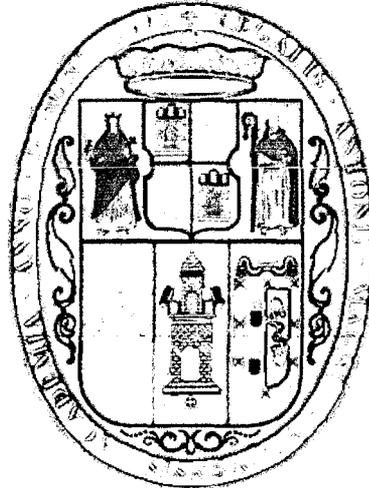


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**RESPIRACIÓN FOLIAR DE *Eucalyptus globulus* Labill.
(MYRTACEAE) y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.
(ROSACEAE) EN EL VALLE DEL CUSCO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. en Ciencias Biológicas Beisit Luz Puma Vilca

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE BIOLOGO

ASESOR:

M.Sc. Américo Chacón Campana

**“TESIS AUSPICIADA POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO”**

**CUSCO – PERÚ
2012**

DEDICATORIA

*Con amor y gratitud a mis padres
GREGORIO y MARITZA por su
apoyo e invaluable sacrificio.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por cada minuto dado.

Al M. Cs Américo Chacón Campana por su ayuda brindada en el desarrollo de este trabajo.

Al coordinador de "Global Environmental Monitoring - GEM", Walter Huaraca por los equipos proporcionados y su constante apoyo en todo el trabajo.

Al grupo GEM principalmente a Darcy Galiano y Judith Laupa por los ánimos, la información proporcionada y las largas discusiones sobre esta investigación.

A Sergio Malqui, Vilma Champi y Gloria Rayme, que colaboraron con el sacrificado trabajo de campo. ¡Muchas gracias muchachos!

A todos mis Docentes por orientarme hacia la investigación y por las llamadas de atención que me sirvieron para mejorar mis habilidades.

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN.....	iii
OBJETIVOS.....	iv
JUSTIFICACIÓN.....	v
HIPÓTESIS.....	vi

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES	
1.1.1 Internacionales.....	1
1.1.2 Nacionales y Locales.....	4
1.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
1.2.1 Ciclo Global del Carbono.....	5
1.2.2 La Respiración en las Plantas.....	8
1.2.3 La Hoja.....	11
1.2.4 Estomas.....	13
1.2.5 Especies Evaluadas.....	21
1.3 ÁREA DE ESTUDIO	
1.3.1 Ubicación geográfica.....	25
1.3.2 Accebilidad.....	26
1.3.3 Geomorfología.....	27
1.3.4 Hidrografía.....	27
1.3.5 Zonas de Vida.....	28
1.3.6 Fauna.....	30
1.3.7 Clima.....	32

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES	
2.1.1 Material Biológico.....	34
2.1.2 Material de Campo.....	34
2.1.3 Material de Gabinete.....	34
2.2 MÉTODOS	
2.2.1 Selección de Individuos.....	35
2.2.2 Medida de Flujo de CO ₂	37
2.2.3 Flujo de CO ₂ en función de la Temperatura.....	39
2.2.4 Densidad Estomática.....	40
2.2.5 Área Foliar Específica (AFE) y Biomasa Foliar (BF)	45
2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	47

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Flujo de CO ₂ Foliar de <i>E. globulus</i> en el Valle del Cusco.....	49
3.2 Área Foliar de <i>E. globulus</i> en el Valle del Cusco.....	54
3.3 Variaciones Diurnas del Flujo de CO ₂ Foliar en <i>E. globulus</i> en el Valle del Cusco.	58
3.4 Estomas de <i>E. globulus</i> en el Valle del Cusco.....	59
3.5 Densidad Estomática de <i>E. globulus</i> en el Valle del Cusco.....	60
3.6 Flujo de CO ₂ Foliar de <i>P. racemosa</i> en el Valle del Cusco.....	71
3.7 Área Foliar de <i>P. racemosa</i> en el Valle del Cusco.....	76
3.8 Variaciones Diurnas del Flujo de CO ₂ en <i>P. racemosa</i> en el Valle del Cusco.....	80
3.9 Estomas de <i>P. racemosa</i> en el Valle del Cusco.....	81
3.10 Densidad Estomática de <i>P. racemosa</i> en el Valle del Cusco.....	82

CONCLUSIONES

SUGERENCIAS

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

LISTA DE CUADROS

Cuadro I-1. Ubicación geográfica de las localidades muestreadas de <i>E. globulus</i> y <i>P. racemosa</i>	25
Cuadro II-1. Número de muestras para Respiración Foliar.....	37
Cuadro II-2: Número de observaciones al microscopio para Densidad Estomática.....	40
Cuadro III-1. Flujos de CO ₂ de <i>E. globulus</i> en el Valle del Cusco.....	49
Cuadro III-2. Prueba de ANOVA entre los flujos promedios de las 5 localidades evaluadas para <i>E. globulus</i>	51
Cuadro III-3. Prueba de Tukey al 95 % de confianza entre los flujos promedio de las 5 localidades evaluadas para <i>E. globulus</i>	52
Cuadro III-4. Prueba T-Student entre los flujos promedio de los estratos en el dosel en <i>E. globulus</i>	53
Cuadro III-5. Área Foliar de en los estratos en el dosel <i>E. globulus</i>	54
Cuadro III-6. Prueba de Wilcoxon entre estratos para <i>E. globulus</i>	57
Cuadro III-7. Variaciones diurnas del Flujo de CO ₂ en <i>E. globulus</i>	58
Cuadro III-8. Densidad Estomática de las secciones foliares Ápice, Medio y Base en las superficies adaxial de <i>E. globulus</i>	60
Cuadro III-9. Densidad Estomática de las secciones foliares Ápice, Medio y Base en las superficies abaxial de <i>E. globulus</i>	62
Cuadro III-10. Prueba de ANOVA entre las densidades estomáticas promedios de las 5 localidades evaluadas para <i>E. globulus</i>	64
Cuadro III-11. Prueba de Tukey al 95 % de confianza entre las densidades estomáticas de las 5 localidades evaluadas para <i>E. globulus</i>	65
Cuadro III-12. Prueba T-Student entre las densidades estomáticas promedio de el estrato superior e inferior de <i>E. globulus</i>	66
Cuadro III-13. Prueba T-Student entre las densidades estomáticas promedio de la superficie abaxial y adaxial de <i>E. globulus</i>	67
Cuadro III-14. Tabla de ANOVA para las secciones foliares ápice, base y medio de <i>E. globulus</i>	68
Cuadro III-15. Densidad Estomática y Flujo de CO ₂ en <i>E. globulus</i> de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas..	69
Cuadro III-16. Área foliar y densidad estomática en <i>E. globulus</i> de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas..	70
Cuadro III-17. Flujos de CO ₂ de <i>P. racemosa</i> en el Valle del Cusco....	71

Cuadro III-18. Prueba de ANOVA entre los flujos promedios de las 5 localidades evaluadas para <i>P. racemosa</i>	73
Cuadro III-19. Prueba de Tukey al 95 % de confianza entre los flujos promedio de las 5 localidades evaluadas para <i>P. racemosa</i>	74
Cuadro III-20. Prueba T-Student entre los flujos promedio de los estratos en el dosel en <i>P. racemosa</i>	75
Cuadro III-21. Área Foliar de en los estratos en el dosel <i>P. racemosa</i> .	76
Cuadro III-22. Prueba de Wilcoxon entre estratos para <i>P. racemosa</i>	79
Cuadro III-23. Variaciones diurnas del Flujo de CO ₂ en <i>P. racemosa</i>	80
Cuadro III-24. Densidad Estomática de las secciones foliares Ápice, Medio y Base en las superficies abaxial de <i>P. racemosa</i>	82
Cuadro III-25. Prueba de ANOVA entre las densidades estomáticas promedios de las 5 localidades evaluadas para <i>P. racemosa</i>	84
Cuadro III-26. Prueba T-Student entre las densidades estomáticas promedio de los estratos en el dosel de <i>P. racemosa</i>	85
Cuadro III-27. Tabla de ANOVA para las secciones foliares ápice, base y medio de <i>P. racemosa</i>	86
Cuadro III-28. Densidad Estomática y Flujo de CO ₂ en <i>P. racemosa</i> de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas. .	87
Cuadro III-29. Área foliar y densidad estomática en <i>P. racemosa</i> de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas. .	88
Cuadro III-30. Cuadro comparativo entre las características de las hojas de <i>E. globulus</i> y <i>P. racemosa</i>	89

LISTA DE FIGURAS

Figura I-1. El Ciclo de Carbono en la Actualidad.	5
Figura I-2. Diagrama de los Stocks y Flujos de Carbono en un Bosque Tropical.....	7
Figura I-3. Esquema del Proceso de respiración foliar.	10
Figura I-4. Estructura interna de la hoja.	11
Figura I-5. Estructura de un Estoma.....	15
Figura I-6. Mecanismo del Movimiento Estomático.....	18
Figura I-7. Mecanismo de Regulación de la Apertura Estomática.....	20
Figura I-8. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.....	22
Figura I-9. <i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.....	24
Figura I-10. Mapa Político Administrativo de la Provincia del Cusco....	25
Figura I-11. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el Valle del Cusco.....	26
Figura I-12. Climatodiagrama de la Estación Meteorológica Granja Kayra	32
Figura II-1. Esquema de la Obtención de ramas por estratos.	35
Figura II-2. Esquema de la Metodología de Respiración Foliar.....	38
Figura II-3. Esquema de la Metodología para Densidad Estomática de <i>E. globulus</i>	41
Figura II-4. Esquema de la Metodología para Densidad Estomática de <i>P. racemosa</i>	43
Figura II-5. Procedimiento para las observaciones al microscopio de <i>P. racemosa</i>	44

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica III-1. Flujo de CO ₂ en los estratos inferior y superior del dosel de <i>E. globulus</i>	50
Gráfica III-2. Flujos de CO ₂ de <i>E. globulus</i> en las 5 localidades evaluadas.....	51
Gráfica III-3. Diferencias de flujos de CO ₂ entre localidades basado en la prueba de Tukey.....	52
Gráfica III-4. Flujos de CO ₂ en los Estratos en el dosel de <i>E. globulus</i>	53
Gráfica III-5. Área Foliar Específica vs Flujo CO ₂ en el estrato superior del dosel de <i>E. globulus</i>	55
Gráfica III-6. Área Foliar Específica vs Flujo CO ₂ en el estrato inferior del dosel de <i>E. globulus</i>	55
Gráfica III-7. Biomasa vs Flujo CO ₂ en el estrato superior del dosel de <i>E. globulus</i>	56
Gráfica III-8. Biomasa vs Flujo CO ₂ en el estrato inferior del dosel de <i>E. globulus</i>	56
Gráfica III-9. Temperatura vs Flujo de CO ₂ en <i>E. globulus</i>	57
Gráfica III-10. Variación Diurna del Flujo de CO ₂ en <i>E. globulus</i>	58
Gráfica III-11. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie adaxial de la hoja de <i>E. globulus</i> para el estrato superior del dosel.	61
Gráfica III-12. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie adaxial de la hoja de <i>E. globulus</i> para el estrato inferior del dosel.....	61
Gráfica III-13. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de <i>E. globulus</i> para el estrato superior del dosel.	63
Gráfica III-14. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de <i>E. globulus</i> para el estrato inferior del dosel.....	63
Gráfica III-15. Densidad Estomática de <i>E. globulus</i> en las 5 localidades evaluadas.....	64
Gráfica III-16. Diferencias entre promedios de localidades	65
Gráfica III-17. Densidad Estomática de acuerdo a la posición en el dosel de <i>E. globulus</i>	66

Gráfica III-18. Densidad Estomática de acuerdo a la superficie foliar de <i>E. globulus</i>	67
Gráfica III-19. Densidad Estomática de acuerdo a la sección foliar en <i>E. globulus</i>	68
Gráfica III-21. Densidad Estomática vs Flujo de CO ₂ de <i>E. globulus</i> en el estrato inferior y superior del dosel, cada punto representa un promedio de 30 mediciones.	69
Gráfica III-20. Área Foliar vs Densidad Estomática de <i>E. globulus</i> en el estrato inferior y superior del dosel.....	70
Gráfica III-22. Flujo de CO ₂ en los estratos inferior y superior del dosel de <i>P. racemosa</i>	72
Gráfica III-23. Flujos de CO ₂ de <i>P. racemosa</i> en las 5 localidades evaluadas.....	73
Gráfica III-24. Diferencias de flujos de CO ₂ entre localidades basado en la prueba de Tukey.....	74
Gráfica III-25. Flujos de CO ₂ en los Estratos en el dosel de <i>P. racemosa</i>	75
Gráfica III-26. Área Foliar Específica vs Flujo CO ₂ en el estrato superior del dosel de <i>P. racemosa</i>	77
Gráfica III-27. Área Foliar Específica vs Flujo CO ₂ en el estrato inferior del dosel de <i>P. racemosa</i>	77
Gráfica III-28. Biomasa vs Flujo CO ₂ en el estrato superior del dosel de <i>P. racemosa</i>	78
Gráfica III-29. Biomasa vs Flujo CO ₂ en el estrato inferior del dosel de <i>P. racemosa</i>	78
Gráfica III-30. Temperatura vs Flujo de CO ₂ en <i>P. racemosa</i>	79
Gráfica III-31. Variación Diurna de Flujo de CO ₂ en los dos estratos de <i>P. racemosa</i>	80
Gráfica III-32. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de <i>P. racemosa</i> para el estrato superior del dosel.	83
Gráfica III-33. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de <i>P. racemosa</i> para el estrato inferior del dosel.	83
Gráfica III-34. Densidad Estomática <i>P. racemosa</i> en las 5 localidades evaluadas.....	84

Gráfica III-35. Densidad Estomática de acuerdo a la posición en el dosel de <i>P. racemosa</i>	85
Gráfica III-36. Densidad Estomática de acuerdo a la sección foliar en <i>P. racemosa</i>	86
Gráfica III-38. Densidad Estomática vs Flujo de CO ₂ de <i>P. racemosa</i> en el estrato inferior y superior del dosel, cada punto representa un promedio de 30 mediciones.....	87
Gráfica III-37. Área Foliar vs Densidad Estomática de <i>P. racemosa</i> en el estrato inferior y superior del dosel.....	88

RESUMEN

La investigación se realizó en cinco localidades del Valle del Cusco ubicadas a diferentes latitudes, denominadas: Chocco, Pumamarca, Sacsayhuamán, Tambomachay y Tancarpata durante la época de sequía en el año 2012; con el objeto de evaluar el flujo de CO₂ foliar y la densidad estomática en la especie introducida *Eucalyptus globulus* Labill. y la especie nativa *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. ambas utilizadas para forestación y reforestación respectivamente; luego se comparó el flujo de CO₂ foliar según la localidad y los estratos en el dosel en cada especie; se estableció variaciones diurnas del flujo de CO₂ y se observó la relación del flujo de CO₂ con la temperatura ambiental, biomasa foliar, área foliar específica y densidad estomática.

En *E. globulus* se trabajó con hojas verdaderas para el estrato inferior y con filodios en el estrato superior. Para la medida de la emisión de CO₂ foliar de ambas especies, las ramas colectadas se expusieron al sol por 30 minutos y luego se sometieron a oscuridad por 30 minutos antes de cada medida con el analizador de gases infrarrojo EGM-4.

Para la densidad estomática de *E. globulus* se utilizó la técnica de improntas y para *P. racemosa* el ablandado de epidermis con ácido nítrico al 10%; luego de estos tratamientos las impresiones foliares se observaron en un microscopio a 400X.

Los filodios del estrato superior de *E. globulus* presentaron un flujo de CO₂ foliar entre 0.71 a 1.35 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y entre 0.81 a 1.08 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en las hojas del estrato inferior del dosel. No se encontró diferencia significativa en los flujos de CO₂ entre localidades a excepción de Chocco ni por la posición en el dosel. En el estrato superior de *P. racemosa*, el flujo de CO₂ foliar osciló entre 0.59 a 1.05 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y entre 0.51 a 0.95 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para el estrato inferior del dosel. No se encontró diferencia significativa en los flujos de CO₂ según la localidad y posición en el dosel.

Las variaciones diurnas del flujo de CO₂ fue alta entre las 11:00 y 15:00 horas para *E. globulus* y baja a las 13:00 horas. En *P. racemosa* fue alta entre las 11:00 a 12:00 horas y baja a las 13 horas; debiéndose al

aumento de temperatura que se presenta a esas horas mientras que la disminución significativa a las 13:00 horas se debió a la mayor insolación que se presenta y que favorece al proceso de fotosíntesis. También se comprobó que el flujo de CO₂ está influenciado directamente con la temperatura ambiental y la biomasa foliar, sin embargo no se encontró relación con el área foliar específica.

Las hojas de *E. globulus* son anfiestomáticas con estomas de tipo Anomocítico. La densidad estomática de los filodios del estrato superior oscilaron entre 21.70 a 62.50 estomas.mm⁻² para la superficie adaxial y entre 111.65 a 150.28 estomas.mm⁻² para la superficie abaxial. La densidad estomática de las hojas de estrato inferior oscilaron entre 16.91 a 23.48 estomas.mm⁻² para la superficie adaxial y entre 111.65 a 150.28 estomas.mm⁻² para la superficie abaxial. No se encontró diferencia significativa de densidad estomática por la localidad y por la sección foliar. Se encontró diferencia significativa por la posición en el dosel y por superficies foliares. Se observó una relación positiva entre la densidad estomática y el flujo de CO₂ en ambos estratos del dosel de *E. globulus*. La relación de la densidad estomática con el área foliar es positiva en el estrato inferior de *E. globulus* y negativa en el estrato superior.

Las hojas de *P. racemosa* son hipoestomáticas con estomas de tipo Anomocítico con células subsidiarias papilosas. La densidad estomática de *P. racemosa* es 14.69 a 15.65 estomas.mm⁻² para el estrato superior del dosel y entre 9.96 a 10.28 estomas.mm⁻² para el estrato inferior. No se encontró diferencia significativa de la densidad estomática promedio por localidades y por sección foliar. Existe diferencia significativa por la posición en el dosel. No se observó relación entre la densidad estomática y el flujo de CO₂ en los estratos inferior y superior de *P. racemosa*. La relación de la densidad estomática con el área foliar fue positivo en ambos estratos.

INTRODUCCIÓN

La respiración foliar juega un rol muy importante en la economía de carbono de las plantas, ya que es un componente sustancial de la respiración total de un ecosistema, aunque es pobremente estudiado en comparación con la fotosíntesis.

En este trabajo se determina y compara la respiración foliar y la densidad estomática de dos especies utilizadas para forestación y reforestación: la especie introducida *Eucalyptus globulus* Labill. y la especie nativa *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. en el Valle del Cusco.

Para ello cada especie se evalúa en cinco localidades ubicadas a diferentes latitudes en las localidades de Choccco, Pumamarca, Sacsayhuamán, Tambomachay y Tancarpata. De acuerdo a la posición en el dosel, en cada individuo se consideran dos estratos en el dosel: inferior y superior.

En ambas especies la respiración foliar se realiza con el analizador de gases infrarrojo EGM-4; Para la densidad estomática de *E. globulus* se utiliza la técnica de improntas y para *P. racemosa* se realiza un ablandado de epidermis con ácido nítrico.

Las relaciones entre variables se hacen utilizando análisis de regresión y los análisis estadísticos empleados son la prueba T-Student, Wilcoxon, ANOVA y Prueba de Tukey.

Esta investigación tiene como propósito aportar información sobre la *ecofisiología* de estas especies al observar las interacciones que hay entre la tasa de respiración foliar y la densidad estomática, así como establecer diferencias por la posición en el dosel y localidades.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la respiración foliar y densidad estomática de las especies *Eucalyptus globulus* Labill. y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. en el valle del Cusco.

Objetivos específicos

1. Comparar la respiración foliar y densidad estomática según la localidad y la posición en el dosel de cada especie.
2. Establecer variaciones diurnas de respiración foliar en las especies *Eucalyptus globulus* Labill. y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav
3. Relacionar el flujo de CO₂ de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. con el área foliar específica, biomasa foliar, y la temperatura ambiental.
4. Determinar el tipo de estomas que presentan las hojas de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.
5. Relacionar la densidad estomática de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. con el flujo de CO₂ y el área foliar.

JUSTIFICACIÓN

Diversos estudios demuestran la gran importancia de conocer la ecofisiología de las plantas principalmente de aquellas que tienen un impacto social. La respiración describe una variedad de procesos que las plantas realizan para generar energía útil y esqueletos de carbono.

Es indispensable tener información sobre la ecofisiología de las especies utilizadas para forestación y reforestación así como poder observar sus respuestas al cambio climático.

para así poder tomar decisiones acertadas sobre un manejo adecuado

En el presente trabajo se pretende determinar la respiración foliar y la densidad estomática en dos especies utilizadas para forestación y reforestación en Cusco: *E. globulus* y *P. racemosa*; así como observar la relación existente entre la respiración foliar y la densidad estomática.

Se escoge la especie *E. globulus* porque en diferentes regiones del planeta son utilizadas como plantaciones forestales, siendo motivo de controversias científicas y sociales, ya que se han relacionado con efectos negativos sobre el medio ambiente.

Se escoge la especie *Polylepis racemosa* porque es nativa de la zona de estudio, siendo más recomendada para forestación y reforestación porque no malogra el suelo de plantación y porque favorece a la diversidad biológica nativa tanto florística como faunística.

HIPÓTESIS

El flujo foliar de CO₂ está relacionado con la densidad estomática en las especies *Eucalyptus globulus* Labill. y *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Internacionales

- **Medina, Silva & Castellanos (1969)** realizaron estudios sobre el curso diario y las variaciones estacionales de la respiración foliar en plantas leñosas en la Estación Biológica “Los Llanos” – Venezuela, concluyendo que la sensibilidad de la respiración foliar a la temperatura disminuye con la edad de las hojas y que el curso diario de respiración de hojas adultas sigue aproximadamente el curso de la curva de la temperatura durante el día.
- **Bolstad, Mitchell & Vose (1999)** efectuaron estudios en 18 especies arbóreas en el Sur de los Apalaches; con el fin de observar diferencias en las curvas de Temperatura-Respiración entre especies y entre estratos en el dosel; observando que la respiración foliar varía significativamente entre especies y entre estratos en el dosel dentro de la misma especie mientras el Q_{10} dado por cada estrato muestran tendencias similares, concluyendo que Q_{10} no varía por la posición en el dosel y ocasionalmente variaron entre las especies que estudiaron.
- **Atkin, Holly & Ball (2000)** estudiaron la respiración de las hojas de *Eucalyptus pauciflora* en luz y oscuridad en “Gudgenby Valley Namadgi National Park” - Australia. La tasa de respiración osciló entre 0.24 y 2.48 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en el intervalo de temperatura 6 a 30 °C, llegando a la conclusión que la respiración foliar en luz es altamente variable siendo dependiente de la radiación y temperatura; además de que las variaciones en el grado de inhibición de luz para la respiración tiene un impacto sustancial en la temperatura de respiración foliar.

- **Colmenares (2002)** estudió el crecimiento y anatomía de *Polylepis sericea* Wedd. en el páramo venezolano, para determinar si el balance de carbono o las limitaciones de crecimiento influyen en el crecimiento de dicha especie, encontrando que las hojas son hipostomáticas y los estomas de esta especie son del tipo anomócitico rodeados por células papilosas; llegando a la conclusión de que en localidades donde las condiciones ambientales son más favorables, estos árboles presentan un mayor crecimiento y una mayor asimilación de CO₂.
- **Atkin & Tjoelker (2003)** explicaron la aclimatación termal y la respuesta dinámica de la respiración foliar a la temperatura (Q₁₀), demostrando la importancia de éstos componentes en la respuesta de la biósfera a un cambio climático global. concluyendo que la sensibilidad de la respiración a la temperatura a corto y largo plazo varía entre plantas y entre los mecanismos responsables para esta variabilidad. Esta revisión también sugiere que las variaciones en los valores de Q₁₀ pueden ser predecibles, pudiéndose crear modeladores para incorporar escenarios de aclimatación en modelos más simples.
- **Cañizares, Sanabria, Rodriguez & Perozo (2003)** estudiaron las características de los estomas y densidad estomática de las hojas de lima tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. Los resultados demostraron que las hojas de *C. latifolia* son anfiestomáticas, presentando estomas anisocíticos. La densidad estomática osciló entre 78.4 y 80.8 estomas.mm⁻², variando dependiendo de la superficie de la hoja y el patrón o porta injerto. La conclusión que obtuvieron fue que la densidad estomática varía dependiendo de la superficie foliar y del tercio estudiado en cada cara (base, medio y ápice).
- **Chambers, y otros (2004)** midieron la respiración del ecosistema de un bosque tropical amazónico "Terra Firme" - Brasil obteniendo 0.54 μmolCO₂m⁻²s⁻¹ de respiración foliar de concluyendo que la respiración es más alta en el día que en la

noche, sin embargo estadísticamente no hay diferencia significativa.

- **Hernández, Terrazas, Delgado & Luna (2007)** calcularon el tamaño y la densidad de los estomas en 20 poblaciones de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex. Pfeiff.) Console en México; para saber si la distribución geográfica modifica el tipo, densidad y tamaño de los estomas; resultando que tiene estomas del tipo paralelocítico encontrando diferencias significativas para la densidad de estomas y su tamaño entre poblaciones. Además observaron que tanto la densidad como el tamaño de estomas se asociaron positivamente con la latitud ($P < 0.02$ y 0.0001) mas no con la altitud ($P > 0.07$ y 0.90); Concluyendo que el tipo de los estomas son un carácter estable que no se modificó con la distribución geográfica, mientras el tamaño y la densidad se ven afectados diferencialmente por la latitud, no así por la altitud o temperatura.
- **Bazaldúa-Muñoz, Ventura-Zapata, Salcedo-Morales, Maldonado & López (2008)** evaluaron los cambios en la densidad estomática durante la aclimatación de plantas de tomate, obtenidas por cultivo de meristemas en México; concluyendo que existen diferencias significativas entre la superficie adaxial y abaxial de las hojas.
- **Cavaleri, Oberbauer, & Ryan (2008)** estudiaron la respiración foliar y de ecosistema en un bosques tropical de la Estación Biológica "La Selva" en las tierras bajas del Norte de Costa Rica, encontrando que la respiración foliar era $3.5 \pm 0.2 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; llegando a la conclusión de que la respiración foliar representa el 37 % de la respiración de un ecosistema y que Q_{10} fue constante a diferentes altitudes del árbol.
- **Toral, Manríquez, Navarro-Cerrillo, Terssi, & Paulette (2010)** estudiaron en Chile las características de los estomas y densidad estomática en hojas de secuoya (*Sequoia sempervirens*) en

función del nivel de precipitación, suelo, exposición y ubicación del árbol en el rodal; hallando que los estomas se presentan principalmente en la epidermis abaxial. Su densidad media varió entre 81.3 y 111.4 estomas.mm⁻², según la localidad estudiada; demostrando también que en localidades con condiciones climáticas y edáficas más limitantes mostraron estomas más pequeños y en menor densidad, concluyendo que existe un importante grado de plasticidad fenotípica de la especie.

1.1.2 Nacionales y Locales

- **Van de Weg M. (2010)** Estudió los parámetros fotosintéticos y la respiración foliar del dosel de un bosque nuboso montano tropical de 1 Ha, ubicado en el Valle de Kcosñipata al Sur-Este de Perú a 3025 m de altitud encontrando que la respiración foliar promedio es $1.47 \pm 0.52 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ concluyendo que la tasa de respiración en los bosques nublados es más baja que en los bosques tropicales debido a la baja actividad de Rubisco a bajas temperaturas.
- **Puma B. (2011)** Estudió la respiración foliar de *Weinmannia bangii* y *Weinmannia crassifolia* en dos parcelas permanentes del Centro de Investigación Wayqecha, Parque Nacional del Manu, distrito de Kcosñipata, Provincia de Paucartambo, Región Cusco. Encontrando valores entre 0.66 y 1.66 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *W. bangii*, para *W. crassifolia* entre 0.53 y 1.34 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; dependiendo de la posición en el dosel y la parcela evaluada. La conclusión del estudio fue que la respiración de *W. bangii* es ligeramente más alta que *W. crassifolia*, sin embargo no se encontró diferencia estadística significativa entre ambas especies.

1.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 Ciclo Global del Carbono

Las plantas superiores adquieren el dióxido de carbono (CO_2) para realizar la fotosíntesis fijando energía que se conoce como producción primaria bruta (PPB).

Ésta se ha estimado globalmente en 120 PgC.año^{-1} (1 Pg [Petagramo] = 10^{15} g).

La mitad de ésta (60 PgC.año^{-1}) se incorpora en los tejidos vegetales, como hojas, raíces y tejido leñoso, y la otra mitad regresa a la atmósfera como CO_2 debido a la respiración autotrófica (respiración de los tejidos vegetales, R_a) (Jaramillo, 2004).

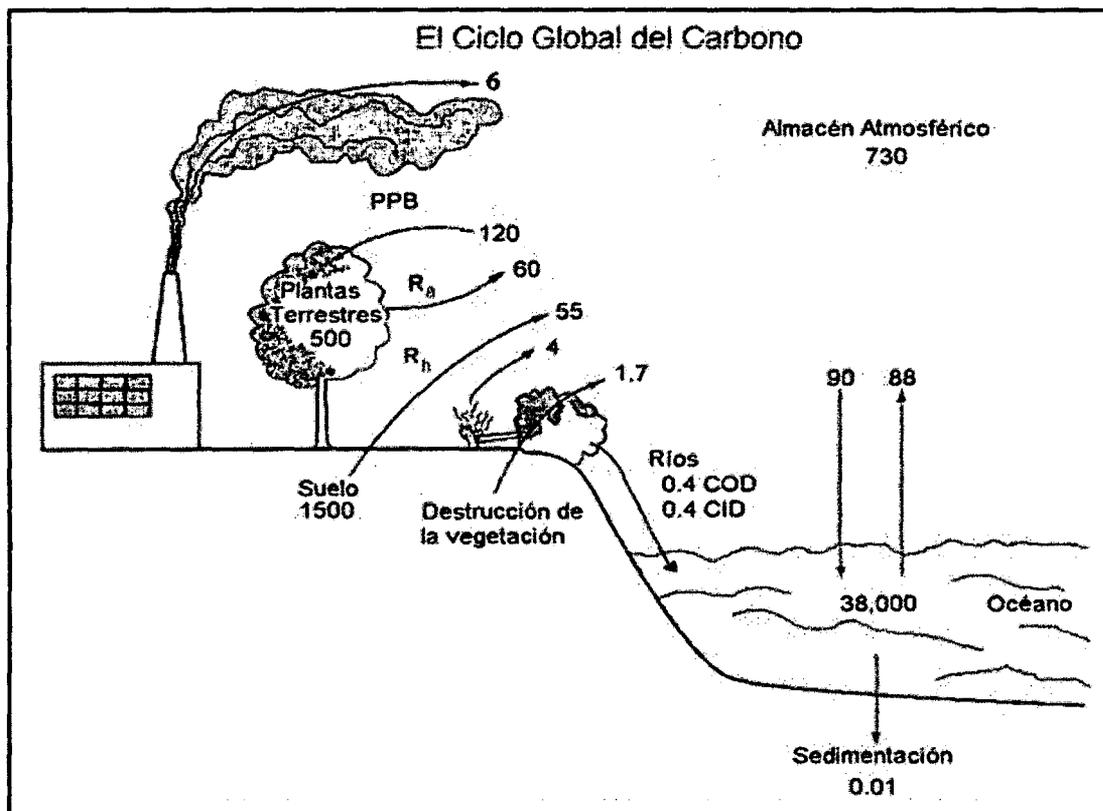


Figura I-1. El Ciclo de Carbono en la Actualidad.

Los almacenes están expresados en PgC y los flujos en PgC.año^{-1} . PPB = producción primaria bruta; R_a = respiración autotrofa; R_h = respiración heterotrofa; COD = carbono orgánico disuelto; CID = carbono inorgánico disuelto.

Fuente: Jaramillo (2004).

El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado. Se le conoce como producción primaria neta (PPN) y en el nivel global se ha estimado en 60 PgC.año^{-1} . Eventualmente, en el transcurso de pocos a muchos años, casi todo el C fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de dos procesos: la respiración de organismos heterótrofos (R_h), que incluye a los descomponedores de la materia orgánica (bacterias y hongos que se alimentan de tejidos muertos y de exudados) y a los herbívoros; y por la combustión en los fuegos naturales o antropogénicos.

Gran parte de la biomasa muerta se incorpora al detritus y a la materia orgánica del suelo, donde es "respirada" a diferentes velocidades dependiendo de sus características químicas. Se producen así almacenes de C en el suelo que regresan el C a la atmósfera en diferentes periodos.

La diferencia entre la fijación de C por la PPN y las pérdidas por la Respiración heterotrófica, en ausencia de otras perturbaciones que producen pérdidas de carbono (ej. el fuego o la cosecha), se conoce como la producción neta del ecosistema (PNE). Y cuando todas las pérdidas de C se contabilizan, tales como el fuego, la cosecha o la remoción, el transporte por los ríos a los océanos y la erosión, lo que queda es el C que acumula efectivamente la biosfera nivel global, y que se conoce como la producción neta del bioma (PNB). Ésta se ha calculado en $0.2 \pm 0.7 \text{ PgC.año}^{-1}$ para la década de los ochenta, y en $1.4 \pm 0.7 \text{ PgC.año}^{-1}$ para los noventa.

Los bosques juegan un papel importante en la determinación de la concentración atmosférica de CO_2 . La dinámica de Carbono en un bosque está dada por (Honorio & Baker, 2010):

- La asimilación de CO_2 mediante la fotosíntesis (G_p);
- La liberación de carbono mediante la respiración autotrófica (R_a);
- La transferencia de C al suelo en forma de hoja, madera, y raíces;
- La exudación de compuestos orgánicos dentro de la rizósfera;
- La eventual liberación de C devuelta a la atmósfera mediante la descomposición y respiración de microbios y otros heterótrofos (R_h).

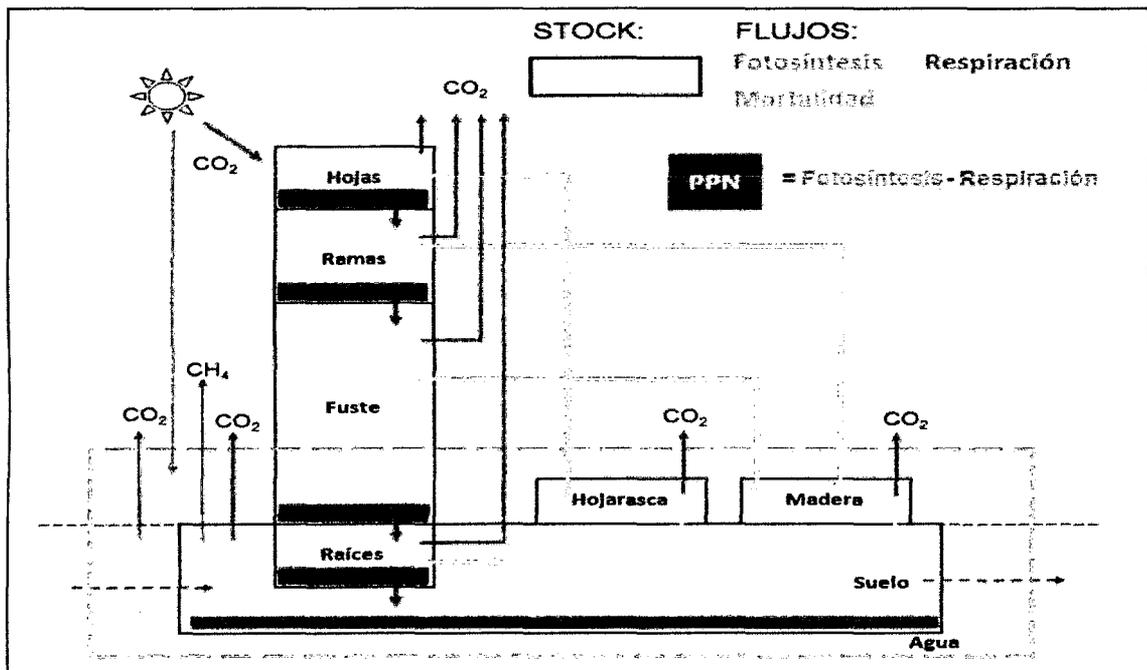


Figura I-2. Diagrama de los Stocks y Flujos de Carbono en un Bosque Tropical en la Amazonía

Fuente: Honorio & Baker (2010).

Es importante considerar que las magnitudes que se calculan actualmente para los sumideros de C no operarán de manera constante en el futuro, ya que todos los procesos claves disminuirán. Por ejemplo, la captura de C por los bosques jóvenes que crecen en las tierras agrícolas disminuirá conforme éstos lleguen a la madurez.

Igualmente, las respuestas a la fertilización por el CO₂ atmosférico y por la deposición de nitrógeno mostrarán una saturación fisiológica, al tiempo que también otros recursos se volverán limitantes. Más aún, se espera que los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas reduzcan la capacidad de los sumideros a una escala global (Jaramillo, 2004).

Es fundamental tomar en cuenta estas limitaciones de los sistemas biológicos de la Tierra al hacer consideraciones sobre el balance global de carbono en el futuro.

1.2.2 La Respiración en las Plantas

La respiración es un proceso importante que nunca se detiene, por el cual parte de la energía almacenada químicamente en los alimentos queda disponible en forma inmediata para realizar cualquier actividad en la célula. Por ello, todas las condiciones internas o externas a las células, que afecten el ritmo de la respiración, influirán en las actividades celulares. Este proceso general se puede escribir como:



En la ecuación de la respiración aparecen sólo dos sustancias reactivas: azúcar y oxígeno, y los dos productos finales agua y dióxido de carbono. De la fórmula se deduce que 180 g (1 mol) de glucosa son oxidadas por 192 g (6 moles) de oxígeno formando 264 g (6 moles) de CO_2 , 108 g (6 moles) de agua y la liberación de $686 \text{ Kcal.mol}^{-1}$ (equivalente a 2872 KJ.mol^{-1}), reacción fuertemente exergónica que representa la respiración aeróbica. Esto significa que por cada mol de oxígeno absorbido (32 g), se producen 114 Kcal de energía (Márquez, 2009).

La respiración de la planta es controlada por tres procesos: Disponibilidad de sustratos, demanda de energía y la capacidad potencial de las enzimas. Se supone que el estrés, lesiones o senescencia del tejido estimulan las vías alternativas de respiración aunque su significado y los mecanismos subyacentes permanecen poco claros (Zach, 2008).

La liberación de CO_2 mediante respiración es útil para determinar la productividad de un ecosistema. Para el estudio de la respiración de una planta entera o de un órgano entero (hoja, tubérculo, flor, fruto, etc.) se emplea el método de la atmósfera renovable. El material biológico se encierra en una cámara respiratoria por donde se hace circular una corriente de aire. Los contenidos de CO_2 y O_2 en el aire entrante o saliente de la cámara son medidos por analizadores infrarrojos de gases. La intensidad de la respiración de una especie es distinta según el órgano y varía según el grado de desarrollo y actividad, así como con la temperatura (Larcher, 1977).

La respiración foliar es el mayor componente del ciclo de carbono terrestre, sensible a la temperatura y a la disponibilidad de nutrientes

(Meir, Grace, & Miranda, 2001). Esta respiración provee ATP a la planta y ayuda a proteger el aparato fotosintético del daño de la fotoinhibición (Atkin y otros, 2000). Por lo tanto la respiración foliar es un componente vital del metabolismo de la planta.

De acuerdo con Larcher (1977), las plantas adaptadas al sol respiran significativamente más que los de sombra, asimismo las plantas jóvenes respiran más que las adultas. Además cambios importantes en la respiración se pueden comprobar en condiciones de frío para la planta. El metabolismo respiratorio de las plantas tropicales, sensibles al frío presenta ya defectos entre los 0 y los 5 °C.

La respuesta de la respiración foliar a la temperatura difiere significativamente entre especies y con la altura en el dosel (Turnbull y otros, 2003).

1.2.2.1 Procesos de la Respiración

Glucólisis: Son una serie de reacciones realizadas en el citoplasma de la célula. Se distinguen tres etapas en este proceso.

1. Fosforilación: Preparación del azúcar para la reacción mediante la adición de fósforo.
2. División del Azúcar: División del azúcar en dos fragmentos: gliceraldehído 3-fosfato y fosfato de dihidroxiacetona.
3. Formación de Ácido Pirúvico: La oxidación de los fragmentos para formar ácido pirúvico el cual contiene casi el 80 % de la energía. El destino del ácido pirúvico está ligado a la presencia de oxígeno molecular que tenga o no la célula.

Respiración Anaerobia

En condiciones anaerobias, el ácido pirúvico formado durante la glucólisis se transforma generalmente en CO₂ y C₂H₅OH, proceso denominado "fermentación alcohólica".

Respiración Aerobia

En contraste con la respiración anaerobia, ésta crea cantidades adecuadas de energía para que la célula satisfaga sus necesidades para sobrevivir. Se divide en tres etapas principales:

1. Entrada del Carbono al Ciclo Orgánico de la respiración: Al liberarse CO_2 del ácido pirúvico, los fragmentos restantes de dos átomos de carbono (grupo acetilo) entran al ciclo del ácido orgánico y se forma NADH (nicotinamida adenina dinucleótido reducido).
2. El ciclo del Ácido Orgánico de la respiración: El grupo acetilo se oxida, se libera CO_2 y se forman ATP, (Adenosin trifosfato, NADH Y NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducido).
3. Transporte de Electrones y Oxidación Final: las coenzimas reducidas se oxidan y forman ATP y agua, utilizando el oxígeno molecular.

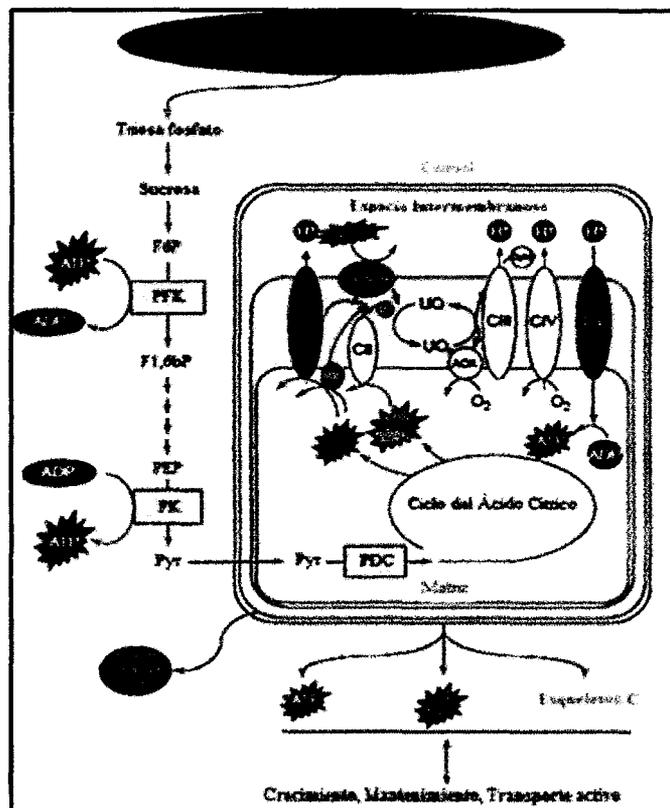


Figura I-3. Esquema del Proceso de respiración foliar.

La respiración produce energía necesaria para el crecimiento, mantenimiento y el transporte activo en las plantas

Abreviaciones: AOX: Oxidasa alternativa, e-: Electrones, F6P: fructosa 6 fosfato, F1,6bP: Fructosa 1,6 bifosfato, CI: Complejo I, CII: Complejo II, CIII: Complejo III, Cyt c: citocromo c, CIV: Complejo IV, CV: ATP sintasa, ExtNDH: NADPH deshidrogenasa externa, PDC: complejo piruvato deshidrogenasa, PEP: Fosfoenol-Piruvato, PFK: Fosfofrutoquinasa, PK: piruvatoquinasa, Pyr: Piruvato, UQ y UQR: ubiquinona oxidada y reducida respectivamente.

Fuente: Atkin & Tjoelker (2003).

1.2.2.2 Cociente de Respiración en función de la temperatura Q_{10}

El efecto marcado de la temperatura en el metabolismo de las plantas ha sido largamente reconocido. Cuando aumenta la temperatura de almacenamiento, la temperatura del producto aumenta, dando lugar a un incremento en las velocidades de reacción. Sin embargo no todas las reacciones tiene la misma tasa relativa de cambio en respuesta a la temperatura. Para caracterizar los cambios en las velocidades de reacción debido a la temperatura, un valor llamado Q_{10} es a menudo usado. El Q_{10} es definido como la tasa de una reacción específica a una temperatura más 10 °C entre tasa de una reacción específica a esa temperatura. La tasa de respiración es a menudo usada como predictor general del efecto de la temperatura sobre el metabolismo general del tejido vegetal. El valor de Q_{10} es comúnmente utilizado para la evaluación de los efectos de la temperatura sobre la respiración. El valor Q_{10} se puede aplicar para la respiración, ya que la frecuencia respiratoria producto es marcadamente reducida a temperaturas más bajas. Este principio constituye la base de almacenamiento en frío de los cultivos hortícolas.

1.2.3 La Hoja

De todos los órganos de las plantas, la hoja es la más flexible en responder a las condiciones del medio ambiente; en ésta se refleja mejor las alteraciones morfológicas como consecuencia de los efectos del estrés al producir diversos cambios (Cañizares y otros, 2003).

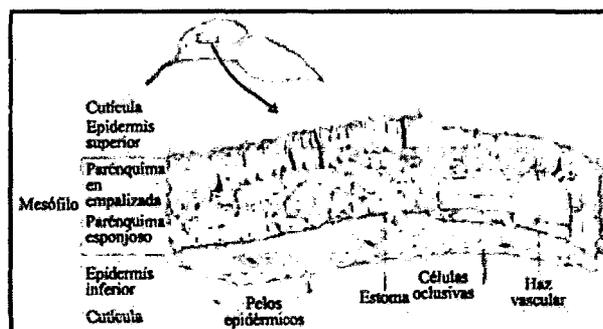


Figura I-4. Estructura interna de la hoja.

Fuente: Estructura Interna de la Hoja (s.f).

a) Área Foliar Específica (AFE):

Es la razón entre el área foliar y el peso de la hoja; es un índice del espesor y densidad de la hoja, también se le conoce como la medida de la foliosidad de la planta con base en el peso seco. Es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón del área foliar.

La AFE varía con la intensidad lumínica o época del año: las especies más demandantes de luz, presentan una elevada área foliar específica, además de elevadas concentraciones de N en hojas. Una elevada AFE incrementa la apetencia y fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido, mientras las hojas más densas y con menor AFE, tienen correlaciones altas con una mayor lignificación, menor tamaño celular, bajo contenido de humedad y baja concentración de N. La reducción en AFE se atribuye a una alteración en la estructura de la hoja, o bien al incremento en la concentración de nutrimentos o carbohidratos no estructurales en la misma; tal reducción es el resultado de una incapacidad de la planta, para asignar estos compuestos en crecimiento estructural (Pérez y otros, 2004).

El AFE disminuye al incrementarse la altura de la planta, lo que quiere decir que muestra una correlación negativa entre la altura del tallo y AFE por efecto de competencia por luz. La disminución de la AFE conforme se incrementa la altura de la planta, resultados semejantes que muestran una correlación negativa entre la altura del tallo y AFE, conforme se incrementa la altura de la planta, podría interpretarse en términos de las ventajas que presentan las hojas por mantener una temperatura adecuada en ambientes cálidos ya que un menor tamaño de hoja, reduce la resistencia de la capa de frontera y ayuda a mantener favorable la temperatura de la misma además permite mantener la eficacia en el uso del agua en condiciones de elevada radiación solar, poca disponibilidad de agua o baja conductancia estomática (Pérez y otros, 2004).

b) Secuencia de aparición de los estomas en la lámina foliar.

- **Hojas con venación paralela:** La secuencia de diferenciación de los estomas es basípeta, desde el extremo hacia la base.
- **Hojas con venación reticulada:** No sigue un orden determinado, sino que ocurre en mosaico.

c) Clasificación de la hoja por la disposición de los estomas en su superficie.

- **Anfiestomático:** Cuando los estomas están presentes en ambas superficies.
- **Hipoestomáticos:** Cuando los estomas están presentes sólo en la superficie abaxial.
- **Epiestomáticos:** Cuando los estomas están presentes sólo en la superficie adaxial.

Descrito por Guerra A. (s.f.)

1.2.4 Estomas

La palabra estoma proviene del griego *stoma*, que significa boca. Los estomas se encuentran distribuidos en todas las hojas (en mayor cantidad en la superficie abaxial), y en tallos de crecimiento primario, son microscópicas. El número de estomas por milímetro cuadrado de superficie varía en los vegetales. Los estomas son modificaciones epidérmicas del Tejido de Protección, en la estructura primaria de la planta, que establecen el intercambio de los gases (CO_2 y O_2) entre los tejidos internos y el ambiente, a través de pequeñas aberturas, denominadas ostiolas. Por debajo del estoma y como consecuencia del ensanchamiento de los espacios intercelulares se forma una cavidad llamada cámara subestomática, la cual está en comunicación con toda la red de meatos de los tejidos vecinos. Las paredes de las células estomáticas se hallan fuerte y desigualmente engrosadas, a menudo con bordes a lo largo de los márgenes superiores e inferiores de las aberturas; en contraste con las células ordinarias epidérmicas, las células estomáticas contienen cloroplastos y éstos se encuentran indirectamente involucrados en la apertura y cierre de los estomas en

algunos casos. Estos cloroplastos no realizan fotosíntesis debido a que las paredes de las células tienen paredes bastante gruesas.

La cantidad, distribución, tamaño, forma y movimiento de los estomas son características específicas que pueden variar según la situación de la planta y también individualmente.

Los estomas cumplen un papel importante y vital en el mantenimiento de la homeóstasis de la planta, de allí la importancia de conocer tanto su número como la forma en que estos poros se abren y cierran; también los factores que controlan estos procesos (Parés-Martínez, Arizaleta, Sanabria, & Brito, 2004).

1.2.4.1 Ontogenia

Según Guerra (s.f.) Los estomas se desarrollan a partir de la protodermis. Generalmente la célula madre de las células estomáticas es la menor de las dos células resultantes de una división desigual de una protodérmica.

La célula madre se divide para dar dos células que se diferencian a continuación en células estomáticas. Al principio estas células son de pequeño tamaño, pero al irse desarrollando se agrandan y adquieren una forma característica. Durante este desarrollo la laminilla media que hay entre las dos células estomáticas se hincha y toma una forma lenticular, poco antes de desintegrarse para dar la apertura estomática. La célula madre de las células estomáticas se encuentra a nivel con las otras epidérmicas y también las estomáticas.

El hundimiento o elevación se realiza durante la maduración de las células estomáticas. El desarrollo de las estomas en las hojas progresa durante un período relativamente largo de crecimiento de ésta.

El primer paso en el proceso de formación es la división asimétrica de ciertas células protodérmicas. Antes que la célula divida su núcleo, éste se desplaza en una dirección y las vacuolas lo hacen en la dirección contraria, ocupando el otro extremo celular. Una vez que el núcleo se divide, uno de los núcleos hijos, precisamente el más próximo a la región ocupada por las vacuolas se hace mayor y se tiñe menos intensamente que el otro que se encuentra en el otro extremo celular. El núcleo menor y distal se divide más tarde para dar las células estomáticas. Estas células oclusivas permanecen vivas, con núcleo

grande, abundantes cloroplastos, con un irregular espesamiento de sus paredes celulares, que es mayor en sus ángulos superior e inferior de la cara que mira al ostiolo, siendo mucho más delgada en la parte media de dicha cara y en toda la opuesta. Debido a esto, es que el ostiolo se cierra cuando disminuye su volumen y se abre cuando aumenta.

1.2.4.2 Estructura de los Estomas

Diversos estudios demuestran la gran importancia que tiene la estructura, morfología y funcionalidad del aparato estomático.

Están constituidas por pares de células reniformes llamadas células oclusivas o estomáticas, las que dejan entre sí un espacio intercelular, llamado ostiolo a través de él se lleva a cabo el intercambio de gases.

Estas células y la apertura que existen entre ellas forman en conjunto el **estoma**. En numerosas plantas se puede distinguir células subsidiarias o accesorias, son las células acompañantes las que difieren morfológicamente de las células epidérmicas típicas y suelen ser de dos a más células que bordean las células estomáticas, con los que están relacionados funcionalmente.

El estoma, junto con las células subsidiarias, forma un conjunto que se denomina **aparato estomático o complejo estomático**.

Las células estomáticas pueden estar al mismo nivel que las epidérmicas, hundidas en relación con estas mismas o bien elevadas. Si la epidermis es pluriestratificada, las células madres de las estomáticas se diferencian ya en el estadio en que la protodermis tiene una sola capa (Bazaldúa-Muñoz y otros, 2008).

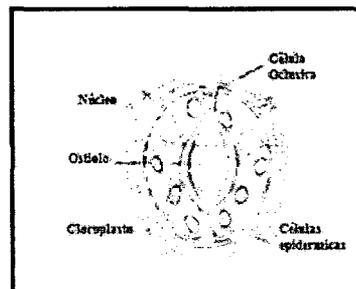


Figura 1-5. Estructura de un Estoma

Fuente: García (2004).

1.2.4.3 Clasificación de los Estomas

a) Por su origen:

- **Mesógenas** : En los que las células subsidiarias y las estomáticas tienen un origen común a partir de una misma célula por 3 divisiones sucesivas.
- **Perígenas** : En los que las células subsidiarias se desarrollan a partir de células protodérmicas adyacentes a la célula madre que origina a las células estomáticas.
- **Mesoperígenas** : En los que las células que rodean al estoma tienen un origen dual: una, o varias de las células subsidiarias tienen origen común con las estomáticas, mientras que la otra u otras no.

Descrito en Morfología de Plantas Vasculares (2008).

b) Por el número y disposición de las células anexas:

- **Diacítico**: Cuando están acompañadas por dos células anexas, formando un ángulo recto con la abertura del estoma. Ej. *Cariophyllaceae (Dianthus caryophyllus)*, *Acanthaceae*.
- **Paracítico**: Cuando están acompañadas por dos células anexas, dispuestas en forma longitudinal de tal manera que se ubican paralelamente a la abertura del estoma. Ej. *Rubiaceae (Coffea arabica)*, *Fabaceae (Vicia faba)*, *Convolvulaceae* y *Mimosaceae*.
- **Anisocítico**: Cuando están acompañadas de tres células subsidiarias de tamaño desigual. Ej. *Brassicaceae (Brassica oleracea)*.
- **Anomocítico**: Cuando está acompañado por más de tres células anexas las mismas que no se distinguen de las demás células epidérmicas ni en forma, ni tamaño. Ej. *Ranunculaceae*, *Geraniaceae*, *Cucurbitaceae*, *Malvaceae*, *Tamaricaceae*, *Papaveraceae*.
- **Paralelocítico**: Presenta un complejo de tres células o más subsidiarias paralelas al eje longitudinal de las células oclusivas, es decir las células subsidiarias presentan incremento gradual en tamaño del centro hacia el extremo para cubrir parcialmente los extremos de las células oclusivas. Presente en *Liliópsidas*.

Descrito por Holgado & Farfán (2006).

1.2.4.4 Densidad Estomática

La frecuencia estomática es el número de estomas por unidad de área de superficie foliar. Está relacionada con ciertas familias además de existir relación entre la densidad estomática y el tamaño de las células oclusivas así que la alta densidad estomática se presenta en plantas con células oclusivas pequeñas y viceversa.

Representa un valor diagnóstico para fragmentos de láminas foliares en órganos de la misma edad de desarrollo y de la misma taxonomía (Cañizares y otros, 2003).

La densidad estomática puede estar influenciada por condiciones ambientales y nutricionales. La transpiración e intensidad de respiración están en razón directa al número y abertura de estomas (Parés-Martínez y otros, 2004).

1.2.4.5 Estomas y Densidad Estomática de las Especies Evaluadas

a) *E. globulus*

Las hojas son anfiestomáticas y presentan estomas de tipo Anomocítico sobre la epidermis. La densidad estomática de la superficie adaxial oscila entre 30 a 40 estomas.mm⁻² y en la superficie abaxial entre 110 a 115 estomas.mm⁻² (Guarnaschelli, Mantese, & Battaglia, 2009).

b) *P. racemosa*

El género *Polylepis* presenta hojas hipoestomáticas y presentan estomas de tipo Anomocítico con células subsidiarias papilosas en la zona intercostal de la hoja observando la hoja en forma paradormal. La densidad estomática oscila entre 8.8 a 12.6 estomas.mm⁻² (Colmenares A, 2002).

1.2.4.6 Regulación de la apertura y el cierre estomático

La capacidad de apertura es mayor en hojas de dicotiledóneas herbáceas y árboles de fronda con copa no muy espesa, algo menor en las hojas de los demás árboles de hojas blandas, hierbas y sobre todo de plantas leñosas perennes.

La dimensión anatómica determinante de la resistencia de los estomas es la de su apertura. La mayor capacidad de apertura, depende de la forma y características de las células oclusivas.

La capacidad de los estomas de abrirse o cerrarse, se basa en las deformaciones que pueden experimentar las células oclusivas de acuerdo con su contenido hídrico.

Los movimientos estomáticos están provocados por los cambios de turgencia de estas células.

Cuando las células oclusivas están turgentes, se arquean, y el orificio se abre. Cuando pierden agua, se vuelven flácidas y el poro se cierra.

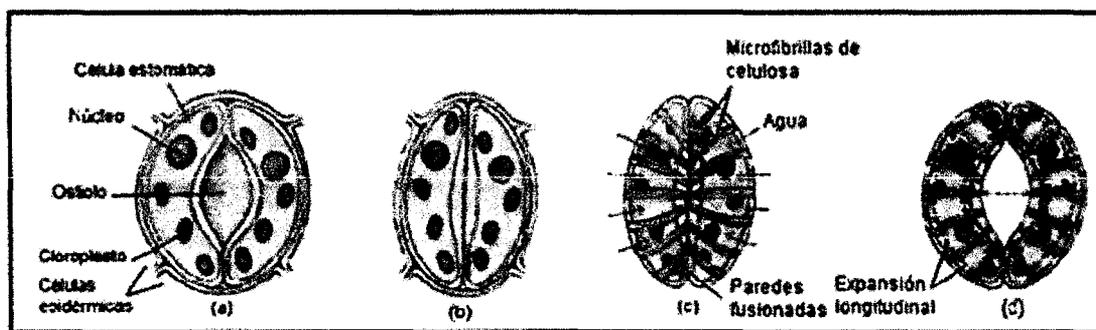


Figura I-6. Mecanismo del Movimiento Estomático.

Un estoma está delimitado por dos células oclusivas que (a) abre el estoma cuando está turgente y (b) lo cierra cuando pierde turgencia. La apertura del estoma como respuesta a la turgencia es debida a la disposición radial de las microfibrillas de celulosa de las células oclusivas (c). Como las dos células están unidas por sus extremos la expansión longitudinal las obliga a curvarse y el estoma se abre (d).

Fuente: García (2004).

De acuerdo a lo afirmado por García (2004), las células oclusivas presentan la peculiaridad de que las microfibrillas de celulosa de la pared están dispuestas radialmente, en forma divergente a partir de la zona que bordea al ostiolo. Además en esta zona la pared suele estar bastante más engrosada que en el resto, y por tanto es más rígida y difícilmente deformable.

En situaciones de alto contenido hídrico, la presión de turgencia del protoplasto tiene efectos diferentes sobre unas y otras áreas de la

pared: las exteriores se curvan en mayor medida que las interiores (aquellas que bordean al ostiolo); por lo que estas paredes interiores se separan y el ostiolo aumenta su diámetro.

En situaciones de bajo contenido hídrico, la flacidez de las células oclusivas las lleva a su forma original y el estoma se cierra.

Cabe preguntarse cuál es la causa de los cambios en el contenido hídrico de las células oclusivas. Para que se produzca la entrada o salida de agua en las células oclusivas debe generarse una diferencia de potencial hídrico.

La turgencia, se mantiene o se pierde mediante la salida o entrada de agua y los movimientos estomáticos resultan de los cambios en la presión de turgencia de las células oclusivas. La acumulación de solutos provoca un movimiento de agua hacia el interior de las células oclusivas.

Alternativamente, la disminución de la concentración de solutos en las células oclusivas produce el movimiento del agua hacia el exterior. Con las técnicas que permiten medir la concentración de iones en las células oclusivas, se sabe que el soluto que más influye en el movimiento osmótico del agua, es el ion potasio (K^+).

Con el aumento de concentración de K^+ , el estoma se abre, y con un descenso, el estoma se cierra.

El potencial hídrico de la célula oclusiva disminuye debido a que, durante la apertura estomática, se verifica un aumento muy marcado de la concentración del catión potasio (K^+) dentro de estas células. Como contrapartida, también se produce un aumento de cargas negativas, concretamente los aniones cloruro (Cl^-) y malato.

Los iones K^+ y Cl^- proceden del exterior de la célula, mientras que el malato se genera en la célula oclusiva, por disociación del ácido málico derivado de la hidrólisis del almidón.

El agua que entra en las células, debido a la caída de su potencial hídrico (Ψ), produce un aumento de la presión de turgencia, que causa su deformación y que se traduce en un potencial presión (Ψ_p) creciente. Cuando el Ψ_p generado llega a compensar la caída anterior derivada de la disminución del potencial osmótico (Ψ_o), la entrada de

agua cesa. Cuando el estoma se cierra, el K^+ y el Cl^- que habían entrado abandonan la célula, y la concentración de malato disminuye.

La luz estimula la apertura de los estomas, interviene en los mecanismos activos de membrana que expulsan protones (H^+) hacia fuera de la célula oclusiva, permitiendo la entrada de los iones K^+ y Cl^- . Además, la luz activa la fotosíntesis en las células del mesófilo; de esta forma se consume CO_2 y la concentración de este gas en los espacios intercelulares y en las células oclusivas se mantiene baja.

El CO_2 influye sobre la apertura estomática en dos formas diferentes: en bajas concentraciones es necesario para la producción de malato, a partir de los productos de hidrólisis del almidón, pero las concentraciones elevadas provocan el cierre de los estomas.

Otro factor importante es la hormona ABA (Ácido abscísico) el cual está muy relacionado con el estrés hídrico.

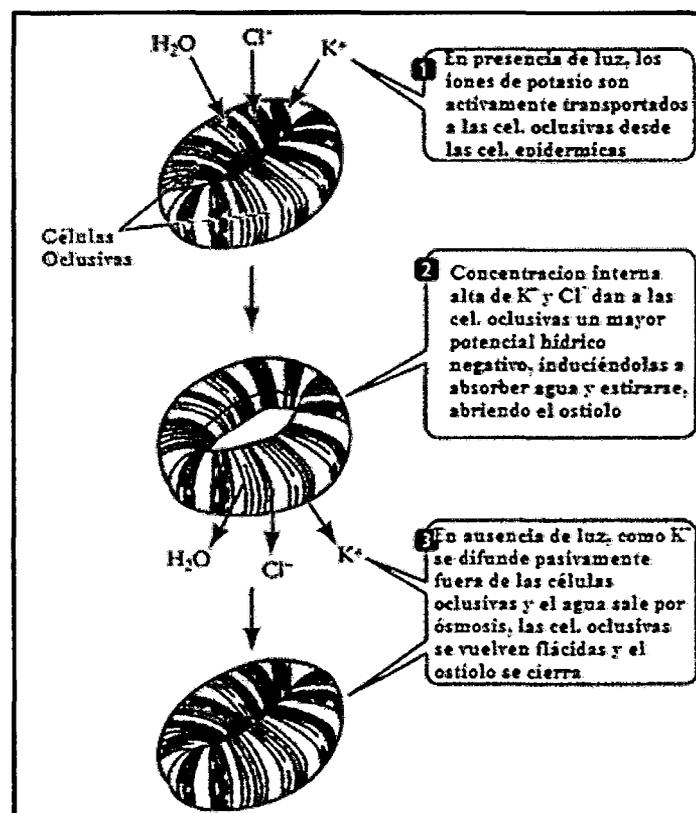


Figura I-7. Mecanismo de Regulación de la Apertura Estomática.

Fuente: Estructura Interna de la Hoja (s.f.).

1.2.5 Especies Evaluadas

1.2.5.1 *Eucalyptus globulus* Labill.

El género *Eucalyptus* L'Heritier pertenece a la familia Myrtaceae, comprende cerca de 500 especies, desde arbustos enanos hasta grandes árboles, que habitan un vasto rango de hábitats. El género está confinado originalmente a Australia. Muchas especies producen madera de importancia comercial y por esa razón han sido plantados en diferentes partes del mundo (Villegas, 2002). Dentro de este género se encuentra la especie *Eucalyptus globulus* Labill., conocido con los nombres vulgares: gomero azul, eucalipto común, eucalipto macho y otros, Fue descrito por Labillardiere en su obra "Relation du voyage a la recherche de la Perouse" (Morales, 1973).

a) Clasificación Científica de *Eucalyptus globulus* Labill. (APG III , 2009):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliópsida

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *Eucalyptus globulus* Labill.

b) Descripción botánica De acuerdo a Morales (1973):

- **Árbol:** Planta de hábito perennifolio, por lo general grandes de un solo tallo que alcanza los 40 a 60 m de altura, tronco liso y de color gris claro, que se desprende en largas tiras, con tallo grueso y ramas potentes (Manual de Plantas Medicinales, s.f.).
- **Hoja :** Las hojas de *Eucalyptus* contienen bolsas secretoras de aceite esencial. En el estrato inferior del dosel, presenta hojas verde azuladas sentadas, opuestas y de intenso aroma mientras que en el estrato superior se presentan filodios alternos, largos, falciformes y agudos, con nerviaciones oblicuas (30 a 40° de inclinación) (Gola, Negri, & Cappeletti, 1965).
- **Flores:** Flores sentadas o insertas en pedúnculo rudimentario, se suelen presentar aisladas y más raramente en grupos de dos o tres en las axilas de las hojas. Tiene un cáliz tetragono y

numerosos estambres blanquecinos cubiertos por un opérculo verrugoso.

- **Frutos:** Frutos sentados o con peciolo cortos y comprimidos, son grandes y leñosos, se abren en cuatro, cinco o seis valvas dejando en libertad numerosas semillas siendo las fértiles negras y redondeadas y las estériles arrugadas, filiformes y más pequeñas (Forest Ecology and Forest Management Group, s.f.).
- **Madera:** De color amarillo pardo claro con vetas longitudinales grises sin altura diferenciada. Textura mediana, grano derecho a entrecruzado. Los poros son poco numerosos, difusamente repartidos y perfectamente visibles a simple vista. Anillos anuales son poco diferenciados. Es semidura y semipesada con peso específico de 0.70 a 0.80 N/m³.

c) Propiedades

El aceite esencial tiene una importante acción antiséptica de las vías respiratorias. Antihelmíntico y astringente, desodorante, balsámico y broncodilatador, expectorante y febrífugo, hipoglucemiante, mucolítico y sudorífico (Manual de Plantas Medicinales, s.f.).

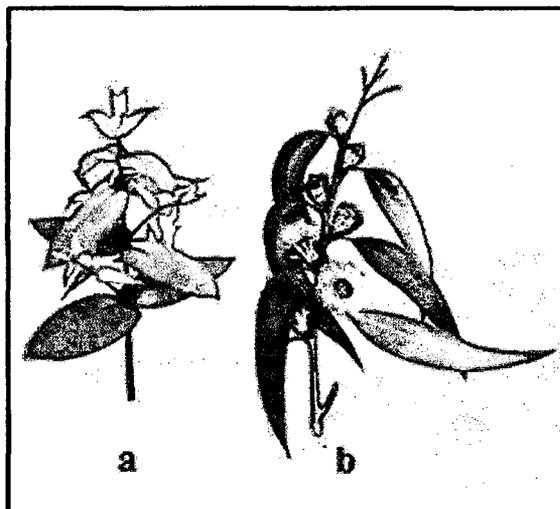


Figura 1-8. Hojas y Filodios de *Eucalyptus globulus* Labill.

a) hojas verdaderas presentes en el estrato inferior; b) filodios presentes en el estrato superior.

Fuente: <http://eucalptoquimica2009.blogspot.com/>

1.2.5.2 *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales entre 3 400 m y 4 400 a 5 000 m de altitud. Estos bosques presentan una flora y fauna única, caracterizada por altos niveles de endemismos tanto en flora como en fauna, por ejemplo las aves *Cinclodes excelsior* y *Leptasthenura xenothorax*.

Este género incluye alrededor de 20 especies restringidas a los bosques montanos y altoandinos de la cordillera de los Andes, distribuidas desde el Norte de Venezuela hasta el Norte de Chile y Argentina, con una población extratropical en el Noroeste y Centro de Argentina (Mendoza, 2005). 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. En su mayoría son árboles de 5-10 m de altura pero también con algunas especies comúnmente arbustivas y otras que llegan a superar los 25 m (Kessler, 2006). La especie *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav. es nativa de los Andes Peruanos que se distribuye entre los 2 900 a 4 000 m en las regiones de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Juliaca entre otros (Mendoza, 2011),

a) Clasificación Científica de *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

(APG III , 2009):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliópsida

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Polylepis*

Especie: *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

b) Descripción Botánica: Según Loja (2002):

- **Árbol:** Árboles o arbustos de tronco retorcido con 4 a 6 m de altura. La copa generalmente es difusa e irregular. La corteza es rojiza y delgada que se desprende en láminas papiráceas, (de allí se deriva su nombre poly = muchas, lepis = escama) útiles al momento de soportar las bajas temperaturas a las que están expuestos (4 a 14 °C).

- **Hojas:** Hojas alternas, estipuladas, compuestas trifoliadas, visiblemente envainadoras, peciolo 2 a 3 cm de largo, foliolos obovados, 2.5 x 0.8 a 1 cm, coriáceos, aserrado-dentados en los 2/3 superiores, ápice retuso mucronado, superficie abaxial cano-argénteo, con pelos ramificados, superficie adaxial verdoso menos pubescente que la superficie abaxial. Inflorescencia axilar racemosa de 3 a 6 cm de largo.
- **Flores y Frutos :** Flores heteroclamídeas, perfectas, epiginas, actinomorfas, cáliz 3 a 5; corola 3 a 5, generalmente tetrámeras, cáliz angular 2 a 3 x 4 a 6 mm con sépalos carnosos; corola 6 a 7 x 5 a 6 mm, pétalos cóncavos pubescentes con uña imperceptible, estambres numerosos con los filamentos glabros y las anteras pubescentes; pistilo con ovario ínfero, 3 a 5 carpelar, unilocular, uniovular, estilo con la base densamente pubescente, estigma con 6 ramas.

c) **Uso:**

Se utiliza en silvopastura, agroforestería, protección de viviendas y ornamentales. La madera se emplea como leña, elaboración de artesanías y postes de cercos. Las hojas se utilizan para teñir lana de color marrón claro.

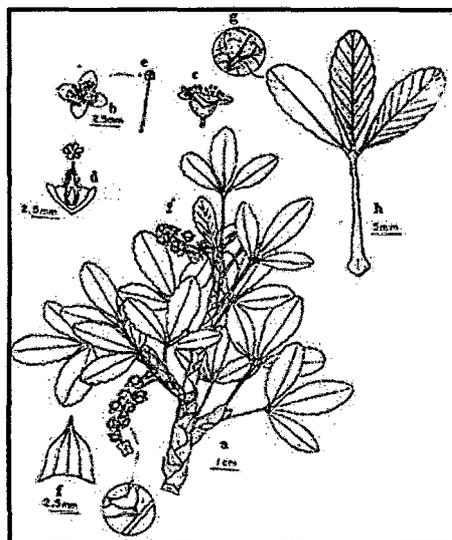


Figura 1-9. *Polylepis racemosa* Ruiz & Pav.

a) Rama con inflorescencia; b) Corola y estambres; c) Flor; d) Pistilo; e) Estambre; f) Escama y g) Hoja.

Fuente: Loja (2002).

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

1.3.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en 5 localidades ubicadas en la Provincia del Cusco, Región Cusco, Perú.

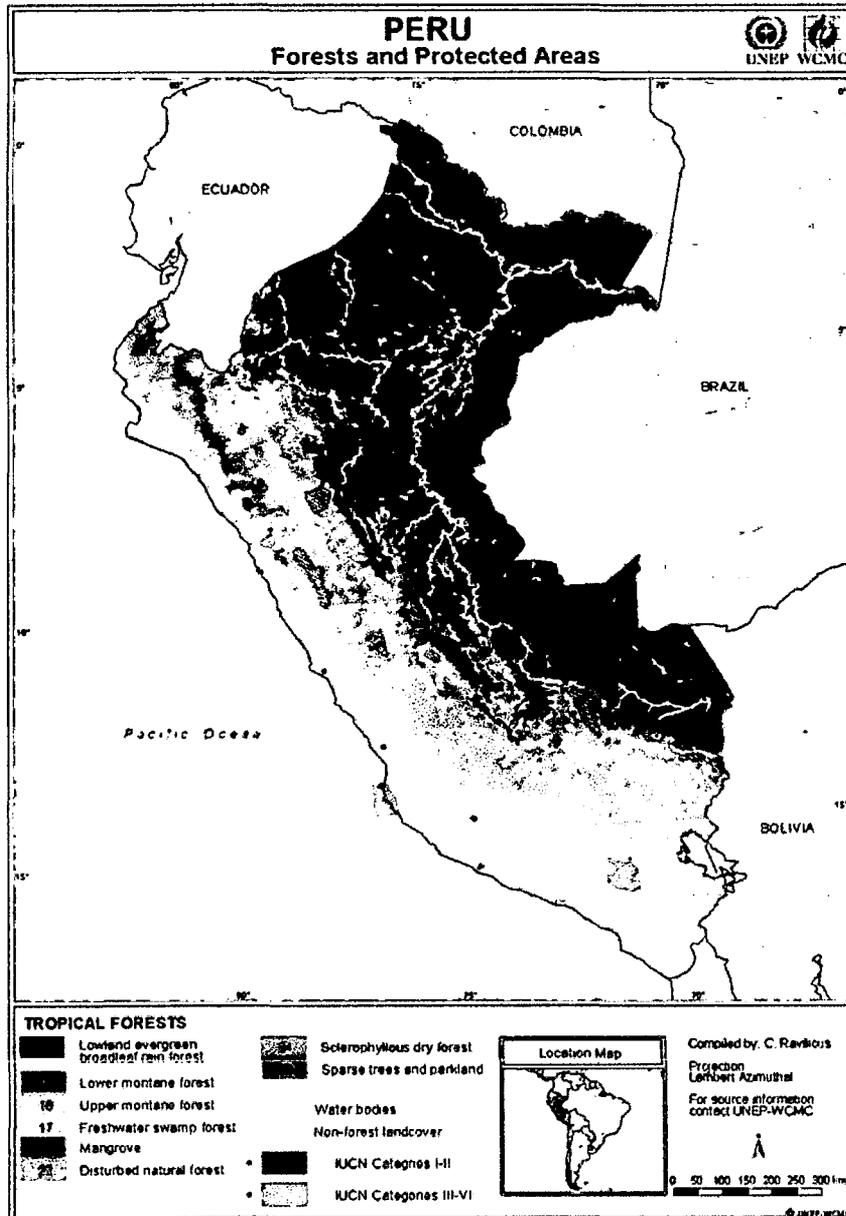


Figura I-10. Mapa de Vegetación del Perú

Fuente: http://www.map-peru.com/mapa/Perú/86_mapa-de-bosques-y-areas-protegidas-peru.jpg

Cuadro I-1. Ubicación geográfica de las localidades muestreadas de *E. globulus* y *P. racemosa*.

Especie	Localidad	Distrito	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (m)
<i>E. globulus</i>	Chocco	Santiago	13°33'30"	71°58'50"	3 490
	Pumamarca	San Sebastián	13°30'43"	71°54'51"	3 411
	Sacsayhuamán	Cusco	13°29'34"	71°58'23"	3 793
	Tambomachay	Cusco	13°28'51"	71°57'47"	3 587
	Tancarpata	San Sebastián	13°33'44"	71°57'25"	3 804
<i>P. racemosa</i>	Chocco	Santiago	13°33'27"	71°58'37"	3 457
	Pumamarca	San Sebastián	13°30'22"	71°55'26"	3 360
	Sacsayhuamán	Cusco	13°30'37"	71°58'40"	3 656
	Tambomachay	Cusco	13°28'53"	71°57'47"	3 545
	Tancarpata	San Sebastián	13°33'41"	71°57'23"	3 800

Fuente: Elaboración propia.

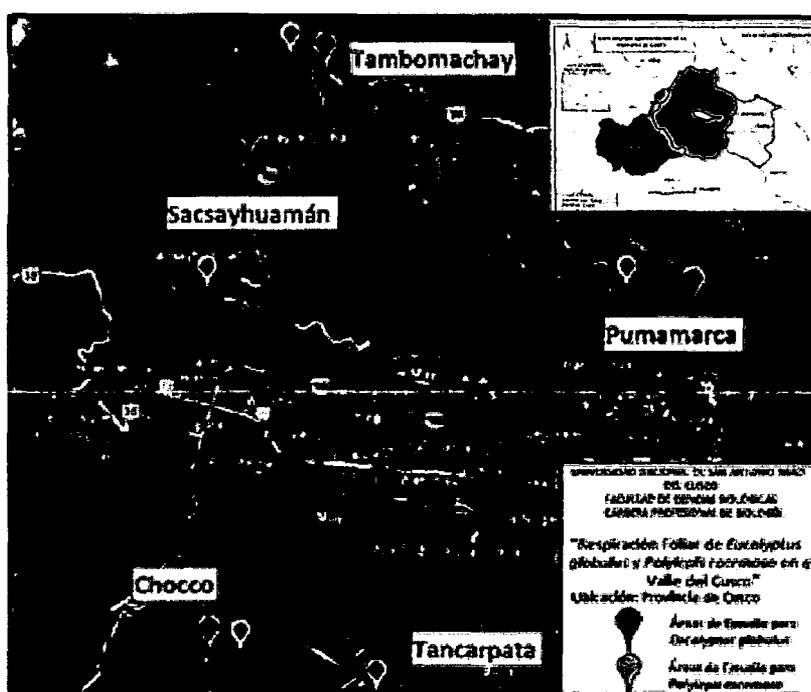


Figura I-11. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el Valle del Cusco.

Fuente: <http://maps.google.com.pe/maps?hl=es&tab=ll>

1.3.2 Accesibilidad

El acceso a todas las zonas de estudio es por vía terrestre por las siguientes vías (Municipalidad Provincial del Cusco, 2004):

- **Sacsayhuamán** : Red Vía Interprovincial Cusco-Calca, en dirección al Parque Arqueológico de Sacsayhuamán, con media hora de viaje.
- **Tambomachay** : Red Vía Interprovincial Cusco - Calca, con una hora de viaje.
- **Pumamarca** : Red Vía Vecinal sin afirmas Cusco - Centro Poblado de Quillahuata, San Sebastián, Asentamiento Humano Pumamarca, con una hora de viaje.
- **Tancarpata** : Red Vía Vecinal sin afirmar Cusco - Centro Poblado de Huillcarpay, San Sebastián - Quebrada de Tancarpata, con una hora y media de viaje.
- **Chocco** : Red Vía Vecinal sin afirmar Cusco - Centros Poblados Cchoco y Collorpujio (se desprende de la vía que sale por Huancaro hacia Occopata) con una hora de viaje.

1.3.3 Geomorfología

La geomorfología de la Provincia del Cusco es muy variada, observándose la predominancia de las siguientes unidades geomorfológicas (Municipalidad Provincial del Cusco, 2004):

- Fondo de Valle: Se presenta esta unidad en la parte más baja de la cuenca del río Huatanay y río Cachimayo, zona de mayor presencia de asentamientos en el distrito, cuya altura oscila de 3 285 a 3 300 m. Es relativamente plano.

- Laderas: Se presenta esta unidad como un área de difícil acceso y de pendientes de 45 % aproximadamente, entre los 3 300 a 3 400 m. En ésta unidad geomorfológica encontramos los asentamientos principalmente de la margen izquierda.

1.3.4 Hidrografía

La red de drenaje del ámbito provincial está constituido principalmente por el río Huatanay y sus tributarios son (Municipalidad Provincial del

Cusco, 2004): El río Chocco - Huancaro, otros tributarios son: Los ríos Saphy y Choquechaca hacia el Oeste, el río Cachimayo que se une al río Huatanay por su margen izquierda, a la altura de las urbanizaciones Quispiquilla y Naciones Unidas; recibe también aportes de las quebradas existentes como Tancarpata, Pampa Grande, Huillcarpay (Uillcarpay) y Rinconada en su margen derecha; y Ticapata, Jatun Puquio por su margen izquierda.

El río Huatanay deriva sus aguas a la cuenca del río Vilcanota en el sector de Huambutio de la provincia de Quispicanchi.

1.3.5 Zonas de Vida

Siguiendo la clasificación de Holdridge, se pueden distinguir las siguientes zonas de vida natural para la Provincia del Cusco. (Molleapaza (2005) citado por Esquivel (2007)).

bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MBS)

Zona comprendida entre los 3 450 y 3 900 m de altitud. La ciudad del Cusco y sus alrededores se ubica en esta zona ahora densamente poblada no quedando áreas silvestres o naturales que pudieran ser observadas en su integralidad.

Sin embargo es posible anotar que los extensos bosques de *Escallonia resinosa* (chachacomo) y *Polylepis racemosa* (queuña), los que se ubicaron en las quebradas de Picchu, bosques de Ticapata, los bosques de San Sebastián, Salineras y Tancarpata han cedido su existencia al proceso de urbanización.

La vegetación natural se presenta en dos estratos bien definidos, uno arbóreo y el otro herbáceo en el cual se incluyen las arbustivas y las gramíneas, mientras la línea ecotónica está compuesta por gramíneas y herbáceas postradas, entre las que se pueden mencionar: *Festuca orthophylla*, *F. rigescens*, *Muhlenbergia fastigiata*, *M. ligularis*, *Hypochoeris taraxacoides*.

Para zonas altas se reportan *Escallonia resinosa*, *Buddleja coriacea* y entre especies arbustivas *Senna birrostris*, *Mutisia acuminata*, *M. cochabambensis*, *Barnadesia hórrida*, *Gamochaeta americana*, *Calceolaria engleriana*, *C. myriophylla*, y *C. sparsiflora*. Estas especies ocurren en sitios abrigados y húmedos como pueden ser las pequeñas quebradas o próximas a roquedales.

La vegetación en esta zona se muestra fuertemente impactada por la agricultura, por especies para leña y por la ganadería. Otro aspecto de importancia es la vegetación presente en los oquedales, a los que difícilmente puede calificarse como relictos, a pesar de ello, la abundancia y la cobertura son muy importantes y constituyen lo que denominaríamos bancos genéticos y de germoplasma.

Esta zona evidencia suelos aptos para la agricultura, tanto de riego como de secano. Sin embargo, la inadecuada tecnología de riego por inundación y el empleo de agroquímicos, entre otros factores, han conducido a un franco proceso de deterioro de la capa fértil.

Los principales cultivos son *Solanum tuberosum* (papa), *Oxalis tuberosa* (oca), *Ullucus tuberosus* (olluco), *Vicia faba* (habas) *Hordeum vulgare* (Cebada), *Medicago sativa* (alfalfa) y excepcionalmente verduras como *Lactuca sativa* (lechuga), *Brassica oleracea* (repollo), *Daucus carota* (zanahoria) y *Allium cepa* (cebolla).

bosque seco Montano Bajo Subtropical (bs-MBS)

Se ubica entre 2 800 a 3 200 m de altitud. Está formada por las partes bajas de la provincia del Cusco, constituyendo llanuras aluviales de escasa amplitud, las cuales, sin embargo, son intensivamente utilizadas en la agricultura y en la edificación de las urbes. Allí la vegetación primaria ha sido fuertemente deteriorada y sustituida por cultivos, a pesar de ello puede apreciarse la presencia de *Spartium junceum* (retama), *Agave cordillerensis* (pacpa) y plantaciones de *Eucalyptus globulus*. En toda la provincia los suelos han sido afectados severamente por la erosión, por lo que son relativamente superficiales, de textura media, correspondiendo a paramosoles y suelos orgánicos histosoles, además de litosoles, con predominio de material calcáreo. En la parte media y baja los suelos son arcillosos, de reacción ligeramente ácida, con tonos de rojizo a pardo, características que los

asimilan al grupo edafogénico de Phaeozems. Igualmente predominan materiales litológicos calcáreos, apareciendo los Kastanozems (ONERN, 1976). En las áreas de fuerte pendiente se observan los cambisoles. Geomorfológicamente, en las microcuencas de la provincia se han generado suelos de tipo coluvial (en laderas y en conos de deyección), eluvial (*in situ*) y aluvial (en el piso de las quebradas).

páramo muy húmedo Subandino Subtropical (pmh-SaS):

Se ubica en las zonas altas desde los 3 900 hasta los 4 500 m de altitud, con pendientes superiores al 35 % y presentando en muchos casos afloramientos rocosos debido a la erosión. Los suelos son demasiado superficiales, ya que corresponden a litosoles y existe un estrato delgado de suelos orgánicos allí donde no hubo disturbamiento. Las características climáticas son bastante frías con medias mensuales por debajo del punto de congelación y con ocurrencia de fuertes heladas entre abril y agosto. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera alto andina, constituida por pastos naturales ya que esta zona de vida es utilizada para el pastoreo extensivo de ganado lanar y vacuno. Potencialmente esta zona de vida es aparente para el desarrollo de una ganadería de camélidos americanos.

1.3.6 Flora

Según Galiano y otros (2005) citado por Esquivel (2007), la provincia del Cusco presenta diferentes formaciones vegetales, las que se distribuyen a lo largo de los ocho distritos, siendo estas las siguientes:

Subnival

Esta formación se denomina también páramo desértico, se encuentra a elevaciones entre 4 300 y 4 800 m. La vegetación se encuentra limitada en su crecimiento por las condiciones paridas y las temperaturas bajas nocturnas, por lo que las plantas son estacas presentando adaptación para su supervivencia: raíces axonomorfas o engrosadas, bastante profundas en relación a su parte aérea, estas plantas son postradas y

algunas almohadilladas, tienen una base herbácea o leñosa; pertenecen a los géneros: Nothotriche, Astragalus, Calandrinia, Azorella, Pycnophyllum, Cardionema, Orreomyrrhis. Este tipo de vegetación mayormente se observa en las alturas de Pachatusan

Pajonal de Puna

Esta vegetación crece entre los 3 700 a 4 100 m de altitud, en este piso son dominantes las gramíneas de los géneros: Stipa, Festuca, Calamagrostis, Nassella; Bromus, Muelenbergia y otros, entre las gramíneas crecen plantas cespitosas erguidas o postradas que incluyen a especies de los géneros: Bartsia, Castilleja, Halenia, Gentiana, Gentianella, Geranium, Ranunculus, Lupinus y Valeriana. Existen también arbustos dispersos de los géneros Barnadesia, Baccharis y Lupinus.

Aislada en lugares escarpados y rocosos, los pajonales de puna son sometidos generalmente sometidos a pastoreo o incendios durante la época desfavorable con la finalidad de obtener rebrotes para el pastoreo de ganado doméstico. Este tipo de vegetación se puede observar en las alturas de Huanacaure, Sacsayhuamán, Salcantay, en las cabeceras de Chacán, Corao, Sencca y la montaña del Pachatusan.

Bofedales

Vegetación intrazonal típica de la zona alto andina y puneña, entre los 3 800 a 4 100 m de altitud, donde la vegetación forma un tapiz herbáceo continuo, entre cortado por pequeños riachuelos y cuerpos de agua. Durante la época de lluvia se observa pequeñas lagunas temporales. Las especies dominantes son gramíneas, Picmaea, Pantago y Azorella, Huereria, Hypochoeris, Lluzulla. Se encuentran en alturas del Salcantay Chacán, Sacsayhuamán y entre Huacoto y Pachatusán.

Bosques Húmedos Montanos

Es un bosque mixto o mesoandino, con mayor diversidad florística, se encuentra entre los 3 300 a 3 700 m de altura, este tipo de vegetación

corresponde a los valles interandinos en la zona con mayor densidad poblacional y donde la vegetación natural ha sido completamente destruida desde la época colonial, reemplazada por los campos de cultivo, lugares de pastoreo y el desarrollo urbano, la vegetación original se encuentra confinada a quebradas a manera de pequeños remanentes o en forma residual. Se pueden encontrar especies de los géneros Escallonia, Citharexylum, Hesperomeles, Kageneckia, Cantua, Alnus y otros. Este tipo de vegetación se encontraba hacia el norte de la provincia en las laderas de Saysayhuamán.

1.3.7 Clima

Los Datos climatológicos provienen de registros obtenidos desde el año 1990 a 2003 por la Estación Meteorológica de Perayoc ubicada a una altitud de 3 365 m (Esquivel, 2007).

Precipitación (pp):

Los meses más lluviosos fueron enero y febrero con 197 y 139 mm respectivamente mientras que los meses más secos fueron junio con 4.51 y 5.02 mm. El promedio total anual de precipitación es 821.05 mm.

Temperatura (T°):

La temperatura media anual para el área de estudio es de 11.22 °C, la temperatura máxima se registra en el mes de diciembre con 12.5 °C y el mínimo en julio con 9.04 °C.

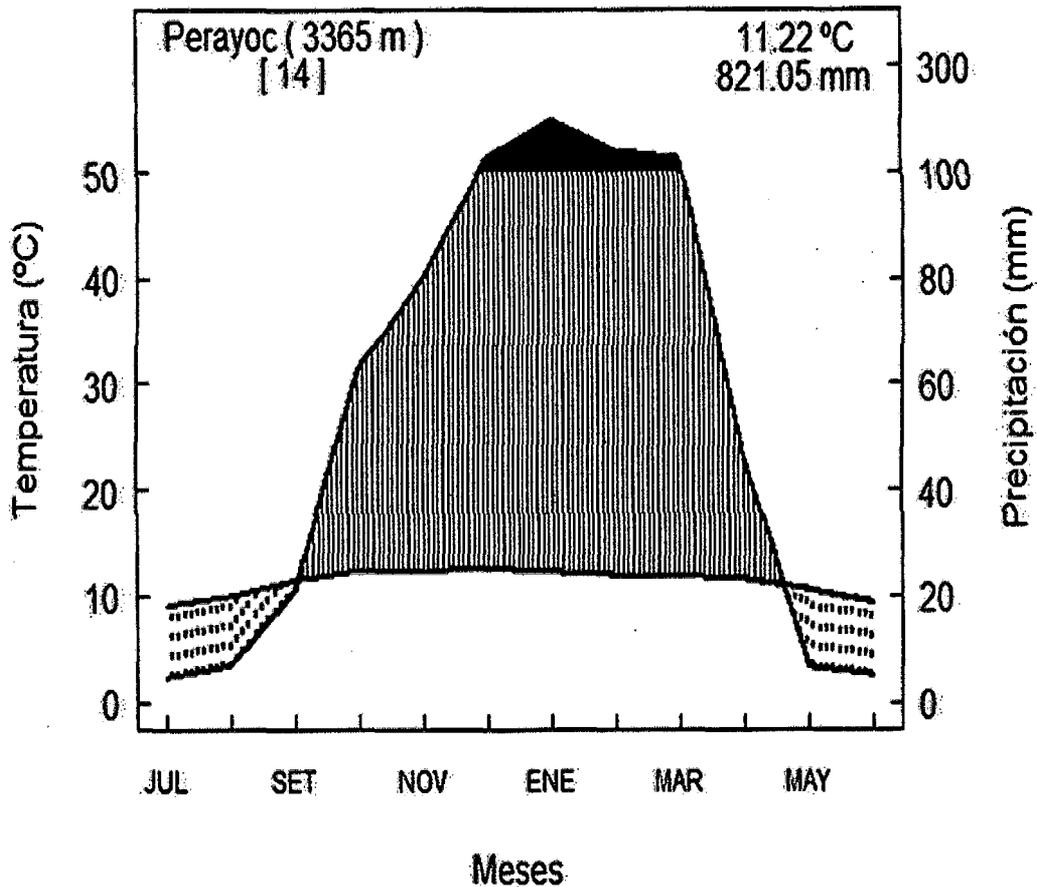


Figura I-12. Climatodiagrama de la Estación Meteorológica Perayoc.

La zona punteada indica una sequía relativa entre los meses mayo y setiembre, la zona de rayado vertical indica una estación relativamente húmeda desde setiembre a abril, describiendo la zona de negro precipitaciones medias mensuales > 100 mm (escala reducida a 1/10) durante los meses de noviembre a marzo. La figura se realizó usando un script para graficar climatodiagramas, en el programa R (Galiano, 2012, Abril 28) a partir de los datos de precipitación y temperatura mostrados en los 2 cuadros precedentes.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

2.1.1 Material Biológico

- 300 ramitas de *E. globulus*
- 300 ramitas de *P. racemosa*

2.1.2 Material de Campo

- GPS
- Tijera de Podar
- Cinta flagging
- Plumón indeleble
- Recipientes con agua

2.1.3 Material de Gabinete

- Analizador de Gases Infrarrojo EGM-4
- Cámara de respiración
- Botella Descartable con Agua
- Sensores de Luz y Temperatura
- Termómetro Ambiental
- Libreta de Trabajo
- Lápiz
- Balanza
- Reloj
- Cámara fotográfica
- Trípode
- Vidrio Transparente de 30x40cm
- Regla de 20cm
- Barniz de Uñas Transparente
- Cinta de Embalaje
- Ácido nítrico al 10 %
- Agua destilada
- Solución F.A.A (Formalina, ácido acético glacial y alcohol etílico)
- Fuchsina al 0.2 %
- Porta Objetos
- Pinzas
- Bisturí
- Microscopio

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Selección de Individuos

- La recolección de muestras foliares se realizó utilizando los protocolos de campo establecidos en el Manual de Campo para el Estudio de Hojas y Madera (Patiño, 2005) durante 30 días.
- Se seleccionó 10 individuos jóvenes en cada población de *E. globulus* y *P. racemosa*.
- En cada individuo, se recolectó 3 ramas con hojas completamente expandidas y desarrolladas para cada estrato del dosel (superior e inferior).
- En *E. globulus* se trabajó con hojas verdaderas en el estrato inferior y con filodios en el estrato superior.
- Las ramas fueron llevadas a gabinete en 2 recipientes con agua de acuerdo al estrato al que pertenecían.

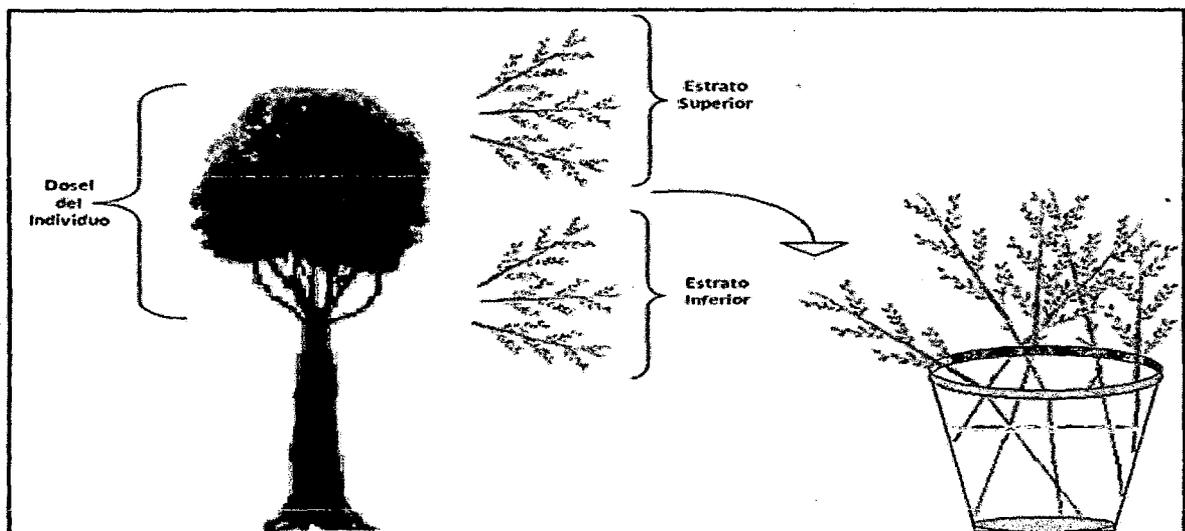


Figura II-1. Esquema de la Obtención de ramas por estratos.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía II-1. Recolección de muestras de *E. globulus*.

A) Etiquetado de ramas de *E. globulus* en la localidad de Chocco. B) Ramas de *E. globulus* en recipientes con agua.

Fuente: Elaboración propia.



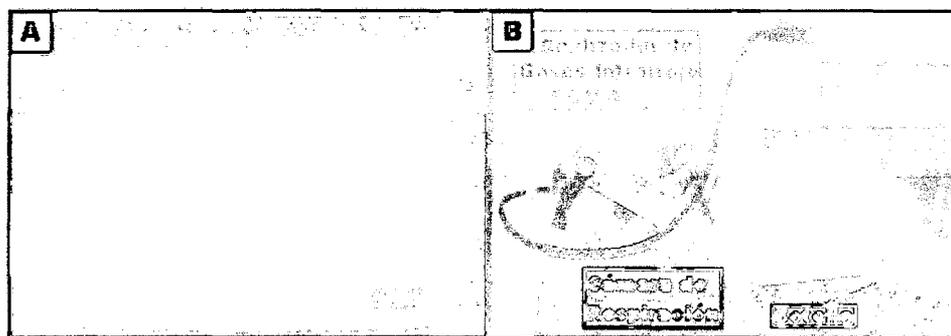
Fotografía II-2. Recolección de muestras de *P. racemosa*.

A) Recolección en la localidad de Chocco. B) Ramitas de *P. racemosa* debidamente etiquetadas.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Medida de Flujo de CO₂

- Las ramas se expusieron al sol por 30 minutos, luego se colocaron dentro de una habitación oscura y con temperatura constante por 30 minutos antes de cada medida. (Atkin y otros, 2000) Cada rama fue puesta en la cámara de respiración durante 5 minutos.



Fotografía II-3. Sistema de medición para el flujo de CO₂.

A) Detalle de la cámara de respiración. B) Sistema completo para la medida de flujo de CO₂.

Fuente: Elaboración propia.

- Se midió el flujo de CO₂ con el analizador de gases infrarrojo EGM-4. Se anotó en la libreta de trabajo la última lectura dada por el EGM-4 y la temperatura ambiental a la que fue tomada cada medición. El número total de muestras foliares sometidos a respiración foliar se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro II-1. Número de muestras para Respiración Foliar.

Especie	Pob Sp	X	Indiv x Pob	Estrato del Dosel	Muestras población	x	Total muestras x Especie
<i>E. globulus</i>	5		10	Superior	30		150
				Inferior	30		150
<i>P. racemosa</i>	5		10	Superior	30		150
				Inferior	30		150
Total Muestras Foliares							600

Pob X Sp: N° de localidades por especie, Indiv X Pob, N° de individuos por población.

Fuente: Elaboración propia.

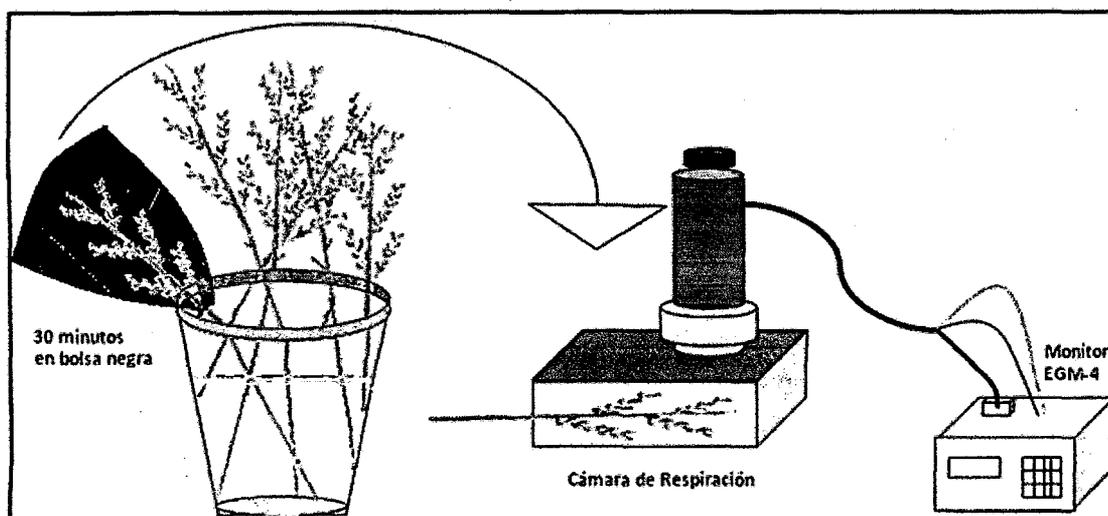


Figura II-2. Esquema de la Metodología de Respiración Foliar.

Fuente: Elaboración propia

- Para el cálculo del flujo de CO₂ se utilizó un script en el programa R (Galiano, 2011, Noviembre 30) basado en la siguiente ecuación (Metcalf, 2006):

Ecuación 1: Flujo Corregido de CO₂, expresado en μmolCO₂m⁻²s⁻¹.

$$Flx = \left(\frac{\left(\frac{C_f - C_o}{T_f - T_o} \right) * \frac{Patm}{101.3} * T^{cor} * VolmolCO_2 * \frac{VolCam}{Area Collar} * VolTot}{1000} \right) * 3600 * 6.312$$

Dónde:

- C_f : Concentración final de CO₂, en ppm.
- C_o : Concentración inicial de CO₂, en ppm.
- T_f : Tiempo final de la lectura, en s.
- T_o : Tiempo inicial de la lectura, en s.
- Patm : Presión atmosférica corregida, en kPa.
- T^{cor} : Temperatura ambiental corregida. Se determina dividiendo 273 K entre la temperatura ambiental medida en campo, expresada en K.
- VolCam : Volumen interno de la cámara de respiración en m³.
- AreaCollar: Área cubierta por la cámara de respiración en m².
- VolTot : Volumen total del sistema de medición dado por la suma del volumen de la cámara y el volumen de la campana de respiración en m³.
- Volmol CO₂ = 22.41 x 10⁻³m³.
- 3600x6.312 = Constante para convertir las unidades a μmolCO₂m⁻²s⁻¹.

2.2.3 Flujo de CO₂ en función de la Temperatura

- Las tasas de respiración foliar medidas fueron ajustadas a 25 °C mediante las siguientes ecuaciones (Wright y otros, 2006):

Ecuación 2: Estandarización de la Tasa de Respiración a 25 °C.

$$R_2 = R_1 \left\{ 3.09 - 0.0435 * \left[\frac{(T_2 + T_1)}{2} \right]^{\left[\frac{T_2 - T_1}{10} \right]} \right\} \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$$

Dónde:

- T₂ : Temperatura ambiental de ajuste (25 °C).
- T₁ : Temperatura ambiental medida.
- R₂ : Respiración foliar a 25 °C.
- R₁ : Respiración foliar a la temperatura ambiental medida.

Ecuación 3: Estandarización de la Tasa de Respiración a 25 °C con Q₁₀.

$$R_e = R_{T^{\circ}\text{ref}} * \left(Q_{10}^{\frac{(T^{\circ} - T^{\circ}\text{ref})}{10}} \right) \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$$
$$Q_{10} = e^{10k}$$

Dónde:

- T° : Temperatura ambiental de ajuste (25 °C).
- T°ref : Temperatura ambiental medida.
- R_e : Respiración foliar a 25 °C.
- R_{T°ref} : Respiración foliar a la temperatura ambiental medida.
- Q₁₀ : Tasa relativa a la que la respiración aumenta con un aumento de 10 °C en la temperatura, útil para hacer comparaciones con otras investigaciones.
- k : Coeficiente de sensibilidad a la temperatura.
- e : 2.7182

2.2.4 Densidad Estomática

Se aplicaron 2 metodologías diferentes para conseguir las observaciones de los estomas al microscopio.

La cantidad de observaciones al microscopio se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro II-2: Número de observaciones al microscopio para Densidad Estomática.

Especie	Pob X Sp	Indiv x Pob	Estrato del Dosel	Obs x Pob						Obs x Sp
				Adaxial			Abaxial			
				B	M	A	B	M	A	
<i>E. globulus</i>	5	10	Superior	90	90	90	90	90	90	2700
			Inferior	90	90	90	90	90	90	2700
<i>P. racemosa</i>	5	10	Superior	-	-	-	-	-	-	-
			Inferior	90	90	90	90	90	90	2700
Total Observaciones									8 100	

Obs X Pob: N° de observaciones en cada población según las secciones de las superficies foliares: B=Base; M=Medio; A=Ápice, Obs X Sp: N° de observaciones para cada especie en cada estrato.

Fuente: Elaboración propia.

E. globulus

- Se extrajeron 3 hojas completamente desarrolladas en los estratos superior e inferior de los 10 individuos de cada población.
- Las hojas seleccionadas se encontraron a la misma posición entre plantas y al mismo estado de desarrollo (Carr, 2000).
- Se lavaron las hojas en agua destilada.
- Ambas superficies de las hojas fueron cubiertas por una capa delgada y homogénea de barniz de uñas transparente por 15 minutos (Bazaldúa-Muñoz, Ventura-Zapata, Salcedo-Morales, Maldonado, & López, 2008) en las secciones foliares: base, medio y ápice.

- Las impresiones foliares se desprendieron usando una cinta de embalaje y se colocaron en portaobjetos debidamente etiquetados para su observación al microscopio.
- Se utilizó un microscopio para cuantificar 3 campos en cada sección de la hoja; las observaciones se realizaron a 400X (Bazaldúa-Muñoz y otros, 2008).

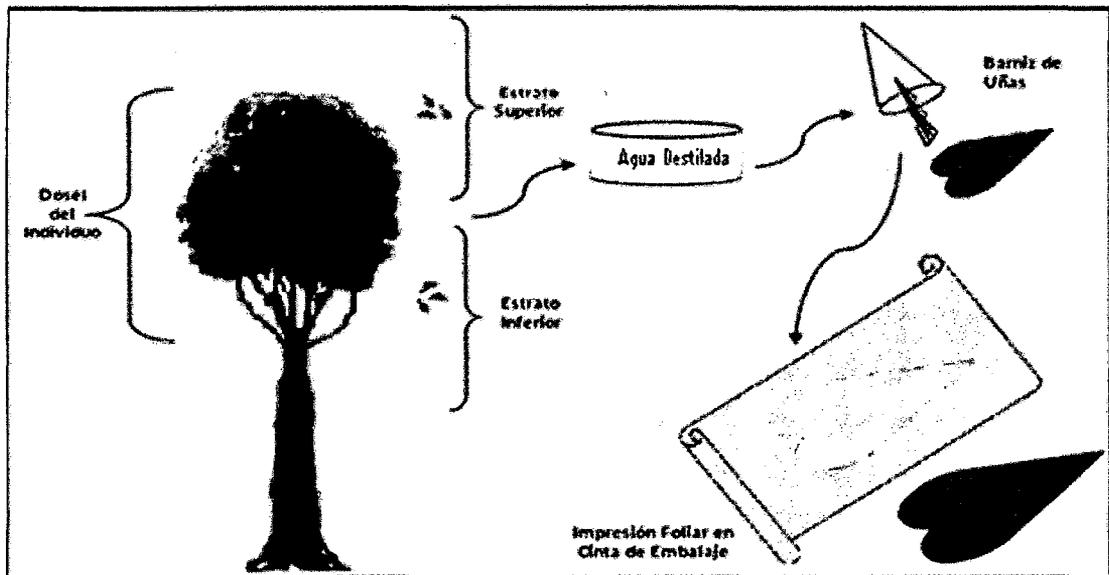
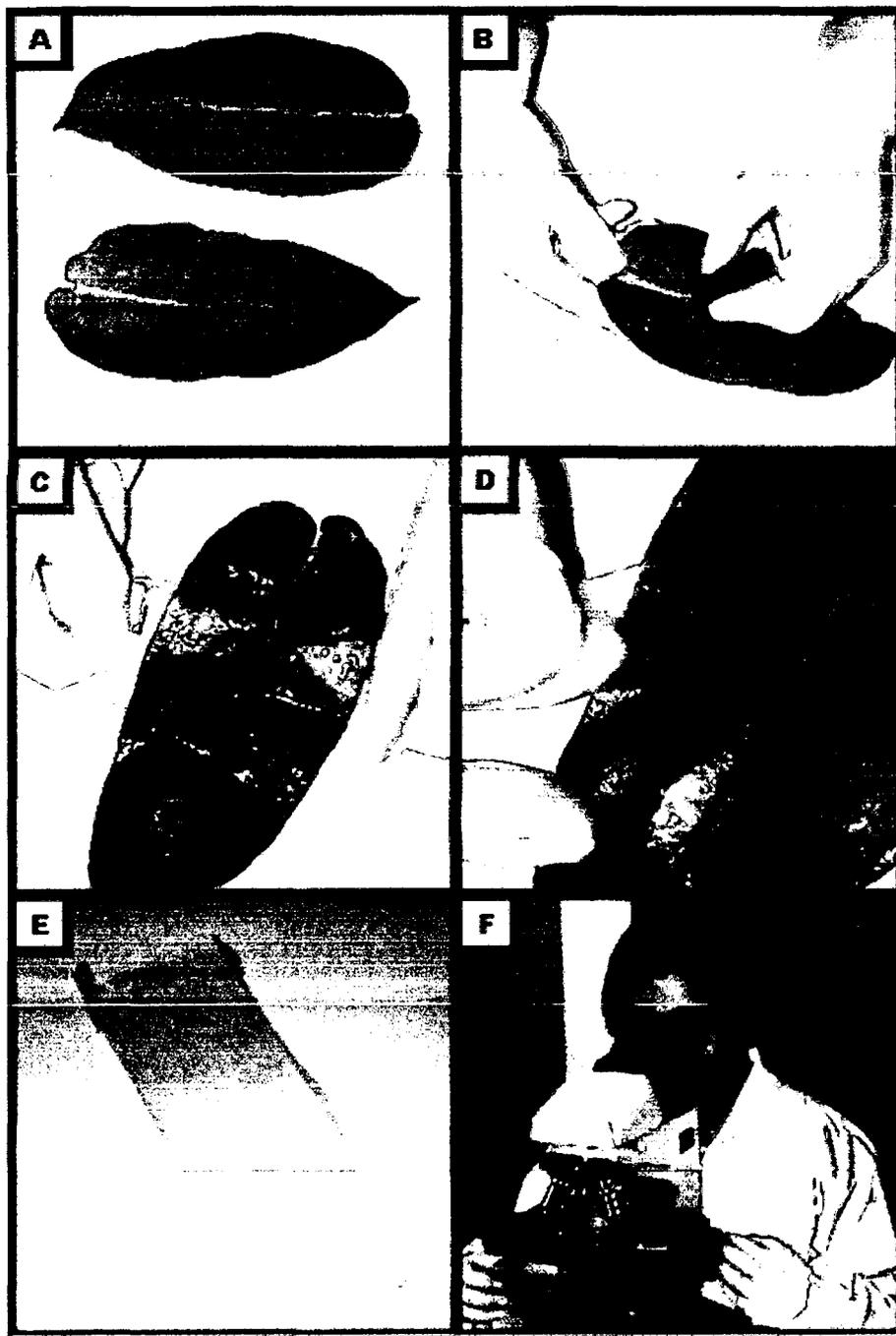


Figura II-3. Esquema de la Metodología para Densidad Estomática de E. globulus.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía II-4. Procedimiento para las observaciones al microscopio de *E. globulus*.

A) Hojas de *E. globulus*, B) Esmaltado de la sección base, C) y D) Desprendimiento del esmaltado E) Portaobjeto etiquetado y F) Observación al microscopio.

Fuente: Elaboración propia.

P. racemosa

- Se colectaron en campo 3 folíolos completamente desarrollados en los estratos superior e inferior de los 10 individuos de cada población. Los folíolos seleccionados se encontraron a la misma posición entre plantas y al mismo estado de desarrollo (Carr, 2000).
- Estas muestras fueron fijadas en F.A.A. (mezcla de formalina, alcohol etílico y ácido acético) *in situ* (Johansen, 1940).
- En laboratorio se procedió a enjuagar las muestras foliares con agua destilada para luego proceder al desprendimiento de tricomas, con ayuda de una hoja de afeitar. Se volvió a enjuagar con abundante agua destilada.
- Se realizó el ablandado de la epidermis foliar colocando las folíolos en una solución acuosa de ácido nítrico al 10 %, calentándose hasta observar el desprendimiento de la epidermis.
- Luego fueron lavadas con agua destilada para proceder a la tinción con fucsina básica 0.2 % y montadas en glicerina 50 % (Colmenares A, 2002).

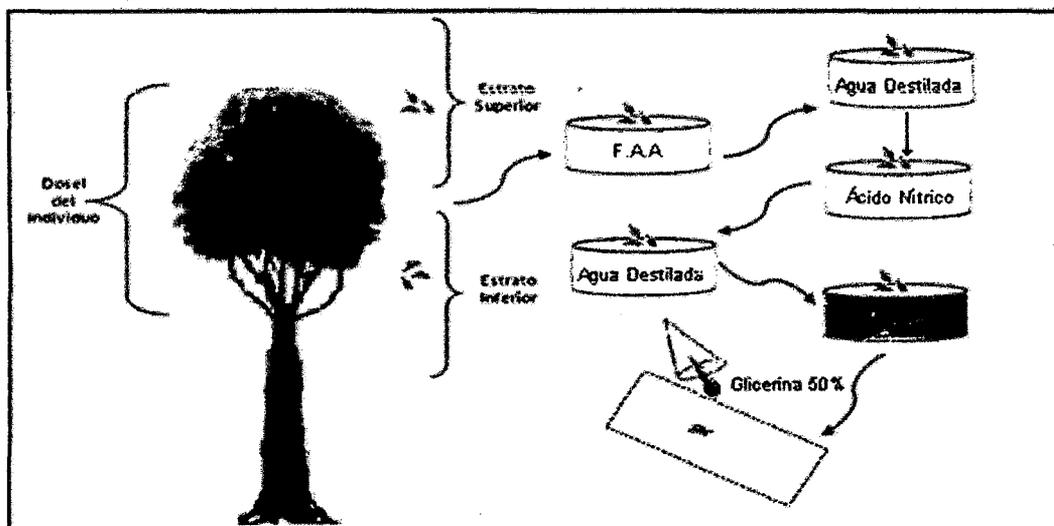


Figura II-4. Esquema de la Metodología para Densidad Estomática de *P. racemosa*. Elaboración propia.

- El conteo de estomas se hizo en las tres secciones de la superficie adaxial como abaxial del folíolo.
- Las observaciones se realizaron a 400X (Bazaldúa-Muñoz y otros, 2008).

- Para el cálculo de la densidad estomática, los valores observados se llevaron a estomas por mm^2 mediante una regla de tres simple.
- Se hallaron los parámetros de la estadística descriptiva (media, error estándar, valores máximos y mínimos) por sección muestreada, superficie del foliolo y población. La densidad estomática fue expresada en: $\text{estomas} \cdot \text{mm}^{-2}$.
- Los valores obtenidos se transformaron a logaritmo base 10 para efectuar los análisis estadísticos respectivos (Hernández, Terrazas, Delgado, & Luna, 2007).

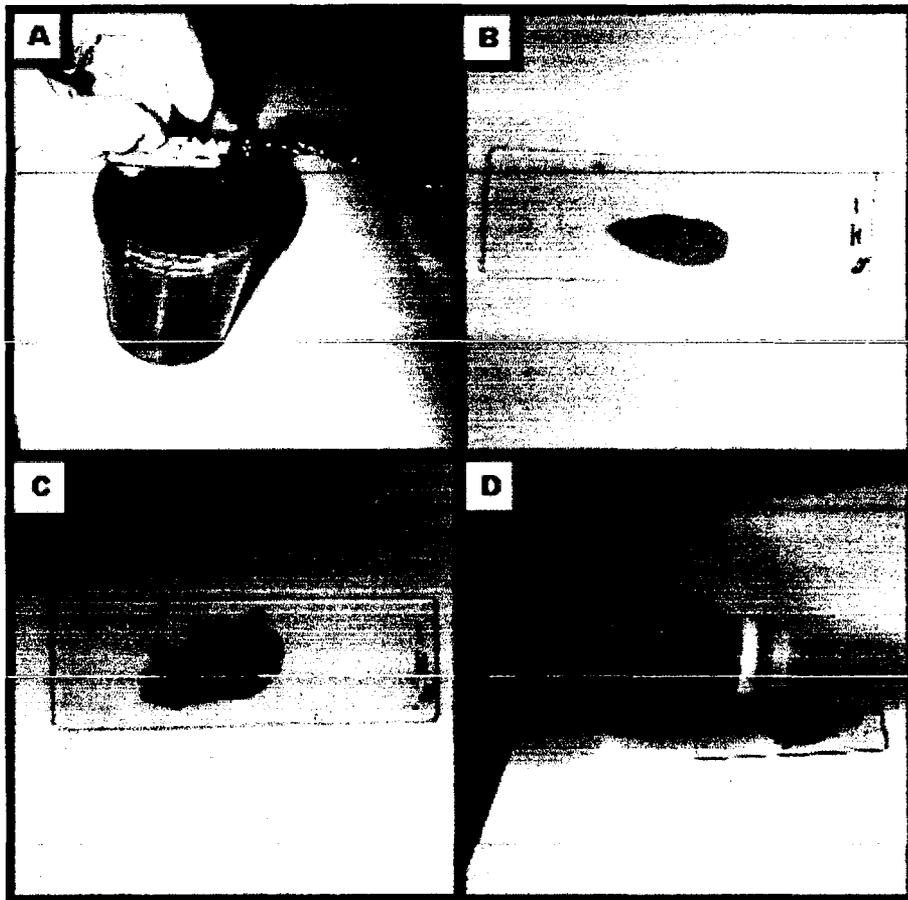


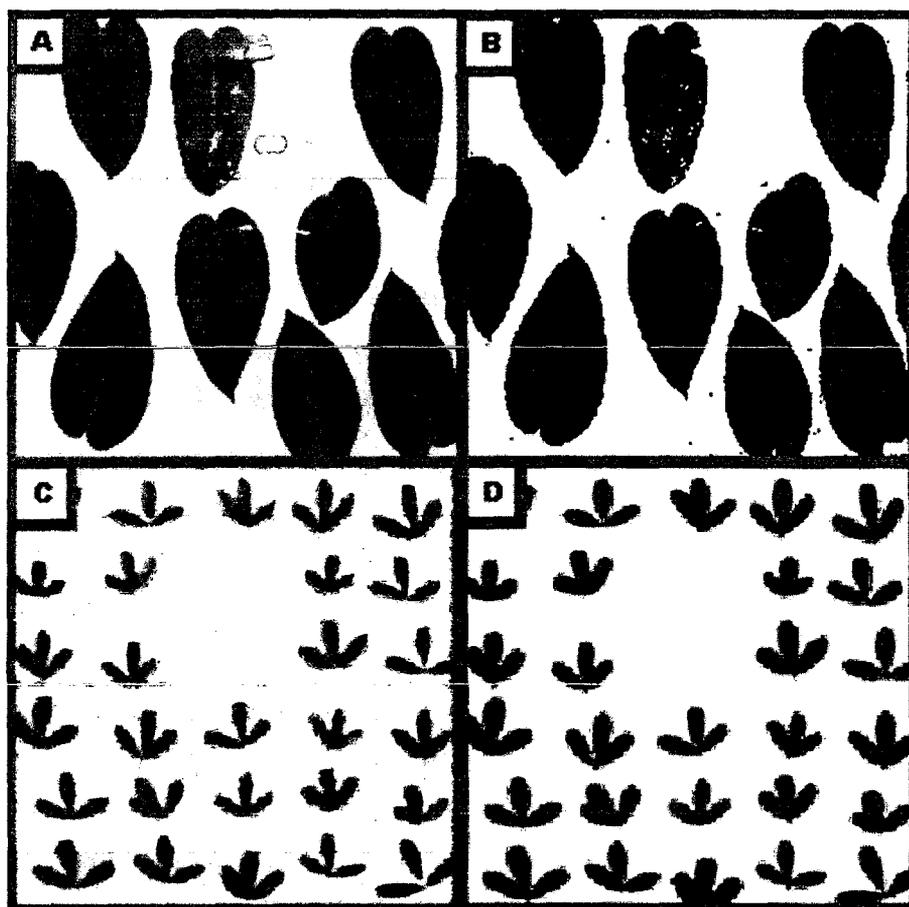
Figura II-5. Procedimiento para las observaciones al microscopio de *P. racemosa*.

A) Desprendimiento de los tricomas, B) Ablandado de Epidermis, C) Tinción con Fuchsin, C) Montaje de la muestra con glicerina.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Área Foliar Específica (AFE) y Biomasa Foliar (BF)

- Se tomaron fotografías de las hojas recolectadas, utilizando una regla de 20 cm como referencia de medida y un vidrio transparente para la fijación de las muestras.
- El área foliar se halló analizando las imágenes con el software ImageJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>).

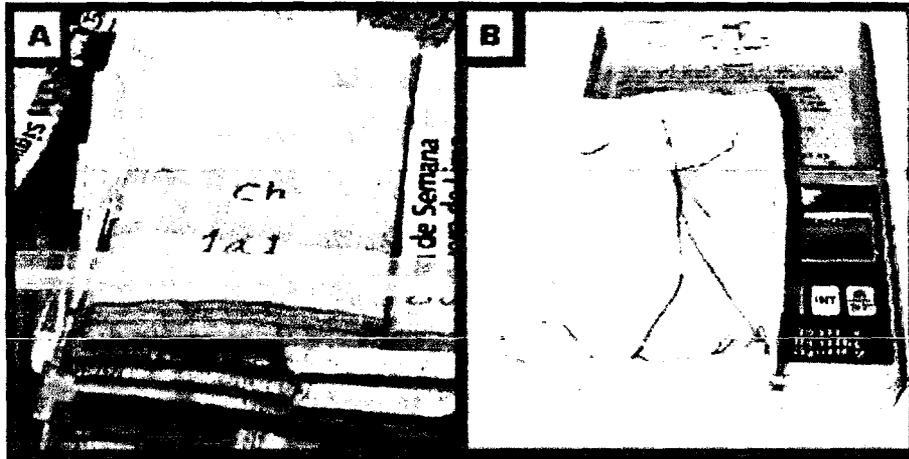


Fotografía II-5. Metodología gráfica del software Image J.

A) Hojas de *E. globulus*, B) Hojas de *Eucalyptus* en 8 bits, C) Hojas de *P. racemosa* y D) Hojas de *Polylepis* en 8 bits.

Fuente: Elaboración propia.

- Las muestras se guardaron en sobres de periódico para determinar su peso seco.
- Las hojas fotografiadas se colocaron en un horno para muestras botánicas a 70 °C por tres días. Una vez secas, se procedió al pesado.



Fotografía II-6. Peso de hojas secas de *E. globulus*.

A) Sobres de periódico, B) Pesado.

Fuente: Elaboración propia.

- Se utilizaron las siguientes ecuaciones:
 - Para Área Foliar Específica (Pérez J. A., García, Enríquez, Quero, Pérez, & Hernández, 2004).

Ecuación 4: Área Foliar Específica.

$$AFE = \left(\frac{\text{Área Foliar}}{\text{Peso Seco}} \right) m^2 g^{-1}$$

- Para Biomasa Foliar (Wright, Westoby, & Reich, 2002):

Ecuación 5: Biomasa Foliar.

$$BF = \left(\frac{\text{Peso Seco}}{\text{Área Foliar}} \right) gm^{-2}$$

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los flujos de CO₂ serán sometidos a las siguientes medidas de tendencia central y medidas de dispersión:

Ecuación 6: Media.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- n : Número total de muestras
- X_i: Muestra individual

Ecuación 7: Desviación Estándar (SD).

Para n ≥ 30	Para n < 30
$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$	$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$

- X_i: Dato i
- \bar{X} : Promedio de los datos
- n: Número total de muestras

Ecuación 8: Error Estándar (SE).

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 9: Regresión Lineal Simple.

$$Y = bX + a$$

- Y: Variable Dependiente
- X: Variable Independiente
- b: Coeficiente de Regresión
- a: Constante

Ecuación 10: Intervalos de Confianza para Promedios.

$$IC = \bar{X} \pm t * S_{\bar{X}}$$

- \bar{x} = Media de la muestra
- t= Valores de la tabla T-Student
- S_x = Desviación estándar de la muestra

Ecuación 11: Prueba T- Student.

$$G.L = 2(n-1)$$

$$t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \sqrt{\frac{n(n-1)}{\sum_1^2 X_1 + \sum_2^2 X_2}}$$

- \bar{X}_1 y \bar{X}_2 = Medias
- n = Número de muestras
- G.L. Grados de libertad
- X_1 : Dato i de la Prueba 1
- X_2 : Dato i de la Prueba 2

Ecuación 12: Análisis de Varianza.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	de Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F
Tratamientos	$SS_{Factores}$	t-1	$T = \frac{SS_{Factores}}{t-1}$	$F = \frac{T}{E}$
Error	SS_{Error}	N-t	$E = \frac{SS_{Error}}{N-t}$	
Total	SS_{Total}	N-1		

- T: Número real relacionado con la varianza, que mide la variación debida al tratamiento estudiado.
- E: Número real relacionado con la varianza, que mide la variación dentro de cada tratamiento.
- t : Número de Tratamientos
- N : Número Total de Resultados

Ecuación 13: Prueba de Tukey.

$$q_s = \frac{X_a - X_b}{SE}$$

- X_a : El mayor de dos promedios que serán comparados
- X_b : El menor de dos promedios que serán comparados
- SE: Error Estándar

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Flujo de CO₂ Foliar de *E. globulus* en el Valle del Cusco

El flujo de CO₂ promedio de las cinco localidades de *E. globulus* es 0.98 (0.03) $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Los filodios del estrato superior del dosel presenta un flujo de CO₂ promedio igual a 1.02 (0.03) $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, y las hojas del estrato inferior 0.93 (0.03) $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Cuadro III-1. Flujos de CO₂ de *E. globulus* en el Valle del Cusco.

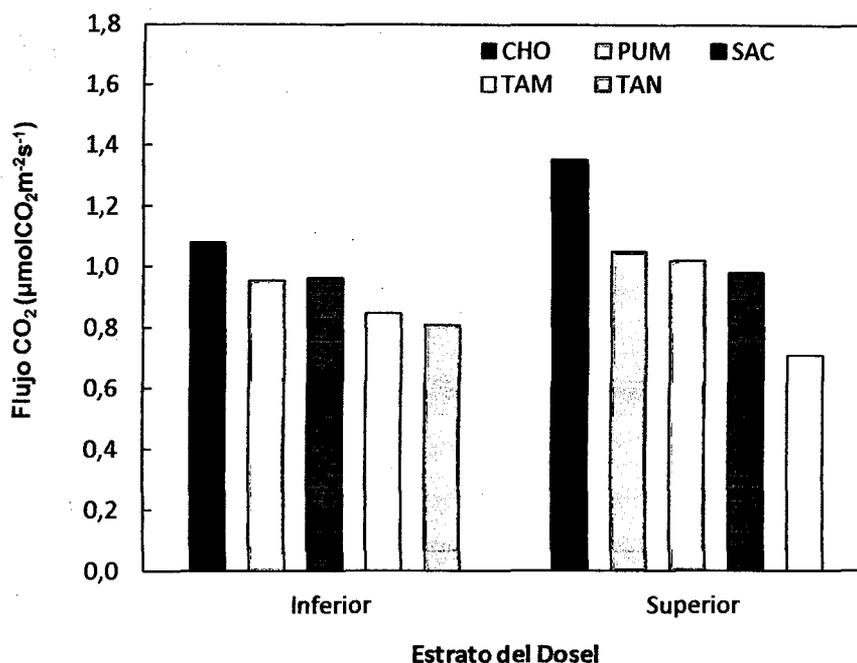
Estrato del Dosel	Localidad	Altitud (m)	Flujo CO ₂ (SE) ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
Superior	CHO	3 490	1.35	(0.08)
	PUM	3 411	1.02	(0.06)
	SAC	3 793	0.98	(0.07)
	TAM	3 587	0.71	(0.04)
	TAN	3 804	1.05	(0.02)
		Sub Total	1.02	(0.03)
Inferior	CHO	3 490	1.08	(0.16)
	PUM	3 411	0.96	(0.06)
	SAC	3 793	0.96	(0.06)
	TAM	3 587	0.85	(0.03)
	TAN	3 804	0.81	(0.06)
		Sub Total	0.93	(0.03)
		TOTAL	0.98	(0.03)

SE: Error Estándar. Cada valor de flujo de CO₂ representa el promedio de 30 mediciones.

Discusión

Atkin y otros (2000) hallaron una tasa de respiración entre 0.24 y 2.48 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *E. pauciflora* en Namadgi National Park – Australia mientras que en este estudio los flujos de CO₂ oscilan entre 0.71 y 1.35 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *E. globulus* encontrándose dentro del rango del estudio antes mencionado.

Gráfica III-1. Flujo de CO₂ en los estratos inferior y superior del dosel de *E. globulus*.



Cada columna representa un promedio de 30 mediciones.

Se observa que el estrato superior de *E. globulus* tiene un flujo de CO₂ mayor que el estrato inferior en todas las localidades a excepción de Tambomachay.

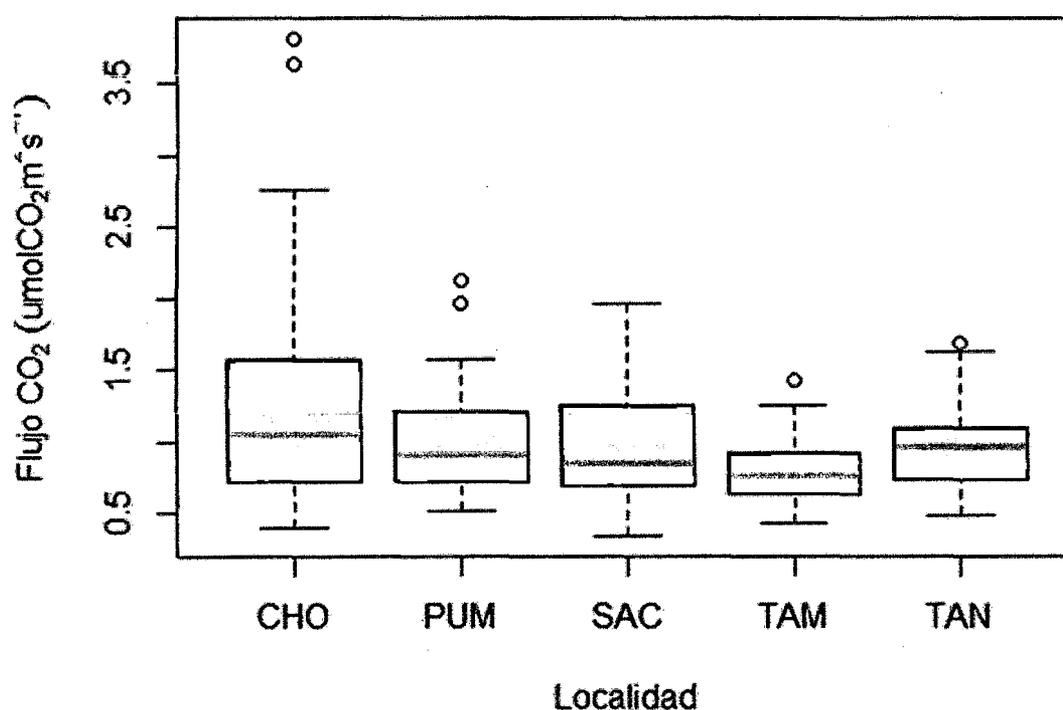
3.1.1 Comparación de los Flujos de CO₂ según las localidades en *E. globulus*

Haciendo la prueba de ANOVA, se observa un p igual a 1.86e⁻⁶, indicando que existe una alta diferencia significativa entre el flujo de CO₂ promedio según la localidad de procedencia o al menos el flujo promedio de dos localidades son diferentes, debiéndose esto a la diferencia de ecosistema en el que se presentan.

Cuadro III-2. Prueba de ANOVA entre los flujos promedios de las 5 localidades evaluadas para E. globulus.

	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrados Promedios	Valor F	Pr(>F)
Localidad	4	5.91	1.4783	8.436	<1.86e ⁻⁶
Residuo	295	51.69	0.1752		

Gráfica III-2. Flujos de CO₂ de E. globulus en las 5 localidades evaluadas.



Cada diagrama de caja representa 60 mediciones.

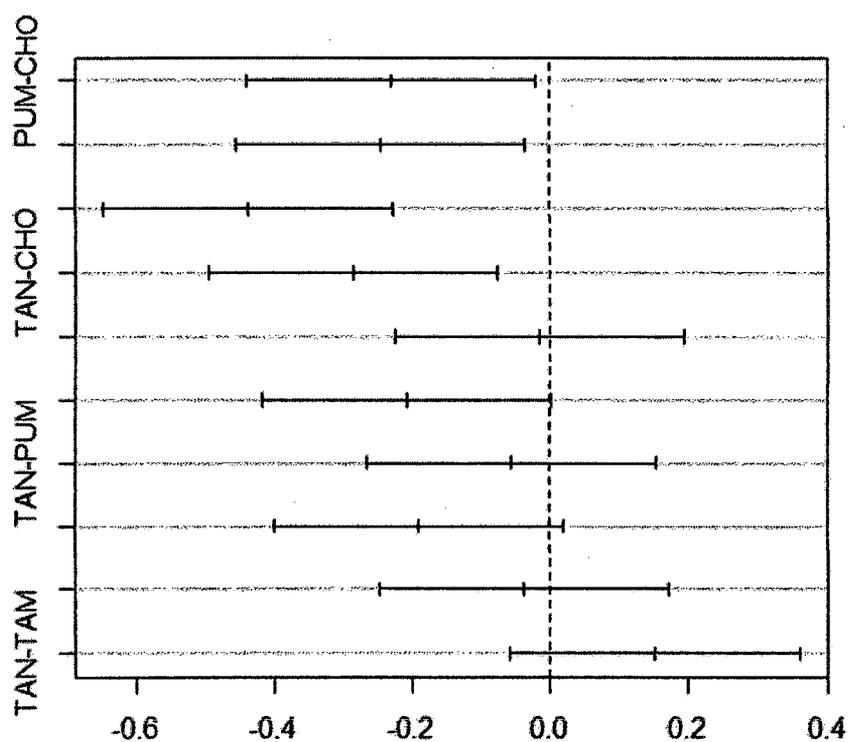
La mayoría de los flujos se concentran entre 0.7 y 1.5 µmolCO₂m⁻²s⁻¹ existiendo pocos valores atípicos en todas las localidades excepto Sacsayhuamán que no presenta alguno.

Debido al resultado dado por la prueba ANOVA se realizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 %.

Cuadro III-3. Prueba de Tukey al 95 % de confianza entre los flujos promedio de las 5 localidades evaluadas para E. globulus.

	Diferencia	Intervalo		p
		Inferior	Superior	
PUM-CHO	-0.22983333	-0.43960264	-0.020064029	0.0237623
SAC-CHO	-0.24600000	-0.45576930	-0.036230695	0.0123734
TAM-CHO	-0.43683333	-0.64660264	-0.227064029	0.0000003
TAN-CHO	-0.28550000	-0.49526930	-0.075730695	0.0020823
SAC-PUM	-0.01616667	-0.22593597	0.193602638	0.9995528
TAM-PUM	-0.20700000	-0.41676930	0.002769305	0.0550796
TAN-PUM	-0.05566667	-0.26543597	0.154102638	0.9497893
TAM-SAC	-0.19083333	-0.40060264	0.018935971	0.0940664
TAN-SAC	-0.03950000	-0.24926930	0.170269305	0.9856373
TAN-TAM	0.15133333	-0.05843597	0.361102638	0.2782699

Gráfica III-3. Diferencias de flujos de CO₂ entre localidades basado en la prueba de Tukey.



Mediante el cuadro III-3 y la gráfica III-3 se demuestra que no existe diferencia significativa entre los flujos de CO₂ promedio de las localidades de Pumamarca, Sacsayhuamán, Tambomachay y Tancarpata.

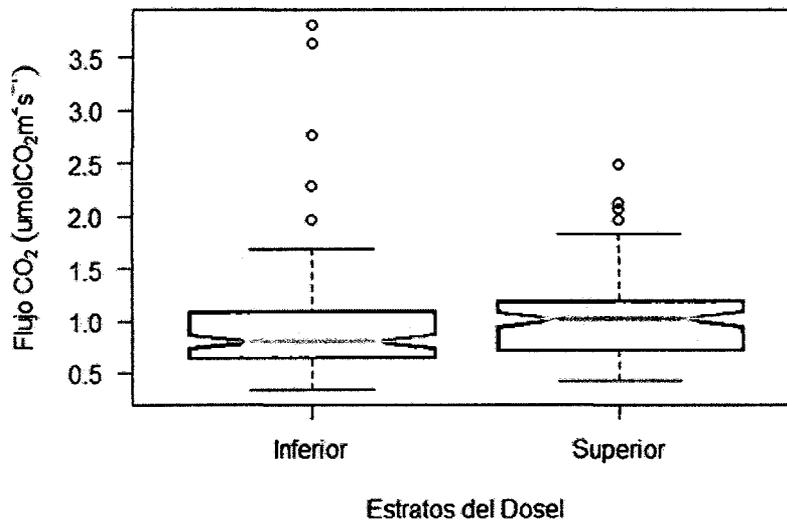
3.1.2 Comparación de los Flujos de CO₂ según la posición en el dosel de *E. globulus*

Mediante la prueba T-Student se comprueba que no existe diferencia significativa entre los flujos de CO₂ promedio de las hojas del estrato inferior 0.93 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y los filodios del estrato superior 1.02 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($t=-1.8142$, $p=0.07071$, $GL=283.042$).

Cuadro III-4. Prueba T-Student entre los flujos promedio de los estratos en el dosel en *E. globulus*.

Data	Flujo de CO ₂ por Estratos
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
G.L.	283.042
T	-1.8142
Valor crítico T-test	1.968381
Valor p	0.07071
Intervalo al 95 % de confianza	{-0.190984465, 0.007784465}
Promedio de Est Inferior	0.9304
Promedio de Est. Superior	1.0220

Gráfica III-4. Flujos de CO₂ en los Estratos en el dosel de *E. globulus*.



Cada diagrama de caja representa 150 mediciones.

Se encontraron más valores atípicos en el estrato inferior del dosel, llegando a 3.8 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

3.2 Área Foliar de *E. globulus* en el Valle del Cusco

En promedio los filodios del estrato superior del dosel en *E. globulus* presenta un área foliar de 355.8 cm² y las hojas del estrato inferior 290.2 cm².

La localidad de Sacsayhuamán presenta el mayor área foliar en los filodios del estrato superior y la localidad de Chocco en las hojas del estrato inferior.

En el estrato superior la localidad de Pumamarca es la que presenta el menor área foliar 259.3 cm² y en el estrato inferior es la localidad de Tambomachay 209.5 cm².

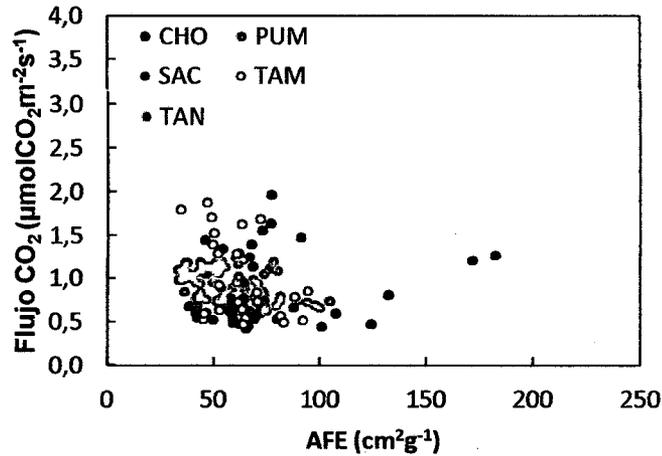
Cuadro III-5. Área Foliar de en los estratos en el dosel *E. globulus*.

Estrato del dosel	Localidad	Área Foliar cm ²
Superior	CHO	377.9
	PUM	259.3
	SAC	462.0
	TAM	342.0
	TAN	337.8
	Sub Total	355.8
Inferior	CHO	344.5
	PUM	292.5
	SAC	322.1
	TAM	209.5
	TAN	282.6
	Sub Total	290.2
	TOTAL	323.0

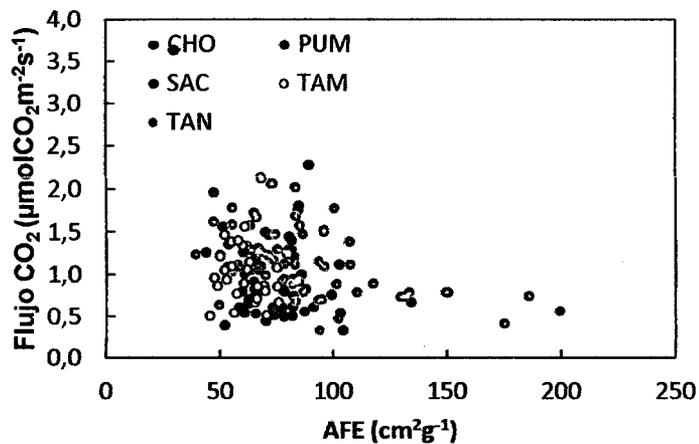
Cada valor de área foliar representa el promedio de 30 mediciones.

3.2.1 Relación del Flujo de CO₂ con el Área Foliar Específica en *E. globulus* en el Valle del Cusco

Gráfica III-5. Área Foliar Específica vs Flujo CO₂ en el estrato superior del dosel de *E. globulus*.



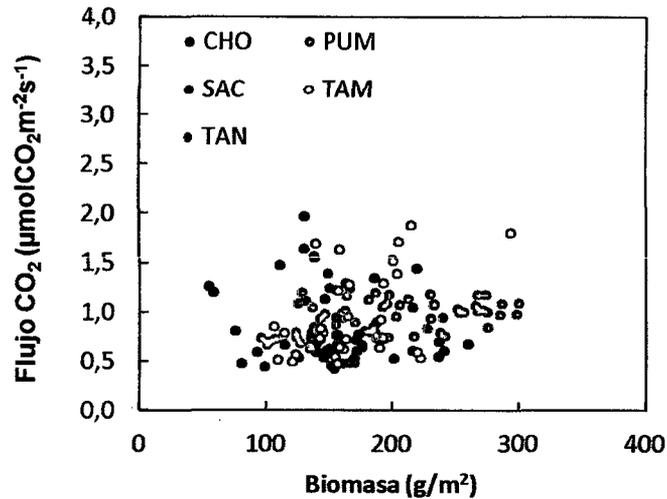
Gráfica III-6. Área Foliar Específica vs Flujo CO₂ en el estrato inferior del dosel de *E. globulus*.



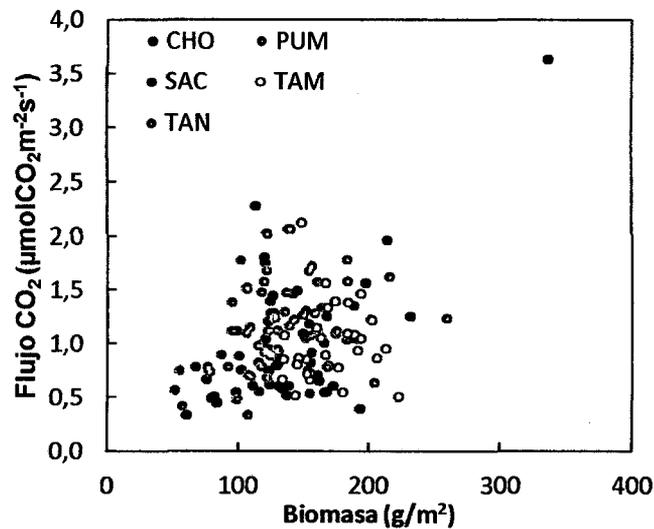
Según la gráfica III-5 y III-6 el flujo de CO₂ no está relacionado con el Área Foliar Específica en las cinco localidades para *E. globulus*.

3.2.2 Relación del Flujo de CO₂ con la Biomasa Foliar en *E. globulus*

Gráfica III-7. Biomasa vs Flujo CO₂ en el estrato superior del dosel de *E. globulus*.



Gráfica III-8. Biomasa vs Flujo CO₂ en el estrato inferior del dosel de *E. globulus*.



Según la gráfica III-7 y III-8 el flujo de CO₂ está significativamente relacionado a la Biomasa Foliar en las cinco localidades para los estratos inferior y superior de *E. globulus*.

3.2.3 Relación del flujo de CO₂ con la Temperatura Ambiental en *E. globulus*

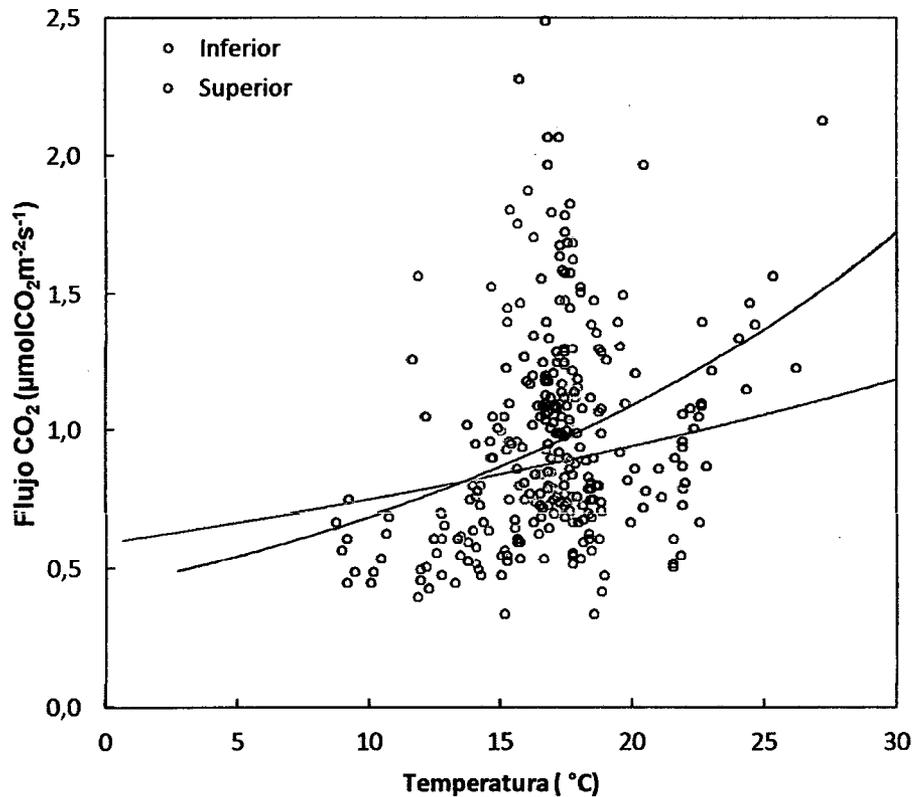
El flujo de CO₂ está relacionado con la temperatura ambiental para ambos estratos del dosel de *E. globulus*.

Haciendo la prueba de Wilcoxon se observa que la función Temperatura-Flujo de CO₂ difiere por la posición de las hojas en el dosel del estrato inferior y superior de *E. globulus* ($p < 0.005$).

Cuadro III-6. Prueba de Wilcoxon entre estratos para *E. globulus*.

Data	Flujo de CO ₂ por Estratos
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
W	8984
Valor p	0.002562

Gráfica III-9. Temperatura vs Flujo de CO₂ en *E. globulus*.



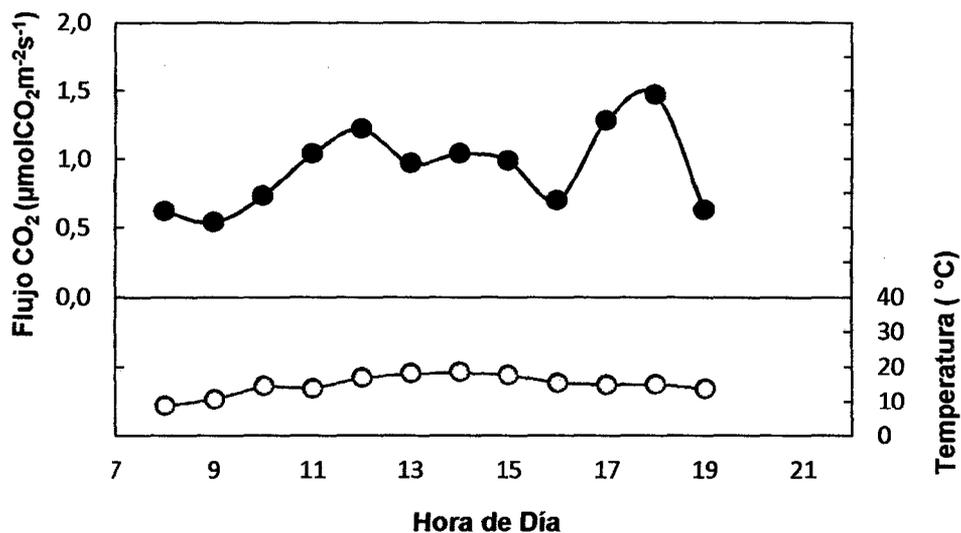
3.3 Variaciones Diurnas del Flujo de CO₂ Foliar en *E. globulus* en el Valle del Cusco

Se observa mayor flujo de CO₂ entre las 11:00 y 15:00 horas, debido al aumento de temperatura que se presenta a esas horas. Sin embargo puede observarse una disminución significativa a las 13 horas debido a la mayor insolación que se presenta y que favorece al proceso de fotosíntesis.

Cuadro III-7. Variaciones diurnas del Flujo de CO₂ en *E. globulus*.

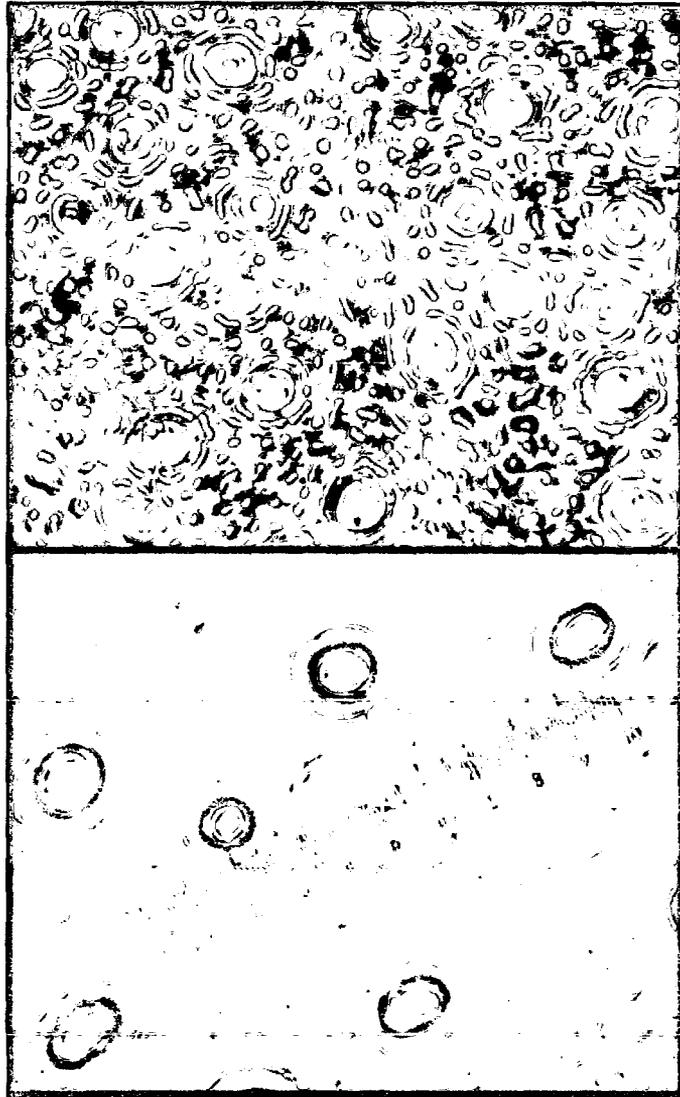
Hora	Temperatura (°C)	Flujo CO ₂ (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)
8:00	8.8	0.62 (0.05)
9:00	10.7	0.54 (0.03)
10:00	14.6	0.73 (0.05)
11:00	13.8	1.04 (0.13)
12:00	17	1.22 (0.07)
13:00	18.2	0.97 (0.04)
14:00	18.6	1.04 (0.07)
15:00	17.7	0.99 (0.08)
16:00	15.5	0.7 (0.05)
17:00	14.9	1.28 (0.33)
18:00	15.1	1.47 (0.48)
19:00	13.8	0.63 (0.04)

Gráfica III-10. Variación Diurna del Flujo de CO₂ en *E. globulus*.



3.4 Estomas de *E. globulus* en el Valle del Cusco

Las hojas de *E. globulus* por la disposición de los estomas en sus superficies son **anfiestomáticas**, siendo los estomas por el número y disposición de células anexas **anomocíticos**.



Fotografía III-1. Observaciones de Estomas de *E. globulus* a 400x.
A) Epidermis abaxial, B) Epidermis adaxial.

Discusión

Guarnaschelli y otros (2009) encontró que las hojas del género *Eucalyptus* son anfiestomáticas y sus estomas de tipo anomocítico, corroborando este estudio.

3.5 Densidad Estomática de *E. globulus* en el Valle del Cusco

Superficie adaxial

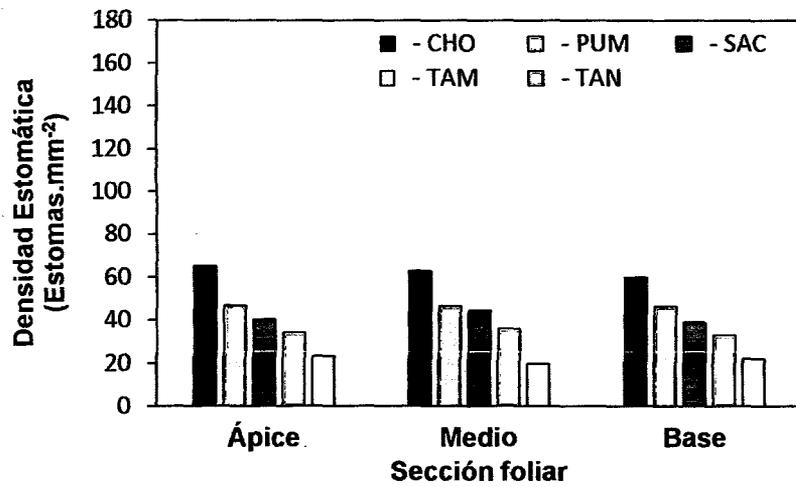
La densidad estomática en el estrato superior del dosel del árbol es mayor que en el estrato inferior, teniendo todas las secciones un número similar de estomas. En el estrato superior del dosel la localidad de Chocco tiene mayor densidad estomática y la localidad de Tambomachay tiene la menor densidad estomática, mientras que en el estrato inferior la localidad de Sacsayhuamán tiene mayor densidad estomática y la localidad de Pumamarca la menor densidad estomática. La variación se debe a las diferentes condiciones ambientales a las que están sometidas en cada ecosistema.

Cuadro III-8. Densidad Estomática de las secciones foliares Ápice, Medio y Base en las superficies adaxial de *E. globulus*.

		Densidad Estomática (SE) (Estomas.mm ⁻²)						
Estrato del Dosel	Localidad	Área Foliar (mm ²)	Ápice	Medio	Base	Total		
Superior	CHO	377 900	65.06 (4.09)	59.67 (5.09)	62.78 (4.19)	62.50 (4.48)		
	PUM	259 300	34.11 (1.15)	35.89 (1.17)	32.78 (1.62)	34.26 (1.35)		
	SAC	462 000	40.00 (2.16)	44.33 (1.93)	38.89 (2.39)	41.07 (2.2)		
	TAM	342 000	23.44 (1.66)	19.67 (1.87)	22.00 (1.77)	21.70 (1.79)		
	TAN	337 800	46.61 (2.75)	46.39 (2.94)	46.22 (3.19)	46.41 (2.95)		
	Sub Total	355 800	41.84 (2.36)	41.19 (2.6)	40.53 (2.63)	41.19 (2.55)		
Inferior	CHO	344 500	22.00 (0.81)	15.28 (1.8)	14.72 (2.17)	17.33 (1.91)		
	PUM	292 500	17.22 (2.28)	16.00 (0.76)	17.50 (0.64)	16.91 (0.75)		
	SAC	322 100	23.89 (1.70)	22.67 (1.96)	23.89 (2.19)	23.48 (2.14)		
	TAM	209 500	18.33 (2.17)	19.44 (2.11)	20.33 (1.89)	19.37 (1.90)		
	TAN	282 600	20.89 (2.02)	21.33 (2.01)	20.33 (2.13)	20.85 (2.10)		
	Sub Total	290 200	20.47 (1.80)	18.94 (1.73)	19.35 (1.8)	19.59 (1.76)		
	Total	323 000	31.16 (2.08)	30.07 (2.17)	29.94 (2.22)	30.39 (2.16)		

SE: Error Estándar. Cada valor de flujo de CO₂ representa el promedio de 90 mediciones.

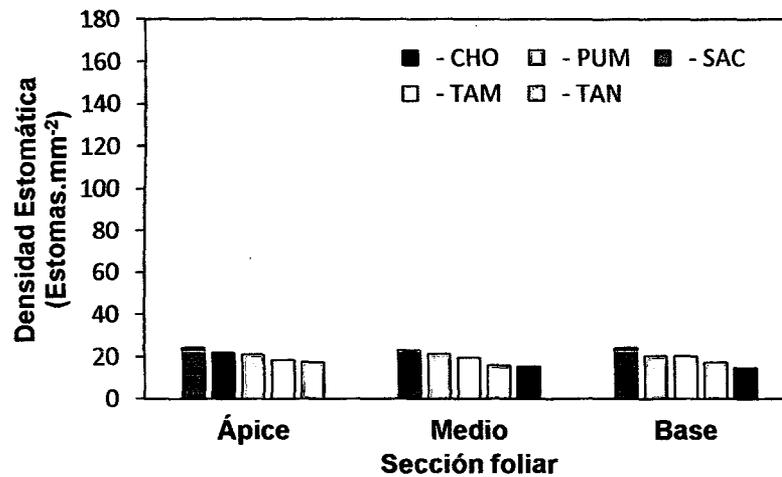
Gráfica III-11. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie adaxial de la hoja de *E. globulus* para el estrato superior del dosel.



Cada columna es el promedio de 90 mediciones.

La localidad de Chocco tiene mayor densidad estomática mientras Tambomachay presenta la menor densidad estomática.

Gráfica III-12. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie adaxial de la hoja de *E. globulus* para el estrato inferior del dosel



Cada columna es el promedio de 90 mediciones.

La localidad de Sacsayhuamán tiene mayor densidad estomática, las otras localidades presentan valores similares.

Superficie abaxial

La densidad estomática en el estrato superior del dosel del árbol es menor que en el estrato inferior, teniendo todas las secciones un número similar de estomas.

En el estrato superior del dosel la localidad de Tambomachay tiene mayor densidad estomática y en las localidades de Pumamarca y Tancarpata se observa la menor densidad estomática, mientras que en el estrato inferior la localidad de Chocco tiene mayor densidad estomática y la localidad de Sacsayhuamán la menor densidad estomática.

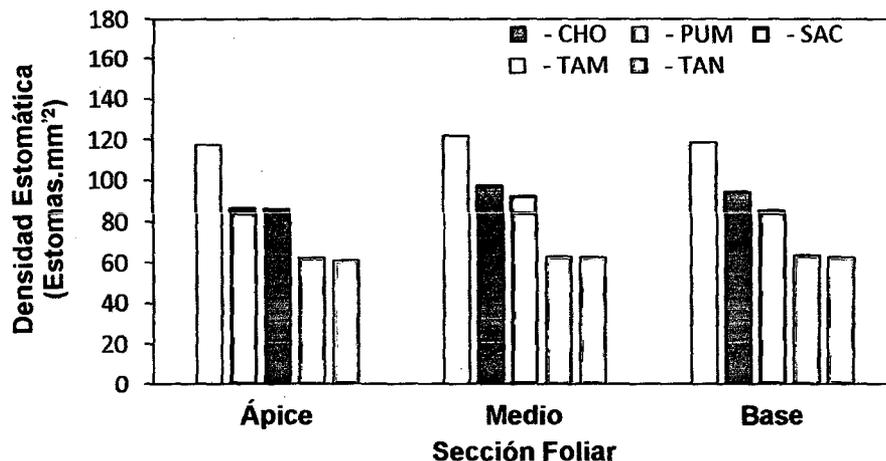
La variación se debe a las diferentes condiciones ambientales a las que están sometidas en cada ecosistema.

Cuadro III-9. Densidad Estomática de las secciones foliares Ápice, Medio y Base en las superficies abaxial de *E. globulus*.

Densidad Estomática (SE) (Estomas.mm ⁻²)										
Estrato del Dosel	Localidad	Área (mm ²)	Foliar	Ápice		Medio		Base		Total
Superior	CHO	377 900		85.94	(3.63)	97.39	(5.07)	94.5	(4.1)	92.61 (4.38)
	PUM	259 300		61	(2.30)	63	(3.00)	62.56	(2.74)	62.19 (2.69)
	SAC	462 000		86.67	(4.28)	92.11	(4.14)	85.22	(3.54)	88.00 (4.02)
	TAM	342 000		117.22	(4.95)	121.67	(4.66)	118.67	(5.45)	119.19 (5.02)
	TAN	337 800		62.33	(1.25)	62.72	(1.33)	63.67	(1.25)	62.91 (1.28)
	Sub Total	355 800		82.63	(3.28)	87.38	(3.64)	84.92	(3.42)	84.98 (3.48)
Inferior	CHO	344 500		152.22	(8.04)	153.17	(7.73)	145.44	(6.33)	150.28 (7.40)
	PUM	292 500		140.56	(5.03)	142.22	(5.76)	138.56	(6.10)	140.44 (5.63)
	SAC	322 100		112.94	(8.90)	109.44	(6.75)	112.56	(9.40)	111.65 (8.4)
	TAM	209 500		147.78	(7.89)	142.67	(4.66)	145.67	(6.88)	145.37 (6.60)
	TAN	282 600		124.33	(8.32)	120.89	(8.32)	116.22	(7.31)	120.48 (7.99)
	Sub Total	290 200		135.57	(7.64)	133.68	(6.64)	131.69	(7.20)	133.64 (7.20)
	TOTAL	323 000		109.10	(5.46)	110.53	(5.14)	108.31	(5.31)	109.31 (5.34)

SE: Error Estándar. Cada valor de flujo de CO₂ representa el promedio de 90 mediciones.

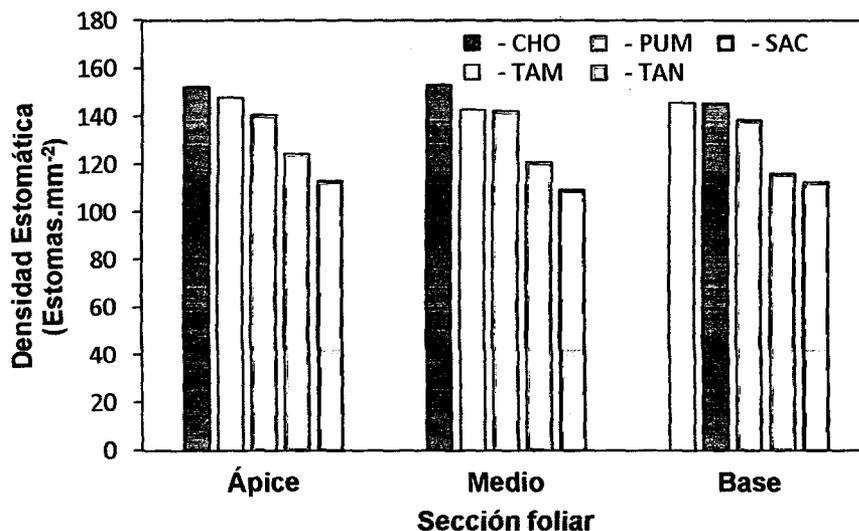
Gráfica III-13. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de *E. globulus* para el estrato superior del dosel.



Cada columna es el promedio de 90 mediciones.

La localidad de Tambomachay presenta mayor densidad estomática en la superficie abaxial de las hojas de *E. globulus* mientras Tancarpata y Pumamarca son las localidades con menor densidad estomática.

Gráfica III-14. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de *E. globulus* para el estrato inferior del dosel.



Cada columna es el promedio de 90 mediciones.

La localidad de Chocco presenta mayor densidad estomática, mientras Sacsayhuamán presenta menor densidad estomática.

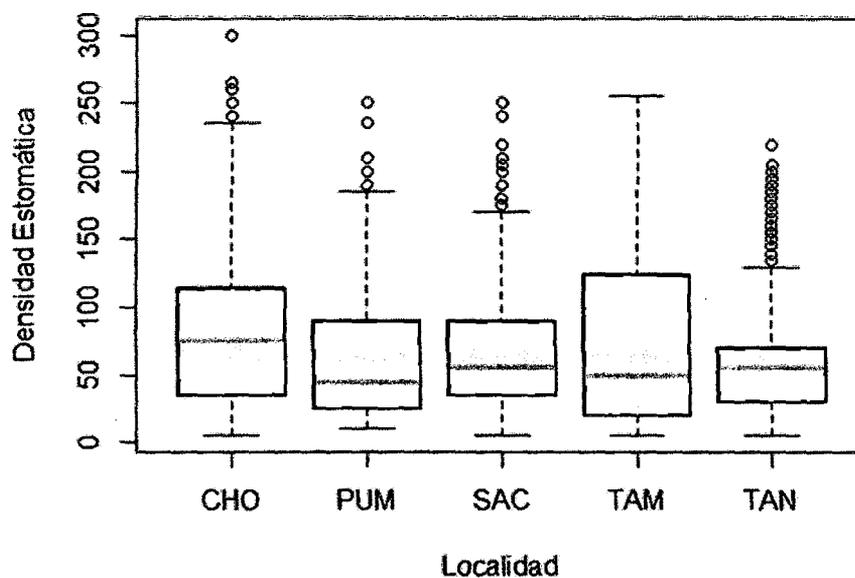
3.5.1 Comparación de la Densidad Estomática de *E. globulus* según la localidad

Haciendo la prueba de ANOVA, se observa un p igual a $<2 \cdot 10^{-16}$, indicando que existe una alta diferencia significativa entre la densidad estomática según la localidad de las hojas de *E. globulus* o al menos dos promedios son diferentes.

Cuadro III-10. Prueba de ANOVA entre las densidades estomáticas promedios de las 5 localidades evaluadas para *E. globulus*.

	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrados Promedios	Valor F	Pr(>F)
Estrat de Doseles	4	288 762	72 190	27.16	$<2 \cdot 10^{-16}$
Residuo	5 395	14 338 417	2 658		

Gráfica III-15. Densidad Estomática de *E. globulus* en las 5 localidades evaluadas.



Cada diagrama de caja representa 1 080 mediciones.

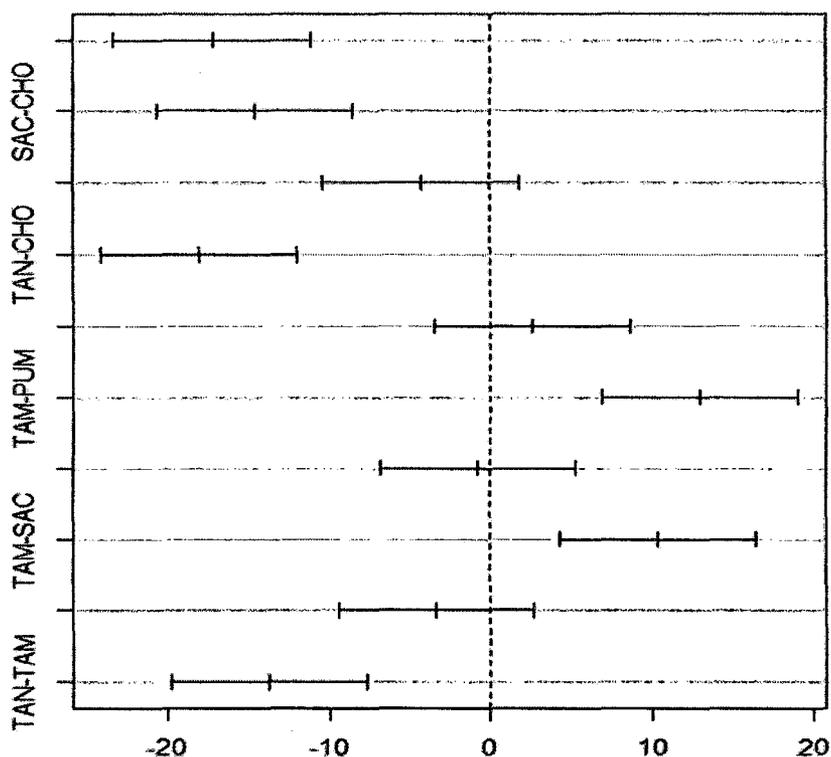
La mayoría de los valores se concentran entre 50 y 110 estomas.mm-2 existiendo pocos valores atípicos en todas las localidades excepto Tambomachay que no presenta valores atípicos.

Debido al resultado dado por la prueba ANOVA se realizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 %,

Cuadro III-11. Prueba de Tukey al 95 % de confianza entre las densidades estomáticas de las 5 localidades evaluadas para *E. globulus*.

	Diferencia	Intervalo		p
		Inferior	Superior	
PUM-CHO	-17.231481	-23.285077	-11.177886	0.0000000
SAC-CHO	-14.629630	-20.683225	-8.576034	0.0000000
TAM-CHO	-4.273148	-10.326744	1.780448	0.3034345
TAN-CHO	-18.018519	-24.072114	-11.964923	0.0000000
SAC-PUM	2.601852	-3.451744	8.655448	0.7669914
TAM-PUM	12.958333	6.904738	19.011929	0.0000001
TAN-PUM	-0.787037	-6.840633	5.266559	0.9966140
TAM-SAC	10.356481	4.302886	16.410077	0.0000306
TAN-SAC	-3.388889	-9.442485	2.664707	0.5444716
TAN-TAM	-13.745370	-19.798966	-7.691775	0.0000000

Gráfica III-16. Diferencias entre promedios de localidades.



El cuadro III-11 y la gráfica III-16 demuestra que no existe diferencia significativa entre los flujos de CO₂ promedio de las localidades de Chocco y Tambomachay y entre las localidades Pumamarca, Sacsayhuamán y Tancarpata.

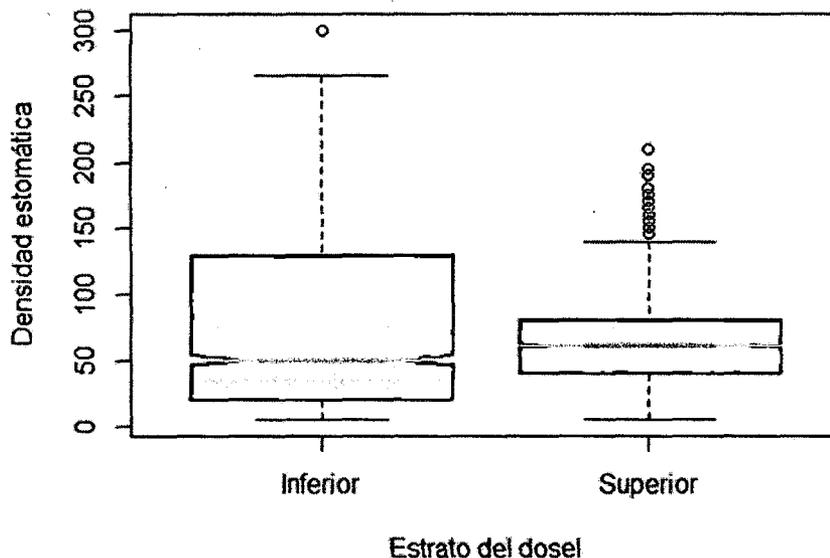
3.5.2 Comparación de la Densidad Estomática según la posición en el Dosel de *E. globulus*

Existe una diferencia significativa entre la densidad estomática promedio del estrato inferior 76.62 estomas.mm⁻² y el estrato superior del dosel 63.08 estomas.mm⁻² (t=9.6341, p=2.2e⁻¹⁶, GL=9.6341). Es decir la densidad estomática es significativamente mayor en el estrato inferior que en el estrato superior.

Cuadro III-12. Prueba T-Student entre las densidades estomáticas promedio de el estrato superior e inferior de *E. globulus*.

Data	Densidad Estomática por Estratos
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
G.L.	4038.538
T	9.6341
Valor crítico T-test	1.960552
Valor p	< 2.2e-16
Intervalo al 95 % de confianza	{10.77927, 16.28739}
Promedio de Est. Inferior	76.61667
Promedio de Est. Superior	63.08333

Gráfica III-17. Densidad Estomática de acuerdo a la posición en el dosel de *E. globulus*.



Cada diagrama de caja representa 2 700 mediciones.

Se encontraron más valores atípicos en el estrato superior del dosel, aunque el mayor valor atípico se presenta en el estrato inferior 290 estomas.mm⁻².

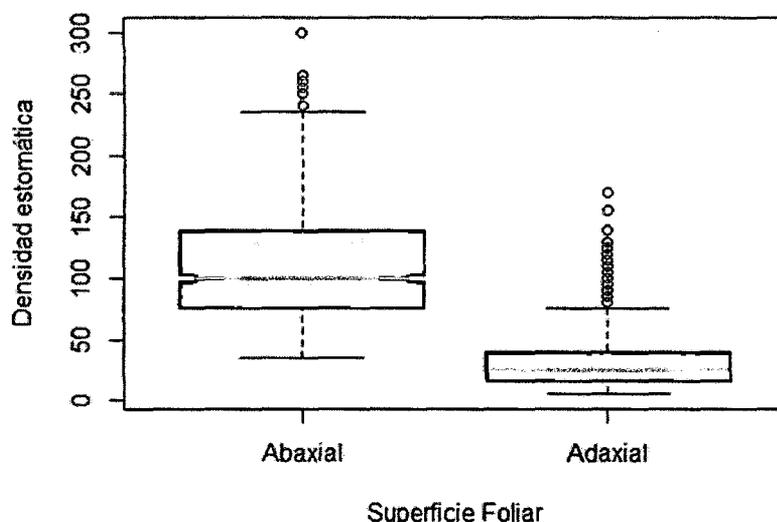
3.5.3 Comparación de la Densidad Estomática según la superficie foliar de *E. globulus*

Existe una diferencia significativa entre la densidad estomática promedio de la superficie abaxial (109.31 estomas.mm⁻²) y la superficie adaxial (30.39 estomas.mm⁻²; t=85.4364, p=2.2e⁻¹⁶, GL=3714.459). Es decir la densidad estomática es significativamente mayor en la superficie abaxial que en la superficie adaxial.

Cuadro III-13. Prueba T-Student entre las densidades estomáticas promedio de la superficie abaxial y adaxial de *E. globulus*.

Data	Densidad Estomática por superficie foliar
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
G.L.	3714.459
T	85.4364
Valor crítico T-test	1.960603
Valor p	2.2e ⁻¹⁶
Intervalo al 95 % de confianza	{77.11111, 80.73334}
Promedio de Superf. Abaxial	109.31111
Promedio de Superf. Adaxial	30.38889

Gráfica III-18. Densidad Estomática de acuerdo a la superficie foliar de *E. globulus*.



Cada diagrama de caja representa 2 700 mediciones.

Se encontraron más valores atípicos en la superficie adaxial de la hoja, aunque el mayor valor atípico se presenta en la superficie abaxial 290 estomas.mm⁻².

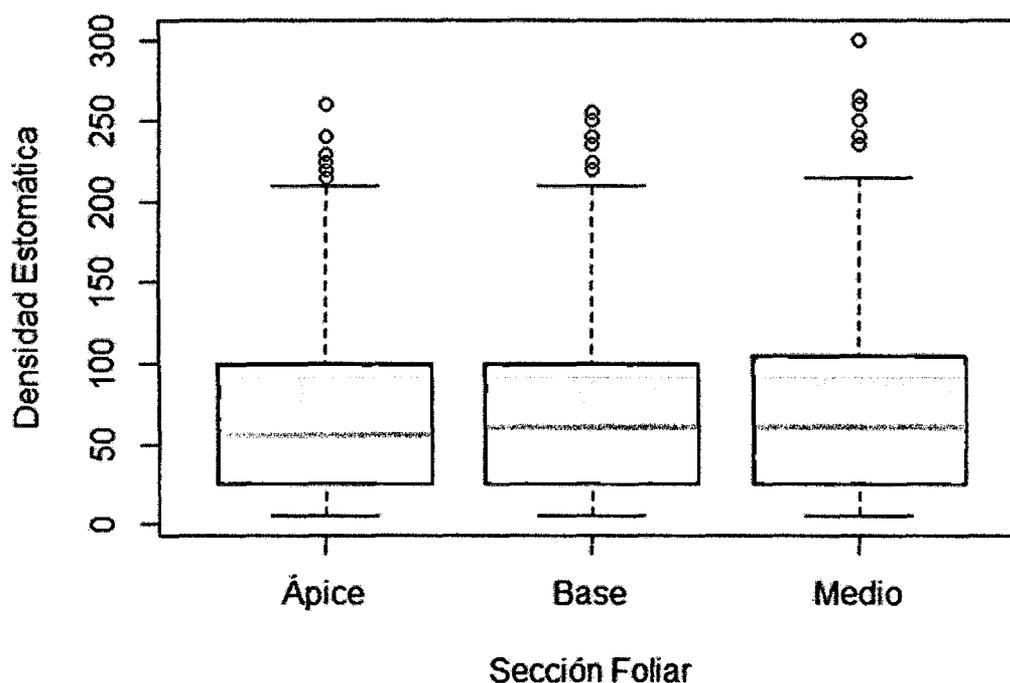
3.5.4 Comparación de la Densidad Estomática según la sección foliar de *E. globulus*

Haciendo la prueba de ANOVA, se observa un p igual a 0.801, indicando que no existe diferencia significativa entre la densidad estomática según la sección foliar de *E. globulus*.

Cuadro III-14. Tabla de ANOVA para las secciones foliares ápice, base y medio de *E. globulus*.

	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrados Promedios	Valor F	Pr(>F)
Sección foliar	2	1 201	600.3	0.222	0.801
Residuo	5 397	14 625 978	2 710.0		

Gráfica III-19. Densidad Estomática de acuerdo a la sección foliar en *E. globulus*.



Cada diagrama de caixa representa el promedio de 1 800 mediciones- La sección ápice, medio y base tienen densidades estomáticas estadísticamente iguales.

3.5.5 Relación de la Densidad Estomática con el Flujo de CO₂ en *E. globulus*

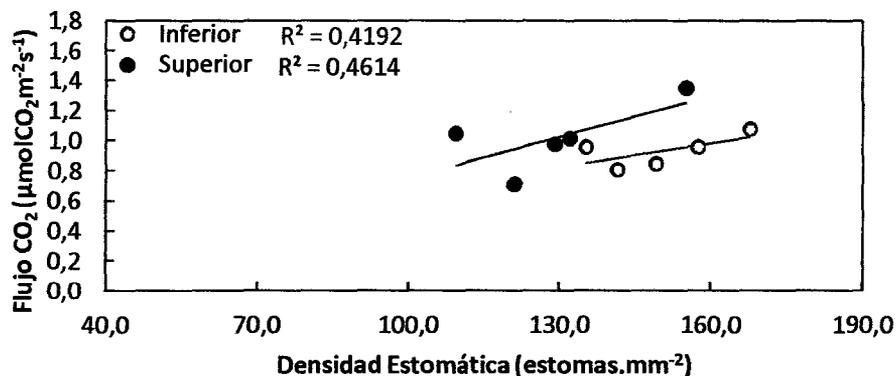
Se observa una correlación positiva entre la densidad estomática y el flujo de CO₂ en *E. globulus* en ambos estratos. $r=0.65$, $R^2=0.42$ para el estrato inferior y $r=0.68$, $R^2=0.46$ para el estrato superior.

Cuadro III-15. Densidad Estomática y Flujo de CO₂ en *E. globulus* de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas.

Estrato del dosel	Localidad	DE (Estomas.mm ⁻²)	Flujo ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Superior	CHO	167.6	1.08
	PUM	157.4	0.96
	SAC	135.1	0.96
	TAM	149	0.85
	TAN	141.3	0.81
	Sub Total	150.1	0.93
Inferior	CHO	155.1	1.35
	PUM	132	1.02
	SAC	129.1	0.98
	TAM	121	0.71
	TAN	109.3	1.05
	Sub Total	129.3	1.02
	TOTAL	139.7	0.98

Cada valor representa el promedio de 30 mediciones.

Gráfica III-20. Densidad Estomática vs Flujo de CO₂ de *E. globulus* en el estrato inferior y superior del dosel, cada punto representa un promedio de 30 mediciones.



Cada punto representa el promedio de 30 mediciones.

3.5.6 Relación de la Densidad Estomática con el Área Foliar en *E. globulus* en el Valle del Cusco

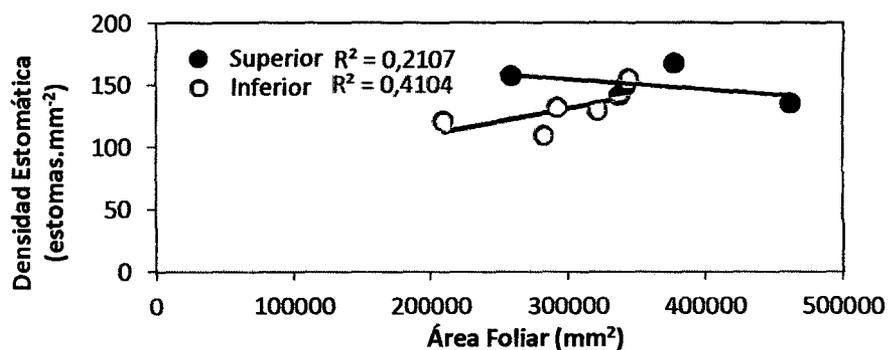
Se observó una correlación positiva entre el área foliar y la densidad estomática en el estrato inferior del dosel de *E. globulus* ($r=0.64$, $R^2=0.41$), sin embargo una correlación negativa en su estrato superior ($r= -0.45$, $R^2=0.21$).

Cuadro III-16. Área foliar y densidad estomática en *E. globulus* de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas.

Estrato del dosel	Localidad	Área Foliar (mm ²)	DE (Estomas.mm ⁻²)
Superior	CHO	377 900	167.6
	PUM	259 300	157.4
	SAC	462 000	135.1
	TAM	342 000	149
	TAN	337 800	141.3
	Sub Total	355 800	150.1
Inferior	CHO	344 500	155.1
	PUM	292 500	132.0
	SAC	322 100	129.1
	TAM	209 500	121.0
	TAN	282 600	109.3
	Sub Total	290 200	129.3
	TOTAL	323 000	139.7

Cada valor representa el promedio de 30 mediciones.

Gráfica III-21. Área Foliar vs Densidad Estomática de *E. globulus* en el estrato inferior y superior del dosel.



Cada punto representa el promedio de 30 mediciones

3.6 Flujo de CO₂ Foliar de *P. racemosa* en el Valle del Cusco

El flujo de CO₂ promedio de las cinco localidades para *P. racemosa* es 0.74 (0.02) $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. El estrato superior presenta un flujo de CO₂, de 0.80 (0.02) $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, y el flujo de CO₂ del estrato inferior es 0.68 (0.02) $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Cuadro III-17. Flujos de CO₂ de *P. racemosa* en el Valle del Cusco

Estrato del Dosel	Localidad	Altitud	Flujo CO ₂ ± SE ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
Superior	CHO	3 457	0.94	(0.1)
	PUM	3 360	0.64	(0.03)
	SAC	3 656	1.05	(0.07)
	TAM	3 545	0.59	(0.03)
	TAN	3 800	0.78	(0.03)
	Sub Total		0.80	(0.02)
Inferior	CHO	3 457	0.95	(0.09)
	PUM	3 360	0.55	(0.04)
	SAC	3 656	0.64	(0.05)
	TAM	3 545	0.51	(0.01)
	TAN	3 800	0.73	(0.04)
	Sub Total		0.68	(0.02)
	TOTAL		0.74	(0.02)

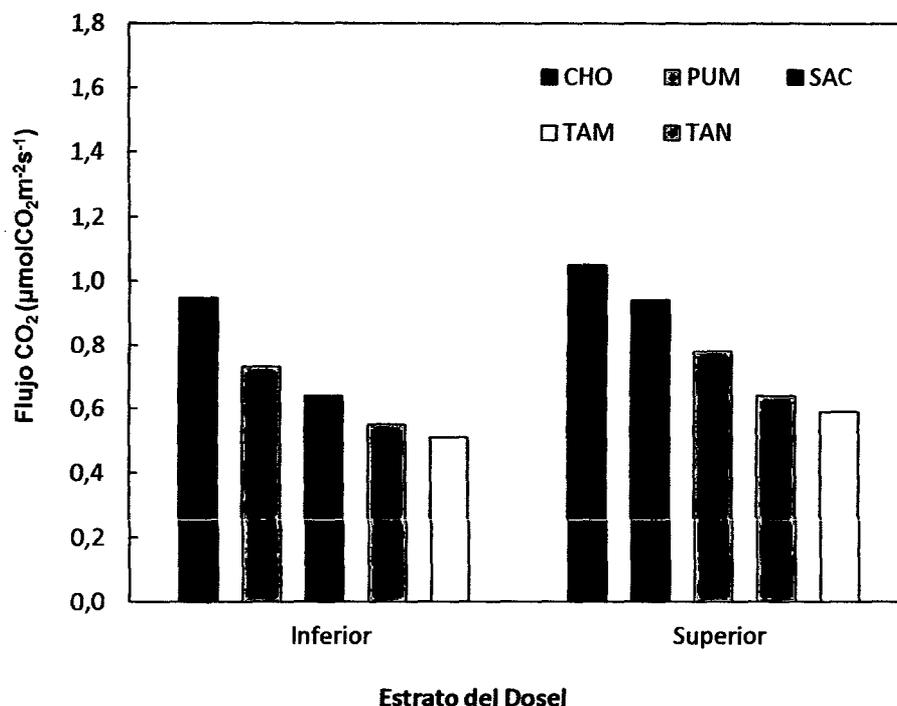
SE: Error Estándar. Cada valor de flujo de CO₂ representa el promedio de 30 mediciones.

Discusión

Los flujos de CO₂ en la especie *P. racemosa* oscilan entre 0.51 y 1.05 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en el Valle del Cusco, resultados que se encuentran dentro del rango de respiración foliar en estudios de otras especies como los obtenidos por Puma (2011): 0.60 a 1.50 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ hallados en el bosque nublado de Wayqecha por para las especies *Weinmannia bangii* y *W. crassifolia*, sin embargo estos resultados son mayores a los encontrados por Chambers (2004) que obtuvo un promedio de respiración foliar de 0.54 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para 2 parcelas permanentes de 5 Ha en Manaus - Brasil y menores a los encontrados

por Van de Weg (2010) $1.47 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en bosques nublados del Valle de Kcosñipata - Perú para una parcela permanente de 1 Ha. y por Cavaleri, Oberbauer & Ryan (2008) $3,5 \pm 0.2 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en bosque tropical de una hectárea en el Norte de Costa Rica.

Gráfica III-22. Flujo de CO₂ en los estratos inferior y superior del dosel de *P. racemosa*.



Cada columna representa el promedio de 30 mediciones.

Se observa que el estrato superior de *P. racemosa* tiene un flujo de CO₂ ligeramente mayor que el estrato inferior en todas las localidades siendo Sacsayhuamán el más alto.

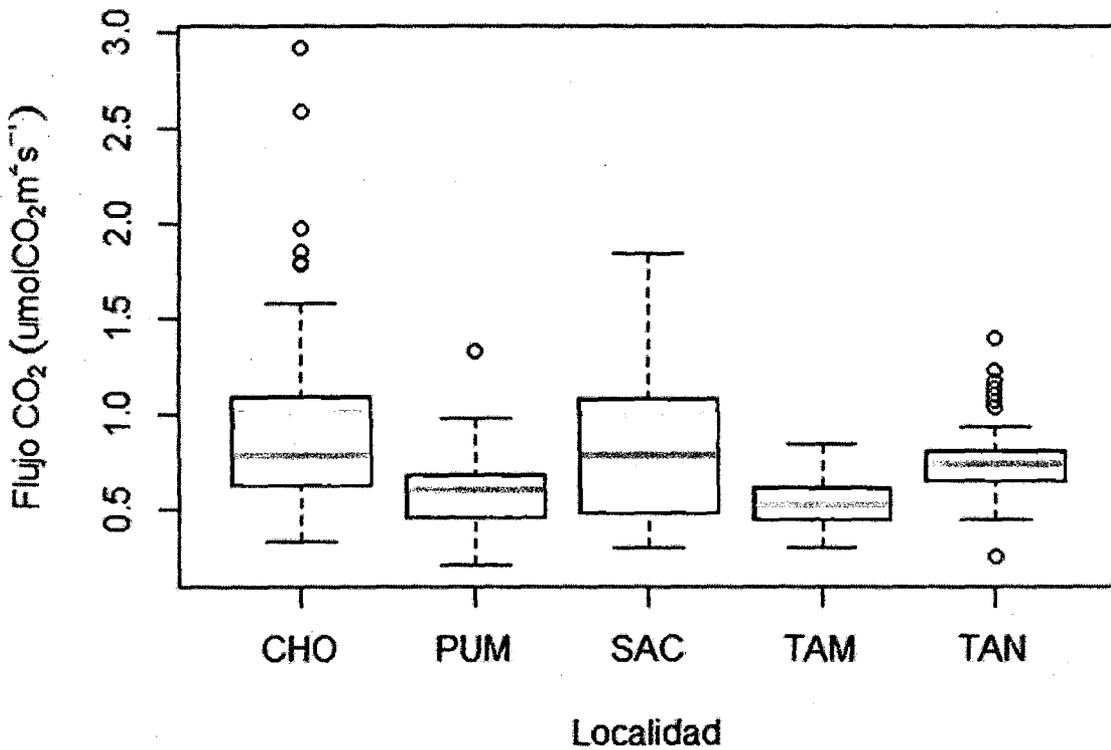
3.6.1 Comparación de los Flujos de CO₂ según las localidades en *P. racemosa*

Haciendo la prueba de ANOVA, se observa un p igual a 1.33e^{-11} , indicando que existe una alta diferencia significativa entre el flujo de CO₂ promedio según la localidad de procedencia o al menos dos promedios son diferentes.

Cuadro III-18. Prueba de ANOVA entre los flujos promedios de las 5 localidades evaluadas para *P. racemosa*.

	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrados Promedios	Valor F	Pr(>F)
Localidad	4	6.616	1.6540	15.62	<1.33e ⁻¹¹
Residuo	295	31.243	0.1059		

Gráfica III-23. Flujos de CO₂ de *P. racemosa* en las 5 localidades evaluadas.



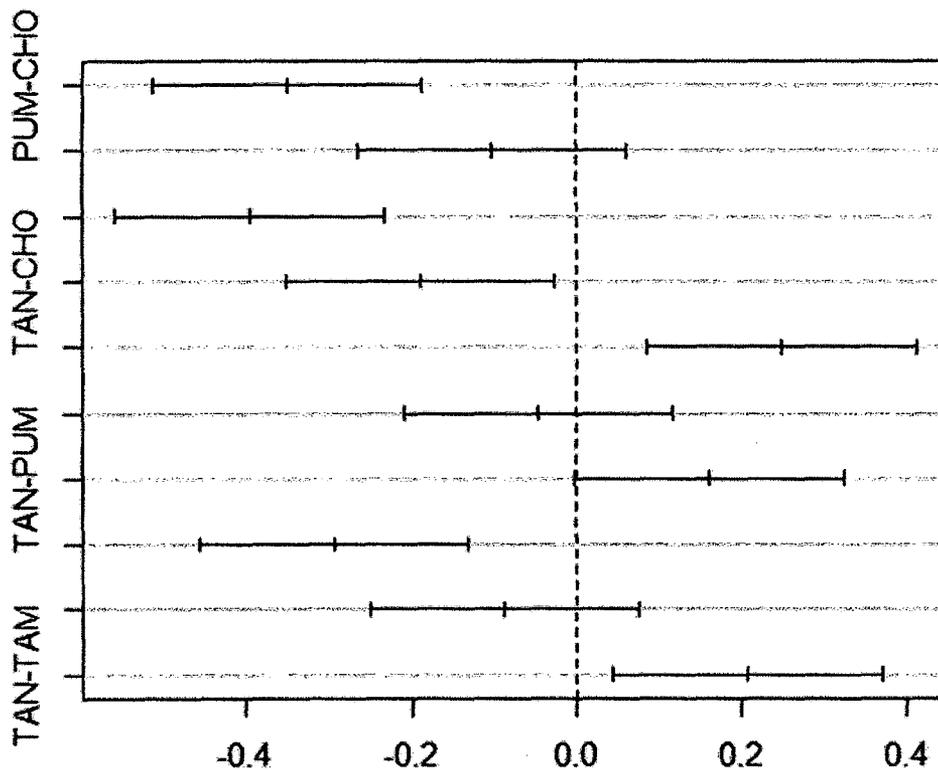
Cada diagrama de caja representa 60 mediciones.

La mayoría de los valores se concentran entre 0.5 y 1.0 µmolCO₂m⁻²s⁻¹ existiendo más valores atípicos y dispersos en la localidad de Chocco y aunque mas unidos en la localidad de Tancarpatá.

Cuadro III-19. Prueba de Tukey al 95 % de confianza entre los flujos promedio de las 5 localidades evaluadas para P. racemosa.

	Diferencia	Intervalo		P
		Inferior	Superior	
PUM-CHO	-0.34983333	-0.512915166	-0.18675150	0.0000001
SAC-CHO	-0.10083333	-0.263915166	0.06224850	0.4373309
TAM-CHO	-0.39516667	-0.558248500	-0.23208483	0.0000000
TAN-CHO	-0.18866667	-0.351748500	-0.02558483	0.0142020
SAC-PUM	0.24900000	0.085918167	0.41208183	0.0003528
TAM-PUM	-0.04533333	-0.208415166	0.11774850	0.9409408
TAN-PUM	0.16116667	-0.001915166	0.32424850	0.0544980
TAM-SAC	-0.29433333	-0.457415166	-0.13125150	0.0000121
TAN-SAC	-0.08783333	-0.250915166	0.07524850	0.5774385
TAN-TAM	0.20650000	0.043418167	0.36958183	0.0052744

Gráfica III-24. Diferencias de flujos de CO2 entre localidades basado en la prueba de Tukey.



Mediante el cuadro III-19 y la gráfica III-24 se demuestra que no existe diferencia significativa entre los promedios de las localidades de Chocco y Sacsayhuamán; Tambomachay, Pumamarca y Tancarpatá; como en Tancarpatá y Sacsayhuamán.

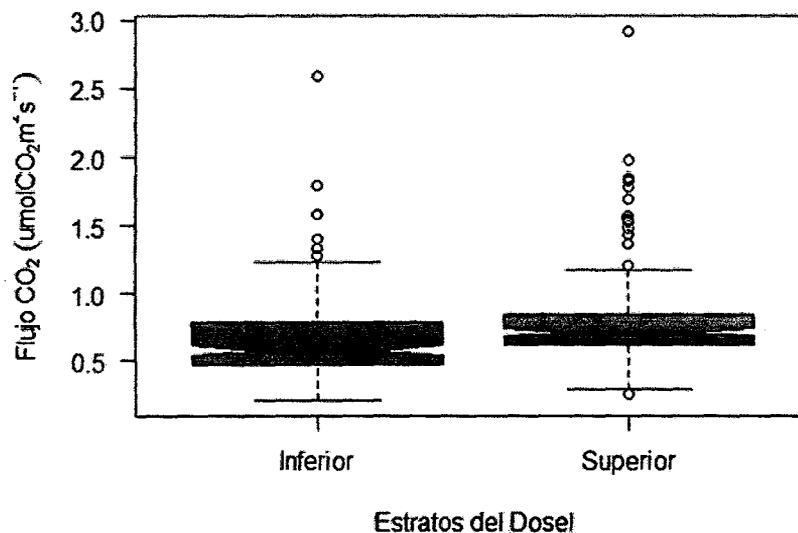
3.6.2 Comparación de los Flujos de CO₂ según los estratos en el dosel en *P. racemosa*

Mediante la prueba T-Student se demuestra que existe una diferencia significativa entre los flujos de CO₂ promedio del estrato inferior (0.67 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y el estrato superior (0.80 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; $t=-3.1686$, $p=0.0016993$, $GL=293.909$). Es decir el flujo de CO₂ es significativamente mayor en el estrato superior que en el estrato inferior.

Cuadro III-20. Prueba T-Student entre los flujos promedio de los estratos en el dosel en *P. racemosa*.

Data	Flujo de CO ₂ por Estratos
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
G.L.	293.909
T	-3.1686
Valor crítico T-test	1.968068
Valor p	0.0016993
Intervalo al 95 % de confianza	{0.20793607, 0.8014000}
Promedio de Est Inferior	0.6731333
Promedio de Est. Superior	0.8014000

Gráfica III-25. Flujos de CO₂ en los Estratos en el dosel de *P. racemosa*.



Cada diagrama de caja representa 150 mediciones.

Se encontraron valores atípicos en ambos estratos en el dosel de *P. racemosa* llegando hasta 2.9 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

3.7 Área Foliar de *P. racemosa* en el Valle del Cusco

El estrato inferior del dosel en *P. racemosa* presenta un área foliar promedio igual a 121.7 cm² y el estrato superior 101.8 cm².

La localidad de Chocco presenta mayor área foliar en ambos estratos en el dosel.

En el estrato superior la localidad de Tancarpata es la que menor área foliar presenta 67.9 cm² mientras en el estrato inferior es la localidad de Sacsayhuamán 79.9 cm².

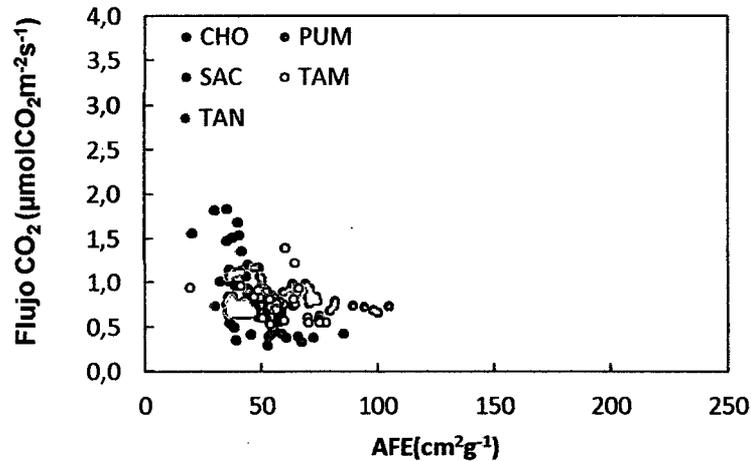
Cuadro III-21. Área Foliar de en los estratos en el dosel *P. racemosa*.

Estrato del dosel	Localidad	Área Foliar cm ²
Superior	CHO	174.9
	PUM	97.4
	SAC	73.5
	TAM	95.1
	TAN	67.9
	Sub Total	101.8
Inferior	CHO	180.6
	PUM	109.9
	SAC	79.9
	TAM	153.0
	TAN	84.9
	Sub Total	121.7
	TOTAL	111.7

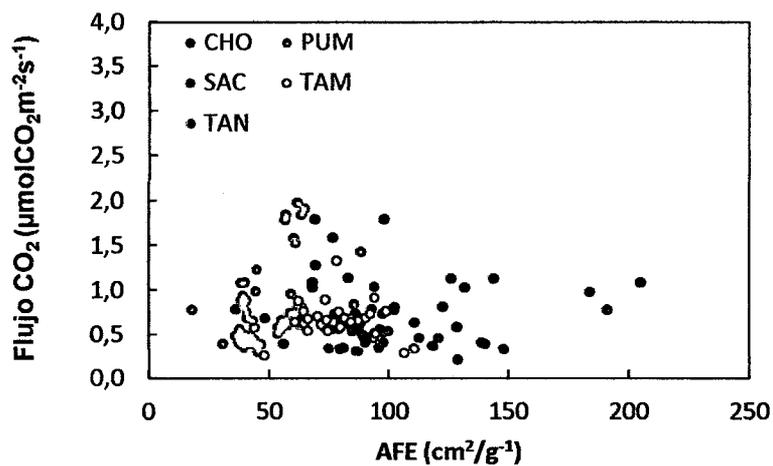
Cada valor de área foliar representa el promedio de 30 mediciones.

3.7.1 Relación del Flujo de CO₂ con el Área Foliar Específica en *P. racemosa* en el Valle del Cusco

Gráfica III-26. Área Foliar Específica vs Flujo CO₂ en el estrato superior del dosel de *P. racemosa*.



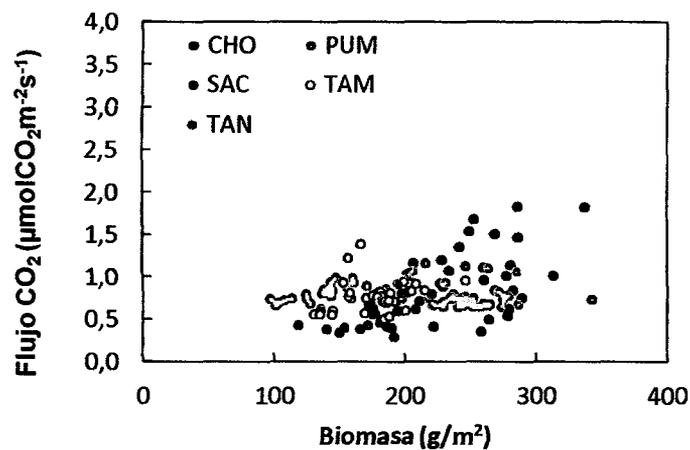
Gráfica III-27. Área Foliar Específica vs Flujo CO₂ en el estrato inferior del dosel de *P. racemosa*.



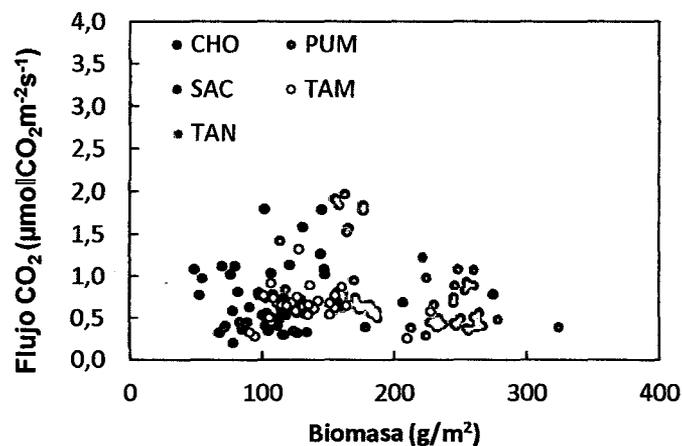
Según la gráfica III-26 y III-27 el flujo de CO₂ no está relacionado con el Área Foliar Específica en las cinco localidades para *P. racemosa*.

3.7.2 Relación del Flujo de CO₂ con la Biomasa Foliar en *P. racemosa*

Gráfica III-28. Biomasa vs Flujo CO₂ en el estrato superior del dosel de *P. racemosa*.



Gráfica III-29. Biomasa vs Flujo CO₂ en el estrato inferior del dosel de *P. racemosa*.



Según la gráfica III-28 y III-29 el flujo de CO₂ está significativamente asociado a la Biomasa Foliar en las cinco localidades para *P. racemosa*.

3.7.3 Relación del flujo de CO₂ con la Temperatura Ambiental en *P. racemosa*

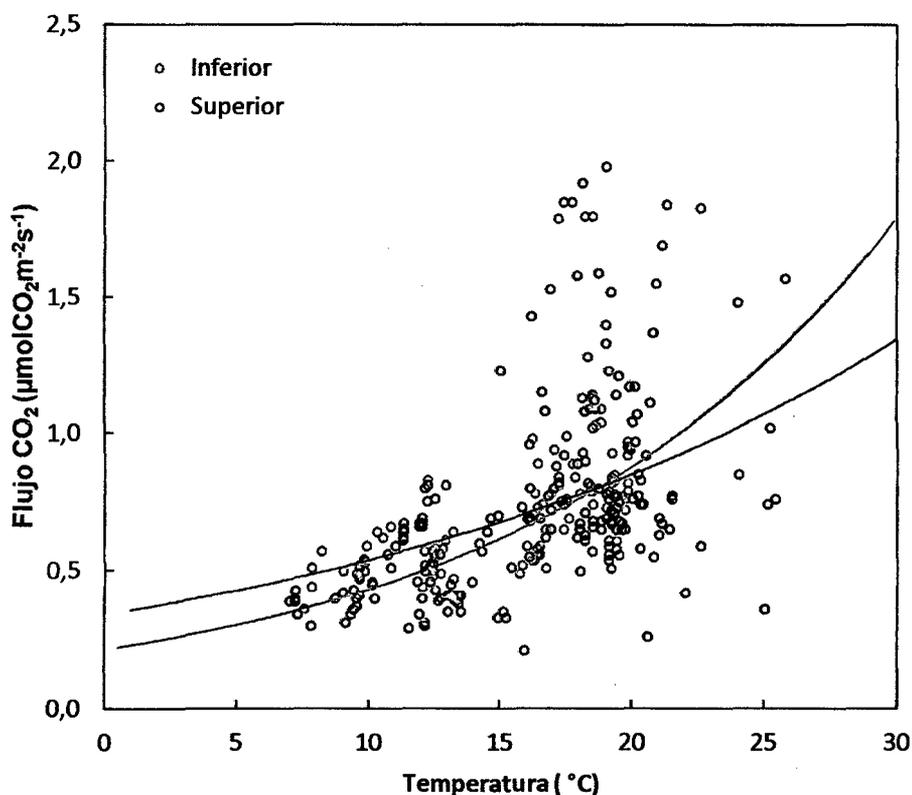
El flujo de CO₂ está relacionado con la temperatura ambiental para ambos estratos del dosel de *P. racemosa*.

Haciendo la prueba de Wilcoxon se observa que la función Temperatura-Flujo de CO₂ difiere por la posición de las hojas en el dosel del estrato inferior y superior de *P. racemosa* ($p < 0.005$).

Cuadro III-22. Prueba de Wilcoxon entre estratos para *P. racemosa*.

Data	Flujo de CO ₂ por Estratos
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
W	8 223
Valor p	5.597e-05

Gráfica III-30. Temperatura vs Flujo de CO₂ en *P. racemosa*.



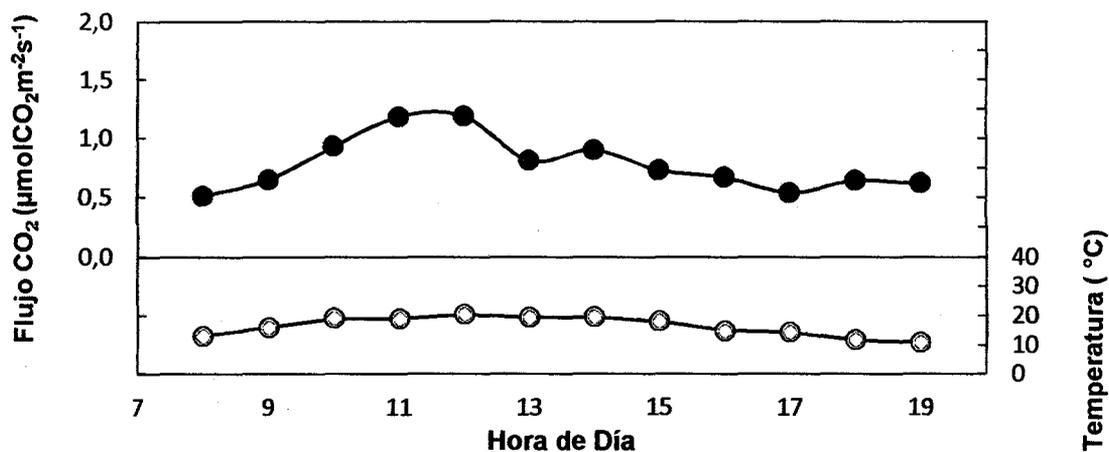
3.8 Variaciones Diurnas del Flujo de CO₂ en *P. racemosa* en el Valle del Cusco

Se observa mayor flujo de CO₂ entre las 11:00 y 12:00 horas, debido al aumento de temperatura que se presenta a esas horas. Se observa una disminución significativa a las 13:00 horas debido a la mayor insolación que se presenta y que favorece al proceso de fotosíntesis.

Cuadro III-23. Variaciones diurnas del Flujo de CO₂ en *P. racemosa*.

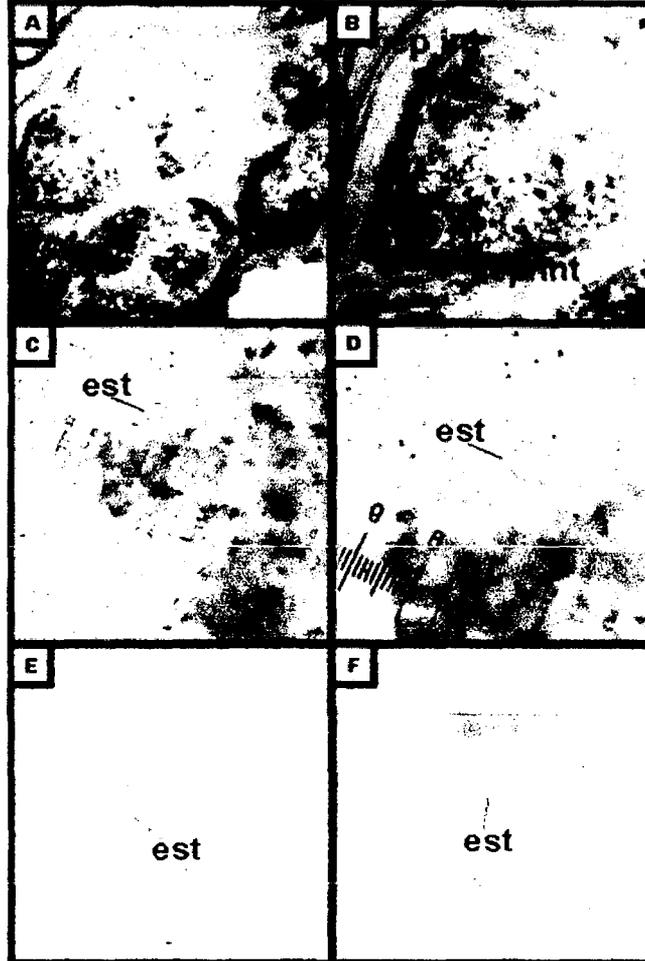
Hora	Temperatura (°C)	Flujo CO ₂ (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	
8:00	13.2	0.51	(0.03)
9:00	16	0.65	(0.04)
10:00	19.1	0.93	(0.09)
11:00	18.9	1.18	(0.20)
12:00	20.5	1.19	(0.14)
13:00	19.4	0.81	(0.12)
14:00	19.6	0.9	(0.06)
15:00	18.1	0.73	(0.04)
16:00	14.9	0.67	(0.02)
17:00	14.3	0.54	(0.05)
18:00	11.7	0.64	(0.02)
19:00	11	0.62	(0.02)

Gráfica III-31. Variación Diurna de Flujo de CO₂ en los dos estratos de *P. racemosa*.



3.9 Estomas de *P. racemosa* en el Valle del Cusco

Las hojas de *P. racemosa* por la disposición de los estomas en sus superficies son **hipoestomáticas**, siendo los estomas por el número y disposición de células anexas **anomocíticos**, rodeados por células papilosas, característicos de este género.



Fotografía III-2. Observación de estomas de *P. racemosa* a 400X.

A) Vista paradermal de la superficie Abaxial de *P. racemosa*, B) Detalle de las criptas formadas por las epidermis intercostales. C) y D) Estomas, al borde de la epidermis paradermal, E) y F) Estomas rodeados por células papilosas.

Discusión

Colmenares A, (2002) encontró que las hojas de *P. sericea* son hipoestomáticas y sus estomas de tipo anomocítico, demostrando este estudio que esta característica es propia del género *Polylepis*.

3.10 Densidad Estomática de *P. racemosa* en el Valle del Cusco

Superficie abaxial

La densidad estomática en el estrato superior del dosel del árbol es mayor que en el estrato inferior, teniendo todas las secciones un número similar de estomas.

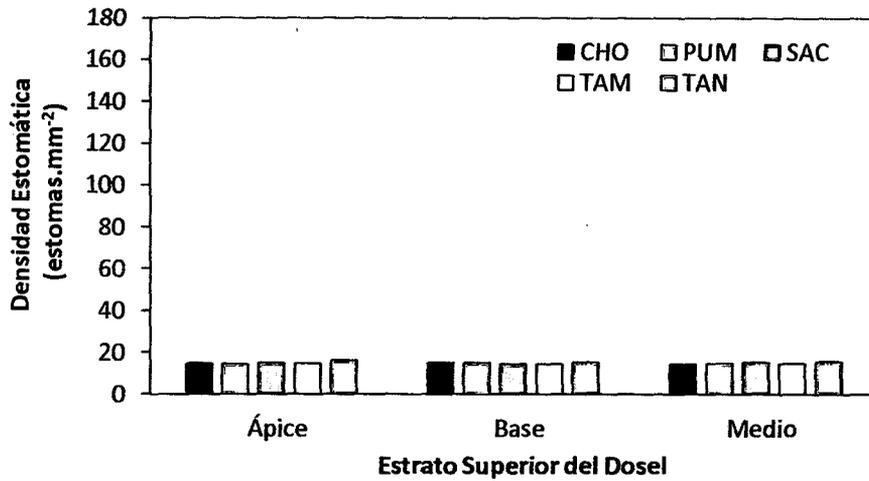
En el estrato superior del dosel la localidad de Tancarpata tiene mayor densidad estomática, mientras que en el estrato inferior la localidad de Tambomachay tiene la menor densidad estomática, teniendo las demás localidades similares valores. La variación se debe a las diferentes condiciones ambientales a las que están sometidas en cada ecosistema.

Cuadro III-24. Densidad Estomática de las secciones foliares Ápice, Medio y Base en las superficies abaxial de *P. racemosa*.

Densidad Estomática (SE) (Estomas.mm ²)										
Estrato del Dosel	Localidad	Área Foliar (mm ²)	Ápice		Medio		Base		Total	
Superior	CHO	174 900	14.72	(0.41)	14.94	(0.43)	14.44	(0.44)	14.70	(0.43)
	PUM	97 400	14.44	(0.43)	14.94	(0.42)	14.67	(0.45)	14.69	(0.43)
	SAC	73 500	15.00	(0.44)	14.39	(0.43)	15.22	(0.44)	14.87	(0.44)
	TAM	95 700	14.72	(0.41)	14.22	(0.42)	14.67	(0.45)	14.54	(0.43)
	TAN	67 900	16.22	(0.43)	15.28	(0.44)	15.44	(0.43)	15.65	(0.43)
	Sub Total	101 800	15.02	(0.42)	14.75	(0.43)	14.89	(0.44)	14.89	(0.43)
Inferior	CHO	180 600	9.83	(0.41)	10.39	(0.42)	9.78	(0.42)	10.00	(0.42)
	PUM	109 900	9.28	(0.46)	10.28	(0.45)	10.56	(0.45)	10.04	(0.44)
	SAC	79 900	9.67	(0.43)	10.17	(0.43)	10.06	(0.43)	9.96	(0.43)
	TAM	153 000	9.83	(0.42)	10.44	(0.44)	9.72	(0.44)	10.00	(0.43)
	TAN	84 900	10.11	(0.43)	10.11	(0.42)	10.61	(0.42)	10.28	(0.42)
	Sub Total	121 700	9.74	(0.43)	10.28	(0.43)	10.15	(0.43)	10.06	(0.43)
	Total	111 700	12.38	(0.51)	12.52	(0.49)	12.52	(0.50)	12.47	(0.50)

SE: Error Estándar. Cada valor de flujo de CO₂ representa el promedio de 90 mediciones.

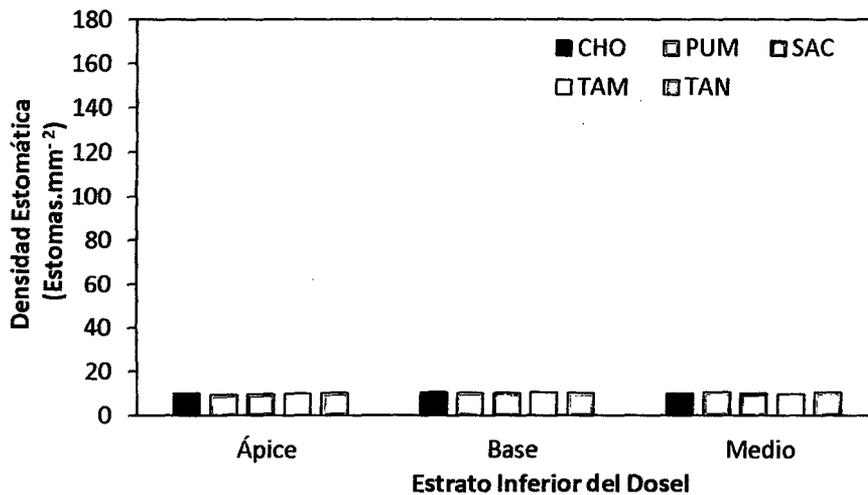
Gráfica III-32. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de *P. racemosa* para el estrato superior del dosel.



Cada columna es el promedio de 90 mediciones.

La localidad de Chocco presenta mayor densidad estomática en el estrato superior del dosel de *P. racemosa* mientras Tancarpata presenta la menor densidad estomática.

Gráfica III-33. Densidad estomática de las 3 secciones foliares ápice, medio y base en la superficie abaxial de la hoja de *P. racemosa* para el estrato inferior del dosel.



Cada columna es el promedio de 90 mediciones.

La localidad de Chocco presenta mayor densidad estomática en las tres secciones foliares de las hojas de *P. racemosa* mientras Tancarpata presenta la menor densidad estomática.

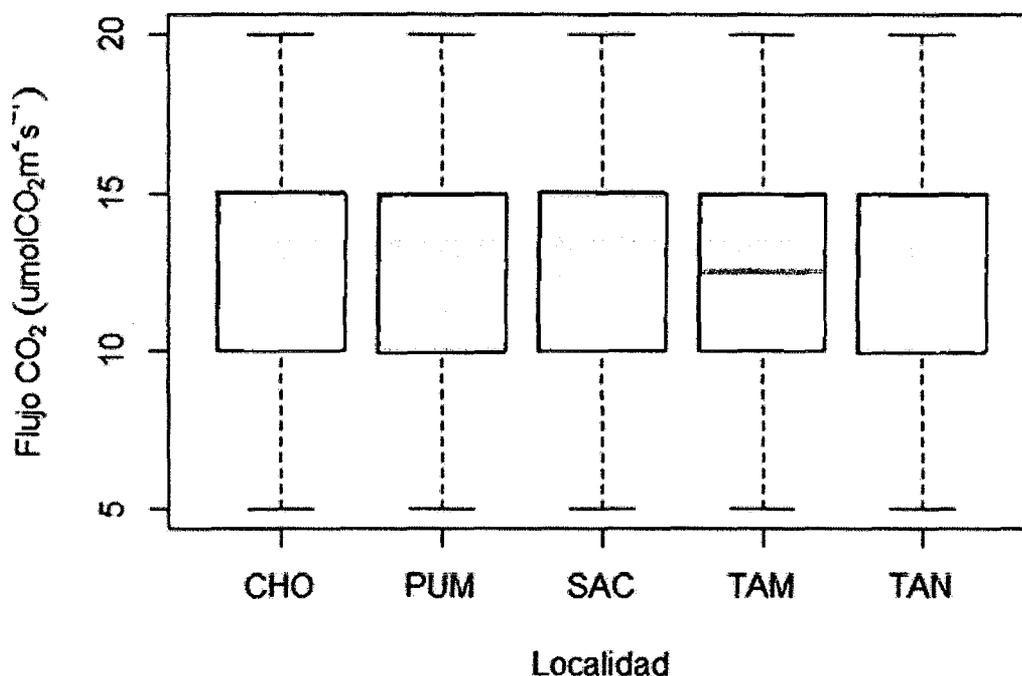
3.10.1 Comparación de la Densidad Estomática según la localidad en el Dosel de *P. racemosa*

Haciendo la prueba de ANOVA, se observa un p igual a 0.529, indicando que no existe diferencia significativa entre la densidad estomática según la localidad de las hojas de *P. racemosa*.

Cuadro III-25. Prueba de ANOVA entre las densidades estomáticas promedios de las 5 localidades evaluadas para *P. racemosa*.

	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrados Promedios	Valor F	Pr(>F)
Estrat de Dosel	4	73	18.30	0.794	0.529
Residuo	2 695	62 138	23.06		

Gráfica III-34. Densidad Estomática *P. racemosa* en las 5 localidades evaluadas.



Cada diagrama de caja representa 540 mediciones.

La mayoría de los valores se concentran entre 10 y 15 estomas.mm⁻². No se encontraron valores atípicos.

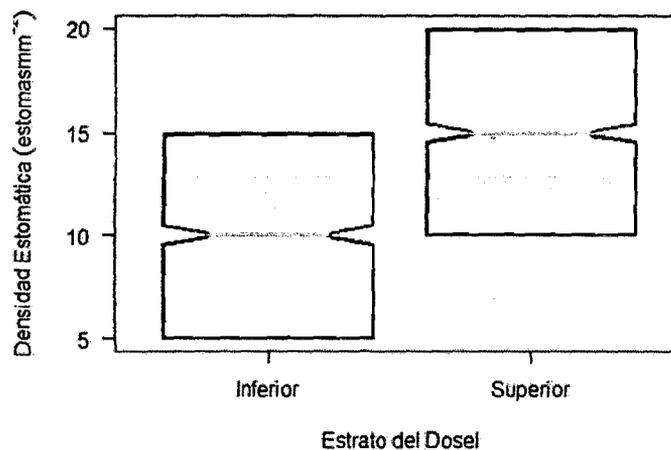
3.10.2 Comparación de la Densidad Estomática según la posición en el Dosel de *P. racemosa*

Existe una diferencia significativa entre la densidad estomática promedio del estrato inferior (10.09 estomas.mm⁻²) y el estrato superior del dosel (15.09 estomas.mm⁻²; t=-31.9161, p=2.2e⁻¹⁶, GL=22696.756). Es decir la densidad estomática es significativamente mayor en el estrato inferior que en el estrato superior.

Cuadro III-26. Prueba T-Student entre las densidades estomáticas promedio de los estratos en el dosel de *P. racemosa*.

Data	Densidad Estomática por superficie foliar
Ha	Promedios son diferentes
Ho	Promedios son iguales
G.L.	2696.756
T	-31.9161
Valor crítico T-test	1.960552
Valor p	< 2.2e-16
Intervalo al 95 % de confianza	{-5.334706, -4.717146}
Promedio de Est. Inferior	10.05926
Promedio de Est. Superior	15.08519

Gráfica III-35. Densidad Estomática de acuerdo a la posición en el dosel de *P. racemosa*.



**Cada diagrama de caja representa 1 350 mediciones.
No se encontraron valores atípicos.**

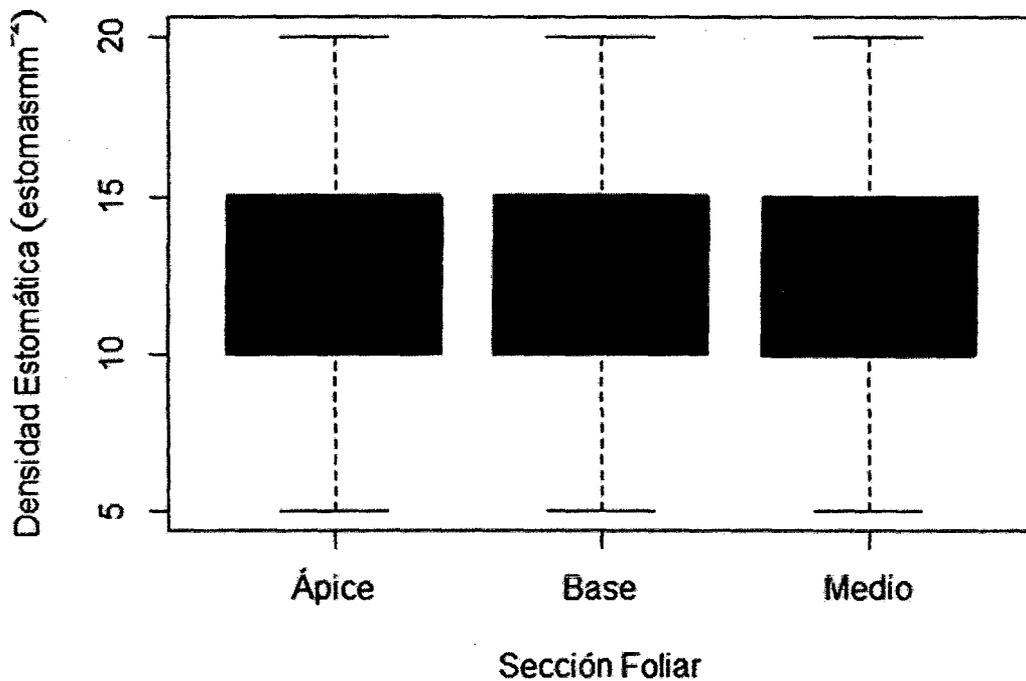
3.10.3 Comparación de la Densidad Estomática según la sección foliar de *P. racemosa*

Haciendo la prueba de ANOVA, se observa un p igual a 0.801, indicando que no existe diferencia significativa entre la densidad estomática según la sección foliar de *P. racemosa*.

Cuadro III-27. Tabla de ANOVA para las secciones foliares ápice, base y medio de *P. racemosa*.

	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrados Promedios	Valor F	Pr(>F)
Sección foliar	2	9	4.694	0.204	0.816
Residuo	2697	62202	23.063		

Gráfica III-36. Densidad Estomática de acuerdo a la sección foliar en *P. racemosa*.



Cada diagrama de caja representa el promedio de 1 800 mediciones.

La sección ápice, medio y base tienen densidades estomáticas estadísticamente iguales.

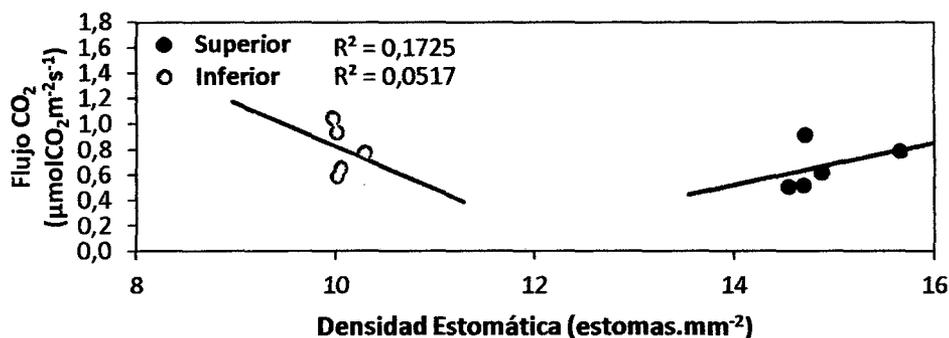
3.10.4 Relación de la Densidad Estomática con el Flujo de CO₂ en *P. racemosa*

Se encontró una correlación negativa entre la densidad estomática y el flujo de CO₂ ($r=-0.23$) para el estrato inferior en el dosel en *P. racemosa* y una correlación positiva para el estrato superior en el dosel ($r=0.42$). Sin embargo debido a R^2 se demuestra que la mayoría de los datos no se ajustan a la ecuación ($R^2 = 0.05$ y $R^2 = 0.1725$ para el estrato inferior y superior respectivamente).

Cuadro III-28. Densidad Estomática y Flujo de CO₂ en *P. racemosa* de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas.

Estrato del dosel	Localidad	DE (Estomas.mm ⁻²)	Flujo (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)
Superior	CHO	14.70	0.92
	PUM	14.69	0.52
	SAC	14.87	0.62
	TAM	14.54	0.51
	TAN	15.65	0.79
Sub Total		14.89	0.67
Inferior	CHO	10.00	0.94
	PUM	10.04	0.66
	SAC	9.96	1.05
	TAM	10.00	0.59
	TAN	10.28	0.78
Sub Total		10.06	0.80
TOTAL		12.47	0.735

Gráfica III-37. Densidad Estomática vs Flujo de CO₂ de *P. racemosa* en el estrato inferior y superior del dosel.



Cada punto representa un promedio de 30 mediciones.

3.10.5 Relación de la Densidad Estomática con el Área Foliar en *P. racemosa* en el Valle del Cusco

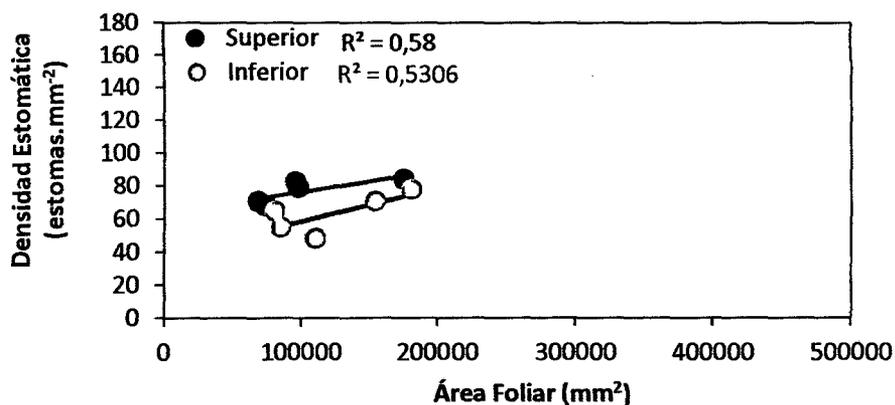
Se encontró una relación positiva entre el área foliar y la densidad estomática para los dos estratos en el dosel de *P. racemosa*: $r = 0.76$, $R^2 = 0.58$ para el estrato inferior y $r = 0.73$, $R^2 = 0.53$ para el estrato superior del dosel respectivamente.

Cuadro III-29. Área foliar y densidad estomática en *P. racemosa* de acuerdo a la posición en el dosel en las cinco localidades evaluadas.

Estrato del dosel	Localidad	Área Foliar (mm ²)	DE (Estomas.mm ⁻²)
Superior	CHO	174 900	83.8
	PUM	974 300	78.7
	SAC	734 700	67.6
	TAM	950 700	82.4
	TAN	67 900	70.7
	Sub Total	101 800	76.64
Inferior	CHO	180 600	77.6
	PUM	109 900	48.2
	SAC	79 900	64.5
	TAM	153 000	70.4
	TAN	84 900	54.7
	Sub Total	121 700	63.08
	TOTAL	111 700	69.86

Cada valor representa el promedio de 30 mediciones.

Gráfica III-38. Área Foliar vs Densidad Estomática de *P. racemosa* en el estrato inferior y superior del dosel.



Cada punto representa un promedio de 30 mediciones.

Cuadro III-30. Cuadro comparativo entre las características de las hojas de *E. globulus* y *P. racemosa*

	<i>E. globulus</i>	<i>P. racemosa</i>
Hojas	Presenta heterofilia: <ul style="list-style-type: none"> • Estrato inferior: hojas verdaderas sentadas y opuestas. • Estrato superior: filodios alternos. Hojas anfiestomáticas	Presenta hojas alternas, estipuladas, compuestas, trifoliadas Hojas hipoestomáticas
Tipo de Estomas	Anomocítico	Anomocítico
Densidad Estomática (estomas.mm⁻²)	Estrato Superior <ul style="list-style-type: none"> • Superficie abaxial: 62.19 a 119.19 • Superficie adaxial: 21.70 a 62.50 Estrato Inferior <ul style="list-style-type: none"> • Superficie abaxial: 111.65 a 150.28 • Superficie adaxial: 16.91 a 23.48 	Estrato Superior <ul style="list-style-type: none"> • Superficie abaxial: 14.69 a 15.65 Estrato Inferior <ul style="list-style-type: none"> • Superficie abaxial: 9.96 a 10.28
Respiración Foliar (μmolCO₂m⁻²s⁻¹)	Estrato Superior 0.71 a 1.35 Estrato Inferior 0.81 a 1.08	Estrato Superior 0.59 a 1.05 Estrato Inferior 0.51 a 0.95

E. globulus presenta mayor respiración foliar que *P. racemosa* para los estratos inferior y superior del dosel.

La densidad estomática que presenta *E. globulus* es mucho más alta que *P. racemosa* por mm⁻².

CONCLUSIONES

1. El flujo de CO₂ foliar y la densidad estomática

- a) El flujo de CO₂ en los filodios del estrato superior del dosel de *E. globulus* oscila entre 0.71 a 1.35 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y entre 0.81 a 1.08 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en las hojas del estrato inferior del dosel. No existe diferencia significativa en los flujos de CO₂ entre las localidades de Pumamarca, Sacsayhuamán, Tambomachay y Tancarpata. No existe diferencia significativa en los flujos de CO₂ por la posición en el dosel.

La densidad estomática en la superficie adaxial de *E. globulus* fluctúa entre 21.70 a 62.50 estomas. mm^{-2} en los filodios del estrato superior del dosel y entre 16.91 a 23.48 estomas. mm^{-2} en las hojas del estrato inferior. La densidad estomática en la superficie abaxial de *E. globulus* fluctúa entre 62.19 a 119.19 estomas. mm^{-2} en los filodios del estrato superior del dosel y entre 111.65 a 150.28 estomas. mm^{-2} en las hojas del estrato inferior. No existe diferencia significativa entre la densidad estomática promedio de las localidades de Chocco y Tambomachay y entre las localidades Pumamarca, Sacsayhuamán y Tancarpata. Existe diferencia significativa de densidad estomática por la posición en el dosel, siendo el estrato inferior mayor que el estrato superior. Existe diferencia significativa de densidad estomática por superficies foliares, siendo la superficie abaxial mayor que la superficie adaxial. No existe diferencia significativa entre las secciones foliares ápice, medio y base.

- b) El estrato superior de *P. racemosa*, el flujo de CO₂ foliar oscila entre 0.59 a 1.05 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, y para el estrato inferior del dosel entre 0.51 a 0.95 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Existe diferencia significativa en los flujos de CO₂ entre localidades debido a los diferentes microclimas que presentan. Existe diferencia significativa entre los flujos de CO₂ por la posición en el dosel siendo el estrato superior mayor que el estrato inferior.

La densidad estomática en *P. racemosa* varía entre 14.69 a 15.65 estomas. mm^{-2} para el estrato superior del dosel y entre 9.96 a 10.28 estomas. mm^{-2} para el estrato inferior. No existe diferencia significativa de la densidad estomática promedio entre localidades. Existe diferencia significativa por la posición en el dosel siendo el estrato inferior mayor que el estrato superior. No existe diferencia significativa entre las secciones foliares ápice, medio y base.

2. Relación del Flujo de CO₂ con la temperatura ambiental, biomasa foliar y área foliar específica

En *E. globulus* y *P. racemosa* el flujo de CO₂ no está relacionado con el área foliar específica en ambos estratos del dosel. El flujo de CO₂ está relacionado con la biomasa foliar en ambos estratos del dosel. El flujo de CO₂ está relacionado con la temperatura ambiental.

3. Las variaciones diurnas de flujo de CO₂

- a) En *E. globulus* el flujo de CO₂ varía de acuerdo a la hora del día, siendo alta entre las 11:00 a 15:00 horas y baja a las 13 horas.
- b) En *P. racemosa* el flujo de CO₂ varía de acuerdo a la hora del día, siendo alta entre las 11:00 a 12:00 horas y baja a las 13 horas.

En ambos casos se debe al aumento de temperatura que se presenta a esas horas mientras que la disminución significativa a las 13:00 horas se debe a la mayor insolación que se presenta y que favorece al proceso de fotosíntesis.

4. Estomas

- a) *E. globulus* presenta hojas anfiestomáticas y estomas de tipo Anomocítico.
- b) *P. racemosa* presenta hojas hipoestomáticas y estomas de tipo Anomocítico rodeados por células subsidiarias papilosas.

5. Relación de la densidad estomática con el flujo de CO₂ y con el área foliar

- a) En *E. globulus* existe relación positiva entre la densidad estomática y el flujo de CO₂ en las hojas del estrato inferior y los filodios del estrato superior del dosel del árbol. Existe relación positiva entre el área foliar y la densidad estomática en las hojas del estrato inferior del dosel; Existe una relación negativa entre el área foliar y la densidad estomática en los filodios del estrato superior.
- b) En *P. racemosa* no se encontró relación entre la densidad estomática y el flujo de CO₂ en los estratos inferior y superior del dosel. Existe una relación positiva entre el área foliar y la densidad estomática en ambos estratos del dosel.

SUGERENCIAS

Se sugiere estudios más detallados del flujo de CO₂ en especies nativas como la construcción de modelos matemáticos que puedan predecir el comportamiento de las plantas frente al cambio climático.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. APG III . (2009). Angiosperm Phylogeny Group.
2. Atkin, O. K., & Tjoelker, M. G. (2003). Thermal Acclimation and the Dynamic Response of Plant Respiration to Temperature. *TRENDS in Plant Science*, 8(7), 343-351.
3. Atkin, O. K., Holly, & Ball, M. C. (2000). Acclimation of Snow Gum (*Eucalyptus pauciflora*) Leaf Respiration to Seasonal and Diurnal Variations in Temperature: the Importance of Changes in the Capacity and Temperature Sensitivity of Respiration. *Plant Cell and Environment*, 23, 15-26.
4. Bazaldúa-Muñoz, C., Ventura-Zapata, E., Salcedo-Morales, G., Maldonado, U., & López, A. (2008). Densidad Estomatal y Potencial Hídrico en Plantas de Tomate (*Physalis ixocarpa* Brot.), Propagadas por Cultivo de Meristemos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 147-150.
5. Biblioteca Digital de la Universidad de Chile. (s.f.). Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Recuperado el 20 de Setiembre de 2012, de Biblioteca Digital de la Universidad de Chile: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apbot-farm2c/evanswc01/27d.html
6. Bolstad, P. V., Mitchell, K., & Vose, J. M. (1999). Foliar Temperature-respiration Response Functions for Broad-leaved Tree Species in the southern Appalachians. *Tree Physiology*, 19, 871-878.
7. Botanica-Online. (2012). Eucalyptus. Recuperado el 12 de Setiembre de 2012, de Botanica: <http://www.botanical-online.com/botanica2.htm>
8. Brown, S. (1997). Los Bosques y el Cambio Climático: El Papel de los Terrenos Forestales como Sumideros de Carbono. XI CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 1(4), 107-121.
9. Calderón, M. &. (2010). Determinación de Biomasa y Contenido de Carbono en Plantaciones Forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito.
10. Cañizares, A., Sanabria, M. E., Rodríguez, D. A., & Perozo, Y. (2003). Características de los Estomas, Índice y Densidad Estomática de las Hojas de Lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) Injertada sobre Ocho Patrones Cítricos. *Revista UDO Agrícola*, 3(1), 59-64.
11. Carr, D. (2000). On the Supposed Changes in Stomatal Frequency and Size with Height of Leaf Insertion. *Annals of Botany*(86), 911-912.
12. Cavaleri, M. A., Oberbauer, S. F., & Ryan, M. G. (2008). Foliar and Ecosystem Respiration in an Old-Growth Tropical Rain Forest. *Plan, Cell and Environment*, 31, 473-483.

13. Centro de Estudios sobre Tecnologías Apropriadas de la Argentina. (1998). Red de Plantas Medicinales del Cono Sur. Recuperado el 06 de Setiembre de 2012, de International Development Research Center: <http://www.angelfire.com/ar/plantasmedicinales/monograf1.html#Nota%20sobre%20el%20uso%20del%20eucalipto%20en%20el%20NE%20de%20Argentina>
14. Chambers, J. Q., Tribuzy, E. S., Toledo, L. C., Crispim, B. F., Higuchi, N., dos Santos, J., y otros. (2004). Respiration from a Tropical Forest Ecosystem: Partitioning of Sources and Low Carbon Use Efficiency. *Ecological Applications*, 14(4), S72-S88.
15. Colmenares A, M. (2002). Estudio del Crecimiento de *Polylepis sericea* Wedd. en el Páramo Venezolano. Tesis, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Departamento de Biología, Mérida.
16. Cronquist, A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. New York: Columbia University Press.
17. Ecured. (s.f.). Transpiración en las Plantas. Recuperado el 06 de Setiembre de 2012, de Página Web Ecured: http://www.ecured.cu/index.php/Transpiraci%C3%B3n_en_las_plantas
18. Esquivel, P. (2007). Flora asociada a plantaciones de Eucalipto en la Provincia del Cusco. Seminario de Investigación, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco - Perú.
19. Estructura Interna de la Hoja. (s.f.). <http://iescarin.educa.aragon.es> gon. Recuperado el 8 de Agosto de 2012, de <http://iescarin.educa.aragon.es/estatica/depart/biogeo/varios/BiologiaCurtis/Seccion%206/6%20-%20Capitulo%2036.htm>
20. Fonseca, I., Gonzales, L., Lopez, R., & R., Z. (1999). Nota Técnica: Influencia de la Salinidad en la Frecuencia y el Tamaño de los Estomas de Seis Ecotipos de *Centrosema pubescens* Benth. Recuperado el 17 de Enero de 2012, de <http://payfo.ihatuey.cu/Revista/v22n3/pdf/pyf12399.pdf>
21. Forest Ecology and Forest Management Group. (s.f.). Tree Factsheet - Genus *Eucalyptus*. Recuperado el 06 de Setiembre de 2012, de Webdocs: <http://webdocs.dow.wur.nl/internet/fem/uk/trees/eucgenf.pdf>
22. Galiano, D. (2011, Noviembre 30). Script para calcular flujo de CO2 Versión 2.1 inédito. Software R, e-mail: jangaliano@gmail.com.
23. Galiano, D. (28 de Abril de 2012, Abril 28). Script para graficar climatodiagramas Versión 1.1. inédito. Software R, e-mail: jangaliano@gmail.com.
24. García, F. J. (22 de Noviembre de 2004). Botánica: Unidad docente de la ETSIAMN. Recuperado el 04 de Setiembre de 2012, de Universidad Politecnica de Valencia: http://www.etsmre.upv.es/varios/biologia/images/Figuras_tema12/Figura12_15.jpg
25. Gola, G., Negri, G., & Cappelletti, C. (1965). *Tratado de Botánica*.

26. Guamaschelli, A., Mantese, A., & Battaglia, A. (2009). Cambios Anatómicos y Morfológicos en Plántulas de *Eucalyptus sp.* en Respuesta a Diferentes Niveles de Luz. Bol. Soc. Argent., 273-285.
27. Guerra, A. (s.f.). Estomas. Recuperado el 20 de Febrero de 2012, de <http://pdf.rincondelvago.com/estomas.html>
28. Hernández, M., Terrazas, T., Delgado, A., & Luna, M. (2007). Los Estomas de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart.ex.Pfeiff) Console (Cactaceae): Variación en su Área de Distribución. Rev. Fitotec. Mex., 30(3), 235-240.
29. Hernández, R. (2007). Transpiración. Recuperado el 24 de Febrero de 2012, de Libro Botánico on Line: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/>
30. Hernandez, R. (2011). Transpiración en las plantas. Recuperado el 23 de Febrero de 2012, de EcuRed: http://www.ecured.cu/index.php/Transpiraci%C3%B3n_en_las_plantas
31. Hernández, R. (2011). Transpiración en las plantas. Recuperado el 23 de Febrero de 2012, de EcuRed: http://www.ecured.cu/index.php/Transpiraci%C3%B3n_en_las_plantas
32. Holgado, M., & Farfán, J. (2006). Introducción a la Biología Vegetal. Cusco - Perú.
33. Honorio, E., & Baker, T. (2010). Manual para el Monitoreo del Ciclo de Carbono en Bosques Amazónicos. Universidad de Leeds, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Lima.
34. Jaramillo, V. (2004). El Ciclo Global del Carbono. En Martínez J. y Fernández A. (Comp.), Cambio Climático: Una Visión desde México, 77-86.
35. Jiménez, E., Vega, J. A., Pérez-Gorostiaga, P., Fonturbel, T., Cuiñas, P., & Fernández, C. (2007). Evaluación de la Transpiración de *Eucalyptus globulus* mediante la Densidad de Flujo de Savia y su Relación con Variables Meteorológicas y Dendrométricas. Boletín del CIDEU, 3, 119-138.
36. Johansen, D. (1940). Plant Microtechnique. New York : Mc Graw-Hill.
37. Kessler, M. (2006). Bosques de Polylepis. Botánica Económica de los Andes Centrales, 110-120.
38. Lallana, V., & Lallana, M. (2003b). Estomas y Transpiración. (digital, Ed.) Recuperado el 20 de Febrero de 2012, de Manual de Prácticas de Fisiología Vegetal: http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/fisiologiaveg/m_didactico/manual_practicas/EstomasTED.pdf
39. Larcher, W. (1977). Ecofisiología Vegetal. Barcelona, España: Omega.
40. Loja, B. (2002). Contribución al Estudio Florístico de la Provincia de Concepción, (Junín): Dicotiledóneas. Tesis para optar el grado de Magíster en

Botánica Tropical con mención en Taxonomía y Sistemática Evolutiva, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Lima.

41. Malhi, Y., & Grace, J. (Agosto de 2000). Tropical Forests and Atmospheric Carbon Dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(8), 332-337.
43. Manual de Plantas Medicinales. (s.f.). Coordinación de Extensión Agrícola. Recuperado el 06 de Setiembre de 2012, de Universidad Nacional Experimental Sur del Lago: http://www.funtha.gov.ve/doc_pub/doc_260.pdf
44. Márquez, C. J. (2009). Caracterización Fisiológica, Físico-Química, Reológica, Nutraceútica, Estructural y Sensorial de la Guanabana (*Annona muricata* L. cv. ELITA). Tesis para optar el Título de Doctor en Ciencias, Universidad de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín.
45. Márquez, C. J. (2009). Caracterización Fisiológica, Físico-Química, Reológica, Nutraceútica, Estructural y Sensorial de la Gunábana (*Annona muricata* L. cv. ELITA). Tesis para optar al Título de Doctor en Ciencias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín.
46. Medina, E., Silva, J., & Castellanos, E. (1969). Variaciones Estacionales del Crecimiento y la Respiración Foliar de algunas Plantas Leñosas de las Sabanas de Trachypogon. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, XXVIII(115/16), 67-82.
47. Meir, P., Grace, J., & Miranda, A. C. (2001). Leaf respiration in two tropical rainforests: constraints on physiology by phosphorus, nitrogen and temperature. *Functional Ecology*, 15, 378-387.
48. Mendoza, W. (julio de 2005). Especie Nueva de *Polylepis* (Rosaceae) de la Cordillera Vilcabamba (Cusco, Perú). *REv. peru biol.*, 12(1), 103-106.
49. Mendoza, W. (2011). Diversidad del Género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes Peruanos. *Rev.peru.biol*, 197-200.
50. Menéndez, J. (28 de Enero de 2007). *Eucalyptus globulus* Labill. Recuperado el 07 de Setiembre de 2012, de Asturnatura.com (en línea): <http://www.asturnatura.com/especie/eucalyptus-globulus.html#descripcion>
51. Metcalfe, D. (2006). Understanding the effects of drought upon carbon allocation and cycling in an Amazonian rain forest. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Edinburgh, School of GeoSciences.
52. Morales, S. (1973). Zonificación ecológica de *Gmelina arborea* Roxb. y *Eucalyptus globulus* Labill. para Perú. Tesis de grado para obtener el título de Magister Scientiae, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Departamente de Ciencias Forestales Tropicales, Turrialba, Costa Rica.
53. Morfología de Plantas Vasculares. (2008). Facultad de Ciencias Agrarias. Recuperado el 06 de Setiembre de 2006, de Universidad Nacional del Nordeste-Argentina: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema13/13-6clasifest.htm>

54. Municipalidad Provincial del Cusco. (Setiembre de 2004). Plan de Desarrollo Provincial Concertado al 2012. Recuperado el 11 de Setiembre de 2012, de Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI: <http://www.municusco.gob.pe/documentos/MUNICIPALIDADELCUSCOPlanProvinciaI.pdf>
55. Municipalidad Provincial del Cusco. (Noviembre de 2004). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos "Pigars". Recuperado el 11 de Setiembre de 2012, de Provincia del Cusco, Municipalidad del Cusco, Selip-Cusco: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/conam/pigarscuzco.pdf>
56. OEA. (1987). Estudio de Casos de Manejo Ambiental: Desarrollo Integrado de un Área en los trópicos Húmedos-Selva Central del Perú. Organización de los Estados Americanos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente., Gobierno del Perú, Washington D.C.
57. ONERN. (1976). Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. ONERN. Lima.
58. Parés-Martínez, J., Arizaleta, M., Sanabria, M., & Brito, L. (2004). Características de los Estomas, Densidad e Índice Estomático y su Variación en Función a la Injertación en *Annona muricata* L. y *A. montana* Madfac. *Bioagro*, 16(3), 213-218.
59. Parra, R. A., Rodríguez, J. L., & Gonzáles, V. A. (1999). Transpiración, Potencial Hídrico y Prolina en Zorzamora bajo Deficit Hídrico. *Terra Latinoamericana*, 17(002), 125-130.
60. Partes del Estoma. (s.f.). <http://iescarin.educa.aragon.es>. Recuperado el 23 de Agosto de 2012, de <http://iescarin.educa.aragon.es/estatica/depart/biogeo/varios/BiologiaCurtis/Seccion%206/6%20-%20Capitulo%2037.htm>
61. Patiño, S. (2005). Manual de Campo para el Estudio de Hojas y Madera Editado para Establecer Efectos de Sequía. PAN-AMAZONIA. Sixth Framework Programme (2002 - 2006).
62. Pérez, J. A., García, E., Enríquez, J., Quero, A., Pérez, J., & Hernández, A. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Téc. Pecu. Mex.*, 42(3), 447-458.
63. Puma, B. (2011). Respiración Foliar en Árboles de *Weinmannia bangii* Rusby y *Weinmannia crassifolia* Ruiz et Pav en el Bosque Nublado de Wayqecha. Seminario de Investigación, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco.
64. R Development Core Team. (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>, Vienna, Austria.

65. Robertson, A. L., Malhi, Y., Farfán, F., Aragao, L. E., Silva, J. E., & Robertson, M. (2010). Stem respiration in tropical forests along an elevation gradient in the Amazon and Andes. *Global Change Biology*, 16, 3193–3204.
66. Salas, J., Sanabria, M., & Pire, R. (2001). Variación en el Índice y Densidad Estomática en Plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Sometidas a Tratamientos Salinos. *Bioagro*, 13(3), 99-104.
67. Toral, M., Manríquez, A., Navarro-Cerrillo, R., Tersi, D., & Paulette, N. (2010). Características de los Estomas, Densidad e Índice Estomático en Secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque*, 31(2), 157-164.
68. Ttito, H. (2008). Evaluación de Cortaderia jubata Stapf "Nihua" (Poaceae) en el circuito Circunvalación-Sacsayhuaman y Flora Circundante. Seminario de Investigación, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco.
69. Turnbull, M. H., Whitehead, D., Tissue, D. T., Schuster, W. S., Brown, K. J., & Griffin, K. L. (2003). Scaling Foliar Respiration in Two Constrasting Forest Canopies. *Funtional Ecology*, 17(1), 101-114.
70. van de Weg, M. J., Meir, P., Grace, J., & K., A. O. (2009). Altitudinal Variation in Leaf Mass per Unit Area, Leaf Tissue Density and Foliar Nitrogen and Phosphorus Content along an Amazon-Andes Gradient in Peru. *Plant Ecology and Diversity*, 2(3), 243-254.
71. Villegas, M. &. (2002). Revisión Xilológica de las Principales Especies del Género *Eucalyptus* L'Herit. cultivadas en Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 105(1), 9-28.
72. Wright, I. J., Reich, P. B., Atkin, O. K., Lusk, C. H., Tjoelker, M. G., & Westoby, M. (2006). Irradiance, Temperature and Rainfall Influence Leaf Dark Respiration in Woody Plants: Evidence from Comparison across 20 Sites. *New Phytologist*, 169, 309-319.
73. Wright, I., Westoby, M., & Reich, P. B. (2002). Convergence towards Higher Leaf Mass per Area in Dry and Nutrient-Poor Habitats has Different Consequences for Leaf Life Span. *Journal of Ecology*, 90, 534-543.
74. Zach, A. (2008). Carbon Release from Woody Parts of Trees along an Elevation Gradient in a Tropical Montane Moist Forest of Southern Ecuador. Tesis para obter el título de Doctorado, Georg-August-Universität zu Göttingen, Facultad de Matemáticas y Ciencias, Göttingen.

ANEXOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- APARTADO POSTAL
N° 921 - Cusco - Perú
- CIUDAD UNIVERSITARIA
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- MUSEO INKA
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- FAX: 238156 - 238173 - 222512
- CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- RECTORADO
Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- LOCAL CENTRAL
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"
Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

EL QUE SUSCRIBE, PROFESOR INVESTIGADOR ASOCIADO AL HERBARIO VARGAS (CUZ).

CERTIFICA:

Que la señorita, **Beisit Luz Puma Vilca**, Bachiller de la Carrera Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ha solicitado a la Dirección del Herbario (CUZ), la determinación taxonómica de dos especies vegetales colectadas en cinco localidades del Valle del Cusco, las mismas al ser diagnosticada utilizando bibliografía especializada y muestras del Herbario, corresponde a las especie: ***Eucalyptus globulus* y *Polylepis racemosa***, cuyas posiciones taxonómicas de acuerdo al Grupo del Sistema Filogenético de las Angiospermas (Angiosperm Phylogeny Group , APG III (2009), es la siguiente:

División : Magnoliophyta (= Angiospermas)
Clase : Magnoliopsida =Tricolpados (Eudicotiledoneas)
Subclase : Rosidae
Orden : Myrtales
Familia : Myrtaceae
Género : *Eucalyptus*
Especie : ***Eucalyptus globulus* Labillardiere**

Nombres comunes: "Eucalipto", Eucaliptus"

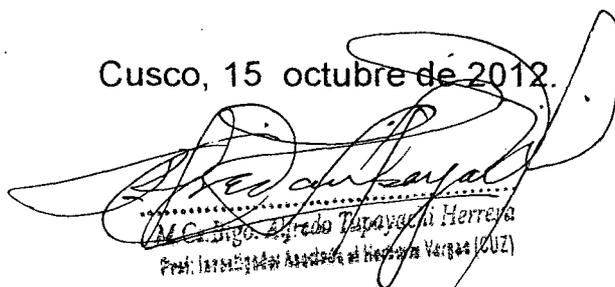
División : Magnoliophyta (= Angiospermas)
Clase : Magnoliopsida =Tricolpados (Eudicotiledoneas)
Subclase : Rosidae
Orden : Rosales
Familia : Rosaceae
Género : *Polylepis*
Especie : ***Polylepis racemosa* Ruiz & Pavon**

Sinonimias: *Polylepis incana* subsp. *icosandra* Bittter, *P. incana* subsp. *micranthera* Bitter, *P. incana* var. *connectens* Bitter, *P. incana* var. *primovestita* Bitter, *P. villosa* H. B. K.

Nombres comunes: "q'euña", q'ehuiña", "queuña"

Se expide la presente certificación, para fines que viera por conveniente la recurrente.

Cusco, 15 octubre de 2012.



Alfredo Tapayachi Herreña
Prof. Investigador Asociado al Herbario Vargas (CUZ)