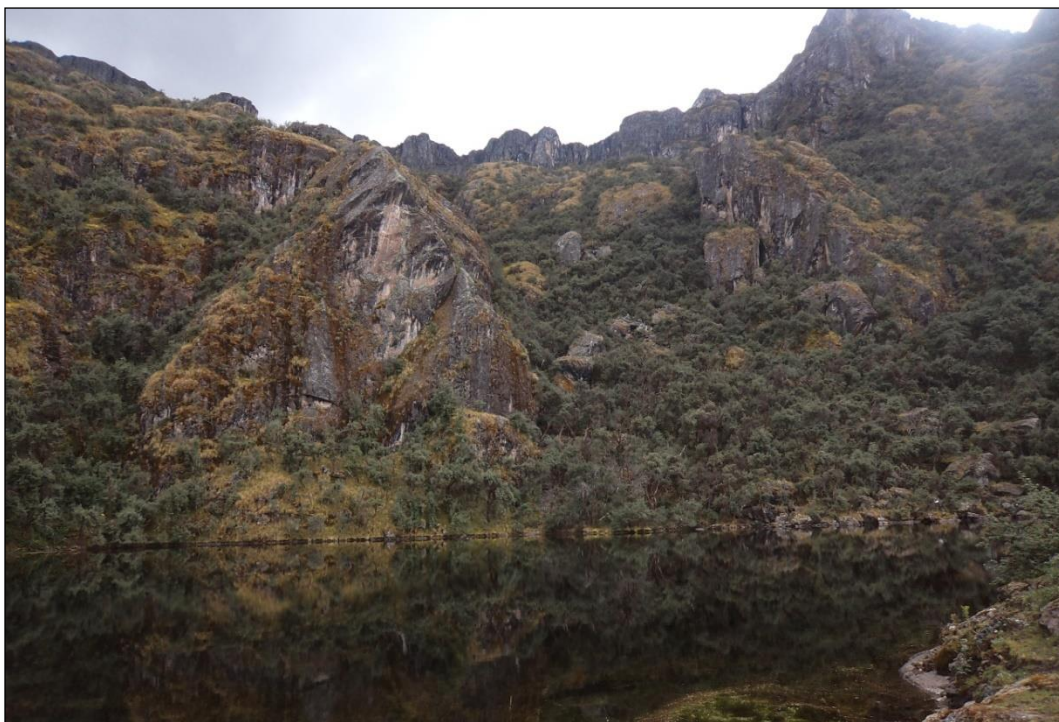
Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas entre las especies de *Polylepis* para la Fluorescencia mínima (Fo).**

ANEXO 17.16.3

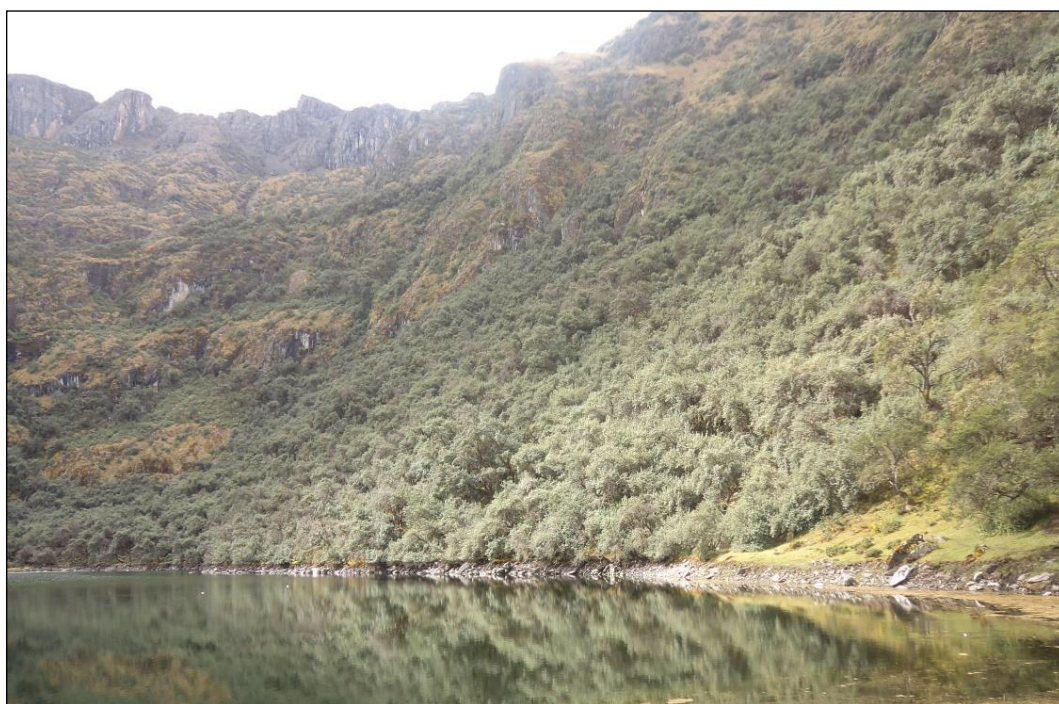
Datos del p-valor del Test de Tukey para la comparación entre pares de especies, en los datos obtenidos de la Fluorescencia mínima (Fo)

Comparación entre pares de especies	P-Valor Fluorescencia mínima (Fo)
<i>P. racemosa</i> – <i>P. microphylla</i>	2×10^{-7}
<i>P. subsericans</i> – <i>P. microphylla</i>	0.0000000
<i>P. subsericans</i> – <i>P. racemosa</i>	3.7×10^{-6}

Los datos sombreados corresponden a valores de p-valor < 0.05 , por lo tanto en estos casos se acepta la hipótesis alternativa, en la cual **hay diferencias significativas.**



Anexo 18. Bosque de K'elloq'ocha ubicado a S 13°14'34.9" W 72°01'13.4" a 4343 m de altitud. Urubamba – Cusco.



Anexo 19. Bosque de Yanacocha ubicado en S 13°17'8.13" W 72° 2'58.25" a 3965 m de altitud. Urubamba – Cusco.



Anexo 20. Zona Mirador ubicado en S 13°17'54.42'' W 72° 2'35.46'' a 3564 m de altitud, Urubamba – Cusco.



Anexo 21. Subida a los Bosques de Yanacocha y K'elloq'ocha.



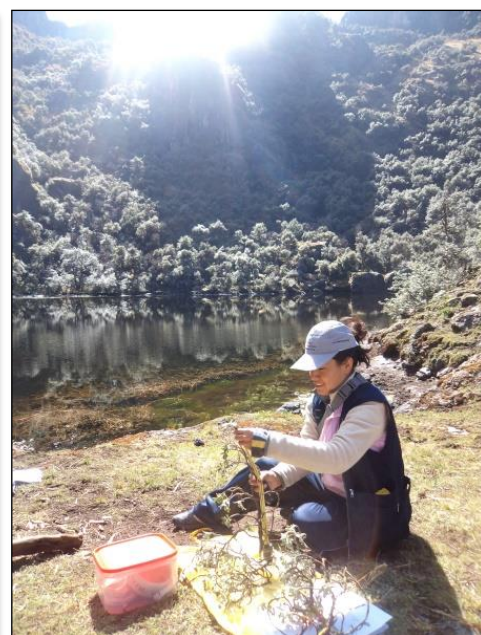
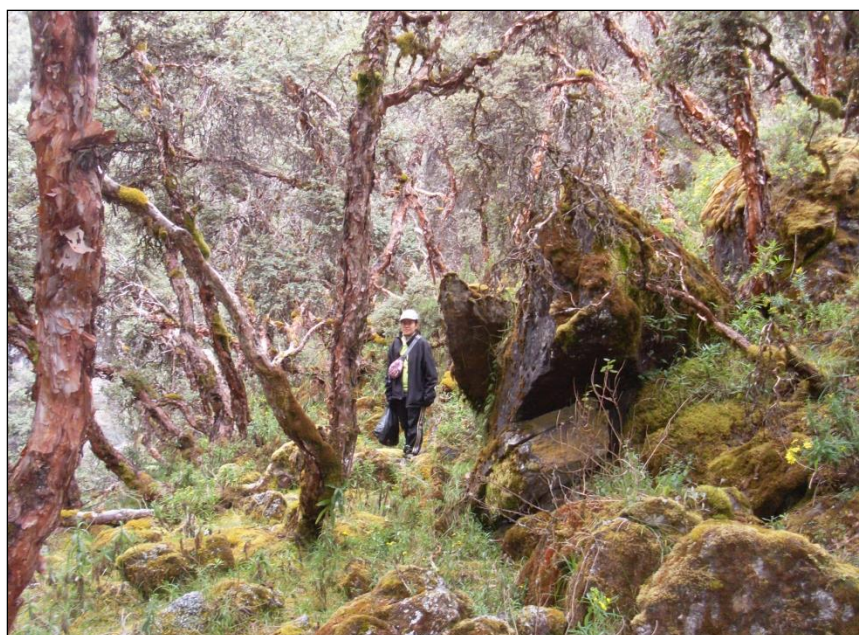
Anexo 22. Subida a la Zona de Mirador.



Anexo 23. Campamento en el Bosque de K'elloq'ocha.



Anexo 24. Campamento en el Bosque de Yanacocha.



Anexo 25. Colecta de muestras en el Bosque de K'elloq'ocha Urubamba – Cusco.



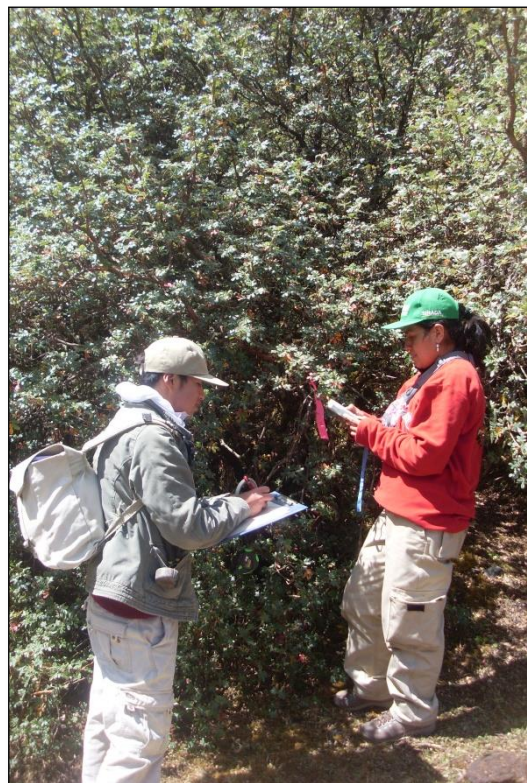
Anexo 26. Colecta de muestras en los Bosques de K'elloq'ocha y Yanacocha, Urubamba – Cusco



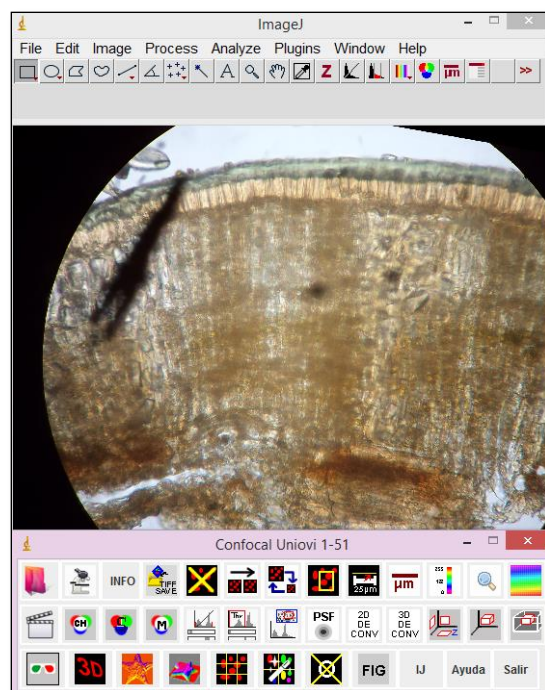
Anexo 27. Análisis de muestras en laboratorio.



Anexo 28. Equipo Fluor Pen-100, para medir los parámetros de fluorescencia.



Anexo 29. Medición de los parámetros de fluorescencia en campo.



Anexo 30. Programa IMAGEJ 1.48v para el análisis de imágenes microscópicas.