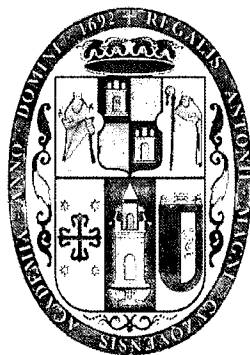


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**"ANÁLISIS DE LA HETEROGENEIDAD AMBIENTAL A PEQUEÑA ESCALA
Y EL PATRÓN ESPACIAL DE *Polylepis sp* EN EL ÁREA DE
CONSERVACIÓN PRIVADA MANTANAY, URUBAMBA – CUSCO"**

Tesis presentada por:

BACH. LIZ BEATRIZ HURTADO CCORIMANYA

Para optar al Título Profesional de Biólogo

Asesor:

M. Sc. WASHINGTON GALIANO SÁNCHEZ

Co-Asesor:

M. Sc. WILFREDO CHÁVEZ HUAMÁN

CUSCO, PERÚ

2014

TESIS FINANCIADA POR LA UNSAAC

“La vida organiza el espacio y lo organiza de manera heterogénea”.

(Margalef, 1982)

“¿Cómo puedo hacer una tesis sobre Ecología?”, preguntó el alumno.

“Observa lo que ocurre a tu alrededor, plantéate preguntas, piensa la manera de responderlas y trabaja en ello durante un tiempo lo suficientemente grande como para que tus preguntas iniciales hayan sido respondidas parcialmente y, sobre todo, hayan derivado en nuevas preguntas a resolver. Cuando termines la tesis te darás cuenta que ésta no es más que un grano de arena en el desierto, que el comienzo de la apasionante carrera en busca del conocimiento. Si al final de la misma eres capaz de seguir planteándote preguntas y, sobre todo, disfrutar intentando resolverlas, sin duda alguna habrá cumplido su misión”.

Respondió el maestro.

DEDICATORIA

*A Livia, Leonardo y Hellen,
Mi familia, mi mayor tesoro.*

*A la memoria de,
Justo Ccorimanya Martínez, mi abuelo.*

AGRADECIMIENTOS

La realización de la tesis de grado, es un paso importante en la vida de un investigador. En mi caso, éste último año ha sido en lo profesional y personal satisfactorio, tanto por los conocimientos y habilidades adquiridos como por la oportunidad de experimentar el trabajo de campo. Ésta tesis no hubiera sido posible sin la colaboración de numerosas personas y quiero tomar esta oportunidad para agradecerles por su apoyo incondicional a lo largo de ésta travesía.

Sin lugar a dudas, a mis padres por la libertad que me han dado para poder dedicarme a aquello que siempre me ha gustado, así como su cariño y todos los esfuerzos que han realizado para poner a mi disposición los medios necesarios para que pudiera conseguirlo. A mi hermana, por su paciencia casi infinita y por acompañarme a campo a pesar que, las circunstancias fueron difíciles, siempre se mantuvo firme. A mis asesores, al **M. Sc. Washington Galiano**, por su tiempo e innumerables consejos; al **M. Sc. Wilfredo Chávez**, por todo el apoyo con el análisis espacial y los conceptos de ecología del paisaje, también he de agradecerle su confianza y paciencia. A los docentes de la facultad de Ciencias Biológicas, por las herramientas y conocimientos brindados para continuar con la tarea de contribuir con la ciencia. Al **Blgo. Rolando Canales**, al **Blgo. Willy Palomino** y al **Dr. José Luis Venero**, por su enseñanza de lo que significa investigar, que va desde la rigurosidad en el análisis de los datos, hasta la ética que debe mantener toda actividad científica, que a buen seguro van a condicionar mi desarrollo futuro como investigadora. Indudablemente a mis amigos: **Wilian, David, Estefany y César**, por aventurarse a campo y compartir momentos agradables aunque, algunas veces el trabajo resultara pesado, siempre han mostrado su disposición plena, mil gracias chicos. A mis amigas: **Marylia, Carmen, Mayra, Flor y Lily**; las que siempre están conmigo, dándome ánimos para seguir adelante. Al señor **Mario Quellca** y familia, por su amable hospitalidad durante nuestra estadía en el bosque de Mantamay.

CONTENIDO

RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN	II
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	IV
OBJETIVOS	V
HIPÓTESIS	VI
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. MARCO TEÓRICO	1
1.1.1. Ecología del Paisaje.....	1
1.1.2. Análisis espacial	2
1.1.3. Escala espacial.....	3
1.1.4. Patrón espacial.....	4
1.1.5. Metodologías para la determinación del patrón espacial	5
1.1.5.1. Métodos estadísticos	6
1.1.5.2. Índices de distribución espacial	6
1.1.5.3. Descripción del software SADIE.....	8
1.1.6. Modelos Geoestadísticos.....	9
1.1.6.1. Interpolación lineal o Kriging simple.....	9
1.1.7. Heterogeneidad Ambiental	9
1.1.7.1. Humedad de suelo.....	10
1.1.7.2. Estructura de dosel arbóreo: Luz	11
1.1.7.3. Profundidad del suelo	11
1.1.7.4. Pendiente	11
1.1.7.5. Exposición	12
1.1.8. Género <i>Polylepis</i>	13
1.1.8.1. Posición taxonómica del género <i>Polylepis</i>	13
1.1.8.2. Evolución.....	14
1.1.8.3. Biología: Descripción Botánica	15
1.1.8.4. Ecología: Distribución Ecológica.....	16
1.1.8.5. Distribución en Sudamérica.....	20
1.1.8.6. Distribución en el Perú	21
1.1.8.7. Conservación del Género <i>Polylepis</i>	23
1.2. ANTECEDENTES	24
CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTUDIO	26
2.1. UBICACIÓN	26
2.2. ACCESIBILIDAD	26
2.3. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	28
2.4. GEOLOGÍA	28
2.5. ECOLOGÍA	29
2.5.1. Zonas de vida	29
2.5.2. Datos meteorológicos	30
2.5.3. Flora	32
2.5.4. Fauna.....	33

2.6.	Unidades del paisaje evaluadas	35
CAPITULO III: MATERIAL Y MÉTODOS		38
3.1.	MATERIAL.....	38
3.1.1.	De campo.....	38
3.1.2.	Gabinete.....	38
3.2.	MÉTODOS	39
3.2.1.	Etapas preliminares.....	39
3.2.1.1.	Cartografía: delimitación de las zonas de estudio.....	39
3.2.1.2.	Visita preliminar	39
3.2.1.3.	Definición de la forma muestral.....	39
3.2.2.	Evaluación en campo.....	40
3.2.2.1.	Distribución de los transectos y puntos de muestreo	40
3.2.2.2.	Medición de la variable biológica	43
3.2.2.3.	Medición de la heterogeneidad ambiental	44
3.2.3.	Aplicación del software SADIE.....	45
3.2.3.1.	Para el nivel de agregación de las variables	47
3.2.3.2.	Para el análisis de covariación espacial global.....	49
3.2.3.3.	Para el análisis de asociación local.....	50
CAPITULO IV: RESULTADO Y DISCUSIÓN		51
4.1.	RESULTADO	51
4.1.1.	Variables biológicas	51
4.1.1.1.	Clases diamétricas encontradas por parche de bosque	51
4.1.1.2.	Especies de <i>Polylepis</i> en el bosque de Mantamay	53
4.1.2.	Heterogeneidad ambiental	53
4.1.2.1.	En el Parche nº 1	53
4.1.2.2.	En el parche nº 2	56
4.1.2.3.	En el parche nº 3	61
4.1.3.	Nivel de agregación obtenido mediante el software SADIE.....	64
4.1.3.1.	Índices de agregación (I_a) y agrupación (V) para el parche nº 1	64
4.1.3.2.	Índices de agregación (I_a) y agrupación (V) para el parche nº 2.....	67
4.1.3.3.	Índices de agregación (I_a) y agrupación (V) para el parche nº 3.....	72
4.1.4.	Análisis de covariación espacial global.....	76
4.1.5.	Análisis de Asociación local	77
4.1.5.1.	Asociación local para el parche nº 1.....	77
4.1.5.2.	Asociación local para el parche nº 2.....	80
4.1.5.3.	Asociación local para el parche nº 3.....	83
4.2.	DISCUSION.....	87
CONCLUSIONES.....		91
RECOMENDACIONES.....		92
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA		93
ANEXOS		

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Índices de aplicación en unidades de muestreo (U. M.).....	7
Cuadro 2: Riqueza y endemismo de especies del género <i>Polylepis</i> en países de Latinoamérica	21
Cuadro 3 : Especies de <i>Polylepis</i> reportadas para Perú.....	22
Cuadro 4: Especies de <i>Polylepis</i> y su estado de conservación.....	23
Cuadro 5: Datos de temperatura promedio mensual y precipitación mensual (1950-2000).....	30
Cuadro 6: Flora del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay	32
Cuadro 7: Relación de aves en el bosque de <i>Polylepis</i>	33
Cuadro 8: Aves especialistas del bosque de <i>Polylepis</i> , según su estado de conservación.....	34
Cuadro 9: Herpetofauna registrada para el bosque de <i>Polylepis</i>	34
Cuadro 10: Mamíferos del bosque de <i>Polylepis</i>	34
Cuadro 11: Totalidad de transectos y puntos de muestreo evaluados por parche de bosque	41
Cuadro 12: Ejemplo de fichero de entrada para SADIE.....	47
Cuadro 13: Estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche nº 1.....	53
Cuadro 14: Estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche nº 2.....	56
Cuadro 15: Estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche nº 3.....	61
Cuadro 16: Índices de agregación y agrupación para el parche nº 1 obtenidos mediante SADIE	64
Cuadro 17: Índices de agrupación para el parche nº 1	65
Cuadro 18: Índices de agregación y agrupación para el parche nº 2 obtenidos mediante SADIE	68
Cuadro 19: Índices de agrupación para el parche nº 2	69
Cuadro 20: Índices de agregación y agrupación para el parche nº 3 obtenidos mediante SADIE	72
Cuadro 21: Índices de Agrupación (V) para el parche nº 3.....	74
Cuadro 22: Covariación espacial de variables para el bosque de Mantabay	76
Cuadro 23: Valores de χ para los análisis de asociación/disociación parche nº 1.....	78
Cuadro 24: Valores de χ para los análisis de asociación/disociación parche nº 2.....	80
Cuadro 25: Valores de χ para los análisis de asociación/disociación parche nº 3.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplos de patrones espaciales: aleatorio, regular, agregado y en gradiente	4
Figura 2: Método del punto unido al transecto.....	39
Figura 3: Distribución de los transectos y puntos de muestreo en los parches.	40
Figura 4: Distribución de transectos en los parches de bosque.....	41
Figura 5: Medición de las distancias del punto a los árboles	43
Figura 6: Metodología para medir el DAP de los árboles de <i>Polylepis</i>	44
Figura 7: Cálculo geométrico de la pendiente.....	46
Figura 8: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche nº 1 del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay.	66
Figura 9: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche nº 2 del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay.	71
Figura 10: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche nº 3 del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay.	75
Figura 11: Mapas de asociación local para el parche nº 1 del bosque de Mantabay.	79
Figura 12: Mapas de asociación local para el parche nº 2 del bosque de Mantabay.	82
Figura 13: Mapas de asociación local para el parche nº 3 del bosque de Mantabay.	85

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Parche nº 1 del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay, Urubamba-Cusco	36
Fotografía 2: Parche nº 2 del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay, Urubamba-Cusco	37
Fotografía 3: Parche nº 3 del bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay, Urubamba-Cusco	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Climatodiagrama del bosque de Mantabay (1950-2000)	31
Gráfico 2: Distribución de la clase diamétrica (DAP) parche 1.....	51
Gráfico 3: Distribución de la clase diamétrica (DAP) parche 2.....	52
Gráfico 4: Distribución de la clase diamétrica (DAP) parche 3.....	52
Gráfico 5: Porcentajes de humedad de suelo para el parche nº1 del bosque de Mantabay	54
Gráfico 6: Profundidad de suelo (cm) para el parche nº1 del bosque de Mantabay	55
Gráfico 7: Porcentajes de cobertura de roca para el parche nº 1 del bosque de Mantabay	55
Gráfico 8: Porcentajes de apertura de dosel arbóreo para el parche 1 del bosque de Mantabay	56
Gráfico 9: Porcentajes de humedad de suelo para el parche nº 2 del bosque de Mantabay	57
Gráfico 10: Profundidad de suelo (cm) para el parche nº 2 del bosque de Mantabay	58
Gráfico 11: Porcentajes de cobertura de roca para el parche nº 2 del bosque de Mantabay	59
Gráfico 12: Porcentajes de apertura de dosel arbóreo para el parche 2 del bosque de Mantabay	60
Gráfico 13: Porcentajes de humedad de suelo para el parche nº 3 del bosque de Mantabay	61
Gráfico 14: Profundidad de suelo (cm) para el parche nº 3 del bosque de Mantabay	62
Gráfico 15: Porcentajes de cobertura de roca para el parche nº 3 del bosque de Mantabay.....	63
Gráfico 16: Porcentajes de apertura de dosel arbóreo para el parche 3 del bosque de Mantabay	63
Gráfico 17: Índices de agregación para el parche nº 1 obtenidos mediante SADIE	65
Gráfico 18: Índices de agregación para el parche nº 2 obtenidos mediante SADIE	68
Gráfico 19: Índices de agregación para el parche nº 3 obtenidos mediante SADIE	73

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 01: Ubicación del Bosque de Mantabay: Área de Estudio.....	27
Mapa 02: Unidades evaluadas (Parches) en el bosque de <i>Polylepis</i> de Mantabay.....	36
Mapa 03: Distribución de transectos en el bosque de Mantabay.....	42

RESUMEN

Durante el mes de Octubre del 2013, se evaluó tres unidades de bosque de *Polylepis* ubicados en Mantamay, Urubamba-Cusco con el objetivo de analizar los patrones espaciales a pequeña escala, del género *Polylepis* y de las variables ambientales, considerándose para éste último las siguientes: humedad de suelo, porcentaje de apertura de dosel arbóreo, profundidad de suelo, porcentaje de cobertura de roca y porcentaje de pendiente. Para este fin, se usó la metodología de los transectos unidos a puntos de muestreo, los datos obtenidos en campo se procesaron con el software SADIE (Análisis Espacial mediante Índices de Distancia) evaluando cada unidad de bosque individualmente. Los resultados del análisis revelaron que *Polylepis* tiene un patrón espacial agregado en las tres unidades trabajadas. Asimismo, las variables ambientales presentaron patrones espaciales complejos, los cuales fueron representados en mapas, mediante técnicas de interpolación lineal, también conocida como Kriging. Una vez obtenidos los patrones espaciales, se realizaron análisis de covariación espacial para detectar asociación o disociación entre los árboles y las variables ambientales. Se determinó que las variables: humedad de suelo, cobertura de roca y profundidad se asocian positivamente a *Polylepis*; mientras que, las variables apertura de dosel arbóreo y porcentaje de pendiente resultaron en una disociación. Ésta asociación también fue representada mediante mapas que facilitaron la interpretación de resultados. Para la evaluación de la variable biológica se midieron los DAP (diámetro a la altura del pecho) de los cuatro árboles más cercanos al punto de muestreo, aplicando el método del punto cuadrante. Además se identificó que para el bosque de Mantamay hay dos especies de *Polylepis*: *P. racemosa* y *P. subsericans*, ésta última distribuida a partir de los 4250m.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años, los ecólogos coinciden que en el ambiente se presentan gradientes notables de luz, humedad, propiedades mecánicas del suelo y en relación a ellos se distribuyen las poblaciones. Entonces, la percepción del espacio pasó de ser homogéneo a ser heterogéneo y ésta heterogeneidad es la que condiciona los patrones de distribución de los organismos. Tanto es así que, algunas especies tienen rangos restringidos de distribución como es el caso de los bosques de *Polylepis* únicamente distribuidos a localidades restringidas de Sudamérica dependiendo básicamente de la distribución de las variables ambientales así tenemos que, la humedad, condiciones de exposición e incluso la perturbación humana, desempeñan un rol relevante en la biogeografía de estos bosques, lo que condiciona su distribución a escala de paisaje. No obstante, el presente estudio se centró en escala de micropaisaje, es decir, a pequeña escala debido a que existe mayor heterogeneidad en las variables ambientales. Por lo que, el bosque de Mantamay, ofrecía estas variaciones y se constituyó como área de estudio para el análisis del patrón espacial del género *Polylepis*.

Pero, ¿qué son los patrones espaciales? y ¿por qué son importantes en ecología? Según Odum, (1972) el patrón espacial, se refiere a la disposición interna de los individuos que componen la población, y puede ser según tres tipos: uniforme, al azar y agregado. Ésta disposición en el espacio, es un “atributo de grupo” (Allee et al. 1949). Es decir, sólo tiene sentido a nivel de población, otros ejemplos de estas propiedades son: la densidad, natalidad, mortalidad, edad, potencial biótico, dispersión, forma y desarrollo. En los últimos años, sin embargo, unido al patrón de las especies, se ha puesto énfasis en el patrón de los factores abióticos e interacciones ecológicas ya que constituyen un papel fundamental en el mantenimiento de la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas (Maestre *et al.* 2008); por lo que, su estudio y análisis es imprescindible para la ecología, desde que la heterogeneidad del espacio condiciona la distribución de los organismos. Si bien, el estudio de los patrones espaciales de una especie, factor abióticos, comunidad o proceso ecológico de interés, por sí mismo no permite establecer que proceso lo determina proporciona información sobre los procesos que han sido importantes en su génesis, además que, suponen un primer paso para diseñar experimentos encaminados a evaluar hipótesis concretas e inferir procesos que actúan sobre una determinada especie y su comunidad biótica.

Entonces en base a la bibliografía, para ésta tesis se ha planteado la hipótesis de que los bosques de *Polylepis* se asocian positivamente a zonas húmedas y con suelos rocosos. Los objetivos fueron, analizar el patrón espacial del género *Polylepis* y de los componentes de la heterogeneidad ambiental: humedad del suelo, apertura de dosel arbóreo, profundidad de suelo, cobertura de roca y porcentaje de pendiente. Una vez obtenidos estos patrones, se contrastaron espacialmente, para afirmar o refutar la hipótesis. Y así, contribuir a la ecología del género *Polylepis* y consecuentemente, optimizar los programas de reforestación y conservación de ésta especie clave para los ecosistemas andinos.

Hoy en día, el Análisis espacial es una ciencia que gracias al avance de la tecnología, desarrolla métodos diferentes y novedosos para describir y evaluar el patrón de distribución de los organismos, factores ambientales y procesos ecológicos, uno de estas técnicas es la utilizada en ésta investigación, con el software SADIE (Perry, 1998). Acrónimo de Análisis Espacial mediante Índices de Distancia, es una herramienta de análisis espacial, entre sus características más resaltantes por las que se eligió trabajar con éste método están: su sencilla base matemática, la utilización de test estadísticos para evaluar la significación de los patrones observados y la posibilidad de representar visualmente los resultados obtenidos a través, de otras técnicas de análisis espacial como interpolación lineal. Además, que permite evaluar la covariación espacial de dos variables en la zona de estudio y generar, asimismo, índices de asociación/disociación local para cada punto de muestreo y que, como sucedía con el patrón espacial, pueden ser representados mediante mapas. Todos estos atributos del software permitieron el desarrollo de la tesis.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La conservación y restauración de bosques de *Polylepis* son imprescindibles para mantener la viabilidad ecosistémica en las regiones andinas, al ser el hábitat de una diversidad de especies endémicas; a manera de ejemplo, tres especies de aves que se hallan en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN: *Cinclodes aricomae* (En peligro crítico), *Leptasthemura xenothorax* (En peligro) y *Anairetes alpinus* (En peligro). Así mismo, la misma lista señala que, las especies de *Polylepis* poseen, en su mayoría, categoría de “Vulnerable” que se refiere a que ésta especie se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre. Siendo *Polylepis subsericans* y *P. multijuga* las de mayor preocupación para el Perú al ser especies endémicas.

Por consiguiente, se propuso esta investigación considerando:

- Comprender las características ambientales en las que prospera el género *Polylepis* y que influyen en su patrón espacial, aportará detalles sobre su ecología.
- Conocido el ítem anterior, se pueden adecuar ambientes más óptimos que permitan su desarrollo en campañas de reforestación y restauración de estos bosques.
- Por último, se propuso esta investigación con el objetivo de promover metodologías y herramientas para el análisis espacial aplicado al campo de la ecología, como el Sistema de Información Geográfica (SIG), el programa SADIE y la técnica Kriging.

OBJETIVOS

GENERAL

- Evaluar los patrones de distribución espacial, a pequeña escala, de los factores bióticos y abióticos que componen el bosque de *Polylepis* de Mantabay, de la localidad de Yanahuara, Urubamba, Cusco; mediante el software SADIE.

ESPECÍFICOS

- Analizar el patrón de distribución espacial de los árboles del género *Polylepis* en el bosque de Mantabay.
- Analizar el patrón de distribución espacial de las variables ambientales: humedad del suelo, apertura de dosel arbóreo, profundidad de suelo, cobertura de roca y porcentaje de pendiente en el bosque de Mantabay.
- Determinar la asociación y disociación de los bosques de *Polylepis* con las variables ambientales.

HIPÓTESIS

*“El patrón de distribución espacial de los árboles de *Polylepis* se asocia con incidencia de luz, suelos más húmedos con altos porcentajes de roca y pendientes medias”.*

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. Ecología del Paisaje

Ciencia que enfatiza el rol que tiene el espacio en la ecología animal y vegetal. El término fue introducido por el biogeógrafo alemán Carl Troll en 1939. Estudia la relación entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos en una variedad de escalas. Combina el enfoque espacial de la Geografía, con el enfoque funcional de la Ecología (las relaciones verticales de materia y energía). Se ocupa explícitamente de la importancia de la configuración del espacio o la forma del paisaje que afectan los sistemas ecológicos, centrándose en a). Las relaciones espaciales entre elemento del paisaje o ecosistemas; b). Los flujos de energía, nutrientes, minerales y especies entre los elementos, c). La dinámica ecológica del mosaico paisajístico a lo largo del tiempo. Turner, *et al.* (2001).

Según Forman, (1995) el paisaje está formado por tres componentes principales:

a) **Estructura:** Es la organización espacial de los elementos del territorio. El mosaico territorial ésta compuesto por: matriz, mancha o parche y corredores, éste modelo contrala los flujos y cambios de los sistemas naturales y de la población.

a.1. **Matriz:** Es el tipo de fondo de cobertura en un paisaje, caracterizado por una capa de alta conectividad; no todos los paisajes tienen una matriz definible.

a.2. **Parche:** Según Turner, et al. (2001), es un área que difiere de sus alrededores en naturaleza o apariencia. Proveniente del inglés “patch”, se define como un área espacialmente homogénea, donde al menos una variable tiene atributos similares, ya sea de la categoría (por ejemplo, parches boscosos) o de valor cuantitativo (edad de los árboles). En consecuencia, los parches adyacentes son diferentes en al menos una variable. La yuxtaposición de parches crea un “mosaico” a nivel regional, donde cada parche puede caracterizarse por sus propiedades estructurales como el área (pequeño, grande), forma (circulo, cuadrado, sinuoso, etc.), por el borde (afilado) y contraste entre parches adyacentes (por ejemplo, alto contraste entre bosques y tierras de uso agrícola). (Fortin & Dale, 2005)

a.3. Corredores: Son franjas relativamente estrechas de un tipo particular que se diferencia de las zonas adyacentes a ambos lados. Conectan parches.

b) Función: Movimiento, flujo de materia y energía a través de la estructura

c) Cambio: Dinámica o transformación del modelo a lo largo del tiempo.

1.1.2. Análisis espacial

Se desarrolla dentro de la Ecología del Paisaje. Engloba un conjunto de técnicas encaminadas a analizar cuantitativamente datos espacialmente explícitos - datos que contienen información sobre su localización en el espacio- (Lengendre & Fortin, 1989). La utilización de este tipo de análisis en ecología y ciencias afines tiene una gran tradición. Ya durante la primera mitad del siglo XX quedó claramente establecido que las distribuciones no aleatorias de los organismos, es la norma más que la excepción tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos (Maestre *et al.* 2008).

Del mismo modo, otros estudios han puesto de manifiesto que la distribución espacial de factores abióticos como la precipitación, los nutrientes y el agua disponible para las plantas sigue complejos patrones espacio-temporales, en ocasiones asociados a distintos organismos (Herrero *et al.* 2006). Todo ello ha permitido el desarrollo de lo que se denomina como *Paradigma Espacial de la ecología* (Tillman & Kareiva, 1997) y que básicamente reconoce la relevancia del espacio y de las estructuras espaciales en el funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad.

En los últimos años, se ha puesto especial interés en el análisis espacial y ha motivado enormes avances conceptuales y metodológicos. Una de las principales razones es que las distribuciones espaciales de los organismos, factores abióticos e interacciones ecológicas; juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la estructura y dinámica de los ecosistemas (Maestre & Escudero, 2008).

El análisis de los patrones espaciales de una especie, factor abiótico, comunidad o proceso ecológico de interés, por sí mismo, no permite dilucidar qué proceso o procesos los están determinando, sin embargo, proporciona valiosa información sobre los factores que han podido ser importantes en su génesis. A partir de ello, se pueden sugerir hipótesis concretas y diseñar experimentos encaminados a evaluarlas. Asimismo, la consideración de los patrones espaciales de los organismos y factores abióticos tiene importantes

implicaciones prácticas para construir y validar teorías ecológicas, mejorar el diseño de experimentos, gestionar especies y hábitats y minimizar el impacto ambiental de actividades como la fertilización de campos agrícolas y la aplicación de pesticidas (Maestre *et al.* 2008).

1.1.3. Escala espacial

Viene a ser otro concepto de vital importancia para el análisis espacial. Se define como la dimensión física de un objeto o proceso en el espacio (Turner, 2001). Su interés en ecología reside en que tanto objetos como procesos ecológicos tienen una escala característica de operatividad y en que un mismo proceso puede generar patrones diferentes a distintas escalas, al ser regulado por diferentes procesos. Por ejemplo, factores ambientales que resultan altamente heterogéneos a pequeña escala, puede aparecer como homogéneos a escalas superiores, como la humedad edáfica entre dos laderas de una misma colina (solana y umbría) (García, 2008).

La importancia del análisis de la escala espacial radica en tres razones principales. En primer lugar, la determinación de la escala característica de patrones y mecanismos ayuda a explicar la relación entre los organismos y el ambiente. Un ejemplo de esta premisa es el estudio de García *et al.* (2001) quienes analizaron la probabilidad de interacción entre aves frugívoras y plantas con frutos, comparando plantas de distintos rodales y observaron que las diferencias principales aparecen entre plantas del mismo rodal. Lo que sugiere que los frugívoros se relacionan con las plantas, en función de “algo” que varía a “escala” de la planta individual, como el tamaño de sus frutos, o la abundancia de posaderos a su alrededor.

La segunda razón importante para analizar la escala es su utilidad para extrapolar el conocimiento ecológico, lo que permite, transferir información a través de las gradientes de escalas o escalamiento (scaling) cuyo fin es, la predicción ecológica (García, 2008).

Y la tercera razón, se relaciona con la aplicabilidad social de la ciencia ecológica. La actividad biológica de la especie humana, y el uso exponencial de los recursos naturales, afectan el resto de la biota a todas las escalas espaciales posibles. Por ello, la conservación de los organismos y los ecosistemas funcionales, y la gestión del uso de recursos naturales, han de estar necesariamente basados en conocimiento ecológico pluriescalar (García, 2008).

En todo caso, se puede concluir que, la escala es un concepto subyacente a cualquier cometido de análisis espacial de datos ecológicos, por su papel como armazón sobre el que se debe segmentar la variación de los fenómenos ecológicos.

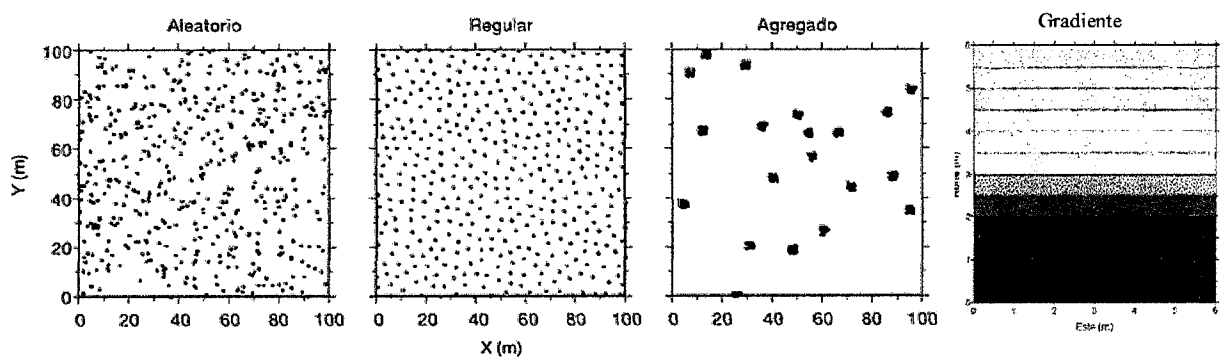
1.1.4. Patrón espacial

Siguiendo a Pielou, (1969) el patrón espacial de una especie se refiere a la disposición interna de sus individuos en una comunidad. Asimismo, Maestre *et al.* (2008) definen al patrón espacial como: “la relación o dependencia espacial existente entre los valores que toma una variable en distintas localidades, y puede también ser usado como sinónimo de heterogeneidad espacial, siempre y cuando la variabilidad en el espacio de una determinada propiedad o proceso ecológico, se encuentre estructurada”.

Así pues, una determinada variable biótica (árboles), abiótica (humedad de suelo, profundidad, luz) o proceso ecológico puede presentar, a grandes rasgos, un patrón espacial agregado, uniforme, aleatorio o en gradiente.

- a) **Patrón espacial al azar:** también denominado aleatorio, ésta disposición es relativamente rara en la naturaleza y tiene lugar donde el medio es muy uniforme y no existe tendencia alguna a agregarse.
- b) **Patrón espacial uniforme:** o regular, podrá ocurrir allí donde la competición de individuos es activa o donde existe un antagonismo positivo que provoca un espaciamiento regular.
- c) **Patrón espacial agregado:** Constituye el tipo más corriente y aún casi la regla cuando se consideran los individuos dispuestos en “manchones” o grupos.
- d) **Patrón espacial en gradiente:** Puede ser considerado un tipo de patrón agregado.

Figura 1: Ejemplos de patrones espaciales: aleatorio, regular, agregado y en gradiente



La percepción de que la distribución de los organismos en el espacio no es aleatoria quedó claramente establecida durante la primera mitad del siglo XX, tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos (Blackman, 1935; Watt, 1947; Ashby, 1948; Wihtford, 1948; citados por Maestre *et al.* 2008).

Odum, (1972) señala que: “la agregación es el resultado de la respuesta a diferencias locales de hábitat, a cambios atmosféricos diarios y estacionales y como consecuencia de procesos regresivos”. De este modo, para éste autor los grupos podrían estar distribuidos al azar, distribuidos uniformemente, o amontonados a su vez con grandes espacios sin ocupar, y los patrones espaciales tendrían q ser cinco: Uniforme, al azar, amontonados uniformemente, amontonados al azar y amontonados agregados.

Para Margalef, (1982) las distribuciones de contagio son tan comunes y expresan un hecho muy general en toda la ecología. La vida organiza el espacio y lo organiza de manera heterogénea. Por tanto, se puede suponer que la presencia de un individuo de una especie aumenta automáticamente la probabilidad de encontrar otros individuos de la misma especie en su entorno.

El interés en el estudio de los patrones espaciales es clave para poder entender las relaciones recíprocas entre los organismos y su ambiente. Por tanto, su estudio permite validar teorías ecológicas y gestionar especies y hábitats.

Hoy en día, existen varias decenas de métodos diferentes para describir y evaluar cuantitativamente el patrón espacial de organismos, factores ambientales y procesos ecológicos y junto a este desarrollo la constante construcción de una base teórica, han permitido mayor comprensión de la relación entre estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales.

1.1.5. Metodologías para la determinación del patrón espacial

Actualmente, los avances en análisis espacial permiten abordar con éxito un sinfín de problemas ecológicos. Con el desarrollo de técnicas y herramientas diseñadas para el análisis de datos espacialmente explícitos. Se tienen técnicas estadísticas y por otro lado, índices espaciales.

1.1.5.1. Métodos estadísticos

La técnica habitual para la determinación del patrón espacial, es comparar la frecuencia real de ocurrencia de grupos de volumen diversos obtenida en una serie de muestras, con una serie de Poisson pudiendo el patrón real desviarse de la distribución de referencia, como consecuencia de una mayor agregación de los individuos o de una distribución regular de los mismos (Condés *et al.* 2012). Por ejemplo, si se toman muestras de tamaño uniforme ubicadas al azar la varianza relativa (varianza/media) es igual a la unidad, en consecuencia cada punto del espacio tiene igual probabilidad de estar ocupado por un individuo, *patrón aleatorio*. Una varianza relativa mayor que la unidad, es indicio de un *patrón agregado*. En el *patrón regular*, la varianza relativa es menor que uno, porque los individuos se reparten más uniformemente en las unidades muestrales (Odum, 1972). Éste método fue utilizado por Tupayachi (2001).

Sin embargo, la aplicación de técnicas estadísticas, aún si se logra un ajuste con alguna distribución, no revela las causas del patrón, pero ayuda a la formulación de una hipótesis cuya comprobación requerirá un nuevo conjunto de datos (Matteucci & Colma, 1982).

1.1.5.2. Índices de distribución espacial

Para el estudio del patrón espacial se han desarrollado muchos índices, que se han ido incorporando a los inventarios para caracterizar la biodiversidad. Estos índices se pueden clasificar, teniendo en cuenta el tipo de datos que utilizan para su cálculo o la metodología empleada. Los métodos basados en la varianza, utilizan datos en unidades de muestreo; métodos basados en cálculos de distancias, requieren de la medida de distancias o ángulos, y técnicas del momento de segundo orden, que requieren para su cálculo datos de la posición de todos los árboles (Condés *et al.* 2012).

1.1.5.2.1. Índices basados en medidas de distancias

Estos índices requieren medir en campo la distancia o ángulo desde un árbol aleatorio al árbol o árboles más cercanos, o desde un punto aleatorio al árbol más cercano o ambas medidas simultáneamente, por lo que se suelen denominar métodos del vecino más cercano. Los índices más comúnmente utilizados dentro de este grupo son:

- **Distancia árbol- árbol:** Clarke and Evans (1954), Skellam, (1952)
- **Distancia punto- árbol:** Pielou, (1959), Eberhardt, (1967).
- **Distancia árbol-árbol y punto árbol:** Hopkins and Skellam, (1954) Byth and Ripley, (1980), Holgate (1965)
- **Distancia árbol- dos árboles:** Holgate, (1965), Batchelker, (1971)

1.1.5.2.2. Índices que requieren conocer las posiciones de todos los individuos

Este grupo de índices son muy útiles al estudiar el patrón espacial a diferentes escalas y es común su utilización para caracterizar el patrón espacial en masas tropicales (Condés *et al.* 2012). Dentro de este grupo el más conocido es la función $K(d)$ de Ripley que evalúa el número medio de árboles alrededor de cada uno de los diferentes árboles en función de la distancia.

1.1.5.2.3. Índices de aplicación en unidades de muestreo

Son índices que se aplican en muestras representativas de la población total y donde se analiza el valor de la varianza de la variable medida, lo que indica la presencia de uno u otro patrón espacial. Alguno de estos índices no tienen requerimiento respecto a la forma o tamaño de las parcelas, otras requieren que sean de la misma forma y tamaño y en último caso requieren que las parcelas sean cuadradas y contiguas (Condés *et al.* 2012). Los índices de este grupo se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1: Índices de aplicación en unidades de muestreo (U. M.)

U. M. necesariamente contiguas	U. M. necesariamente contiguas y cuadradas	U. M. no necesariamente contiguas y cuadradas
<ul style="list-style-type: none"> • Fisher et al., (1992) • David and Moore (1954) • Douglas (1975) • Lloyd (1967) • Southwood (1978) • Morisita (1959) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kershaw (1960) - bloquet quadrat covariance • Hill (1973) – Term local quadrat variance (TLQV) • Perry (1998) Análisis Espacial mediante índices de distancia (SADIE) 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Moran (1950) • Gearly (1954)

Al elegir una de las tantas opciones disponibles, es indispensable tomar ciertos criterios como sugiere Maestre & Escudero, (2008) : “plantear claramente las preguntas a responder con el estudio, así como las hipótesis de trabajo, plantear el muestreo conforme a los objetivos e hipótesis del estudio, explorar los datos antes de analizarlos, entender los fundamentos de los análisis realizados y el funcionamiento del software utilizado y por último analizar los datos con técnicas alternativas de análisis espacial, en cuanto sea posible”.

En conclusión, la elección de una técnica de análisis espacial adecuada dependerá del problema y la hipótesis que se aborda en el estudio, además de los objetivos del mismo.

1.1.5.3. Descripción del software SADIE

Acrónimo del inglés Spatial Analisis by Distance Indices (Análisis Espacial mediante índices de Distancia), es una herramienta de análisis espacial desarrollada por Perry *et al.* (1999) en la Estación Experimental de Rothamsted, Reino Unido.

Inicialmente concebido para el análisis espacial de poblaciones de insectos en campos de cultivo, en los últimos años se ha aplicado con éxito al análisis del patrón espacial de hongos patógenos de plantas, virus vegetales, malas hierbas, herbáceas, nematodos y plántulas de especies forestales. (Turechek & Madden 1999, Perry 1998, Perry *et al.* 1995b, Maestre 2003, Perry 1999, Tejedor, 2009).

Esta herramienta, está diseñada para el análisis de datos espacialmente explícitos en una o dos dimensiones (transectos, superficies). Aunque fue desarrollado para el análisis de datos binarios y variables ordinales, el programa SADIE puede utilizarse también con variables y continuas previamente categorizadas (Perry *et al.* 1999).

Entre las principales características de interés que ofrece el programa SADIE se encuentran: su simplicidad de uso, su sencilla base matemática, la utilización de test estadísticos para evaluar la significación de los patrones espaciales observados y la posibilidad de representar visualmente los resultados, facilitando su interpretación. Además, el programa SADIE tiene en cuenta la localización espacial de los datos, éstos no necesitan seguir ninguna distribución determinada y los resultados obtenidos están condicionados únicamente por la heterogeneidad presente en los datos (Maestre & Quero, 2008).

Una de las funciones del software SADIE, es que permite evaluar estadísticamente los patrones de covariación de dos variables en la zona de estudio que hayan sido tomadas en las mismas coordenadas, estos resultados pueden ser representados gráficamente mediante interpolación lineal o kriging.

1.1.6. Modelos Geoestadísticos

La geoestadística es el conjunto de herramientas estadísticas que permiten describir y caracterizar la continuidad espacial de variables autocorrelacionadas. La autocorrelación espacial se refiere a datos que no son independientes. Un conjunto de datos se encuentra espacialmente autocorrelacionado si el valor de una variable en un punto del espacio está asociado con el valor de la misma variable en puntos vecinos. Emplea funciones para modelar la variación espacial en sitios no muestreados. Con estas técnicas se pueden observar espacialmente la distribución espacial de los patrones agregados de las variables obtenidos mediante el software SADIE, para ésta tesis se utilizó el Kriging simple.

1.1.6.1. Interpolación lineal o Kriging simple

Es el nombre que recibe la técnica de interpolación. Pasó de Krigeage (francés) a Kriging (inglés) (Gallardo & Maestre, 2008). Basado en la estimación de puntos utiliza un modelo de variograma para la obtención de datos, con la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón. Esta técnica permite valorar sitios donde no hay información y así obtener una representación gráfica de todo el área. Lo que distingue al Kriging de otros métodos de interpolación es el papel que juega la agregación de puntos en el espacio. Evita muestras redundantes, ponderando de forma distinta muestras que estén muy cerca entre sí y procedan de la misma región que muestras que estén, por ejemplo, en lados opuestos al punto que queremos interpolar. (Gallardo & Maestre, 2008).

1.1.7. Heterogeneidad Ambiental

La heterogeneidad es sinónimo de variabilidad, cambio en los valores de un determinado descriptor, entonces la heterogeneidad ambiental, es la complejidad resultante de las interacciones entre la distribución de los factores ambientales y la respuesta diferencial de los organismos a esos factores (Milne, 1991). Según esta definición, los organismos pueden vivir en hábitats que son altamente heterogéneos tanto en el espacio como en el tiempo y que a su vez puede verse reflejada en los patrones de distribución y

abundancia de las especies vegetales (Stewart, 2000). De igual forma Margalef, (1982) apunta: “el ambiente presenta gradientes notables de luz, humedad y propiedades mecánicas del suelo, y en relación con ellos se distribuyen las poblaciones”.

La heterogeneidad espacial y temporal es una de las principales características de las zonas en las cuáles la estacionalidad es uno de los factores causantes de la heterogeneidad temporal, cuya diferencias condicionan la coexistencia de las especies vegetales, pues la presencia, duración e intensidad de las precipitaciones se vuelve un recurso limitante (Tongway *et al.* 2004).

La heterogeneidad puede evaluarse a distintas escalas: desde el ámbito regional a la unidad de paisaje. En pocas ocasiones se ha explorado la heterogeneidad espacial a pequeña escala y sus consecuencias en la regeneración vegetal (Maestre, 2002).

En consecuencia, evaluar la heterogeneidad ambiental en relación al patrón espacial de *Polylepis*, permitirá entender el establecimiento, desarrollo y supervivencia de ésta especie. Las variables tomadas en cuenta para la caracterización de la heterogeneidad ambiental en ésta investigación fueron la humedad y profundidad del suelo, la estructura de dosel arbóreo, la pendiente y la exposición.

1.1.7.1. Humedad de suelo

La disponibilidad del agua en el suelo tiene complejos patrones espaciales y temporales a diferentes escalas, que dependen del régimen de lluvias, la topografía, el espesor, textura y estructura del suelo, etc. A escala de parche es de gran interés la heterogeneidad en la humedad de suelo asociado a árboles y arbustos que puede generar efectos de facilitación en caso de nicho de regeneración. A pequeña escala, la heterogeneidad en disponibilidad de agua, combinada con la respuesta diferencial de las semillas y plántulas de las diferentes especies, permite una separación en sus patrones de regeneración (Tongway *et al.* 2004).

Para el caso de los bosques de *Polylepis*, el inicio de la germinación de las semillas requiere una buena cantidad de humedad de suelo, durante el mes de marzo y aporte de las últimas lluvias en el mes de abril, cuando estos requisitos se han cumplido tiene lugar la germinación efectiva (Férrandez *et al.* 2001).

1.1.7.2. Estructura de dosel arbóreo: Luz

Las características de la radiación que llegan a un determinado lugar influyen en numerosos procesos fisiológicos, morfogenéticos y reproductivos de plantas y animales, y afecta de forma muy significativa al funcionamiento general del ecosistema (Kohen *et al.* 1995). La estructura del dosel arbóreo, en particular su cobertura, controla la cantidad, calidad y la distribución espacial y temporal de la luz en el bosque. Ésta, también influye en las intercepción de la lluvia y en los movimientos del aire al interior del bosque, por lo tanto, condiciona las precipitaciones dentro del bosque (Promis & Cruz, 2009).

La luz, tanto en intensidad como en la cualidad del espectro, es un agente regulador de la germinación de las semillas. En general, la luz solar estimula y aumenta la velocidad de germinación de las semillas. Esta respuesta positiva a la luz parece estar favorecida por al menos dos presiones selectivas, por un lado germinar en la superficie del suelo confiere más probabilidades de éxitos que hacerlo enterrado en profundidad; por otro lado, germinar en un claro abierto e iluminado del bosque también aumenta la probabilidad de éxitos respecto a una zona densa y oscura. (Marañón *et al.* 2004)

1.1.7.3. Profundidad del suelo

Es un factor condicionante para el desarrollo de las raíces y la disponibilidad de humedad y nutrientes. Los suelos superficiales son susceptibles a la erosión, dependiendo de la interface entre el suelo y el lecho rocoso. Si este suelo se encuentra parcialmente descompuesto puede haber alguna infiltración de agua y mayor penetración de las raíces. (FAO, 2000)

Para el caso de *Polylepis* Galán de Mera, (1996) señala que los suelos de estos bosques corresponden a Cambisoles basándose en la clasificación de la FAO. Asimismo, en general, *Polylepis* se establece en afloramientos rocosos y por tanto suelos con poca profundidad. (Yallico, 1992)

1.1.7.4. Pendiente

La influencia de la pendiente se manifiesta en los factores edáficos a través de la capacidad de retención de agua y de la sensibilidad frente a la erosión. También influye en relación con la cantidad de radiación recibida, aumentada o disminuida según la

exposición, y con la velocidad de propagación de incendios. Es importante la influencia de la pendiente sobre las actividades humanas a través de la mayor o menor dificultad de acceso. Su interacción con la vegetación se concreta que en pendientes fuertes producen una situación con menor disponibilidad hídrica, más riesgo de escorrentía y por tanto de erosión, también influye la forma de la ladera, que podría ser cóncava, recta o convexa. En las laderas cóncavas habrá mayor profundidad de suelo y más humedad, al predominar el depósito sobre la erosión, al contrario que en las pendientes convexas en las que al haber mayor facilidad de escorrentía, habrá más erosión y suelos más pedregosos y menor capacidad de retención de agua, por lo que le corresponderá una vegetación más xerófila o de menor espesura, como los matorrales secos. (Serrada, 2008).

1.1.7.5. Exposición

Tomando en cuenta las regiones montañosas la exposición solar ejerce una influencia en la presencia o no de la vegetación según la latitud. En la zona tropical la vegetación parece estar diseminada indistintamente influenciado por las zonas montañosas (Strahler, 1989).

En el estudio de Braun, (1997) en el volcán Sajama (Bolivia-latitud 18° Sur), se hace una correlación importante entre exposición solar y bosques de *Polylepis*, determinando que los parches más extensos se desarrollan en laderas que orientan hacia el norte, con mayor radiación. Sin embargo, aún más al sur, en las sierras de Córdoba en Argentina (latitud 30° Sur), similares estudios han determinado que no hay una tendencia marcada de localización de bosques según exposición de laderas (Renison *et al.* 2006).

Dourojeanni, (2008) en su estudio a cerca de poblaciones de *Polylepis* en la región de Ancash (Perú) determinó que un 84% de los bosques tienen una tendencia a laderas orientadas al sur (sureste, suroeste y oeste) mientras que entre el noroeste, norte, noreste y este solo hay el 15% de los bosques.

1.1.8. Género *Polylepis*

Kessler, (2006) describe a los bosques de *Polylepis* así: “representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3500 m y 4400(-5000) m. restringidos a localidades especiales, como laderas rocosas o quebradas. Cumplen un rol central en la ecología altoandina, como hábitat de muchas especies de plantas y animales y como importante fuente de recursos para los habitantes locales. Estos parches de bosques están mezclados con pajonal de puna y otros taxones como *Gynoxys*, *Ribes*, *Senecio* y *Baccharis*”.

Estos bosques son zonas de alto endemismo. Son ejemplos conocidos *Leptasthemura xenothorax* y otras especies amenazadas por reducción de hábitat como *Cinclodes excelsior* y *Anairetes alpinus*, (Servat *et al.* 2002) y el género de aves *Oreomanes*, completamente restringido a bosques de *Polylepis*. (Simpson, 1979)

La distribución actual de los bosques de *Polylepis*, en su mayoría reducidos a pequeños rodales, fue considerada como natural, interpretando laderas rocosas y quebradas como micro hábitats favorables para el desarrollo de *Polylepis* (Simpson, 1979). Sin embargo, autores como Kessler, (2002) señalan que esta distribución es mayormente resultado de miles de años de actividades humanas, de quemadas frecuentes y la extracción de leña para consumo local. Últimas investigaciones como la realizada por Gosling *et al.* (2009) concluyen: “Una abundancia de 0-34% de Polen de *Polylepis* previa a la llegada de los humanos a Sudamérica (>12000 años atrás), lo que indica que *Polylepis* no formaba bosques continuos permanentes y que los factores climáticos pueden impulsar cambios rápidos en la vegetación”. Para los mismos autores, el balance de la humedad negativa, el fuego, el anegamiento y la cobertura de nubes ha de ser fundamental para determinar el hábitat de *Polylepis*.

1.1.8.1. Posición taxonómica del género *Polylepis*

El género *Polylepis* pertenece a la Familia Rosaceae que comprende alrededor de 100 géneros y 3000 especies, con una distribución casi cosmopolita; es distribuida en 4 subfamilias y aproximadamente 15 tribus (Romoleroux, 1992). En la subfamilia Rosoideae, la tribu Sanguisorbeae presenta 14 géneros de gran interés biogeográfico que se distribuye en ambos hemisferios, austral y boreal. Sin embargo, su mayor concentración y centro principal de diversificación, se encuentra en el hemisferio Sur, donde los géneros

Polylepis, *Tetraglochin*, *Margyricarpus* y *Acaena* representan a Sudamérica (Pérez de Paz, 2004)

La posición taxonómica presentada por Kunze *et al.* (2014) es:

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Polylepis*

1.1.8.2. Evolución

Los análisis filogenéticos sugieren que *Polylepis* se desarrolló mediante poliploidización del género arbustivo y herbáceo *Acaena*. (Kerr, 2003) Además que, las especies primitivas *P. multijuga* y *P. pauta* comparten ciertas características con éste género: corteza bastante delgada, hojas grandes con numerosos folíolos y una larga inflorescencia con muchas flores. La evolución de *Polylepis* siguió varios caminos principales: el número de flores se redujeron, las hojas se tornaron más gruesas y a menudo con una densa cubierta protectora de resinas o pelos lanosos y el tamaño de los árboles disminuyó (Simpson, 1979).

En lo que respecta a la ubicación de los bosques de *Polylepis*, se tienen varias teorías, siendo las siguientes:

- Los árboles pueden estar asociados con condiciones rocosas los cuales son calentados durante los días soleados conduciendo a las más altas temperaturas de aire, estas temperaturas altas podrían permitir el crecimiento de los árboles en áreas que serían de otra manera muy fríos para ellos (Koepcke, 1961).
- Según la hipótesis antrópica de Ellenberg, (1979) la distribución de las especies de *Polylepis* se debe a la actividad humana, ya que los hábitats donde se encuentran son sitios protegidos del fuego, el ganado y la tala. En particular, las rocas actuarían como protección evitando que resulten afectados por el fuego.
- Para Fjeldsá & Kessler, (1996) la distribución se debe a las condiciones ambientales más favorables de los hábitats donde se encuentra la especie, ya que

son sitios protegidos de los fríos extremos y la humedad en las grietas de las rocas es mayor; lo que permite que el aire caliente penetre en el suelo facilitando la profundidad de las raíces de los árboles. (Kerr, 2003)

- La inclinación de las rocas influye en el deslizamiento del agua de lluvia que es colectada y depositada en las raíces de los árboles. (Troll, 1995; citado por Aguilar, 1998)
- Cabido & Acosta, (1985) señalan que los valles y quebradas están particularmente calientes y por tal es preferido por los árboles. Esto es debido principalmente a la protección del viento. Además la cantidad de insolación y el tiempo de exposición a los rayos solares varía notablemente de un lugar a otro, en general, en el fondo de los valles estrechos, el sol llega recién muy entrada la mañana y se pone muy temprano por la tarde.
- El crecimiento de *Polylepis* se da preferiblemente donde existen regular condensación de nubes, en las pendientes de las montañas que disminuyen los riesgos de heladas y congelamiento del suelo, a la vez que incrementan las condiciones locales de humedad. (Mendoza & Cano, 2012)

1.1.8.3. Biología: Descripción Botánica

Hábito: En su mayoría son árboles o arbustos que alcanzan tamaños de 1 a 15m, ocasionalmente hasta 25m como ocurre con *Polylepis pauta*. Tienen el fuste torcido pudiendo ser único o varios, con abundante ramificación igualmente torcidas. La copa, generalmente es difusa e irregular. (Simpson, 1979)

- a) Corteza: Consiste en numerosas capas delgadas (ritidomas) que se van cayendo y que a su vez se van renovando constantemente, este mecanismo le sirve para soportar el intenso frío de las heladas nocturnas y la intensa radiación diurna. Se ha pensado que la adaptación de la corteza evolucionó durante la etapa caliente y húmeda del Oligoceno para evitar el crecimiento de musgos y epífitos que eran abundantes en el hábitat de aquel entonces. (Purcell *et al.* 2004)
- b) Hojas: las hojas son compuestas imparipinnadas, con un número variable de folíolos de acuerdo a la especie de 15 a 23 mm de largo, por lo general los folíolos son de color verde claro o verde oscuro brillante en el haz, glabros, y con el envés blanquecino grisáceo o amarillo pubescente, sus nervaduras son bien marcadas. En cualquiera de las especies del género el tamaño de la hoja puede variar de

acuerdo a las condiciones que crece, siendo más grande en terrenos húmedos. (Pretell, 1985) El número de foliolos es un carácter taxonómico útil. (Mendoza & Cano, 2012)

- c) Flores: Las flores de *Polylepis* son incompletas, sin corola ni nectario, se agrupan en racimos con 5 a 10 flores cada uno. (Pretell, 1985) el género *Polylepis* junto con *Tetraglochin*, *Margyricarpus* y *Acaena* tienen la misma morfología polínica. (Simpson, 1979)
- d) Frutos: Es un Aquenio generalmente de unos 5 mm de largo por 4 mm de ancho, la ornamentación varía desde espinas de diferentes tamaños, tubérculos o aletas. En algunas especies el fruto es de gran importancia taxonómica para identificar las especies. (Mendoza & Cano, 2012)
- e) Semillas: en muchos lugares no se encuentra semillas viables en los frutos debido a la dicogamia y polinización anemófila del género por lo que ello ocurre principalmente en árboles aislados. En tales condiciones, solo se consiguen semillas viables en bosques de cierta extensión. (Pretell, 1985)

En lo que respecta a la fitosociología de estos bosques Tupayachi, (2004) señala: “Se da en tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo, son ejemplos de estos, las especies de *Gynoxys pillahuatensis* y *Ribes bachybotrys*, *Escallonia myrtilloides*, *Vallea estipularis*, *Baccharis sp* además de una alta diversidad de vegetación herbácea. Del mismo modo, los árboles de *Polylepis* están cargados de musgos de diversas especies. De acuerdo al trabajo realizado por Galiano (1990) reporta 13 especies de musgos para el bosque de Yanacocha.

1.1.8.4. Ecología: Distribución Ecológica

En regiones húmedas la línea superior de bosques es naturalmente dominada por varias especies de *Polylepis*: *P. pauta* (Ecuador- Bolivia-Perú), *P. sericea* (Venezuela-Bolivia-Perú), *P. lanuginosa* (Ecuador), *P. triacontandra* (Bolivia-Perú) y *P. lanata* (Bolivia), mientras que la especie parcialmente arbustiva *P. pepeii* forma la línea superior de bosques a 3800- 4200 m. en el sur de Perú y Bolivia (Kessler, 2006). En hábitats también húmedos pero usualmente menos expuestos a las lluvias de las vertientes andinas, se encuentran los bosques de *Polylepis reticulata* (Ecuador), *P. weberbaueri* (Ecuador-Perú), *P. racemosa* (Ecuador-Bolivia-Perú) *P. incana* (Ecuador- Perú), esta especie también se extiende hacia los valles interandinas donde también se presenta, *P. subsericans* (Perú)

y finalmente las especies bolivianas, *P. besseri*, *P. subtusalbida* y *P. pacensis*. (Kessler, 2006)

La separación ecológica de las especies de *Polylepis* no es perfecta y en muchas localidades 2 ó 3 especies, crecen una al lado de otra, aunque frecuentemente con ligeras diferencias ecológicas, siendo común la hibridización entre las especies. (Romoleroux, 1992)

Las condiciones ecológicas de estos bosques se pueden caracterizar principalmente en relación a la temperatura, humedad y suelos. Debido a su localización a grandes elevaciones en los andes están sujetos a amplias fluctuaciones de temperatura, entre las heladas nocturnas y las máximas temperaturas diurnas, las cuales representan un estrés enorme para las plantas sobre todo a altitudes por encima de los 4000 m. (Hoch & Komer, 2005). Para Yallico, (1992) en forma natural las queñías no prosperan en áreas de planicies y zonas de poca altitud debido a las temperaturas mínimas extremas y a la acumulación de aire frío. Las temperaturas en las laderas con exposición norte, son más cálidas y por tanto la vegetación está menos propensa a las heladas.

En relación al suelo, *Polylepis* se desarrolla en suelos residuales aparte de areniscas de topografía quebrada. Prefiere suelos ligeramente ácidos y de textura media. (Lao *et. al*, 1990). Asimismo Yallico, (1992) apunta: “La pedregosidad es una forma natural y aleatoria, que a manera de paredes o muros, protege a la planta de vientos desecantes y heladas, proporciona calor en las noches al irradiar el captado en el día y conserva la escasa humedad de esos ambientes en épocas de estío, la pedregosidad es, por tanto, un factor que contribuye a mejorar el sitio con calor y humedad. De la misma manera, Smith, (1977) señala: “Al pie del acantilado se concentran las aguas que escurren sobre la pared, como consecuencia directa de las lluvias o de la escorrentía de las aguas procedentes de las laderas superiores del cerro. Estas aguas proveen mayor humedad a los derrubios debajo de la falla”. La influencia benéfica de las rocas para el bosque es indiscutible.

Con respecto al rango de precipitación es bastante amplio, desde 250 a 2000 mm anuales, distribuidos durante 6 a 7 meses, lo que significa que el género es bastante resistente a la sequía. No obstante, para desarrollar bien requiere buen nivel de humedad de suelo. (Hoch & Komer, 2005)

El crecimiento vegetativo tiene lugar sobre todo en la época húmeda y relativamente caliente, mientras que la floración ocurre principalmente en la época seca y fría. Esto probablemente es una adaptación a una eficiente polinización por viento en la época seca y tiene efectos en las semillas que llegan a estar maduras al comienzo de la época de lluvias para aprovechar al máximo las condiciones favorables. Además de las condiciones climáticas, en muchas zonas altoandinas existen condiciones de suelo desfavorables como bajas temperaturas y aridez que limitan a la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Sobre todo nitrógeno y fósforo parecen ser los factores limitantes para el desarrollo de las plantas. En combinación con las condiciones climáticas, esta falta de nutrientes favorece al desarrollo de hojas coriáceas, espinas y/o compuestos químicos que protegen contra la herbivoría, como fenoles o aceites aromáticos. (Kessler, 2006)

Los bosques de *Polylepis* se establecen en las laderas y son formadores de suelo, ocupan espacios dejados por el retroceso glaciar, en lo que se conoce como solifluxión, proceso geomorfológico donde la roca madre se fragmenta por efectos de cambios bruscos de temperatura (-30 a 20 °C), permitiendo la formación de las morrenas (deslizamientos) que son ocupados por líquenes, musgos y árboles de *Polylepis*. En la Cordillera del Vilcanota los bosques de *Polylepis* y la vegetación circundante ocupan mayoritariamente orientaciones Noreste debido a que la humedad de suelo se mantiene por la acumulación de calor en las rocas, en cambio en orientaciones Suroeste hay mayor radiación lo que conlleva a una alta evapotranspiración, determinando una baja en la cobertura vegetal. (Galiano¹, comunicación personal)

Según un reciente estudio de Gosling *et al.* (2009), que recopila información acerca de la autoecología de *Polylepis*, entre lo más resaltante se resume:

- La temperatura y humedad (insolación) son los factores que condicionan la distribución de *Polylepis* en los andes. Sin embargo, estos factores, a su vez, están condicionados por otros, principalmente altitud, latitud y topografía (pendiente). El límite inferior de humedad (aridez) para *Polylepis* es 100-200mm/año y en dichas regiones el crecimiento radial del árbol se correlaciona positivamente con la precipitación y negativamente con la insolación (debido a los efectos perjudiciales del aumento de la radiación

¹ Galiano Sánchez, Washington (10 de Abril, 2014)

solar sobre la disponibilidad de humedad). Se ha observado que *Polylepis* cambia de reproducción sexual a asexual cuando se somete a baja disponibilidad de humedad y bajas temperaturas. Lo que permite la permanencia del taxón a través de condiciones desfavorables. Donde la precipitación es mayor a 200mm/año la insolación es un factor clave en el control de la localización de los bosques de *Polylepis* y en el crecimiento de los árboles.

- La frecuencia e intensidad de incendios está relacionada con la aridez, la carga de combustible y la fuente de ignición. Hoy en día los incendios se producen principalmente como resultado de la actividad humana, pero también pueden iniciarse naturalmente por rayos. La principal consecuencia del fuego en estos bosques es la reducción de los individuos adultos y por tanto, inhibe la regeneración. (Reninson *et al.* 2002, citado por Gosling *et al.* 2009)
- La humedad de las nubes permite a *Polylepis* sobrevivir en áreas que, de otra manera, tendrían baja disponibilidad de humedad. Ésta alta disponibilidad de humedad debido a la nubosidad persistente, como en el flanco oriental de los Andes, permite la competencia de otros taxones, menos tolerantes a la sequía, por lo que los bosques son más diversos en estas zonas.
- Las dosis altas de radiación solar, especialmente la radiación UV-B y la Radiación Fotosintéticamente Activa (cantidad de radiación que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas), pueden tener un impacto perjudicial sobre el éxito fotosintético de las plantas. Con la elevación de los Andes hay un aumento de la radiación debido a la disminución de la absorción de la atmósfera y la capa de nubes. Se ha demostrado que algunas especies de *Polylepis* han desarrollado adaptaciones frente a éste problema, como es el caso de *Polylepis tarapacana*. (Gonzales *et al.* 2007 citado por Gosling *et al.* 2009) Por tanto, los cambios en los factores que modulan la cantidad de radiación que llega a la vegetación, como la nubosidad, tienen un impacto en el éxito de *Polylepis*.
- En los andes centrales se ha identificado que el clima juega un papel importante en varios de los estados del ciclo de vida de *Polylepis*: i) la germinación de las semillas se da en suelos húmedos y protegidos del viento.

- ii) las semillas que caen dentro del bosque, son más propensos a tener más éxito, en comparación con los que caen fuera del él. iii) las semillas producidas en un hábitat "bien conservado" son susceptibles de producir plántulas que tienen un mejor desempeño que los de hábitat "degradados". Y iv) las bajas temperaturas pueden resultar en un cambio de reproducción sexual a asexual.
- Estas características sugieren que cualquier cambio climático tiene efecto sobre el éxito de *Polylepis* y podría resultar en un cambio rápido de la cantidad de polen en el registro fósil. Condiciones más favorables facilitarían una respuesta positiva, al permitir que los bosques, puedan prosperar y por tanto producir mejores semillas y modificar el clima local dando lugar a un mayor número de plantas en germinación y así expandir el bosque y producir más polen. Mientras que las condiciones menos favorables podrían dar lugar a una rápida disminución de producción de polen, como consecuencia de la reproducción asexual y por tanto disminución de la cantidad de polen en el registro fósil.

Como resultado de las revisiones hechas por Gosling *et al.* (2009) concluyen que los factores climáticos son determinantes para el género *Polylepis* en los Andes. Dado que la máxima abundancia de *Polylepis* es coincidente con los tiempos de condiciones más cálidas y húmedas, mientras que las condiciones más cálidas y secas minimizan el hábitat óptimo, estas poblaciones son extremadamente sensibles a los cambios futuros del clima global, por lo que recomiendan que los planes de plantación establezcan un mosaico de comunidades reproductivamente conectados, que imiten la distribución natural del género.

1.1.8.5. Distribución en Sudamérica

El género *Polylepis* se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, desde el norte de Venezuela hasta el norte de Chile y adyacente hacia Bolivia y Argentina (Galiano, 1990); incluye alrededor de 27 especies según Mendoza & Cano, (2011). No obstante, otros autores como Bitter, (1911); Simpson (1979) y Kessler (1995ab) citan entre 15 a 33 especies de *Polylepis*.

En la primera revisión taxonómica que realiza Bitter, (1911) reconoce 33 especies, 9 subespecies y 18 variedades. En la segunda revisión del género Simpson, (1979) reduce el

número a 15 especies; pero como resultado del estudio filogenético de Kessler & Schmidt-Lebuhn, (2006) que utilizaron caracteres moleculares y morfológicos incrementa el número a 26 especies. Sin embargo, el nombre de *Polylepis pallidistigma* (Bitter) considerada hasta ahora como sinónimo de *P. besseri* (Hieron), perteneciente a la localidad de Azángaro, Muñani, Puno-Perú, incrementaría el número de *Polylepis* a 27 (Kessler, por publicar citado por Díaz, (2013). Siendo ahora el número de especies reportadas para cada país de la siguiente manera:

Cuadro 2: Riqueza y endemismo de especies del género *Polylepis* en países de Latinoamérica

País	Especies	Endemismo
Perú	14	3 endémicos
Bolivia	13	4 endémicos
Ecuador	7	2 endémicos
Argentina	4	1 endémico
Colombia	3	1 endémico
Chile	2	0
Venezuela	1	0

Fuente: (Díaz, 2013)

1.1.8.6. Distribución en el Perú

El área de distribución del género *Polylepis* está caracterizado por la presencia de valles profundos y estrechos, mesetas onduladas en altitudes medias y elevadas, tanto en la Cordillera Oriental y Occidental, así como en la zona interandina que se encuentra entre estas dos Cordilleras. Ocupando quebradas que brindan mayor protección a los vientos y donde las condiciones de exposición al sol varían el sol llega muy entrada la mañana y se pone muy temprano por la tarde. (Cabido & Acosta, 1985)

En cuanto al tipo de suelo donde se establecen estos árboles según Galán de Mera, (1996) corresponden a Cambisoles basándose en la clasificación de la FAO e Inceptisoles de acuerdo a la clasificación de los Estados Unidos, siendo generalmente suelos pardos. Tupayachi, (2005) indica que estos bosques se encuentran sobre suelos crioturbados (suelos sometidos a una secuencia de hielo y deshielo que provoca el desplazamiento de partículas modificando su distribución en las capas de suelo), en áreas con depósitos glaciares, aluviales, coluviales y material residual antiguo; sobre suelos de consistencia franco con un drenaje rápido a muy rápido en las laderas.

La riqueza específica del género *Polylepis* para Perú fue estudiada por diferentes investigadores, entre los que destacan Bitter (1911); Macbride (1938); Simpson (1979); Venero y De Macedo, (1983); Raynel, (1988); Brako & Zarucchi (1993); Fjelds & Kessler (1996); Kessler & Schmidt- Lebuhn, (2006) y finalmente Mendoza, (2011). Todos ellos incluyen entre 10 a 16 especies, las variaciones en los registros pueden ser debidas a que se suele denominar varias especies como una sola, así a *P. weberbaueri*, *P. reticulata* y *P. microphylla* se nombraba como *P. weberbaueri*; a *P. flavipila* y *P. subsericans* se identificaba como *P. subsericans* y a *P. rugulosa*, *P. subtusalbida* y *P. lanata* se denominaba como *P. besseri* (Mendoza, 2010). Otra dificultad surge debido a que es común que las especies de *Polylepis* produzcan híbridos, en respuesta a la ocurrencia de dos a tres especies en la misma localidad (Simpson, 1979).

En el cuadro n° 3 se presentan las especies registradas por las dos últimas revisiones para Perú: Kessler, (2006) y Mendoza & Cano, (2012). El primero registró 14 especies. Mientras que los últimos 18. Sin embargo, en este cuadro sólo se consignan 16 de éstas debido a que *P. reticulata* ésta restringido para Ecuador y *P. canoi* todavía no ésta publicada.

Cuadro 3 : Especies de *Polylepis* reportadas para Perú

Nº	ESPECIES	Altitud(m)	DEPARTAMENTO
1	<i>Polylepis flavipila</i> (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb	3650-4100	HV,LI
2	<i>Polylepis incana</i> Kunth	3000-4200	AN, AP,AY,CU, HU, JU, LI, PA, PU
3	<i>Polylepis incarum</i> (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb	3100-4200	CU, PU
4	<i>Polylepis microphylla</i> (Wedd.) Bitter	3200-4000	AR, CU, LI
5	<i>Polylepis multijuga</i> Pilg.	2200-3600	AM, CA, LA
6	<i>Polylepis pauti</i> Hieron.	1800-4000	AY, CU, LI
7	<i>Polylepis pepeii</i> B.B Simpson	3900-4500	AY, CU, PU, SM
8	<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.	2900-4000	AN, PA, AY, CA. CU, HU, JU, LI, LL, PA
9	<i>Polylepis rugulosa</i> Bitter	3000-4600	AR, MO, TA
10	<i>Polylepis sericea</i> Wedd.	2000-4100	AN, CU, JU, LL
11	<i>Polylepis subsericans</i> J.F Macbride	2900-4900	AP, AY, CU
12	<i>Polylepis tarapacana</i> Phil.	4200-4800	TA
13	<i>Polylepis triacontandra</i> Bitter	3500-3900	PU
14	<i>Polylepis weberbaueri</i> Pilg.	2500-4200	AN, CA, LA, LI, PI
15*	<i>Polylepis lanata</i> (Kuntze) M. Kessler & Schmidh-Leb	2900-4100	AP, AY, CU
16*	<i>Polylepis tomentella</i> Weddell	3500-4500	AP, AR, AY

FUENTE: Mendoza & Cano, (2012). Del n° 1 al 14 Kessler (2006). * Especies incluidas por Mendoza & Cano, (2012).

En el cuadro anterior, se enlistan las especies de *Polylepis* reportadas para el Perú, con los rangos altitudinales y distribución departamental: AY: Ayacucho, CU: Cusco, JU: Junín, HV: Huancavelica, LI: Lima, AN: Ancash, AP: Apurímac, PA: Cerro de Pasco, Pu: Puno, AR: Arequipa, AM: Amazonas, CA: Cajamarca, SM: San Martín, LA: Lambayeque, HU: Huánuco, LL: La Libertad, MO: Moquegua, TA: Tacna

1.1.8.7. Conservación del Género *Polylepis*

De todas las especies encontradas en Perú, tres son endémicas *P. flavipila*, *P. multijuga* y *P. subsericans*. Solamente en las regiones de Tumbes, Ica, Loreto e Ucayali y Madre de Dios no hay reporte de *Polylepis*. (Mendoza & Cano, 2012). Un gran porcentaje de las especies están concentradas en un rango altitudinal de 3000 a 4000m., siendo *Polylepis subsericans* registrada a mayor altitud 4900 (Tupayachi, 2005) y la especie registrada a menor altitud es *P. pauta* a 1800 m. en la Cordillera de Accanacu región Cusco. (Mendoza & Cano, 2011)

Según el mapa forestal del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) (1996) los bosques de *Polylepis* ocupan una superficie aproximadamente de 937 km² (0.07%) del territorio peruano. En el cuadro n° 4 se presentan las especies de *Polylepis* y su estado de conservación, en base a la Lista Roja de Especies amenazadas de Fauna y Flora silvestre elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

Cuadro 4: Especies de *Polylepis* y su estado de conservación

Especie	Categoría	Sub categoría
<i>Polylepis incana</i> Kunth	Vulnerable (VU)	A1acd
<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pavo	Vulnerable (VU)	A1c
<i>Polylepis microphylla</i> (Wedd.) Bitter	Vulnerable (VU)	B1ab(iii)
<i>Polylepis multijuga</i> Pilger	Vulnerable (VU)	B1+2c, D2
<i>Polylepis subsericans</i> J.F. MacBride	Vulnerable (VU)	A1acd, B1+2c
<i>Polylepis pepeii</i> B.B. Simpson	Vulnerable (VU)	A1c
<i>Polylepis rugulosa</i> Bitter	Vulnerable (VU)	A1c
<i>Polylepis weberbaueri</i> Pilger	Vulnerable (VU)	A1acd
<i>Polylepis pauta</i> (Bitter) Hieron	Vulnerable (VU)	A1c
<i>Polylepis tarapacana</i> Phil	Casi amenazado (NT)	-
<i>Polylepis tomentella</i> Wedd	No evaluado (NE)	-
<i>Polylepis besserii</i> Hieron	No evaluado (NE)	-
<i>Polylepis sericea</i> Wedd.	No evaluado (NE)	-
<i>Polylepis flavipila</i>	No evaluado (NE)	-

Fuente: IUCN (2013) Red List of Threatened Species. Version 2013.2.

1.2. ANTECEDENTES

Aguilar, (1998): Evaluó el potencial forestal del bosque de *Polylepis* en Mantamay-Yanahuara. Fueron evaluadas 33 parcelas de 1000 m² desde un rango altitudinal de 3850 a 4100 msnm. La parcela con mayor volumen se encuentra a 3850m de altitud con 78,93 m³ y la parcela de menor volumen a 4100 de altitud con 3.47 m³. Estas diferencias tienen sus explicaciones en la variación de los factores ambientales, fundamentalmente por altitud, las condiciones de exposición y las características del suelo. El bosque presenta en promedio 115 individuos/parcela, determinando un distanciamiento relativo de 2.9 x 2.9 m.

Cuellar & Calvo, (2001): Determinaron el patrón espacial de *Polylepis microphylla* Weddel (Rosaceae) en las microcuencas de Chacán y Huaccoto sub cuenca del río Huatanay. Utilizaron la metodología del vecino más cercano (Krebs, 1989) y llegaron a la conclusión de que el patrón espacial de *Polylepis* en ambas microcuencas es agregado y es fuertemente influenciado por las condiciones ambientales, siendo un parámetro importante el porcentaje de materia orgánica presente en el suelo, el tipo de suelo en ambas microcuencas resultó ser Franco Arenoso.

Tupayachi, (2001): Realizó un estudio fitosociológico comparativo en dos núcleos boscosos de *Polylepis*: Quellococha - Vizcachanayoc Prov. de Urubamba, Cusco. Determinando el patrón espacial ajustando su distribución a una distribución de Poisson y una Binomial Negativa obteniendo que, los bosques de *P. besseri* se distribuyen de manera aleatoria pero con una clara tendencia al amontonamiento y los bosques de *P. subsericans* más bien tienen un patrón aleatorio con una tendencia a la uniformidad. Además indica que, *P. besseri* prefiere ecosistemas entre los 3000-4200 m que posean suelos más ricos y profundos y contrariamente *P. subsericans* que habita a partir de 4250 a 4300 m de altitud.

Maestre, (2003): Analizó los patrones espaciales de los factores bióticos y abióticos en una estepa semiárida en una provincia de España. El estudio se llevó a cabo en una parcela experimental de 50x50m, la cual se subdividió en mallas de 5x5, 2.5x2.5 y 1.25x1.25 con el objetivo de evaluar el efecto del tamaño de la unidad de muestreo. Utilizó la técnica SADIE e identificó un patrón de agregación significativo para todas las especies vegetales evaluadas, que se manifiesta especialmente en las mallas de mayor resolución. Además, determinó asociaciones positivas y negativas entre los patrones evaluados.

Herrero, Quero, & Zamora, (2006): Durante 2004 y 2005 utilizaron la metodología SADIE para detectar los patrones espaciales en la supervivencia de dos especies arbóreas. El estudio se realizó en Granada, España. Además, cuantificaron la heterogeneidad espacial de las variables ambientales en tres unidades de paisaje: bosque autóctono, pinar de repoblación y matorral pionero. Detectaron una gran heterogeneidad ambiental a pequeña escala en la mayoría de las variables ambientales estudiadas. En cuanto al patrón espacial de la supervivencia, en 2004 hubo patrones aleatorios, mientras que en el 2005 se presentó un patrón agregado en la repoblación.

Tejedor, (2009): Determinó la distribución espacial de *Amelanchier ovalis* (ROSACEAE) en una provincia de España. En el estudio se utilizaron los índices de distancia obtenidos mediante el programa SADIE. Los resultados mostraron que *A. ovalis* está relacionado negativamente con los lugares húmedos y positivamente con una cobertura de especies leñosas que los protege, presentando un modo de distribución en función de la orientación, con una mayor variabilidad en orientaciones de solana (sur), con respecto a laderas de umbría (norte). Mediante el índice de agregación obtenido con el programa SADIE, se confirma que las poblaciones presentan mayoritariamente una distribución agregada.

ECOAN (Asociación Ecosistemas Andinos): Desde el año 2003, esta institución propicia el uso racional y sostenible de los bosques de *Polylepis*, mediante campañas de sensibilización sobre la conservación y uso sostenible. Además, anualmente reforesta varios bosques de la cordillera del Vilcanota entre ellos Mantamay. Mediante el proyecto, "Reserva Comunal de los Bosques de Polylepis de la Cordillera del Vilcanota" estableció varias Áreas de Conservación Privada (ACP) de bosques de *Polylepis* en la cordillera del Vilcanota las cuales son promovidas por las mismas comunidades campesinas, dueños y administradores de las ACPs. Es así que en el año 2010, el Ministerio del Ambiente reconoció el Área de Conservación Privada Mantamay mediante resolución Ministerial N° 073-2010-MINAM, del 06 de mayo del 2010, cuyos propietarios figuran la comunidad campesina Asociación de Productores San Isidro Cusibamba.

CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTUDIO

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Geográficamente, el bosque de Mantamay se ubica:

Proyección UTM. Datum WGS 84. Zona 18L, entre las coordenadas

X: 809434 Y: 8540115 Noreste

X: 806750 Y: 8536295 Suroeste

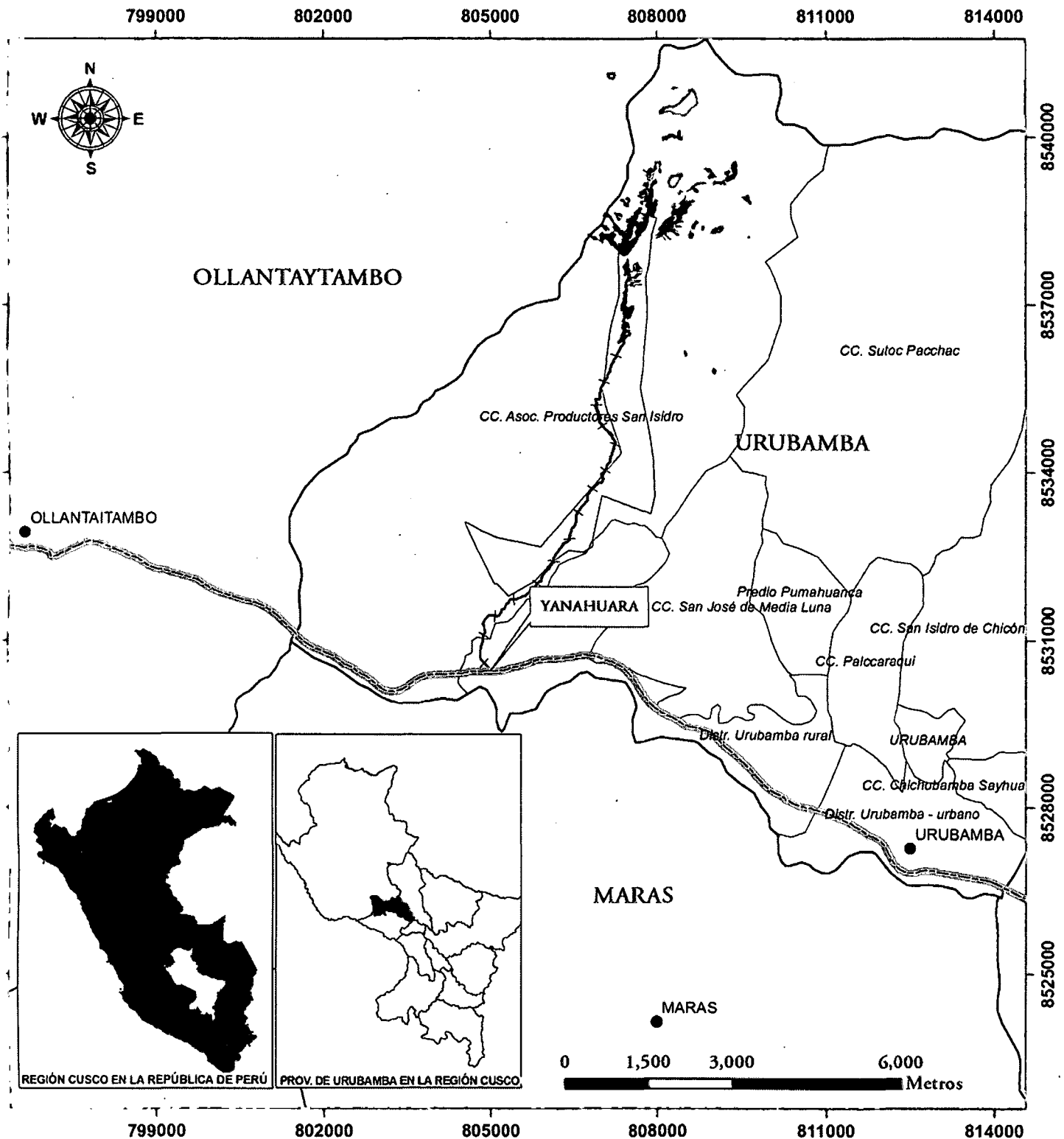
Con un área de 96 ha, a una altitud entre los 3900 a 4600 msnm. Se destaca la presencia del nevado Pumahuanca (punto alto a 5350 msnm) Fotografía n° 1 (Pág.36). (Tupayachi, 2004)

POLÍTICA

Ubicado en el departamento de Cusco, provincia y distrito de Urubamba, sector de Yanahuara, Comunidad Campesina Asociación de Productores San Isidro Cusibamba. En el año 2010, el Ministerio del Ambiente decretó mediante Resolución Ministerial N° 073-2010-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2010) el Área de Conservación Privada Mantamay que comprende 365 hectáreas dentro de las cuales se encuentra el bosque de *Polylepis* (MAPA AE-01)

2.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad al área de estudio es a través de la carretera asfaltada Cusco-Urubamba-Yanahuara, para continuar por una carretera afirmada hasta la zona de Quishuar; luego se continúa por un camino de herradura hasta la laguna Auroraycocha, aproximadamente a 4 horas de camino; a 9 km de la localidad de Yanahuara.



LEYENDA

- Centros urbanos
- CC. Comunidades Campesinas
- Camino de herradura
- Vía asfaltada
- Área de estudio Bosque de Polylepis
- Lagunas
- Límite Comunal
- Límite Distrital
- ACP Mantabay

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS: HETEROGENEIDAD AMBIENTAL A PEQUEÑA ESCALA Y PATRÓN ESPACIAL DE *Polylepis* sp EN EL BOSQUE DE MANTABAY, URUBAMBA- CUSCO

MAPA: **ÁREA DE ESTUDIO**

UBICACIÓN	TESISTA:	ESCALA:	MAPA N° AE-01
DISTRITO: Yanahuara	Bach. Liz Beatriz Hurtado Cocómaya	1:100,000	
PROVINCIA: Urubamba	ASESORES: M.Sc. Washington Galiano Sánchez M. Sc. Wilfredo Chávez Huamán	PROYECCIÓN: UTM WGS 84; L 18S Fecha: Noviembre, 2013	
CUSCO- PERÚ	FUENTE: Carta Nacional Digitalizada 27r, Imagen Satelital Digital Globe, COFOPRI		

2.3. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Urubamba y alrededores se localizan en el borde Suroeste de la Cordillera Oriental y el límite con el Altiplano. Las rocas que afloran en la zona de estudio son metamórficas del Paleozoico inferior, rocas vulcano-sedimentarias del Grupo Mitu (Permo-Triásico), e igualmente rocas de edad Meso-Cenozoicas y depósitos cuaternarios. (INDECI, 2006) La configuración física varía desde moderadamente suave a muy empinada. (Tupayachi, 2004)

La microcuenca de Mantabay tiene una longitud total de 3.5 km aproximadamente hasta su origen en las confluencias de las quebradas Aruray Q'ocha y Chanochico; su ancho promedio es de 450 m y su dirección predominante es de NE a SW. (Tupayachi, 2004)

2.4. GEOLOGÍA

Los grupos presentes en el área de estudio, citados desde el más antiguo hasta el más reciente, son los siguientes:

- a. **Grupo Mitu: (Pms-C)** Aflora desde los 3200m, hasta las nacientes de la quebrada, por encima de los 4000 m de altitud. (Tupayachi, 2004) Se trata de rocas volcánicas constituida por brechas, aglomerados y coladas de basaltos, riolitas e ignimbritas. Estas rocas volcánicas, se intercalan con rocas sedimentarias (conglomerados y areniscas cuarzosas), caracterizándose por su color rojo violáceo. La edad del grupo data del Pérmico medio al triásico inferior. (INDECI, 2006).
- b. **Intrusivos pérmicos: (Pg-r)** INDECI (2006) en su informe sobre el Estudio de Mapa de Peligros de la ciudad de Urubamba, señala esta categoría geológica en el ámbito de estudio a partir de los 4400 m.
- c. **Depósitos aluviales: (Q-al)** Rellenan el fondo de la quebrada, formado por clastos y bloques de rocas volcánicas y sedimentarias provenientes del grupo Mitu, como una matriz arenosa, formando en su desembocadura un enorme cono aluvial, siendo el más grandes en comparación a otras quebradas. (Tupayachi, 2004)

2.5. ECOLOGÍA

2.5.1. Zonas de vida

Las zonas de vida presentes en el área de estudio son dos: páramo muy húmedo Subandino Subtropical y bosque húmedo Montano Subtropical, en base al Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995), se detallan las características de estas zonas:

a. *Páramo muy húmedo Subandino Subtropical (pmh-SaS)*

Geográficamente, esta zona de vida ocupa las partes orientales de los andes entre los 3900 y 4500 m.s.n.m. La biotemperatura media anual máxima es de 6.9 °C, y la media anual mínima, de 4.6 °C. En cuanto al promedio máximo de precipitación total por año es de 1088.5 milímetros y el promedio mínimo, de 513.4 milímetros. Según el diagrama de Holdridge, se ubica a esta zona de vida en la provincia de humedad: PERHÚMEDO.

La configuración topográfica está definida por áreas bastante extensas, suaves a ligeramente onduladas y colinadas, con laderas de moderado a fuerte declive hasta presentar en muchos caso afloramientos rocosos. Con respecto a los suelos, son relativamente profundos, de textura media, ácidos, con predominio de materiales calcáreos.

La vegetación está constituida por una abundante mezcla de gramíneas y otras hierbas de hábito perenne. Entre los géneros dominantes se tiene: *Festuca*, *Calamagrostis*, *Stipa*. Las especies forestales se encuentran formando bosques residuales, es el caso del bosque de *Polylepis* y *Escallonia*.

b. *Bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS)*

Se distribuye a lo largo de la región cordillerana de Norte a Sur entre los 2800 y 3800 m.s.n.m. y a veces llega hasta los 4000. La biotemperatura media anual máxima es de 13.1 °C y la media anual mínima, de 7.3 °C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1154 milímetros y el promedio mínimo, de 498 mm.

El relieve es predominantemente empinado, conforma el borde o parte superior de las laderas que enmarcan a los valles interandinos. Presenta suelos relativamente profundos, arcillosos, de reacción ácida, tonos rojizos a pardos.

La vegetación se reduce a relictos de bosques homogéneos como de *Escallonia*, *Polylepis*. O pequeños bosques heterogéneos constituidos por especies de los géneros *Gynoxis*, *Polylepis*, *Berberis*, *Senecio*, *Baccharis*, etc.

2.5.2. Datos meteorológicos

La estación meteorológica de SENAMHI-Urubamba, es la más cercana a la zona de estudio. Sin embargo, ésta estación se encuentra a 2863m, mientras que el bosque de Mantamay a 4000m por lo que se optó por datos del Worldclim.

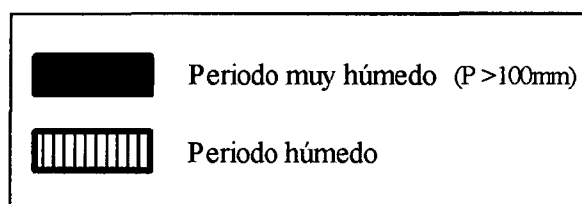
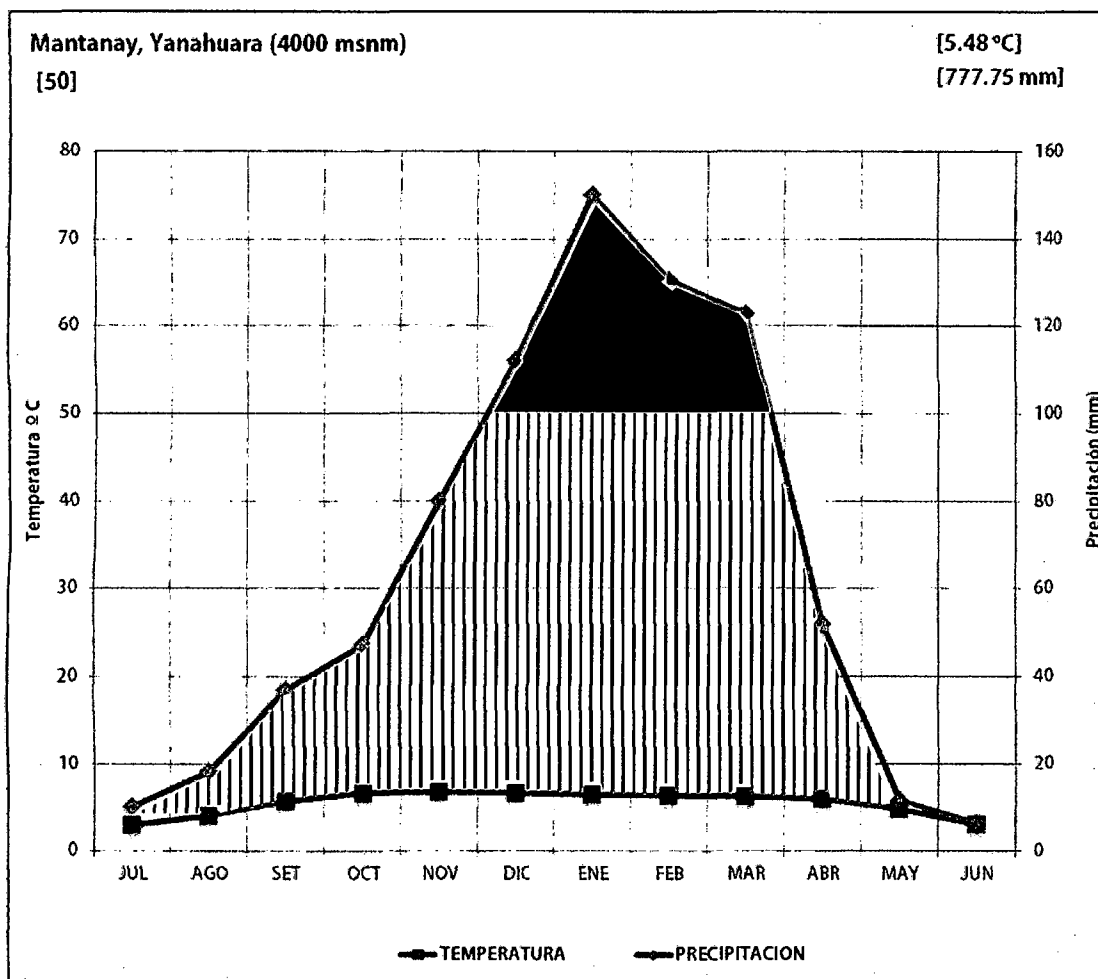
Worldclim es un conjunto de capas de clima global con una resolución de pixel de 1 kilómetro cuadrado. Los datos pueden ser utilizados para el mapeo y modelado espacial en un SIG o con otros programas. Las mencionadas capas, fueron sistematizadas por Hitmans *et al.* en representación de la Universidad de California. Los datos de temperatura y precipitación corresponden al periodo de 1950 al 2000 (Hijmans *et al.*, s/f) y se generaron en base a monitoreo de instituciones como CIAT (International Center for Tropical Agriculture) Rainforest, CRC, NatureServe, CRIA, y otros. Para el climatodiagrama correspondiente al bosque de Mantamay se descargaron las capas de precipitación mensual y temperatura promedio mensual de la página web del WorldClim.

Cuadro 5: Datos de temperatura promedio mensual y precipitación mensual (1950-2000)

	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Enero	6.43	150.00
Febrero	6.38	130.50
Marzo	6.30	122.75
Abril	6.00	52.00
Mayo	4.78	11.50
Junio	3.08	6.25
Julio	2.98	10.25
Agosto	4.03	18.25
Setiembre	5.68	37.00
Octubre	6.68	47.25
Noviembre	6.78	80.00
Diciembre	6.70	112.00
Media anual	5.48	
Total anual		777.75

Fuente: WorldClim - Global Climate Data

Gráfico 1: Climatodiagrama del bosque de Mantabay (1950-2000)



El clima en el bosque de Mantabay es húmedo a lo largo del año. Durante los meses de Diciembre a Marzo, se torna aún más húmedo con precipitaciones de más 100mm. En los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto se tienen los registros más bajos de precipitación. El promedio anual de precipitación es 777.74mm. Respecto a la temperatura, el promedio anual es de 5.48 °C y que disminuye durante los meses de Mayo a Agosto condicionando el periodo de secas en ésta zona, por lo que se puede notar en el climatodiagrama su ausencia.

2.5.3. Flora

Por definición, las diferentes especies de *Polylepis* son árboles dominantes en las formaciones boscosas sin embargo, hay un gran número de especies arbóreas y arbustivas asociadas con ellas (Kessler, 1995). Este número disminuye desde las zonas más bajas y húmedas hacia aquellas más altas y secas. La flora en el bosque de Mantabay se tomó a partir del trabajo de Tupayachi, 2004 y Díaz, 2013.

Cuadro 6: Flora del bosque de *Polylepis* de Mantabay

FAMILIA	ESPECIE	HÁBITO
ALSTROEMERACEAE	<i>Bomarea dulcis</i> (Hook.) Beauverd	Herbáceo
ASTERACEAE	<i>Ageratina azangaroensis</i> R.M. King & H. Rob.	Herbáceo
	<i>Baccharis incarum</i> Weddell	Árbol
	<i>Gynoxys nitida</i> Muschl.	Semileñoso
	<i>Mutisia cochabambensis</i> Hieron	Arbustivo
	<i>Mutisia acuminata</i> Ruiz & Pav.	Arbustivo
	<i>Senecio bolivarianus</i> Cuatrec.	Herbáceo
	<i>Senecio hastatifolius</i> Cabrera	Semileñoso
	<i>Senecio hyoseridifolius</i> Weddell	Voluble
	<i>Senecio panticallensis</i> Cabrera	Semileñoso
	<i>Senecio peruensis</i> Cuatrec.	Herbáceo
	<i>Senecio rufescens</i> (Bonpl.) Cuatrec.	Herbáceo
	<i>Senecio rhizomatus</i> Rusby	Herbáceo
	<i>Senecio serratifolius</i> (Meyen & Walp.) Cuatrec.	Herbáceo
<i>Werneria apiculata</i> Schultz. Biop.	Herbáceo	
<i>Werneria caespitosa</i> Weddell	Herbáceo	
CARYOPHYLLACEAE	<i>Pycnophyllum molle</i> Remy	Herbáceo
	<i>Silene genovevae</i> Bocquet	Herbáceo
CYPERACEAE	<i>Carex pichinchensis</i> Kunth	Herbáceo
ERICACEAE	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC.	Semileñoso
EPHEDRACEAE	<i>Ephedra rupestris</i> Benth.	Arbustivo
GENTIANACEAE	<i>Halenia umbellata</i> (Ruiz & Pav.) Gilg.	Herbáceo
GROSSULARIACEAE	<i>Ribes brachybotrys</i> (Wedd) Jancz.	Arbustivo
JUNCACEAE	<i>Luzula gigantea</i> Desv.	Herbáceo
LOASACEAE	<i>Caiophora</i> sp. C. Presl	Herbácea
ONAGRACEAE	<i>Fuchsia apetala</i> Ruiz & Pav.	Herbáceo

OROBANCHACEAE	<i>Bartsia lydiae</i> Sylvester	Herbáceo
PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora trifoliata</i> var. <i>trifoliata</i>	Voluble
POACEAE	<i>Calamagrostis antoniana</i> Griseb.	Herbáceo
	<i>Calamagrostis minima</i> (Pilger) Tovar.	Herbáceo
	<i>Calamagrostis vicunarum</i> (Weddell) Pilger.	Herbáceo
	<i>Calamagrostis intermedia</i> (J. Presl.) Steud.	Herbáceo
	<i>Calamagrostis rigida</i> (Kunth) Trin. ex Steud.	Herbáceo
	<i>Festuca dolichophylla</i> J. Presl. <i>Festuca hieronymi</i> Hack.	Herbáceo Herbáceo
ROSACEAE	<i>Polylepis racemosa</i> Ruiz & Pav.	Arbóreo
	<i>Polylepis subsericans</i> J.F. Macbr.	Arbóreo
RUBIACEAE	<i>Galium corymbosum</i> Ruiz & Pavo	Herbáceo
URTICACEAE	<i>Urtica magellanica</i> Juss. ex Poir.	Herbáceo

Fuente: Tupayachi 2004. Díaz 2013. En base al Sistema de Clasificación APG III

2.5.4. Fauna

La fauna del bosque de Mantamay es bastante diversificada, especialmente en lo que se refiere a la avifauna con 65 especies registradas para los bosques de *Polylepis* (Venero², comunicación personal). El cuadro 7 muestra la relación de aves con este tipo de bosques.

Cuadro 7: Relación de aves en el bosque de *Polylepis*

FAMILIA	ESPECIE	Relación con bosques de <i>Polylepis</i>
FURNARIIDAE	<i>Asthenes urubambensis</i>	Relacionada
FURNARIIDAE	<i>Cinclodes aricomae</i>	Estrechamente relacionada
FURNARIIDAE	<i>Leptasthenura xenothorax</i>	Endémica
FURNARIIDAE	<i>Phacellodomus striaticeps</i>	Relacionada
GRALLARIIDAE	<i>Grallaria andicolus</i>	Relacionada
THRAUPIDAE	<i>Oreomanes fraseri</i>	Especialista
THRAUPIDAE	<i>Xenodacnis parina</i>	Estrechamente relacionada
THRAUPIDAE	<i>Saltador aurantirostris</i>	Especialista
TROCHILIDAE	<i>Aglaeactis castelnaudii</i>	Estrechamente relacionada
TROCHILIDAE	<i>Chalcostigma stanley</i>	Estrechamente relacionada
TROCHILIDAE	<i>Pterophanes cyanoptera</i>	Estrechamente relacionada
TYRANNIDAE	<i>Mecocerculus leucophrys</i>	Relacionadas
TYRANNIDAE	<i>Anairetes alpinus</i>	Especialista

² Venero Gonzales José Luis, (03 de Mayo, 2014)

De igual forma se tiene los registros de aves especialistas (cuadro n° 8) según el estado de conservación en el que se encuentran:

Cuadro 8: Aves especialistas del bosque de *Polylepis*, según su estado de conservación

FAMILIA	ESPECIE	ESTADO DE CONSERVACIÓN
FURNARIIDAE	<i>Cinclodes aricomae</i>	EN (En peligro)
FURNARIIDAE	<i>Leptasthenura xenothorax</i>	EN (En peligro)
FURNARIIDAE	<i>Leptasthenura yanacensis</i>	NT (Casi amenazado)
THRAUPIDAE	<i>Oreomanes fraseri</i>	NT (Casi amenazado)
TYRANNIDAE	<i>Anairetes alpinus</i>	EN(en peligro)

Fuente: Díaz 2013. Revisado en IUCN 2013. Red List of Threatened Species. Version 2013.2.

Díaz, (2013) registró la herpetofauna y mastofauna para la zona de estudio, utilizando el criterio de clasificación basado en el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (International Commission on Zoological Nomenclature, 2012)

Cuadro 9: Herpetofauna registrada para el bosque de *Polylepis*

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
BUFONIDAE	<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo común
HEMIPHRACTIDAE	<i>Gastrotheca marsupiata</i>	Chéccla
TELMATOBIIDAE	<i>Telmatobius marmoratus</i>	Kayra o rana
COLUBRIDAE	<i>Tachymenis peruviana</i>	Machajhuay
GYMNOPHTHALMIDAE	<i>Proctoporus bolivianus</i>	Lagartija

Fuente: Díaz, 2013

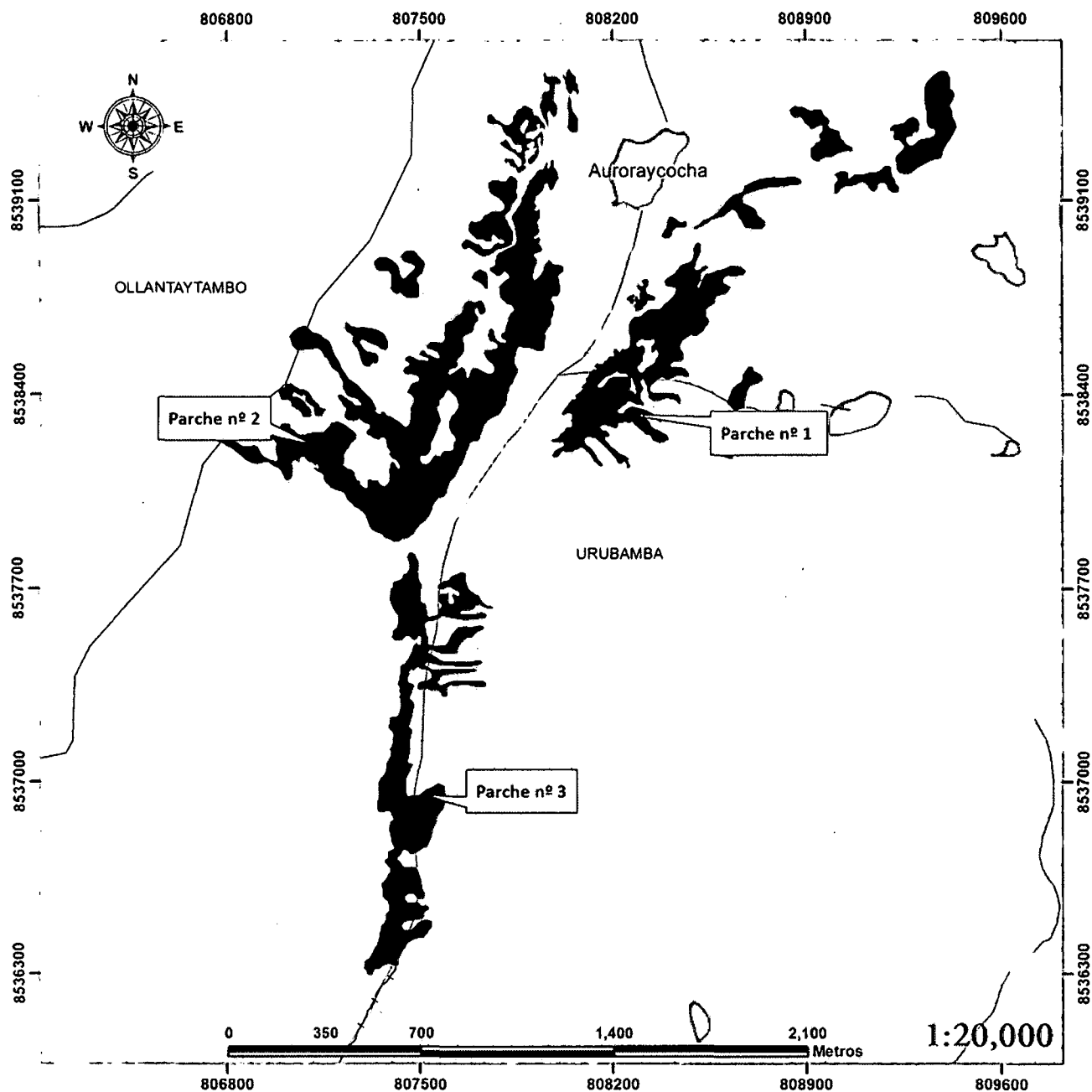
Cuadro 10: Mamíferos del bosque de *Polylepis*

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
CANIDAE	<i>Pseudalopex culpaeus</i>	Zorro
CERVIDAE	<i>Hippocamelus antisensis</i>	Taruca o ciervo andino
CERVIDAE	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca
CHINCHILLIDAE	<i>Lagidium peruanum</i>	Vizcacha
FELIDAE	<i>Puma concolor</i>	Puma
MEPHITIDAE	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrino

Fuente: Díaz, 2013

2.6. Unidades del paisaje evaluadas

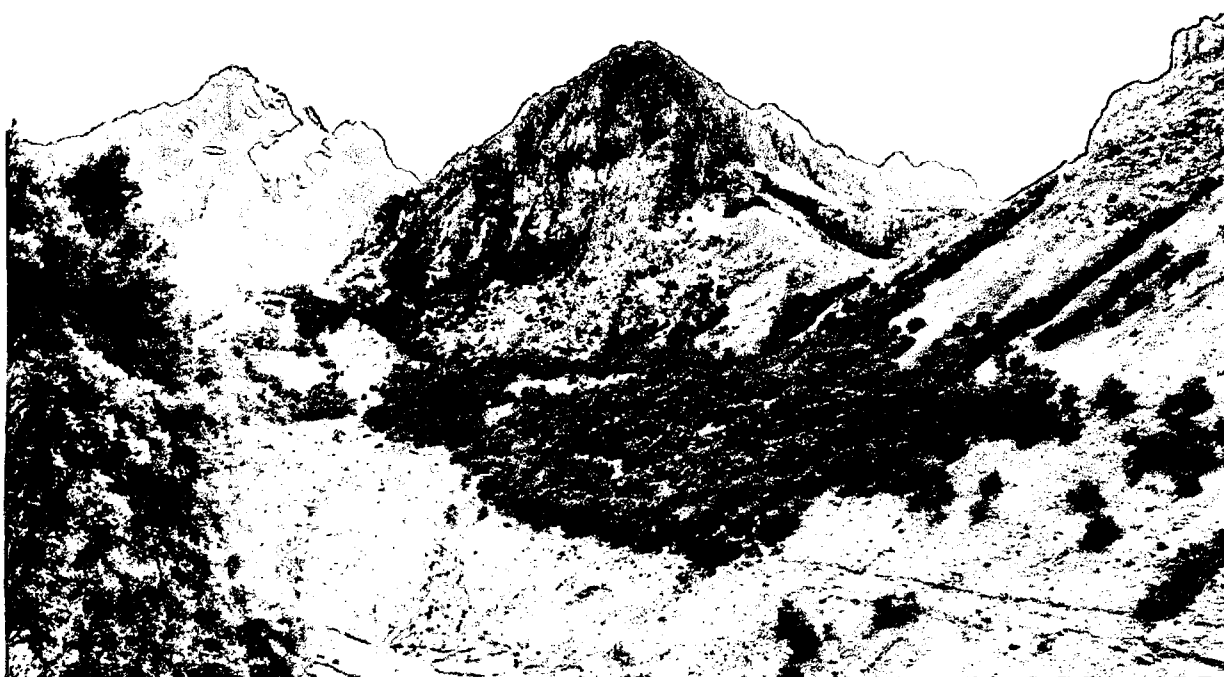
Según la cartografía se dividió el bosque de *Polylepis* de Mantamay en tres unidades, denominadas como parches.



LEYENDA	
•	Puntos de muestreo
	Lagunas
	Bosque de Polylepis
	Ríos
	Camino de herradura
	Curvas de nivel
	Límite distrital

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO			
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS					
TESIS: HETEROGENEIDAD AMBIENTAL A PEQUEÑA ESCALA Y PATRÓN ESPACIAL DE <i>Polylepis</i> spp EN EL BOSQUE DE MANTANAY, URUBAMBA- CUSCO					
MAPA: PARCHES DE BOSQUE DE <i>Polylepis</i>					
UBICACIÓN		ASESORES:		Escala:	
CITYTUO Yanahuara		M. Sc. Washington Galiano Sánchez M. Sc. Wilfredo Chávez Huamán		1:20,000	
PROVINCIA		TESISTA:		PROYECCIÓN:	
Urubamba		Bach. Liz Beatriz Hurtado Ccorimanya		UTM WGS 84; L 18 S.	
Cusco- Perú				Fecha:	
				Noviembre, 2013	
FUENTE: Elaboración propia en base a Imagen Satelital Digital Globe					
				MAPA N° PB-02	

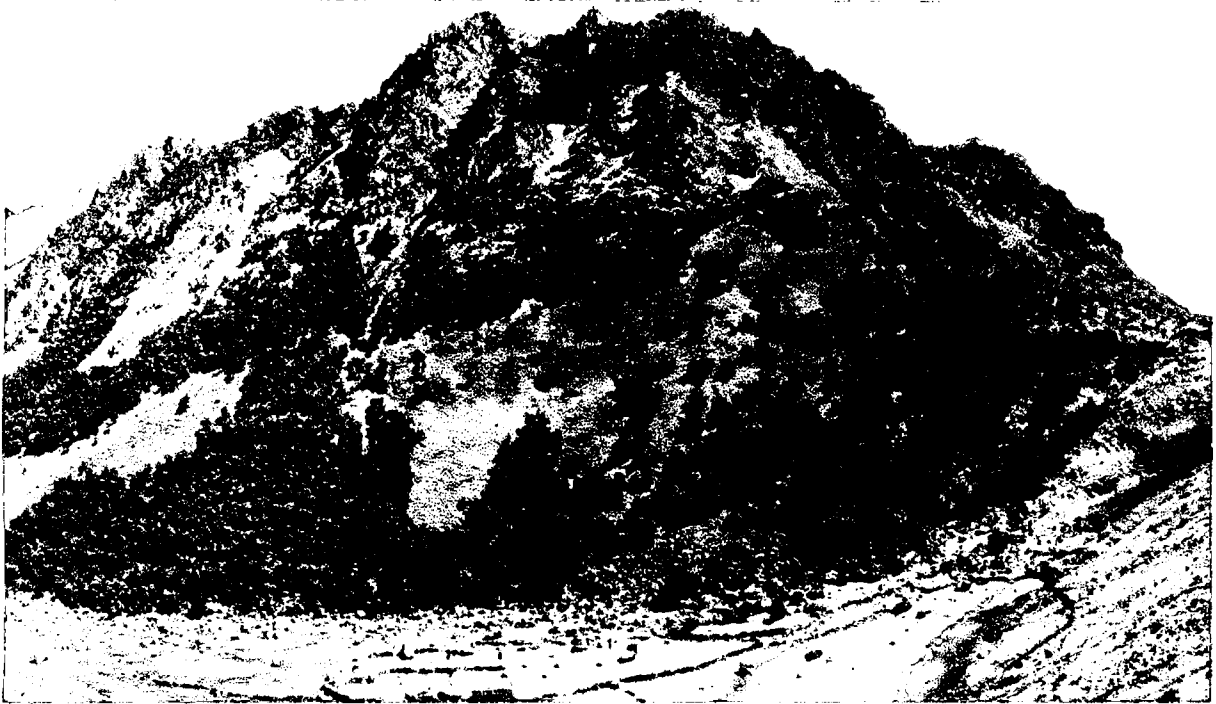
Parque de bosque n° 1: Orientado hacia el Noreste, es el tercer parque en extensión, con 15 ha. Compuesto principalmente por la especie *Polylepis racemosa*. Presenta una densidad de árboles de 253 indv/ha, la más baja en comparación a los otros dos parques evaluados y además baja cobertura de roca y de especies acompañantes.



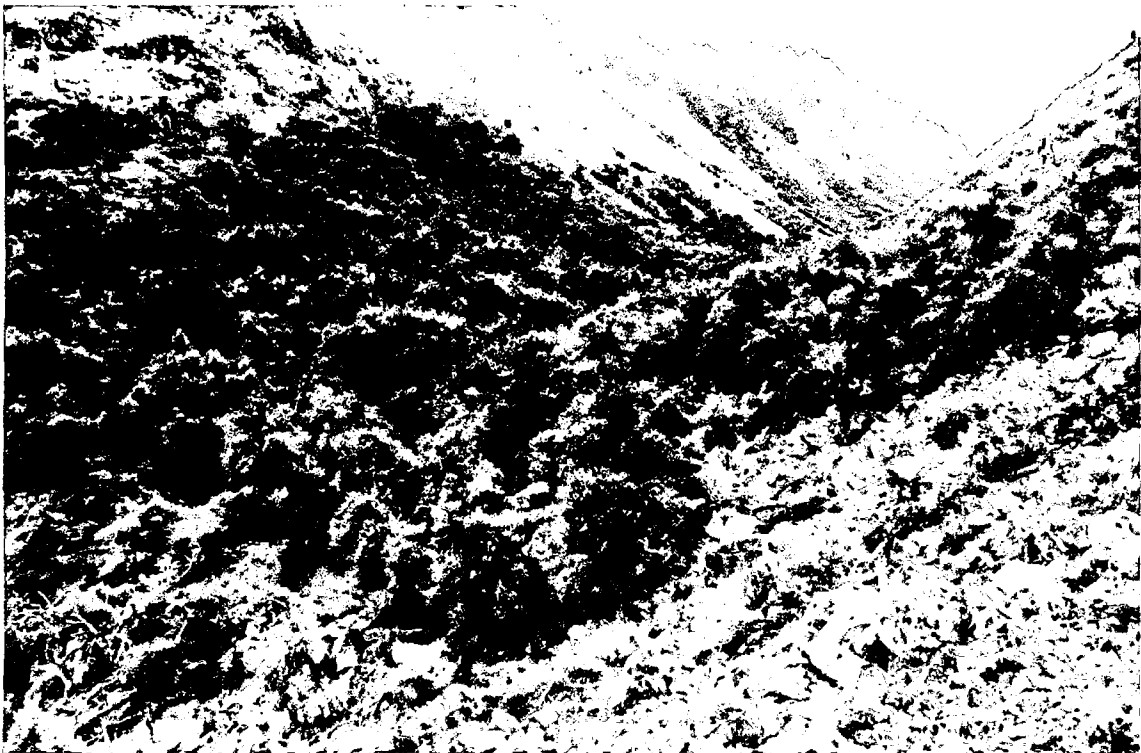
Fotografía 1: Parque n° 1 del bosque de Polylepis de Mantamay, Urubamba-Cusco

Parque de bosque n°2: Orientado mayoritariamente hacia el Noreste. Es el parque más extenso con 37 ha. Con pendientes de 3% y algunas zonas de más de 60%. Ésta compuesto por dos especies: *P. racemosa* y *P. subsericans*, ésta última se encontró a mayor altitud (4250 m). Con una abundancia de árboles jóvenes y especies acompañantes de los géneros *Gynoxys*, *Ribes*, *Solanum*, *Urtica*, entre las más representativas. Con una densidad promedio árboles de 441 indv./ha.

Parque de bosque n° 3: Orientado hacia el Norte, con 19.5 ha. con pendiente bajas de menos de 30%. Tiene una alta densidad arbórea de 502 indv/ha. La principal especie que compone este parque es *P. racemosa*. De igual importancia es señalar que, este parque es el más afectado por el efecto de borde al tener una conformación alargada y estar expuesto a perturbaciones, al ser atravesado por la vía de uso turístico que conduce hacia el abra de Lares.



Fotografía 2: Parche n° 2 del bosque de Polylepis de Mantabay, Urubamba-Cusco



Fotografía 3: Parche n° 3 del bosque de Polylepis de Mantabay, Urubamba-Cusco

CAPITULO III: MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. De campo

- ✓ Sistema de Posicionamiento Global GPS Garmin etrex vista HcX
- ✓ Distanciómetro láser Leica A6
- ✓ Higrómetro para suelo “Soil pH and Moisture Tester”
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Lente fotográfico “ojo de pez”
- ✓ Trípode
- ✓ Brújula de marcha
- ✓ Cintas métricas
- ✓ Cuerda
- ✓ Varilla de metal
- ✓ Libreta de campo

3.1.2. Gabinete

- ✓ Laptop
- ✓ Bibliografía especializada

Programas utilizados

- ✓ Software ArcGis 10.1
- ✓ Software SADIEShell v2.0
- ✓ Software N_AShell v1.0
- ✓ Software Gap Light Analyzer 2.0 (GAP)
- ✓ Software Golden Software Surfer 10
- ✓ Software Microsoft Excel 2010
- ✓ Software Microsoft Word 2010

3.2. MÉTODOS

La metodología se dividió en tres etapas: la etapa preliminar que constituye todas las actividades previas a la evaluación en campo; la etapa de campo, correspondiente a la toma de muestras y parámetros evaluados y por último, la etapa de aplicación del software.

3.2.1. Etapa preliminar

3.2.1.1. Cartografía: delimitación de las zonas de estudio

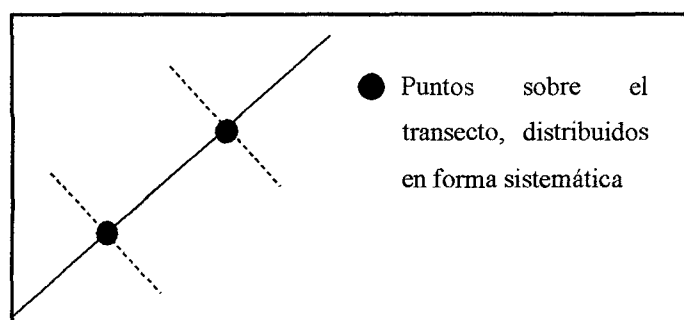
El área de estudio se encuentra en el sector de Yanahuara, del distrito de Urubamba, por lo que se recurrió, para la cartografía, a la carta nacional digitalizada, correspondiente a la zona 27r. De aquí, se levantó información sobre curvas de nivel, cotas, cuerpos de agua y ríos. Sin embargo, las unidades de estudio se obtuvieron de la digitalización de una imagen satelital Digital Globe 2013 de alta resolución provista por Google Earth. Cargada y georeferenciada la imagen (coordenadas X,Y) en el software ArcGis 10.1, se mapearon los contornos de todas las áreas de bosque sobre la imagen satelital, de éstas, se consideraron las áreas de mayor extensión y se nombraron como: parche n° 1; el parche n° 2 y parche n°3.

3.2.1.2. Visita preliminar

La visita preliminar al bosque de Mantamay, corroboró los parches mapeados. Además, se observó el estado de los mismos, en lo respectivo a efecto de borde, conservación, tamaño de los árboles y distanciamiento entre individuos.

3.2.1.3. Definición de la forma muestral

Figura 2: Método del punto unido al transecto



En vista que la investigación se valdría del software SADIE la primera propuesta de muestreo debía incluir unidades discretas (cuadrados) no obstante, este muestreo reducía la posibilidad de un muestreo significativo del parche de bosque. Por lo cual, se eligieron los

transectos (Matteucci & Colma, 1982), unidades que también admite el software. A los transectos se añadió el punto como unidad de muestreo, que según Ramírez, (2006) unidas ambas técnicas permite recolectar más rápidamente información en campo.

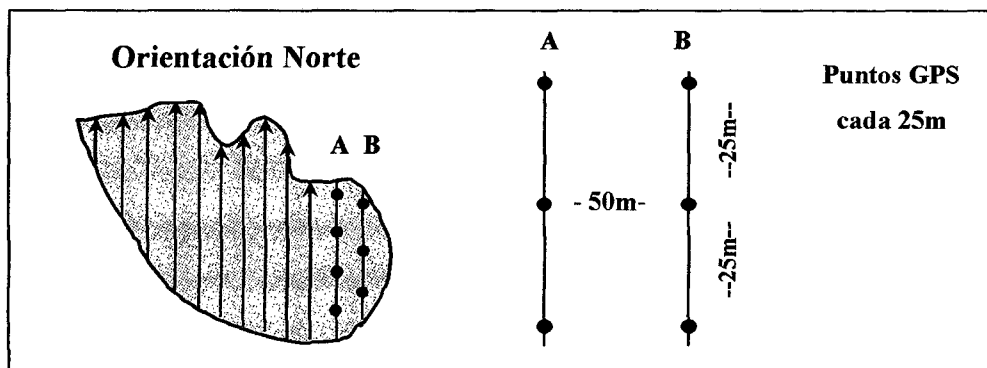
3.2.2. Evaluación en campo

3.2.2.1. Distribución de los transectos y puntos de muestreo

Cada uno de los parches mapeados constituyó un área independiente a ser evaluado y en los que se repitió la metodología que se detalla: se inició el transecto al borde del parche. Utilizando una cuerda, se tendió el transecto hacia el interior del bosque, orientado siempre al Norte, con la utilización de la brújula. El primer punto de muestreo coincidió a los veinticinco (25) primeros metros, del borde hacia el interior del bosque, aquí se tomaron las coordenadas GPS y las variables necesarias para el estudio. A partir de éste punto, se volvió a contar 25 metros más para el segundo punto de muestreo, de tal manera que, el segundo punto estaría ubicado a 50 metros del borde y el tercer punto a 75 metros. Así sucesivamente, hasta llegar al otro extremo del parche. Para el segundo transecto, se separó 50 metros del primer transecto y se siguió la misma metodología.

Se ha sugerido por distintos autores que las dimensiones a tomar en cuenta, debiera ser entre dos y cinco veces mayor que el tamaño del proceso o fenómeno bajo estudio. (O'Neill *et al*, 1998) Según este criterio si se estudia árboles de *Polylepis*, el distanciamiento de 25m entre puntos de muestreo, pareció el más adecuado, además que reafirma que la investigación se realizó a pequeña escala.

Figura 3: Distribución de los transectos y puntos de muestreo en los parches.



El mapeo y cálculo de las áreas de los parches de *Polylepis* en la zona de Mantamay, mediante el software ArcGis, dio como resultado un área aproximada de 96 hectáreas de

bosque. Pero para el estudio sólo se consideraron 71 ha distribuidas en los parches de mayor extensión. Así, el número de transectos y puntos de muestreo evaluados por parche se detalla en el siguiente cuadro:

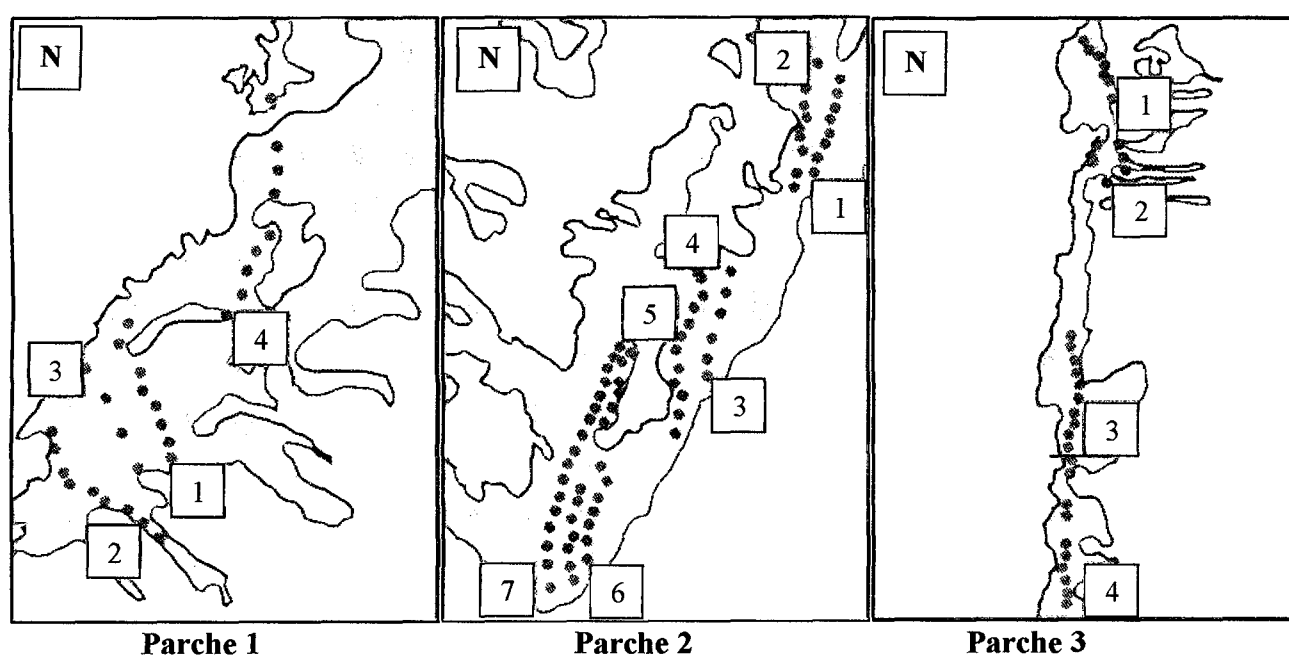
Cuadro 11 : Totalidad de transectos y puntos de muestreo evaluados por parche de bosque

	Nº de transectos	Nº de puntos de muestreo
Parche 1	4	30
Parche 2	7	72
Parche 3	4	34
Total	15	136

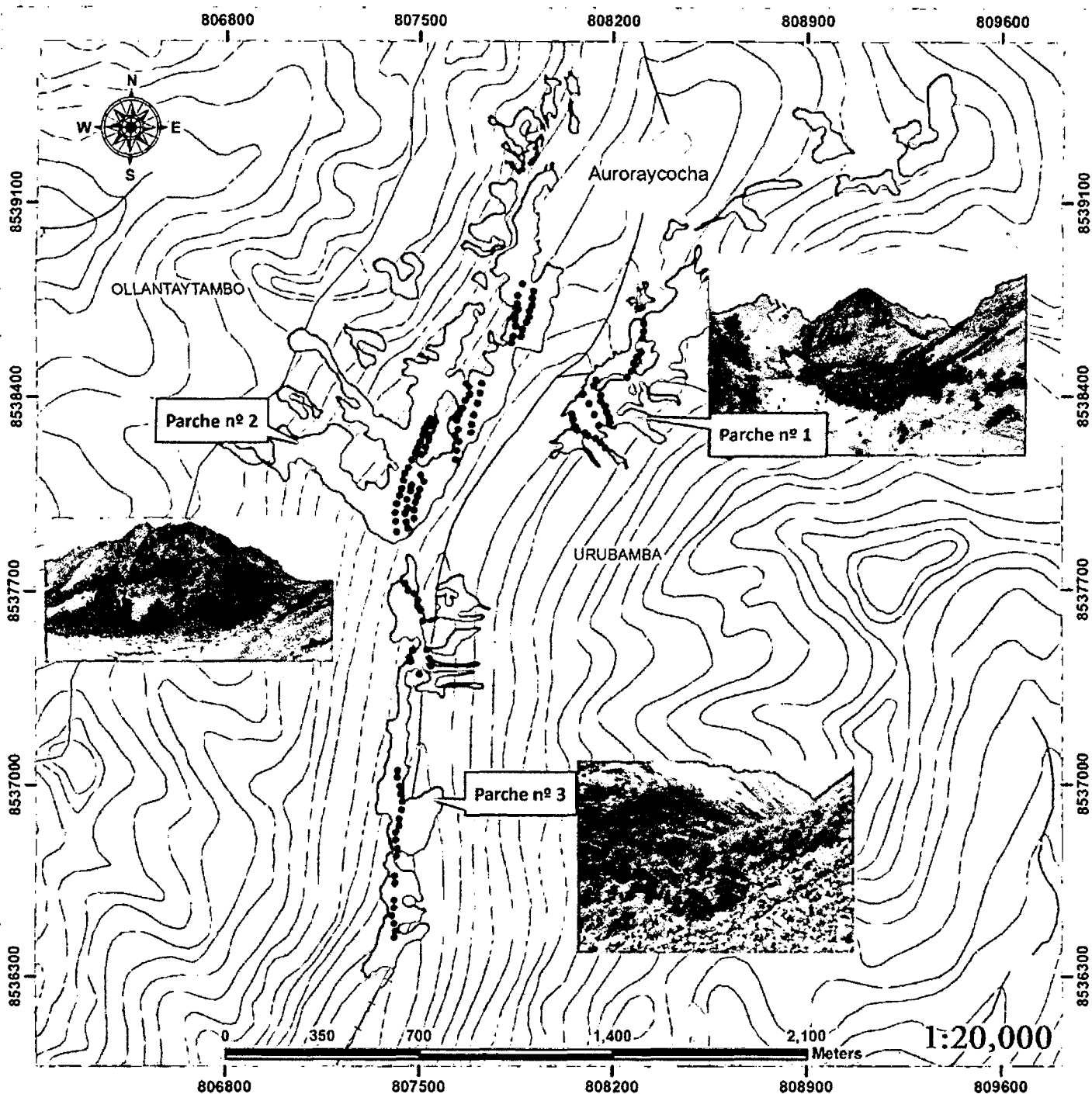
La distribución de los transectos en los parches fue como sigue:

- Para el parche n°1: los 30 puntos de muestreo fueron tomados entre altitudes de 4170 hasta 4269 m; donde se encontraron pendientes de 3% a 60%.
- Para el parche n° 2: Los 72 puntos de muestreo se distribuyeron entre altitudes de 4095 a 4269 m en los cuales se presentaron pendientes de 3% y algunas zonas de más de 60%.
- Para el parche n° 3: Los 34 puntos de muestreo se distribuyeron entre altitudes de 3972 a 4083 m, el cálculo de la pendiente no superó el 30%.

Figura 4: Distribución de transectos en los parches de bosque



Mapa de la distribución de transectos en el bosque de Mantamay



LEYENDA	
•	Puntos de muestreo
	Lagunas
	Bosque de Polylepis
	Ríos
	Camino de herradura
	Curvas de nivel
	Limite distrital

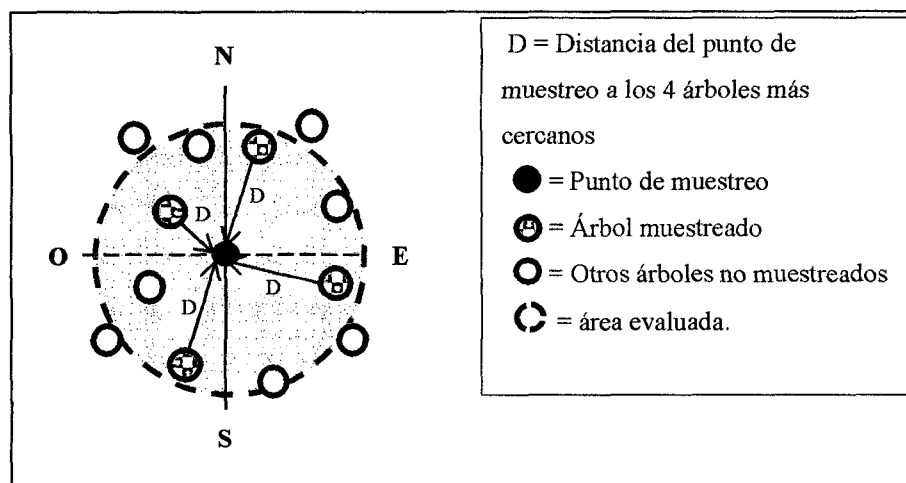
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS					
TESIS: HETEROGENEIDAD AMBIENTAL A PEQUEÑA ESCALA Y PATRÓN ESPACIAL DE <i>Polylepis</i> sp EN EL BOSQUE DE MANTAMAY, URUBAMBA- CUSCO					
MAPA: DISTRIBUCION DE TRANSECTOS EN LOS PARCHES DE BOSQUE DE <i>Polylepis</i>					
UBICACIÓN	ASESORES:		Escala:		MAPA Nº DT-03
Yanahuara	M.Sc. Washington Galiano Sánchez M. Sc. Wilfredo Chávez Huamán		1:20,000		
Urubamba	TESISTA:		PROYECCIÓN:		
Cusco- Perú	Bach. Liz Hurtado Contrimanya		UTM WGS 84; L 18 S. Fecha: Noviembre, 2013		
FUENTE: Elaboración propia en base a Imagen Satelital Digital Globe					

3.2.2.2. Medición de la variable biológica

3.2.2.2.1. Medición de las distancias del punto de muestreo a los árboles

Para identificar el patrón espacial de los árboles de *Polylepis*, se utilizó el método del punto cuadrante (Cottam & Curtis, 1956). Sobre el punto de muestreo ubicado en el transecto, se dividió el área en cuatro cuadrantes imaginarios y se midieron las distancias (en metros) del punto a los 4 árboles más próximos al mismo. Como había la posibilidad de encontrar más de 4 árboles adyacentes al punto de muestreo, sólo se consideraron aquellos que estuvieran en dirección Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (O) del mismo. Para facilitar el trabajo de campo se utilizó un Distanciómetro láser Leica A6, el cual es un instrumento electrónico de medición. Se sostuvo el dispositivo a la altura del pecho y se apuntó linealmente a cada uno de los árboles, de ésta manera de consiguieron 4 distancias.

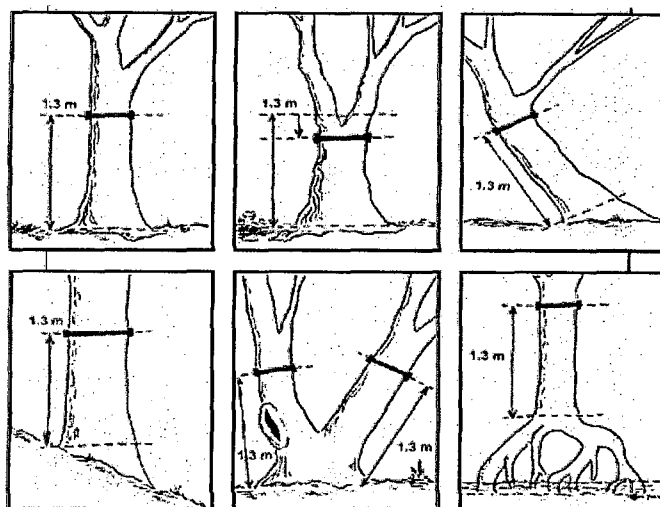
Figura 5: Medición de las distancias del punto a los árboles



3.2.2.2.2. Medición del DAP

Se tomaron los DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de los mismos cuatro árboles muestreados anteriormente para la medición de las distancias. Siguiendo a Matteucci & Colma, (1982) la medición del DAP se realizó a una altura de 1.3m del suelo; utilizando cintas métricas. En los casos necesarios se aplicaron las técnicas de la siguiente figura.

Figura 6: Metodología para medir el DAP de los árboles de *Polylepis*



Fuente: FAO (2004)

3.2.2.3. Determinación de las especies de *Polylepis*

Se colectaron las especies encontradas en el bosque, además se tomaron fotografías in situ para su posterior determinación en gabinete. Lo anterior, se consiguió por comparación con otras especies registradas para el área de estudio, las cuales se encuentran en el Herbario Cuz de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Obtenida la información, se corroboró mediante consulta a especialistas en el género *Polylepis*, al M.Sc. Washington Galiano y M.Sc. Alfredo Tupayachi.

3.2.2.3. Medición de la heterogeneidad ambiental

Las variables evaluadas para caracterizar la heterogeneidad ambiental, se tomaron en los puntos de muestreo sobre los transectos. Durante el mes de octubre del 2013.

3.2.2.3.1. Medición de la humedad de suelo

La humedad de suelo se determinó con el higrómetro para suelo “Soil pH and Moisture Tester” que mide la humedad en porcentajes, cuya escala va de 10% a 80%. Éste dispositivo también mide pH, de ahí su nombre. El higrómetro tiene un extremo afilado que permitió su rápida introducción en el suelo, se esperó unos minutos hasta que el dispositivo diera una medida de la humedad en el punto de muestreo y se registró el dato en la libreta de campo. Por punto de muestreo se obtuvo sólo una medición de humedad de suelo. El porcentaje registrado estuvo sujeto a variaciones del temporal durante los días de muestreo.

3.2.2.3.2. *Medición de la apertura de dosel arbóreo*

La medición de la cobertura y estructura del dosel arbóreo, que condiciona la luz incidente en el interior del bosque fue estimada mediante fotografía hemisférica (Promis & Cruz, 2009). El método consiste en tomar fotografías empleando una cámara digital, acoplada a un lente ojo de pez, que permite un ángulo de visión de 180°. Se dispuso la cámara horizontalmente sobre un trípode a la altura determinada de 50 cm del suelo, y se direccionó la fotografía hacia el dosel arbóreo. Cada foto se tomó de manera que, el Norte magnético quedaba exactamente en la parte superior de la misma. Las fotografías se tomaron a distintas horas, según avanzaba el muestreo a lo largo del día. Las imágenes fueron registradas en la libreta de campo.

3.2.2.3.3. *Medición de la profundidad del suelo*

La profundidad del suelo efectiva, se obtuvo con una varilla de metal introduciéndola en cada punto de muestreo, hasta donde sea posible o la roca lo impida. Por punto de muestreo se obtuvo sólo una medición de profundidad en centímetros.

3.2.2.3.4. *Medición del porcentaje de cobertura de roca*

El porcentaje de roca fue calculado cualitativamente, de acuerdo a la proporción de terreno ocupado por roca visible. El área evaluada fue la proyección de los cuatro árboles muestreados (Figura N° 5) Pág 43. Se consideraron también aquellas rocas que estaban cubiertas por musgo.

3.2.3. **Aplicación del software SADIE**

Antes de la aplicación del software se hicieron tratamientos previos al análisis con el software, para la conformación de la base de datos.

a. *Para el patrón espacial de árboles*

Con las distancias del punto de muestreo a los 4 árboles se determinó la densidad de árboles por punto de muestreo, haciendo uso de la fórmula propuesta por Pollard, (1971)

$$\frac{16n}{\pi \sum_i^4 r_{ij}^2}$$

Donde:

n = punto de muestreo

r = radio, distancia promedio del punto de muestreo al individuo/árbol más cercano.

Debido a que el software SADIE admite solamente datos discretos, previo al análisis se multiplicaron los datos obtenidos de la densidad por 100. Estos valores fueron corridos en el programa.

b. Para la apertura de dosel arbóreo

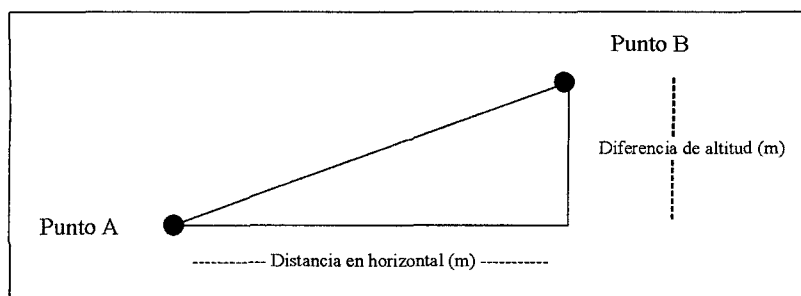
Las fotografías de apertura de dosel se procesaron con el software gratuito GAP Light Analyzer 2.0, disponible para Windows XP. Las fotos fueron convertidas en imágenes binarias: blancos y negros. Así las hojas de los árboles se colorearon de negro y el cielo de color blanco. De este modo, el trabajo del software es calcular el área de color blanco de las fotografías, siendo ésta la medida de porcentaje de apertura de dosel arbóreo.

c. Para el cálculo de la pendiente

El porcentaje de pendiente (m) fue calculado geoméricamente, utilizando las altitudes registradas con el GPS y la distancia entre puntos de muestreo. Se realizó siempre entre dos puntos, la distancia horizontal es la recorrida por la cuerda (25 metros) y la distancia en vertical es la diferencia de las altitudes entre el punto A y el punto B (en metros). La pendiente hallada entre el punto A y el punto B fue anotada para el punto A; y la pendiente entre el punto B y el punto C se consideró para el punto B, así sucesivamente.

$$m = \frac{\text{Distancia en vertical}}{\text{Distancia en horizontal}} \times 100$$

Figura 7: Cálculo geométrico de la pendiente



d. Para la humedad de suelo, profundidad de suelo y cobertura de roca

Los datos obtenidos en campo de los porcentajes de humedad de suelo y la cobertura de roca, así como también la profundidad (cm) se corrieron directamente en el programa SADIE, sin ningún tratamiento previo.

Una vez obtenidos estos datos, la aplicación del software SADIE, se dividió en dos etapas: la primera para la determinación del patrón espacial de cada variable; y la segunda que constituye los análisis de covariación entre pares de variables.

3.2.3.1. Para el nivel de agregación de las variables

Una vez generada la base de datos, se corrieron 6 análisis en SADIE, uno por cada variable: árboles de *Polylepis*, humedad de suelo, profundidad de suelo, porcentaje de roca, apertura de dosel arbóreo y pendiente. Los ficheros de entrada fueron creados en formato texto delimitados por tabulaciones (*.txt.), los cuales contenían tres columnas, dos de posición (coordenadas x, y) y una columna con el valor de la variable objeto de estudio.

Cuadro 12: Ejemplo de fichero de entrada para SADIE

COORDENADAS		Árboles de <i>Polylepis</i>
x	y	
808142	8538459	1
808131	8538436	2
808156	8538403	4
808157	8538382	1
808173	8538365	2

- ✓ **Índice de agregación (I_a):** Para caracterizar el patrón espacial global de una variable, el software SADIE calcula el índice de agregación (I_a) de la variable objeto de estudio, estimando el mínimo esfuerzo que sería necesario para obtener una distribución regular donde todos los puntos de muestreo tienen el mismo valor, en la práctica, este esfuerzo equivale a la “distancia a la regularidad”, y se abrevia con “D”. Generalmente cuanto mayor es D, mayor agregación espacial hay en los datos (Perry, 1998). Para encontrar la manera óptima de igualar los datos en todos los puntos de muestreo, el programa SADIE utiliza un algoritmo de transporte, donde los datos son distribuidos al azar entre los puntos de muestreo un determinado número de veces, en este calculándose un “D” permutado con cada uno de estos cambios y obteniéndose una distribución de frecuencias. La división del valor observado de “D” por el valor medio obtenido a partir de las permutaciones produce el índice de agregación, que es utilizado para describir el patrón espacial de los datos. Usualmente los datos muestran una distribución agregada si $I_a > 1$; aleatoria $I_a = 1$ y regular si $I_a < 1$ (Perry *et. al.* 1999). Para establecer la

significación estadística (P-valor) del patrón espacial observado, se calcula la proporción de valores de D obtenidos en las permutaciones que son iguales o mayores que el valor “D” observado (Maestre *et al.*, 2008).

El índice de agregación proporciona una medida general del patrón espacial para un conjunto de datos e indica la naturaleza de dicho patrón, así como su significación estadística. Sin embargo, no proporciona información sobre zonas concretas del área evaluada. Es decir, si una zona tiene valores altos o bajos de la variable. De ésta información se obtiene el índice de agrupación.

- ✓ **Índice de agrupación (V):** Para detectar visualmente el patrón espacial de una variable, se utilizó el índice de agrupación (V), que cuantifica el grado en el que cada punto de muestreo contribuye al patrón espacial global de los datos. SADIE genera un valor de “V” por cada punto muestreado por lo que es posible generar mapas mediante *Kriging*. Éste índice, permite distinguir entre dos zonas: las zonas de las manchas y las zonas de los claros. Las zonas que presentan agrupamiento de valores altos de la variable se le denomina como “*manchas*” donde el índice de agrupación (V) es mayor a 1,5 las manchas serán significativas. Por el contrario, zonas agrupadas con valores bajos de la variable son los llamados “*claros*” las zonas donde el índice de agrupación (V) sea menor a -1,5 los claros serán significativos. El índice de agrupación de las manchas se abreviará como V_i y el índice de agrupación de los claros como V_j .

Para la obtención de los índices I_a , V_i y V_j se utilizó en todos los análisis 2340 permutaciones y además el método no paramétrico disponible en el software (Maestre & Quero, 2008). Éste método elimina el sesgo de datos dispersos, por ejemplo cuando en el conjunto de datos hay un único valor por encima de la media o cuando la varianza supera el cuadrado de la misma. Para atenuar este problema los valores originales son reemplazados por rangos. De ésta manera se consigue disminuir las grandes diferencias de los valores originales manteniendo la distribución original de los datos.

Las carpetas resultantes de ésta corrida en el software así como una descripción del contenido de estos ficheros se encuentran en el anexo.

Una de éstas carpetas resultantes de la corrida en SADIE es la que contiene los índices I_a , V_i y V_j con sus correspondientes P-valores bajo la hipótesis nula de una distribución aleatoria de la variable objeto de estudio.

$H_0 =$ Patrón espacial aleatoria $H_1 =$ Patrón espacial no aleatorio $P_a > 0,05 =$ Se acepta H_0 $P_a < 0,05 =$ Se acepta H_1

3.2.3.2. Para el análisis de covariación espacial global

El análisis de asociación/disociación de variables, se realizó en el software N_AShell v1.0, que es una extensión del software SADIE. Ésta corrida se efectuó para evaluar si el patrón espacial de los árboles está relacionado con la agregación de las variables ambientales, y así determinar cuál o cuáles se asocian o se disocian de los árboles. De ésta forma se analizaron los siguientes pares de variables:

- árboles –humedad de suelo
- árboles –porcentaje de apertura de dosel
- árboles –profundidad de suelo
- árboles –porcentaje de cobertura de roca
- árboles- porcentaje de pendiente

Para establecer si las variables se correlacionan, el software N_AShell utiliza el índice de agrupación (V_i y V_j) de ambas variables. Aquellos puntos de muestreo donde los índices de agrupación de ambas muestren una mancha o un claro contribuirán de manera importante y positiva a la correlación (asociación), mientras que donde una de las especies muestre una mancha y la otra un claro, la contribución será negativa (disociación). (Maestre & Quero, 2008)

El resultado de éste análisis se resume en el valor de χ (chi). Los valores de χ positivos demostraran una asociación de ambas variables, mientras que valores negativo de χ concluyen en una disociación.

Para calcular la significación estadística, tal como sucede con los índices I_a , V_i y V_j , se comparó el valor de χ obtenido con la distribución formada al permutar los datos entre los puntos de muestreo y recalculando dicho coeficiente un determinado número de veces en este caso se utilizó 10,000 permutaciones. Así las dos especies estarán significativamente asociadas si el P-valor es menor que 0.025. En contraste estarán significativamente disociadas, si el P-valor es igual o mayor que 0.975. (Maestre & Escudero, 2008)

3.2.3.3. Para el análisis de asociación local

En teoría este análisis no es una corrida en el software sino más bien, una gráfica del análisis de covariación espacial. Se utilizaron los valores de χ_i por punto de muestreo. Éste valor de χ_i indica nivel de asociación o disociación de ambas variables en una coordenada (X, Y) y que se puede apreciar mediante mapas de interpolación o Kriging. Para realizar estos mapas se hizo lo siguiente:

1. Se seleccionaron manualmente las coordenadas (X, Y) y valores χ_i
2. Se copiaron a una hoja de cálculo de Excel.
3. Este nuevo documento de Excel fue exportado al software Golden Software Surfer 10 donde se realizaron los mapas.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

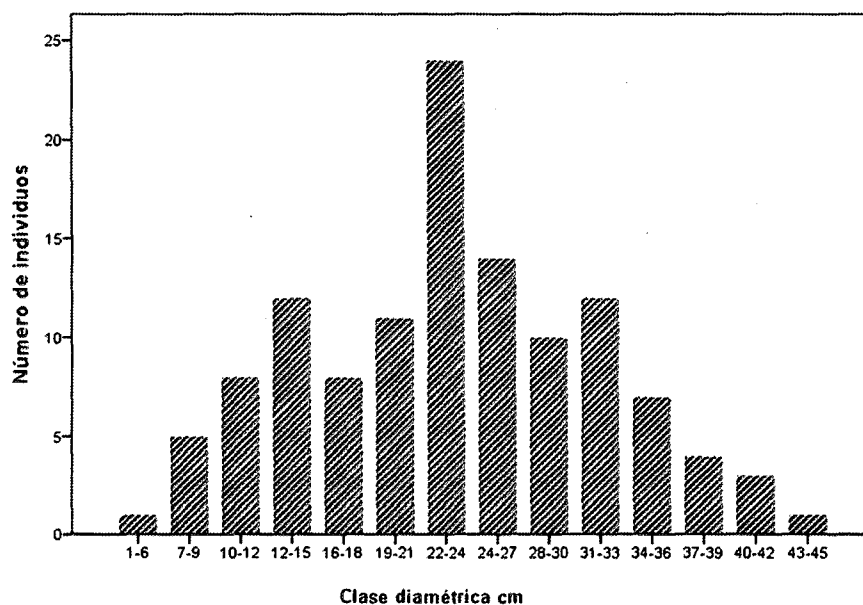
4.1. RESULTADOS

4.1.1. Variables biológicas

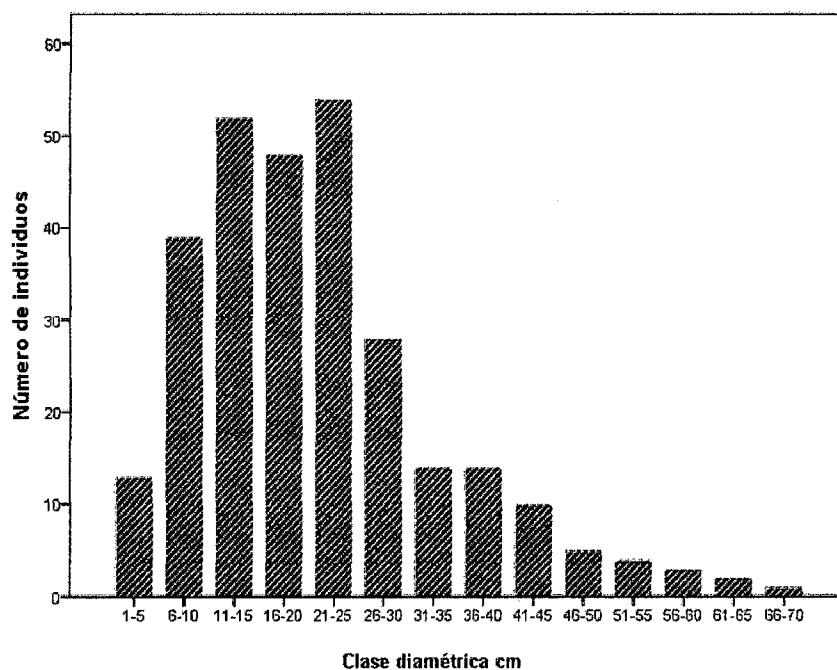
4.1.1.1. Clases diamétricas encontradas por parche de bosque

Con respecto a la clase diamétrica (DAP) para el parche n° 1, se midieron un total de 120 individuos, el valor medio del DAP fue de 22.99cm, con un valor máximo de 42.34cm y un mínimo de 5.64cm. Por otro lado, se notó que 20% de los individuos tenía un DAP entre 22 a 24cm mientras que 37.5% de ellos presentó un DAP menor a éste valor y el 42.5% presentó un DAP mayor a 24cm. Por el gráfico podemos inferir que éste parche encuentra con una población constante.

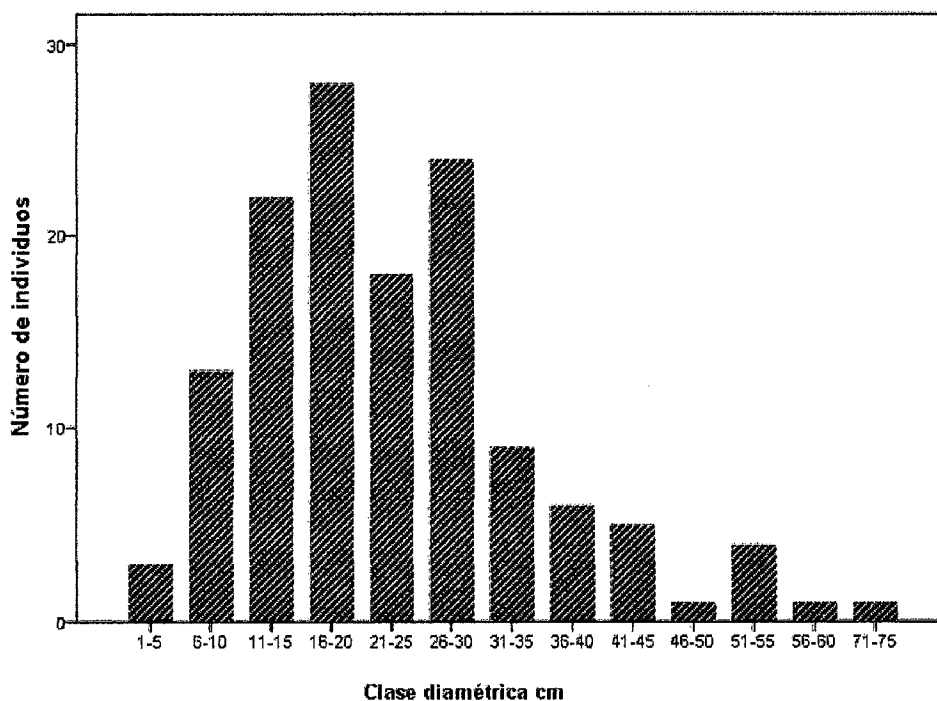
Gráfico 2 : Distribución de la clase diamétrica (DAP) parche 1



Para el parche n° 2 se evaluaron un total de 288 individuos, el valor medio resultó 20.83cm, el valor máximo de DAP obtenido fue de 66.84cm, y el mínimo de 5cm. Asimismo, el 53.6% del área evaluado tiene DAP entre 11-25cm, el 18.1% presenta DAP menores a éste intervalo y el 28.3% de los individuos tiene DAP mayores. Entonces, éste parche está en un proceso de recuperación ya que, el número de individuos con una clase diamétrica menor es superior a individuos con una clase diamétrica mayor, además de las observaciones hechas en campo.

Gráfico 3: Distribución de la clase diamétrica (DAP) parche 2

Para el parche n° 3 se evaluaron 136 individuos, el DAP promedio para ésta zona resulto de 22.39 cm, el valor máximo fue de 70.6cm y el valor mínimo de 5.3cm. El 68.1% de los árboles tiene un DAP entre 11-30cm. El 11.8% presenta DAP menores a éste intervalo y el 20.1% de los individuos presenta DAP mayores. Sin embargo, éste parche se encuentra alterado por la presencia de árboles caídos con diámetros mayores.

Gráfico 4: Distribución de la clase diamétrica (DAP) parche 3

4.1.1.2. Especies de *Polylepis* en el bosque de Mantabay

Para el bosque de Mantabay se determinaron dos especies de *Polylepis*: *P. racemosa* y *P. subsericans*, se determinaron estas especies en el Herbario Vargas (Cuz), con los registros de Tupayachi (2004), Puelles & Toivonen (2006) y Sylvester (2011).



Polylepis racemosa



Polylepis subsericans

4.1.2. Heterogeneidad ambiental

4.1.2.1. Heterogeneidad ambiental en el Parche n° 1

Los estadísticos descriptivos de las variables evaluadas se resumen:

Cuadro 13: Estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche n° 1

Estadísticos descriptivos		Humedad de suelo (%)	Profundidad de suelo (cm)	Cobertura de roca(%)	Apertura de Dosel (%)
Media		28.48	10.55	27.42	60.42
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	22.71	9.89	19.33	55.72
	Límite superior	34.26	11.20	35.51	65.13
Media recortada al 5%		27.09	10.57	25.75	60.61
Mediana		20.00	10.00	25.00	60.00
Varianza		264.82	3.44	520.50	175.88
Desviación típica		16.27	1.86	22.81	13.26
Mínimo		10.00	7.00	5.00	33.00
Máximo		80.00	14.00	80.00	84.00
Rango		70.00	7.00	75.00	51.00

Fuente: Propia

4.1.2.1.1. Humedad de suelo

El valor medio de la humedad de suelo resultó 28.48 %. Asimismo, el 95% del parche presentó valores de humedad que fluctúan entre 22.71% y 34.25%. Por otro lado, la humedad mínima observada fue de 10% y la máxima de 80%, existiendo un rango entre

ambos valores de 70. En el gráfico n° 5 se muestra la gradiente de humedad que presentó el parche, del transecto 4 hacia porcentajes menores de humedad de los transectos 1, 2 y 3.

4.1.2.1.2. Profundidad de suelo

Para ésta variable, el valor máximo observado fue de 14 cm en el transecto 4 y el valor mínimo de 7cm en el transecto 2, con un promedio de 10.54 cm. Además que el 95% del territorio evaluado, tiene valores de profundidad que fluctúan entre 9.88 cm y 11.2 cm. El gráfico n° 6 muestra la distribución de estos valores en los transectos evaluados.

4.1.2.1.3. Cobertura de roca

En cuanto a la cobertura de roca, fue menor en comparación a los otros dos parches evaluados con un valor medio de 27.42% y con valores de menos de 5% en varios de los puntos evaluados. Los valores más altos de cobertura de roca se obtuvieron en el transecto n° 4 y que disminuyó hacia los transectos 1, 2,3. Gráfico n° 7.

4.1.2.1.4. Apertura de dosel arbóreo

Como consecuencia de que éste parche presentó la menor densidad de árboles, la apertura de dosel promedio calculada fue de 60.42%. El máximo valor observado para ésta variable fue de 84% y el valor mínimo 33%. Además que el 95% de la zona evaluada tiene valores que fluctúan entre 55.72% y 65.13% que se representa en el gráfico n° 8.

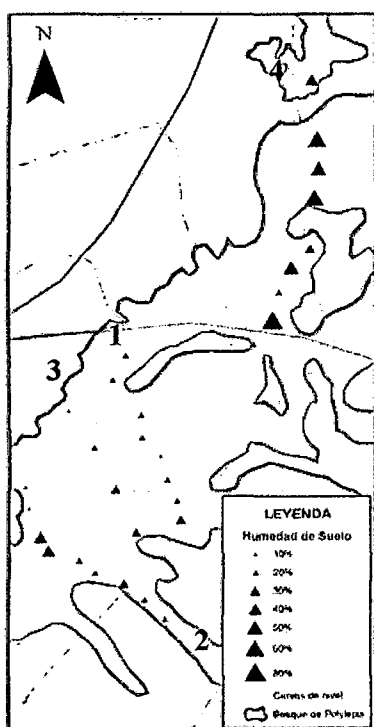
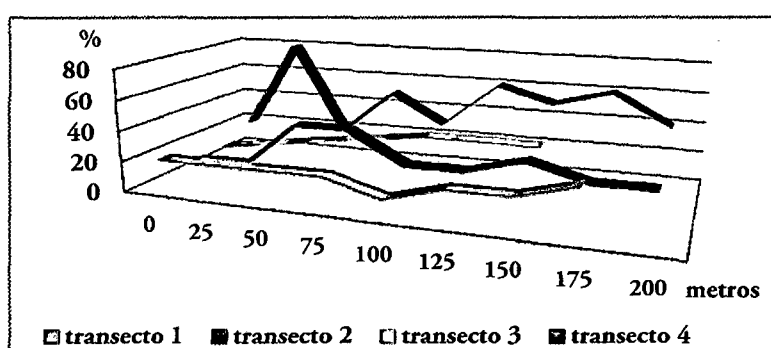


Gráfico 5: Porcentajes de humedad de suelo para el parche n°1 del bosque de Mantabay



El mapa de la izquierda muestra la distribución cualitativa de los valores en los transectos. Para el transecto 4, se presentaron los mayores porcentajes de humedad de suelo.

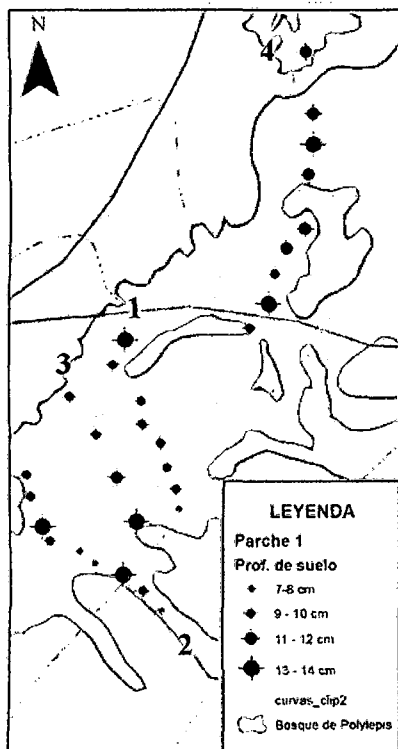
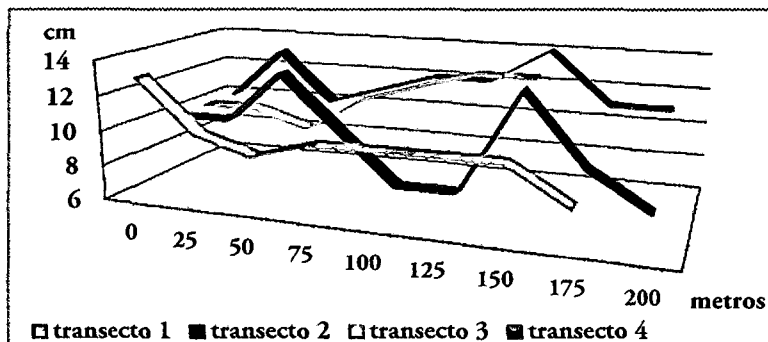


Gráfico 6: Profundidad de suelo (cm) para el parche n°1 del bosque de Mantamay



Los iconos más grandes en el mapa de la izquierda, muestran los valores mayores de profundidad de suelo, consecuentemente en estas zonas se presentaron las mayores agregaciones de la variable.

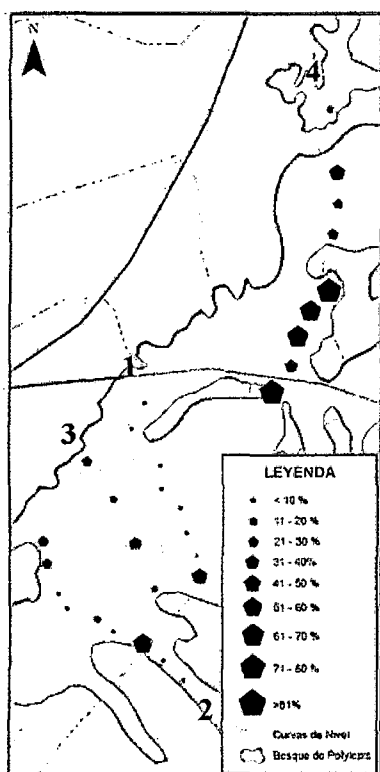
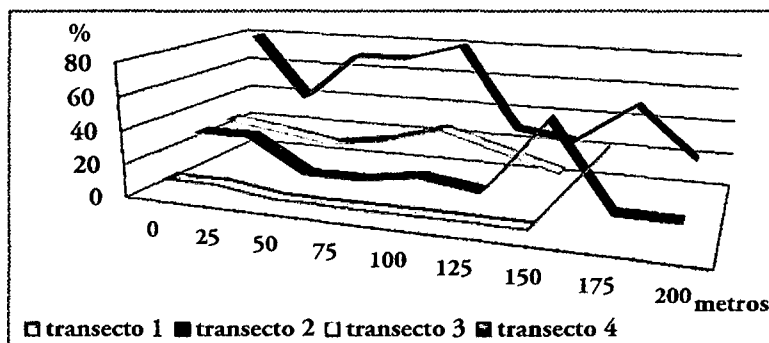


Gráfico 7: Porcentajes de cobertura de roca para el parche n° 1 del bosque de Mantamay



El tamaño de los íconos en el mapa de la izquierda, muestran los valores mayores de cobertura de roca distribuidos en los transectos. Para el transecto 4, se presentaron los mayores porcentajes de cobertura de roca.

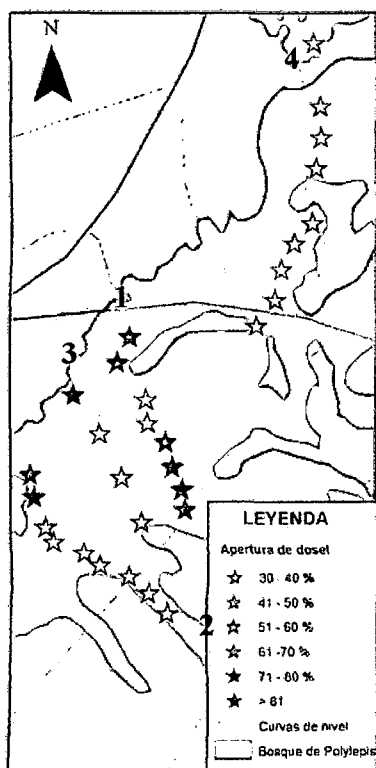
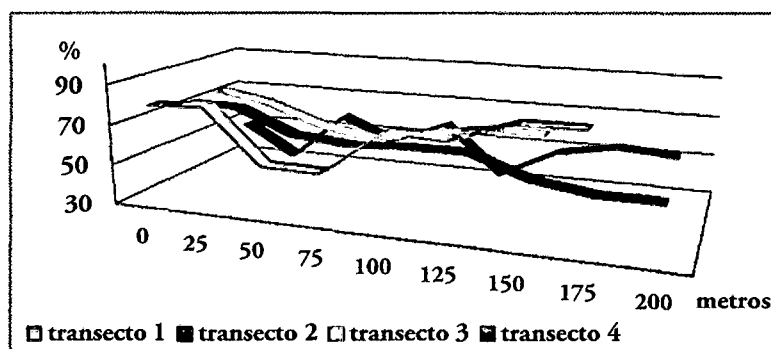


Gráfico 8: Porcentajes de apertura de dosel arbóreo para el parche n° 1 del bosque de Mantamay



El mapa de la izquierda muestra la distribución cualitativa de los valores en los transectos. Para el transecto 4, se presentaron los menores porcentajes de apertura de dosel arbóreo, comprendidos entre 30-60%.

4.1.2.2. Heterogeneidad ambiental en el parche n° 2

Los estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche n° 2 se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 14: Estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche n° 2

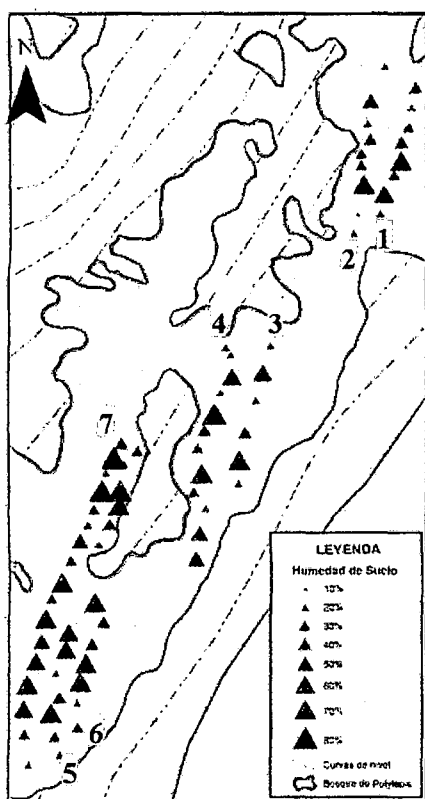
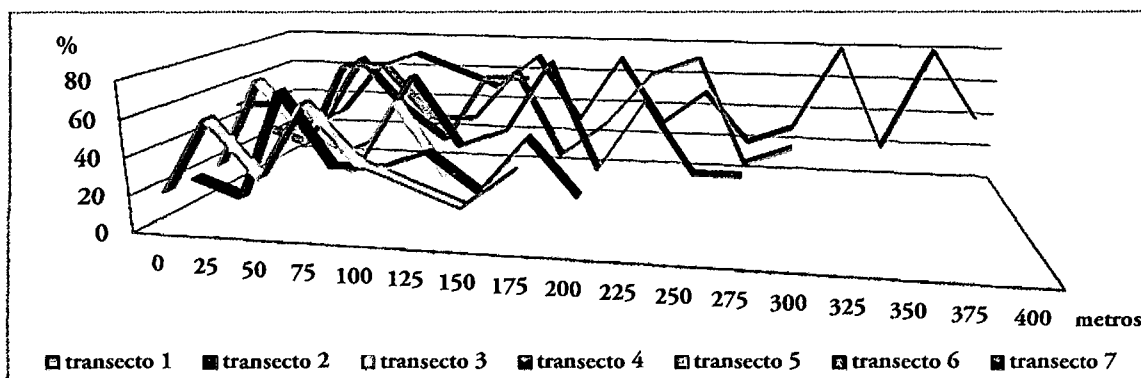
Estadísticos descriptivos		Humedad de suelo (%)	Profundidad de suelo (cm)	Cobertura de roca(%)	Apertura de dosel (%)
Media		42.08	12.32	41.89	53.50
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	37.22	11.29	36.64	51.43
	Límite superior	46.94	13.35	47.13	55.56
Media recortada al 5%		41.36	12.06	41.29	53.24
Mediana		40.00	12.00	40.00	53.00
Varianza		20.69	19.24	498.33	76.97
Desviación típica		10.00	4.39	22.32	8.77
Mínimo		10.00	5.00	3.00	36.00
Máximo		80.00	28.00	90.00	80.00
Rango		70.00	23.00	87.00	44.00

Fuente: Propia

4.1.2.2.1. Humedad de suelo

Para el parche n° 2 la humedad de suelo presentó alta variabilidad de porcentajes, que según el gráfico 9 podría definirse como una humedad regular en el área evaluada. En promedio la humedad de suelo resultó 42.08%. El 95% del parche tiene valores de humedad que fluctúan entre 37.22% y 46.94%. Por otro lado, la humedad mínima observada fue de 10%, en el transecto n° 2, y la máxima de 80% en los transectos n° 5 y n° 6, existiendo un rango de 70 entre ambos valores.

Gráfico 9: Porcentajes de humedad de suelo para el parche n° 2 del bosque de Mantabay

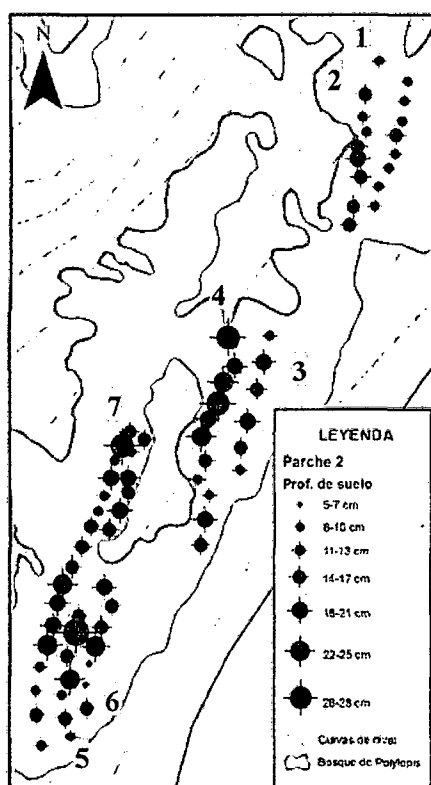
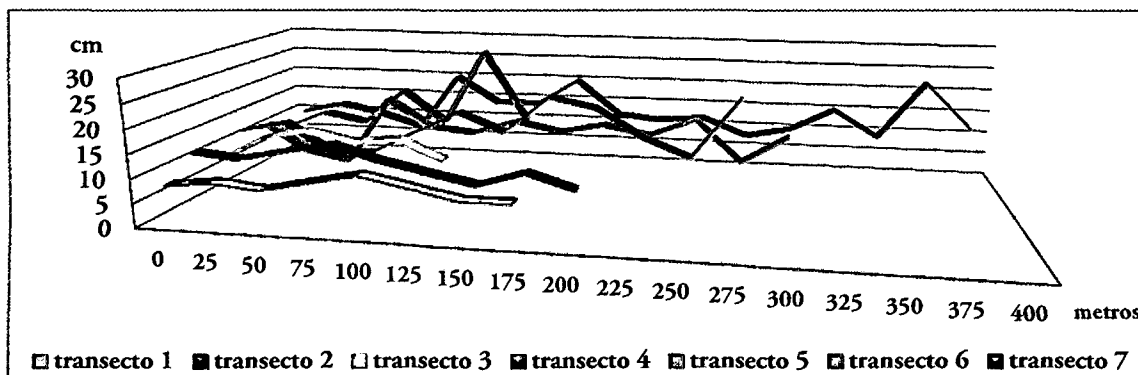


Los valores del gráfico n° 9 están representados en el mapa de la izquierda. En general, los iconos que representan los mayores valores de humedad de suelo están distribuidos regularmente a lo largo del parche.

4.1.2.2.2. Profundidad de suelo

La profundidad de suelo en igual medida, presentó altas variaciones aunque hubo agregaciones de los datos que se observa en los picos más altos del gráfico. El valor medio de profundidad para el parche n° 2, fue de 12.32 cm. Con un valor máximo de 28 cm en el transecto n° 6 y un mínimo de 5cm en el transecto n° 5.

Gráfico 10: Profundidad de suelo (cm) para el parche n° 2 del bosque de Mantabay

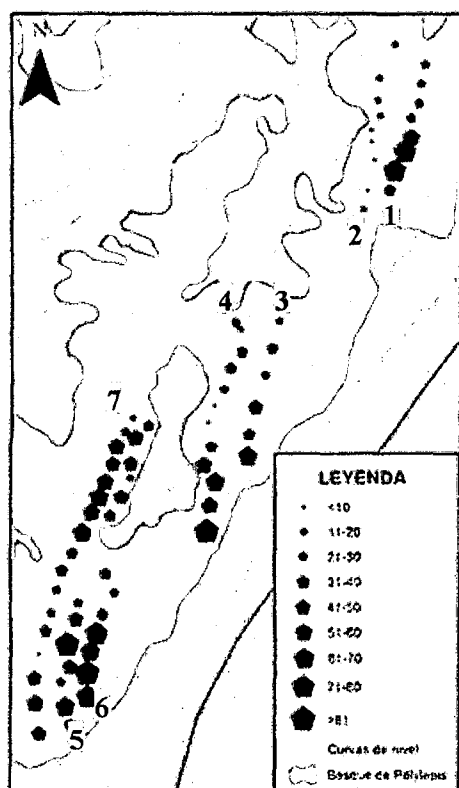
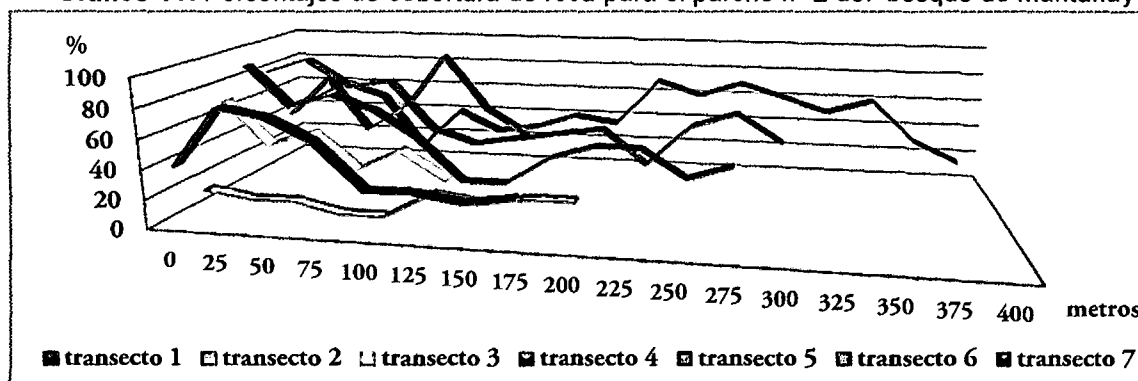


Los valores del gráfico n° 10 están representados en el mapa de la izquierda. En general, los iconos que representan los mayores valores de profundidad de suelo se muestran en manchones agregados en los transectos 4, 5, 6, 7.

4.1.2.2.3. Cobertura de roca

En este parche, se observó una alta cobertura de musgo, sobre roca y suelo, así como también, los mayores porcentajes de roca en comparación a los otros dos parches. Con un promedio de 41.88%. Por otra parte, los valores máximos se alcanzaron en los transectos 4,5 y 6 con 90% y los valores mínimos en el transecto 2, con 3%.

Gráfico 11: Porcentajes de cobertura de roca para el parche n° 2 del bosque de Mantamay

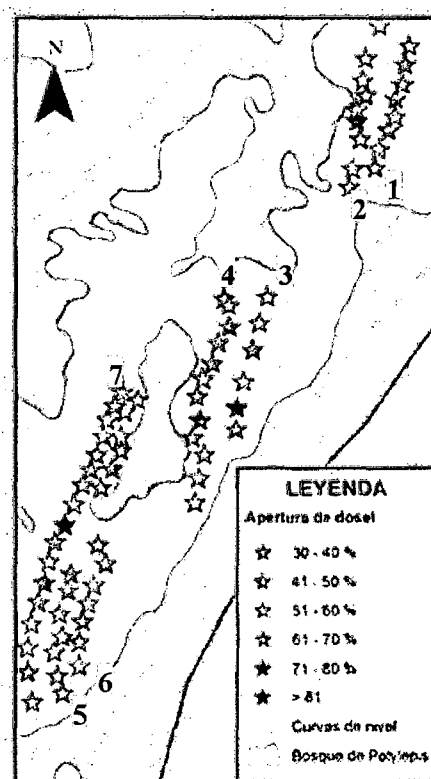
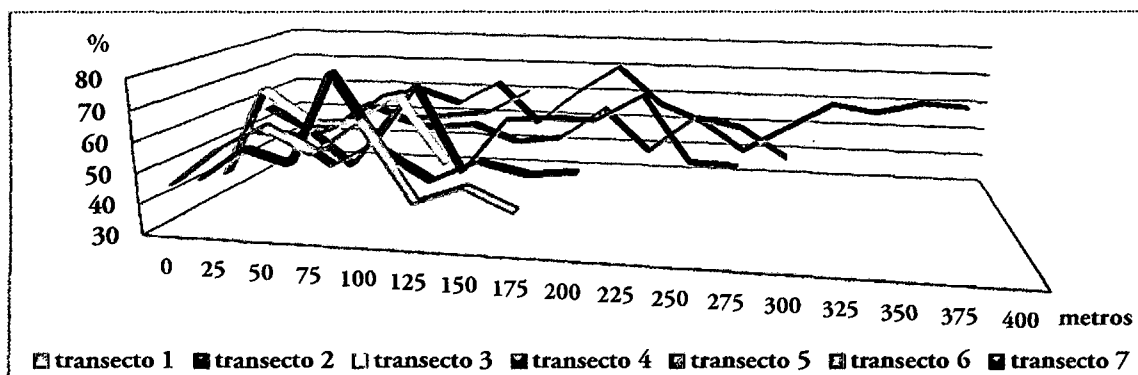


Los valores del gráfico n° 11 están representados en el mapa de la izquierda. En general, los iconos que representan los mayores valores de cobertura de roca también se muestran en manchones agregados en los transectos 1, 4, 5, 6, 7.

4.1.2.2.4. Apertura de dosel arbóreo

El promedio calculado para ésta variable fue de 53.55%, en respuesta a que el parche n° 2 presentó una alta densidad de árboles y en consecuencia la menor apertura de dosel arbóreo. Como valor máximo se obtuvo una apertura de 80% en el transecto n° 2 y como valor mínimo 35%, en el transecto 1.

Gráfico 12: Porcentajes de apertura de dosel arbóreo para el parche n° 2 del bosque de Mantabay



Para la apertura de dosel arbóreo, el mapa de la derecha muestra los valores del gráfico n° 12. En general, los iconos que representan los valores de apertura de dosel se muestran distribuidos regularmente entre 40-70%.

4.1.2.3. Heterogeneidad ambiental en el parche n° 3

Los estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche n° 3 se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 15: Estadísticos descriptivos de las variables evaluadas en el parche n° 3

Estadísticos descriptivos		Humedad de suelo (%)	Profundidad de suelo (cm)	Cobertura de roca(%)	Apertura de dosel (%)
Media		38.82	11.55	31.32	57.09
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	30.41	9.98	23.82	52.31
	Límite superior	47.22	13.13	38.82	61.86
Media recortada al 5%		38.13	11.25	29.92	56.74
Mediana		35.00	10.00	30.00	53.50
Varianza		580.39	20.38	462.59	187.47
Desviación típica		24.09	4.51	21.51	13.69
Mínimo		10.00	5.00	5.00	30.00
Máximo		80.00	40.00	85.00	87.00
Rango		70.00	35.00	80.00	57.00

Fuente: propia

4.1.2.3.1. Humedad de suelo

Esta variable tuvo como valor medio 38.82%. El valor máximo observado de humedad es de 80% en los transectos 1, 3 y 4; el valor mínimo fue de 10% mayoritariamente en el transecto 3, existiendo un rango de 70. El 95% del parche tiene valores de humedad que fluctúan entre 30.41% a 47.23%.

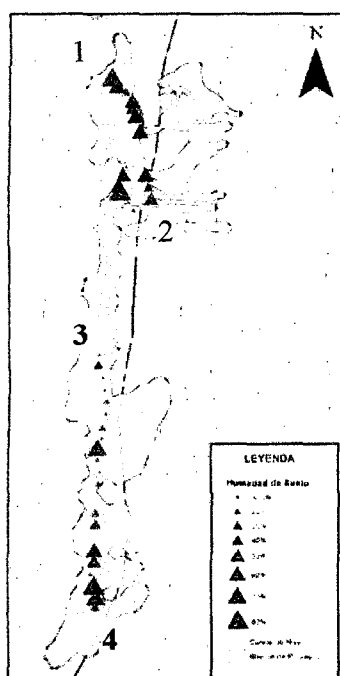
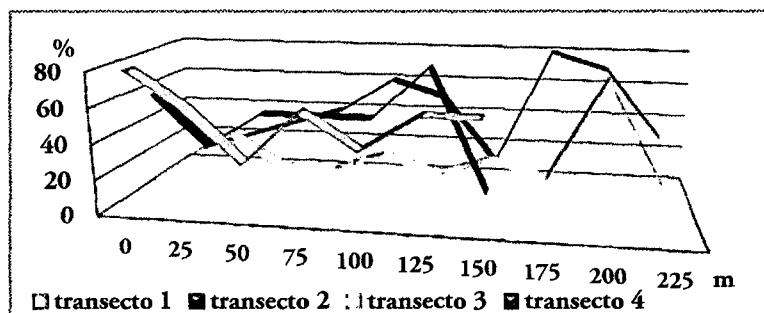


Gráfico 13: Porcentajes de humedad de suelo para el parche n° 3 del bosque de Mantabay



En el mapa de la izquierda, se observa que la variable presentó agregaciones en la parte superior del parche, tal y como lo muestra el gráfico 13, en el caso del transecto 3 se presentaron los menores porcentajes de humedad de suelo.

4.1.2.3.2. Profundidad de suelo

El valor promedio para ésta variable fue de 11.55 cm. Se presentaron valores máximos de 35cm en el transecto 4 y los valores mínimos de 5cm, en el transecto 3.

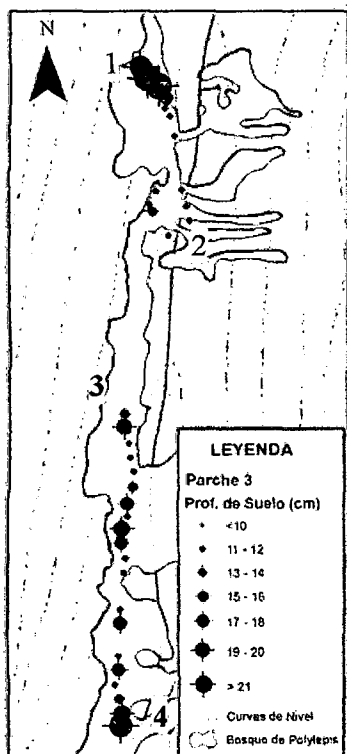
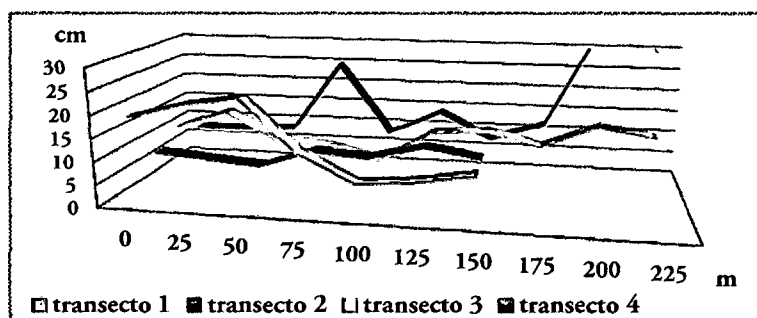


Gráfico 14: Profundidad de suelo (cm) para el parche n° 3 del bosque de Mantabay



En el mapa de la izquierda se muestra que, la profundidad fue mayor en la parte superior del parche (transecto 1), en el transecto 4 se presentaron los mayores valores para profundidad de suelo.

4.1.2.3.3. Cobertura de roca

El porcentaje promedio fue de 31.32%. El mayor valor observado para cobertura de roca fue de 85% en los transectos 1 y 4; y el valor mínimo fue 5% en varios puntos de los transectos 2,3 y 4 existiendo un rango de 80. El 95 % de la zona evaluada tiene una cobertura de roca entre 23.82 y 38.82%. Gráfico n° 15.

4.1.2.3.4. Apertura de dosel arbóreo

El gráfico siguiente muestra los valores de la apertura de dosel arbóreo que en promedio para el parche n° 3 fue de 57.08%. El 95 % del parche tiene valores que fluctúan entre 52.31% y 61.86%. Gráfico n° 16.

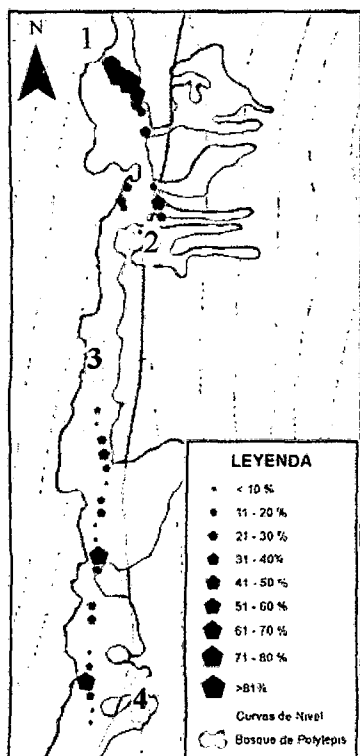
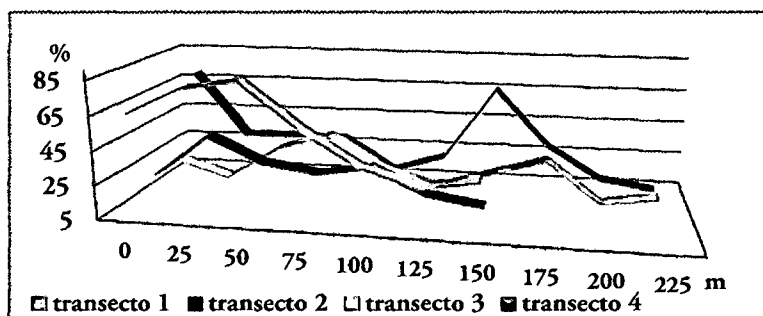


Gráfico 15: Porcentajes de cobertura de roca para el parche n° 3 del bosque de Mantaray.



El mapa de la izquierda también muestra que para el transecto 1 se presentaron los mayores valores y consecuentemente mayor agregación de la cobertura de roca, para el transecto 3 se presentaron los menores valores.

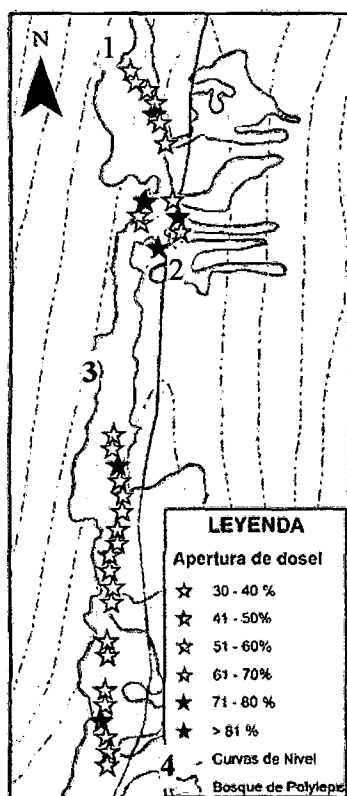
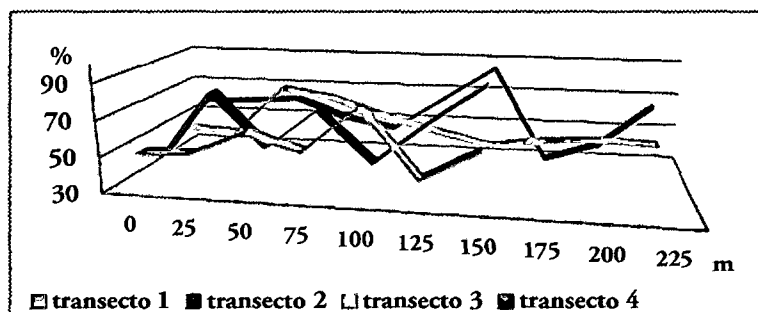


Gráfico 16: Porcentajes de apertura de dosel arbóreo para el parche n° 3 del bosque de Mantaray



En este caso también se presentó una distribución regular de la variable a lo largo del parche no habiendo agregaciones notables.

4.1.3. Nivel de agregación obtenido mediante el software SADIE

4.1.3.1. Índices de agregación (I_a) y agrupación (V) para el parche n° 1

En el cuadro n° 16 se observan los resultados de los índices I_a , V_i y V_j obtenidos mediante el software SADIE. Se detectó la presencia de un patrón espacial no aleatorio para todas las variables analizadas en el parche n° 1. El índice de agregación (I_a) es mayor a la unidad en todos los casos, lo que determinó un patrón espacial agregado significativo ($P \leq 0.05$) y que se corrobora con los índices de agrupación obtenidos.

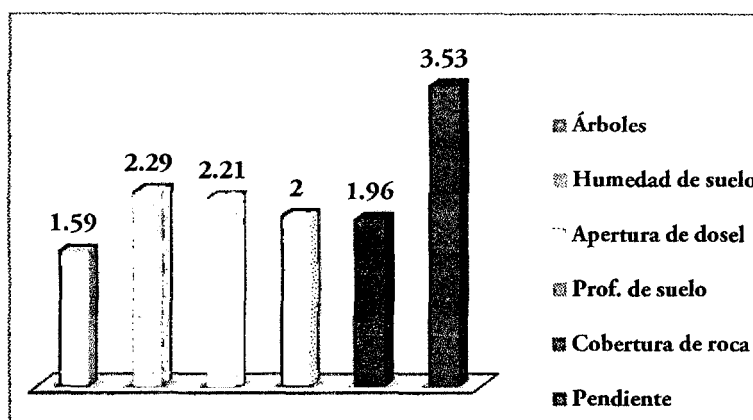
Por otro lado, como se ha detallado en la metodología, el índice de agrupación (V), cuantifica el grado en el que cada valor de la variable en su posición contribuye al patrón espacial de los datos o lo que es lo mismo, al índice de agregación (I_a); informa si una zona concreta en el área de estudio corresponde a una “mancha” (zona con valores de la variable superiores a la media), o a un “claro” (zona con valores de la variable inferiores a la media). En el cuadro 16 se resume las medias del índice de agrupación tanto para las manchas (V_i) y claros (V_j) por variable evaluada.

Cuadro 16: Índices de agregación y agrupación para el parche n° 1 obtenidos mediante SADIE

VARIABLES	PARCHE 1		
	ÍNDICES		
	I_a	V_j	V_i
ÁRBOLES	1.59 (0,05)	-1.32 (0.1)	1.18 (0.03)
HUMEDAD DE SUELO	2.29(0,003)	-2.095 (0.009)	1.65 (0.04)
% APERTURA DE DOSEL	2.21(0,005)	-2.13 (0.009)	1.93 (0.01)
PROFUNDIDAD DE SUELO	2(0,01)	-2.23 (0.009)	1.97 (0.02)
% COBERTURA DE ROCA	1.96(0,01)	-2.10 (0.01)	1.56 (0.03)
% PENDIENTE	3.53(0.0004)	-2.44(0.004)	4.36(0.0001)

*los valores en negrita y cursiva son los significativos.

En el gráfico 17, se observan los resultados del cuadro anterior, la pendiente es la variable que presentó mayor agregación, seguido de la humedad de suelo y apertura de dosel arbóreo mientras que, el de menor agregación fueron los árboles.

Gráfico 17: Índices de agregación para el parche n° 1 obtenidos mediante SADIE**Mapas del Índice de Agrupación (V) para el parche n° 1**

Los mapas de los índices de agrupación permiten observar la disposición espacial de las manchas (V_i) y claros (V_j) en zonas concretas del área de estudio. En el cuadro 17 se muestran los valores de “V” por coordenada (X, Y). Los valores mayores a 1.5 indican la presencia de manchas significativas (valores en negrita) y aquellos valores menores a -1.5, indican claros significativos (en cursiva). Los valores que no forman parte de una mancha o de un claro van en gris.

Cuadro 17: Índices de agrupación para el parche n° 1

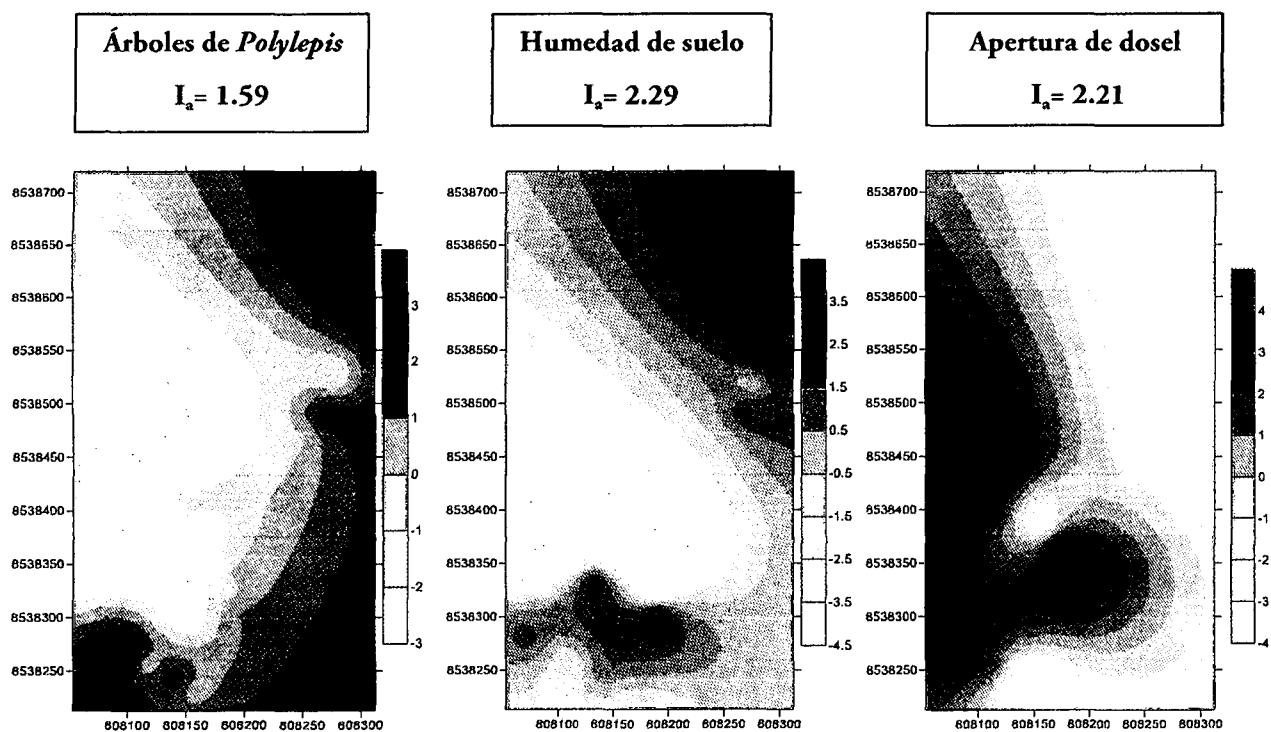
COORDENADAS		Índices de Agrupación (v) Parche n° 1					
X	Y	ARB	HUM	A.DOS	ROCA	PROF	PEND
808053	8538336	-0.79375	-3.91631	2.50853	0.85931	-2.35004	-0.83504
808057	8538316	-0.53724	-0.61409	2.06726	0.57098	-2.15466	-0.6202
808067	8538289	0.72715	0.64172	2.3466	-0.71046	0.6716	0.97548
808074	8538276	1.45168	0.72744	2.12414	-2.12671	-0.29715	6.46406
808092	8538407	-2.77877	-3.34324	3.77949	1.43321	-0.8282	1.79381
808101	8538267	2.44205	-0.61619	1.53535	-2.4026	-0.97147	7.58917
808115	8538256	0	-1.11343	1.10514	-1.71868	-1.00902	6.44764
808115	8538373	-1.5665	-4.28748	0.71985	0	-3.78912	5.45478
808131	8538436	-2.3105	-3.01747	2.37829	-2.97757	-0.26635	-1.93548
808134	8538334	-1.27074	1.34402	0.86071	1.1354	1.0734	5.32634
808141	8538246	1.50387	0.5244	-2.03288	0.43763	0.49904	4.4965
808142	8538459	-1.85982	-2.0694	1.75699	-2.16443	0.68799	-0.56995
808152	8538294	-1.06866	0.94831	1.14853	-3.40175	0.7449	4.21326
808156	8538403	0.23283	-2.88075	-1.16125	-2.0648	-2.85289	3.61028
808157	8538382	-2.06612	-3.37273	-1.26203	-2.49161	-3.88182	3.91799
808159	8538231	-0.56639	-0.54504	-1.56529	-0.50237	-0.45837	5.15606

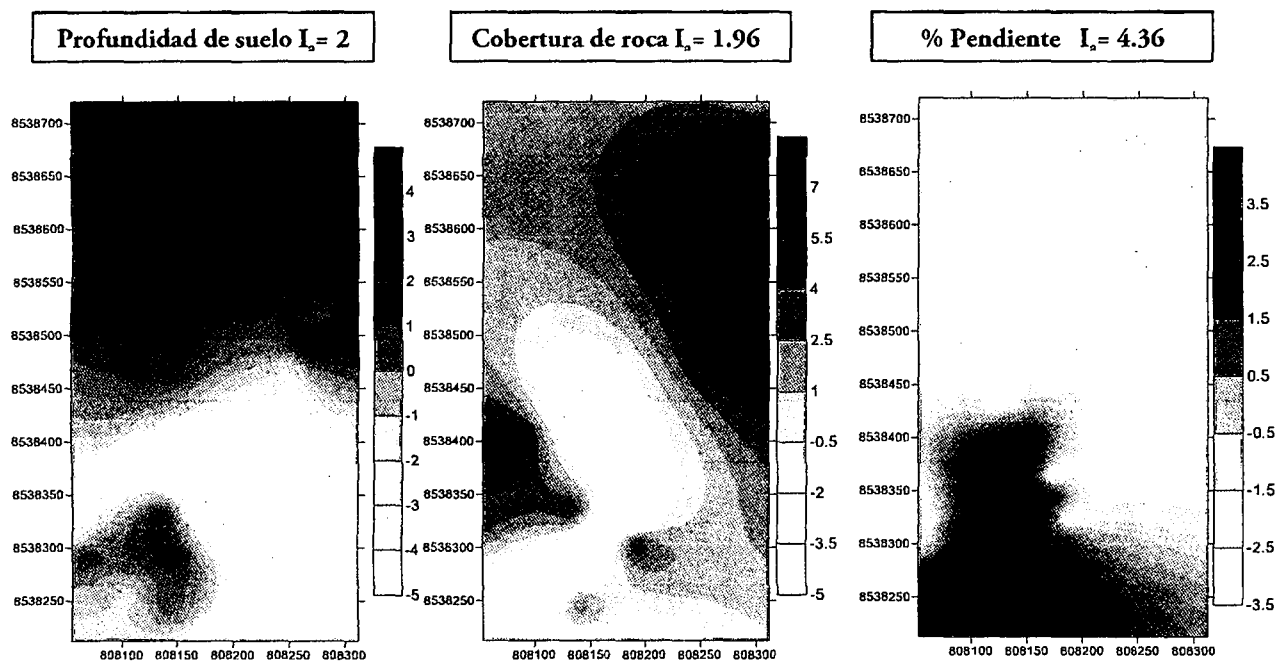
808173	8538365	-0.85138	-2.31713	2.47606	-2.07265	-4.0215	-1.7108
808177	8538213	1.0573	-1.27904	-1.07519	-2.23872	-3.34328	4.47017
808179	8538343	-0.61114	-2.46095	2.14929	-1.9444	-4.58327	3.04158
808188	8538323	-0.24629	-2.9459	2.43501	-2.6441	-4.75944	-1.53733
808191	8538305	0.46567	1.42987	1.48692	1.10362	-2.76401	2.38468
808254	8538469	0	-0.2594	-1.27513	1.24395	-1.42811	-2.26706
808271	8538492	1.6498	1.20166	-1.69383	1.94167	2.20965	-1.85658
808277	8538519	-0.5232	-0.57423	-2.39745	1.83452	-0.28828	-2.94548
808288	8538542	1.53248	2.17153	-2.39182	1.97481	1.51311	-3.79604
808304	8538560	1.52466	0.67885	-3.72154	3.07061	4.10832	-3.72871
808305	8538720	2.29312	2.34886	-2.5064	0	2.75468	-2.52068
808308	8538609	2.79818	2.74816	-2.65774	3.02486	2.89399	-4.3305
808311	8538664	2.63721	2.81438	-3.47962	2.90105	3.70634	-3.94947
808312	8538636	2.72392	3.88235	-2.63813	3.45676	2.8283	-3.9573

*ARB= árboles; HUM= humedad de suelo; A.DOS= apertura de dosel arbóreo; ROCA=cobertura de roca; PROF= Profundidad de suelo; PEND= pendiente

En la figura n° 8 se muestran los mapas realizados en base al cuadro anterior. Los colores rojos indican la presencia de una mancha (V_i) y los colores amarillos representan a un claro (V_j). La leyenda indica los niveles de agrupación.

Figura 8: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche n° 1 del bosque de *Polylepis* de Mantabay.





Así se detalla que, la agrupación de los árboles de *Polylepis* es hacia el lado inferior izquierdo y más notoriamente hacia el lado superior derecho del parche evaluado, coincidente con la agrupación de la humedad de suelo y la profundidad. En contraste, la agregación para la apertura de dosel arbóreo, es apuesta a la agregación de los árboles.

Para el porcentaje de cobertura de roca, el software SADIE detectó una agrupación de manchas hacia el lado superior derecho del parche, que disminuyó en el lado inferior con una coloración amarilla.

La pendiente mostró una agrupación en lado inferior del parche, mientras que a medida que asciende presenta claros.

4.1.3.2. Índices de agregación (I_a) y agrupación (V) para el parche n° 2

En el cuadro n° 18 se detallan los resultados de los índices I_a , V_i y V_j obtenidos mediante SADIE para el parche n° 2, los cuales son representados en el gráfico n° 18. Los valores de I_a mayores a la unidad indican un patrón general agregado y significativo ($P \leq 0.05$), siendo éstos: árboles de *Polylepis*, profundidad de suelo, porcentaje de cobertura de roca y porcentaje de pendiente.

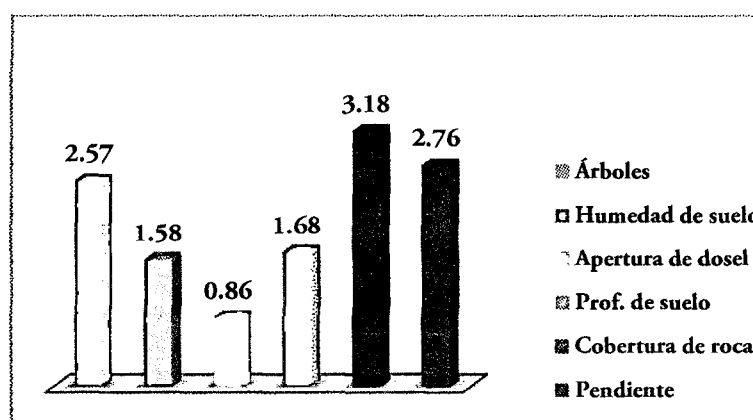
Cuadro 18: Índices de agregación y agrupación para el parche n° 2 obtenidos mediante SADIE

VARIABLES	PARCHE 2		
	ÍNDICES		
	Ia	Vj	Vi
ÁRBOLES	2.57(0,0026)	-2.02(0.02)	2.34 (0.0064)
HUMEDAD DE SUELO	1.58 (0,08)	-1.191 (0.21)	1.66 (0.06)
% APERTURA DE DOSEL	0.86(0,54)	-1.15 (0.25)	0.94 (0.46)
PROFUNDIDAD DE SUELO	1.68(0,05)	-2.11 (0.01)	1.35 (0.1)
% COBERTURA DE ROCA	3.18(0,0004)	-2.13 (0.01)	3.61 (0.0004)
% PENDIENTE	2.76(0,001)	-2.27 (0.009)	2.53 (0.006)

*los valores en negrita y cursiva son los significativos.

En lo que respecta a la humedad de suelo, presentó un patrón agregado (1.58) sin embargo, no significativo. Análogamente, el porcentaje de apertura de dosel arbóreo presentó un patrón regular con un índice de agregación menor a la unidad (0.86) aunque no significativo. De igual forma, en el cuadro n°18 se resumen las medias de los índices de agrupación para manchas (V_i) y claros (V_j) de cada variable evaluada.

Gráfico 18: Índices de agregación para el parche n° 2 obtenidos mediante SADIE



Las variables que presentaron mayor agregación en el parche n° 2 fueron: el porcentaje de cobertura de roca, seguido de la pendiente y los árboles de *Polylepis*. Y las de menor agregación fueron la profundidad y la humedad de suelo.

Mapas del Índice de Agrupación (V) para el parche n° 2

La realización de mapas bidimensionales con el programa Surfer, permitió observar las posiciones de las manchas y claros del índice de agrupación (V). Los valores mayores a 1.5 indican la presencia de manchas significativas y aquellos valores menores a -1.5 indican claros significativos, en negrita y cursiva respectivamente. Los valores que no pertenecen a una mancha o claro están en gris.

Cuadro 19: Índices de agrupación para el parche n° 2

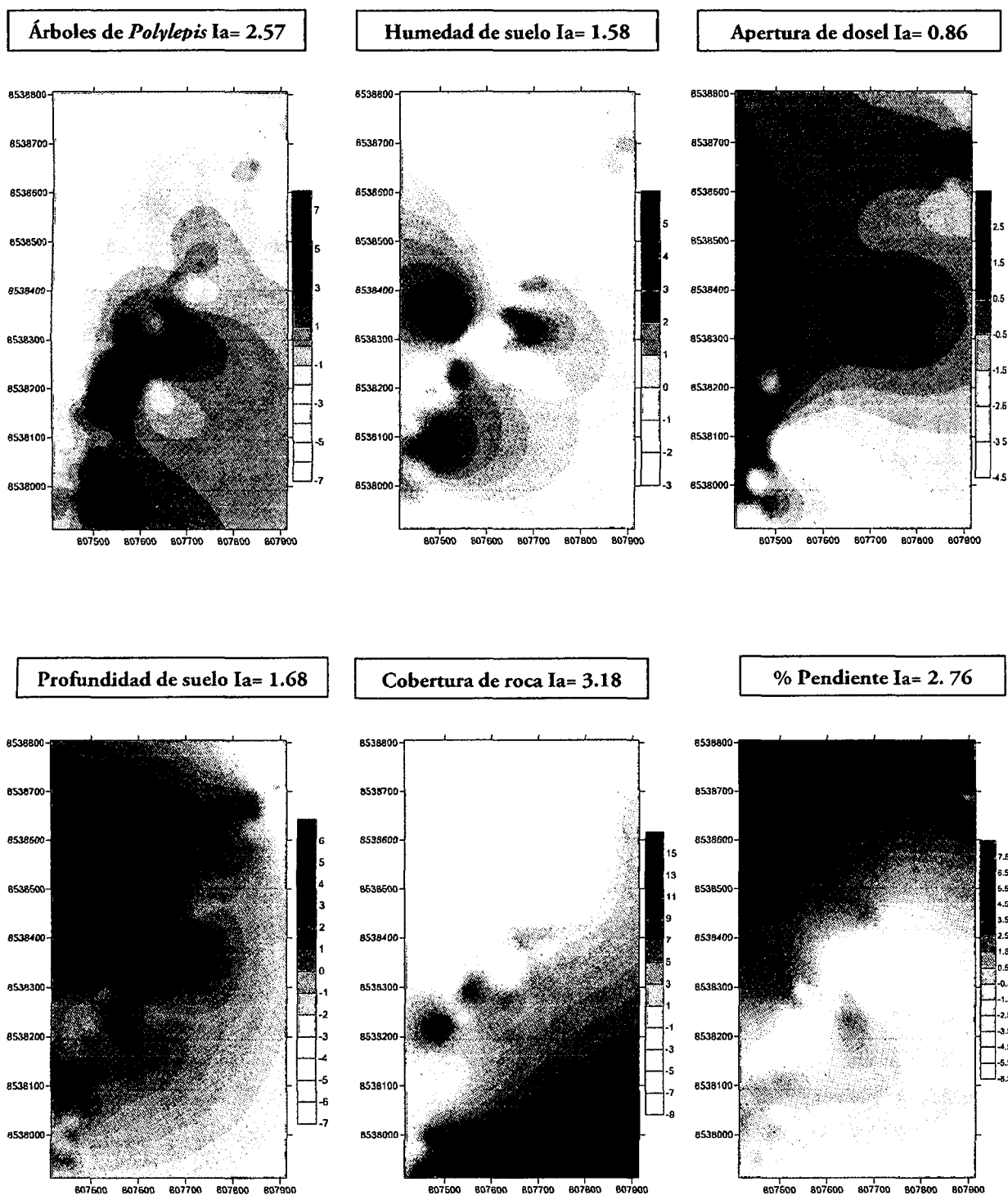
COORDENADAS		Índices de Agrupación parche n° 2					
X	Y	ARB	HUM	LUZ	PROF	ROCA	PEND
807414	8537982	0.64095	0.91091	0.61421	-1.6295	0.60554	-0.58331
807415	8537950	1.2927	-0.6289	-0.89567	0.76951	1.13005	-1.28877
807419	8538013	-0.59651	1.62871	1.12301	-0.53409	-0.81313	1.19886
807421	8537911	-0.73336	<i>-1.53758</i>	<i>-2.51073</i>	<i>-2.58671</i>	2.95057	<i>-1.89919</i>
807429	8538042	-1.35287	0.51821	2.31491	0.46142	0.47422	1.10268
807437	8538067	-0.7168	2.32281	2.17677	1.47114	-1.31824	-0.63891
807443	8538096	-1.2004	1.39512	-0.43202	2.18187	-1.14685	0.52432
807449	8537977	1.09683	0.87206	0.62814	<i>-2.0552</i>	-0.63128	-1.47189
807450	8538121	-1.4773	-0.40929	0.98583	1.43134	0.40086	-1.44459
807454	8537946	-0.45896	-0.67409	<i>-2.57544</i>	0.52604	4.41663	0.54993
807456	8538027	0.87669	-0.4623	<i>-2.07301</i>	<i>-1.55665</i>	1.35193	-0.60681
807460	8537997	-0.51683	0.92546	<i>-2.81139</i>	1.11811	7.85347	-1.05543
807461	8537923	0.45825	-1.19685	<i>-2.28934</i>	-1.1224	16.16325	<i>-1.56879</i>
807463	8538143	0.49832	0.91066	2.51605	0.4682	<i>-1.5721</i>	<i>-2.01358</i>
807468	8538058	-0.65527	1.96542	2.1381	0.91101	0.3358	0.61207
807472	8538079	-0.87714	3.95985	0.89926	1.18909	-0.27715	0.49982
807475	8538170	-0.50702	-0.47798	2.35214	-0.71897	1.68166	<i>-2.05176</i>
807482	8537990	3.18031	-0.34043	-1.28757	-0.88233	8.27929	-0.40492
807483	8537959	2.9782	-0.77832	0.55437	<i>-1.83213</i>	6.98542	<i>-2.18313</i>
807486	8538017	1.54976	0.37329	-1.07115	-0.45509	4.67239	0.628
807487	8538196	<i>-1.51444</i>	0.66783	<i>-1.62855</i>	0.37531	8.46291	<i>-1.84804</i>
807494	8538040	2.99099	3.03556	0.34893	0.29935	2.81351	<i>-2.89654</i>
807497	8538216	1.47388	-1.28375	-1.17586	-0.99883	9.54768	-1.43593
807502	8538064	3.4202	3.1202	<i>-4.18217</i>	0.63423	0.40376	-0.40157
807505	8538236	0.93317	-0.80479	-0.51096	-0.46377	6.36102	<i>-1.62937</i>
807506	8538117	0.79432	3.066	-0.93106	0.78807	-1.04803	0.60073
807511	8538192	6.83138	-1.29376	-0.47615	0.31461	3.40183	<i>-4.31833</i>
807514	8538260	0.68365	0.42954	0.58331	0.37604	1.14069	-1.07071
807517	8538092	-0.33121	1.94139	<i>-2.77082</i>	-0.26565	-0.51855	0.29859
807519	8538283	-0.48558	-0.2995	1.22889	-0.31687	0.38167	1.84942
807525	8538217	6.77681	2.81068	0.83378	0.33572	3.36831	<i>-5.9935</i>
807529	8538302	0.27436	4.02085	1.0924	0.16689	-0.26578	1.27727

807537	8538241	5.2755	2.53995	-0.27727	1.25437	-0.97919	-6.24523
807537	8538260	3.96933	0.97803	0.23134	1.06025	2.77168	1.44271
807539	8538320	-0.30977	4.64043	0.17458	4.78422	-0.47542	0.63768
807542	8538294	-0.69116	-0.40998	0.91191	-0.1519	7.09797	-3.58557
807559	8538310	4.51204	-0.52301	-0.39212	4.59338	5.0427	0.62137
807631	8538258	3.20351	-2.49563	-0.24166	-0.79619	4.31026	-1.27813
807634	8538172	-1.67815	0.86304	-1.37399	0.49726	3.20235	-0.22134
807636	8538314	0.23217	-2.31602	-0.32705	2.13742	-3.26309	-3.98307
807639	8538205	-2.49223	0.83245	-0.8314	0.30632	4.76439	0.60614
807641	8538282	3.88338	1.15102	0.37403	0.47935	4.82421	0.27511
807644	8538337	-1.38814	1.67533	0.8109	4.39568	-3.34983	-4.79178
807646	8538237	4.6648	-2.24054	-0.64738	-0.56073	2.22788	2.12593
807657	8538358	4.24839	2.04353	0.59865	3.76982	-3.69242	-4.31862
807665	8538386	0.27979	-2.92204	0.6916	1.94099	3.70316	-3.42875
807672	8538445	-1.4711	-1.03514	-0.29186	1.76048	-1.49469	1.53664
807678	8538436	1.74176	-1.41637	-0.19314	-0.33192	-1.9989	1.86757
807680	8538407	-0.2164	1.94046	0.26793	2.93474	2.6582	-2.84336
807688	8538270	3.26899	-0.91142	-0.20042	-0.31501	2.50291	-2.8767
807689	8538299	3.43855	3.12183	0.24294	0.25842	3.59135	-3.59629
807697	8538334	3.11204	2.57678	1.0743	2.59036	3.04273	-2.45212
807710	8538376	-1.25485	-0.85819	2.1007	2.3064	-1.16813	-3.32158
807719	8538412	-3.06348	1.58187	1.03997	2.08253	2.31863	-1.64681
807728	8538447	1.3761	-1.15867	-0.29353	-0.98591	-3.09323	-1.75661
807835	8538592	-2.19692	-1.70719	-1.29185	0.6104	-2.09465	1.77219
807840	8538616	-1.43934	-1.76753	0.21246	-2.40683	-3.07783	1.5854
807845	8538694	-2.16521	-0.20595	0.35873	0.89363	-3.60406	2.54693
807845	8538679	-4.15992	-0.34186	0.60371	0.20372	-4.96583	3.80409
807849	8538655	0.86563	0.33785	-0.21738	0.91279	-3.11541	3.00469
807853	8538733	-5.38419	-2.8069	-0.5812	-3.37267	-5.57293	5.38256
807856	8538762	-4.40281	0.45176	-0.67043	-3.42979	-5.29708	4.96322
807857	8538713	-7.14466	0.27892	-0.43695	-3.83926	-0.85531	5.11761
807869	8538617	-2.25971	-2.23491	-1.30783	-1.94263	0.30176	2.40026
807874	8538642	-4.06953	0.77742	0.2533	-2.63852	0.77738	4.00483
807875	8538806	0.56147	-2.39462	-1.53864	-4.83087	-5.32538	6.74765
807887	8538667	-5.27602	-0.41107	0.99327	-4.64388	0.94968	5.9347
807896	8538685	-5.06099	0.92385	0.71643	-7.33894	0.82297	-0.7524
807897	8538709	-4.11783	0.71689	0.94074	0.35953	-0.67284	4.82833
807906	8538728	0.48198	-0.82761	-0.93723	-7.09807	-0.7653	3.23532
807909	8538754	-1.12408	-1.33485	-1.71547	-4.95453	-1.45052	7.73386
807914	8538779	-2.00015	0.87609	-1.10371	-2.47871	-2.21631	7.36496

*ARB= árboles; HUM= humedad de suelo; A.DOS= apertura de dosel arbóreo; ROCA= cobertura de roca; PROF= Profundidad de suelo; PEND= pendiente

En la figura n° 9 se presentan los mapas obtenidos mediante Kriging, en base a los valores del cuadro anterior, los colores rojos indican la posición de las manchas, mientras que los colores amarillos la posición de los claros. La leyenda no tiene unidades, pero muestra los niveles de agrupación para cada variable.

Figura 9: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche n° 2 del bosque de *Polylepis* de Mantabay.



Así se detalla que, la presencia de manchas de agregación en el patrón de los árboles, coincide con algunas manchas de agregación de la humedad de suelo y con las de profundidad, y que están coloreadas de rojo intenso.

En cuanto a la apertura de dosel arbóreo, no se observó una diferencia entre manchas y claros, lo cual influye en que el índice de agregación para esta variable no sea mayor a la unidad (0.86) y consecuentemente muestre un patrón espacial regular.

Por el contrario, la agregación del porcentaje de cobertura de roca se posicionó hacia el lado inferior, mientras que los claros se dibujaron hacia el lado superior del parche. Ésta variable mostró la mayor agregación con respecto a todas las otras evaluadas para el parche n° 2, dado que se observa una zona con un índice de agrupación (V_i) superior a 16 y que se muestra coloreado en rojo intenso.

Las variaciones en la pendiente dibujaron una agregación hacia el lado superior del parche evaluado. El valor máximo del índice de agrupación para las manchas (V_i) es de 8 y el valor mínimo de - 6.

4.1.3.3. Índices de agregación (I_a) y agrupación (V) para el parche n° 3

En el cuadro n° 20 se resumen los índices de agregación y agrupación obtenidos mediante SADIE. Asimismo, se detallan las medias de los índices de agrupación para las manchas (V_i) y claros (V_j) de cada una de las variables

Cuadro 20: Índices de agregación y agrupación para el parche n° 3 obtenidos mediante SADIE

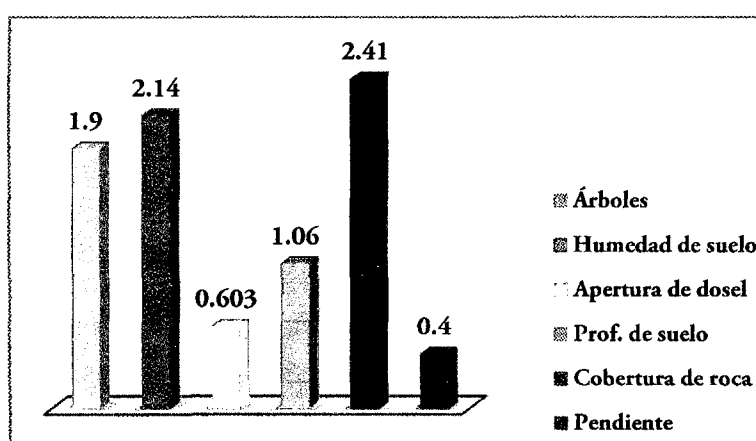
VARIABLES	PARCHE 3		
	ÍNDICES		
	I_a	V_j	V_i
ÁRBOLES	1.90 (0.05)	-2.16 (0.03)	1.35 (0.1)
HUMEDAD DE SUELO	2.14 (0.02)	-1.72 (0.05)	2.99 (0.0038)
% APERTURA DE DOSEL	0.603 (0.80)	-0.71 (0.68)	0.572 (0.83)
PROFUNDIDAD DE SUELO	1.06 (0.35)	-0.89 (0.47)	1.09 (0.32)
% COBERTURA DE ROCA	2.41 (0.01)	-1.99 (0.05)	2.41 (0.02)
% PENDIENTE	0.40(0,98)	-0.43(0.97)	0.59(0.81)

*los valores en negrita y cursiva son los significativos.

Se detectó la presencia de un patrón general agregado altamente significativo ($P \leq 0.05$) para las siguientes variables: árboles, humedad de suelo y porcentaje de cobertura de roca. Así como también manchas y claros significativos.

Para las variables, porcentaje de apertura de dosel arbóreo y porcentaje de pendiente se observó un patrón regular sin embargo, el P-valor difiere de la significancia. Seguidamente, la profundidad de suelo presentó un índice de agregación débil dado que el I_a es ligeramente mayor a la unidad (1.06) y además, no significativo.

Gráfico 19: Índices de agregación para el parche n° 3 obtenidos mediante SADIE



En el gráfico anterior se representan los valores del índice de agregación (I_a). La variable de mayor agregación fue la cobertura de roca seguida de la humedad de suelo y los árboles; contrariamente, la profundidad de suelo fue el de menor agregación.

Mapas del Índice de agrupación (V) para el parche n° 3

Los mapas se realizaron en base a los resultados del cuadro n° 21. Los valores mayores a 1.5 indican la presencia de manchas y aquellos valores menores a -1.5, indican claros, en negrita y cursiva respectivamente. Los valores que no pertenecen a una mancha o claro están en gris. Los mapas se observan en la figura n° 10.

Cuadro 21: Índices de Agrupación (V) para el parche nº 3

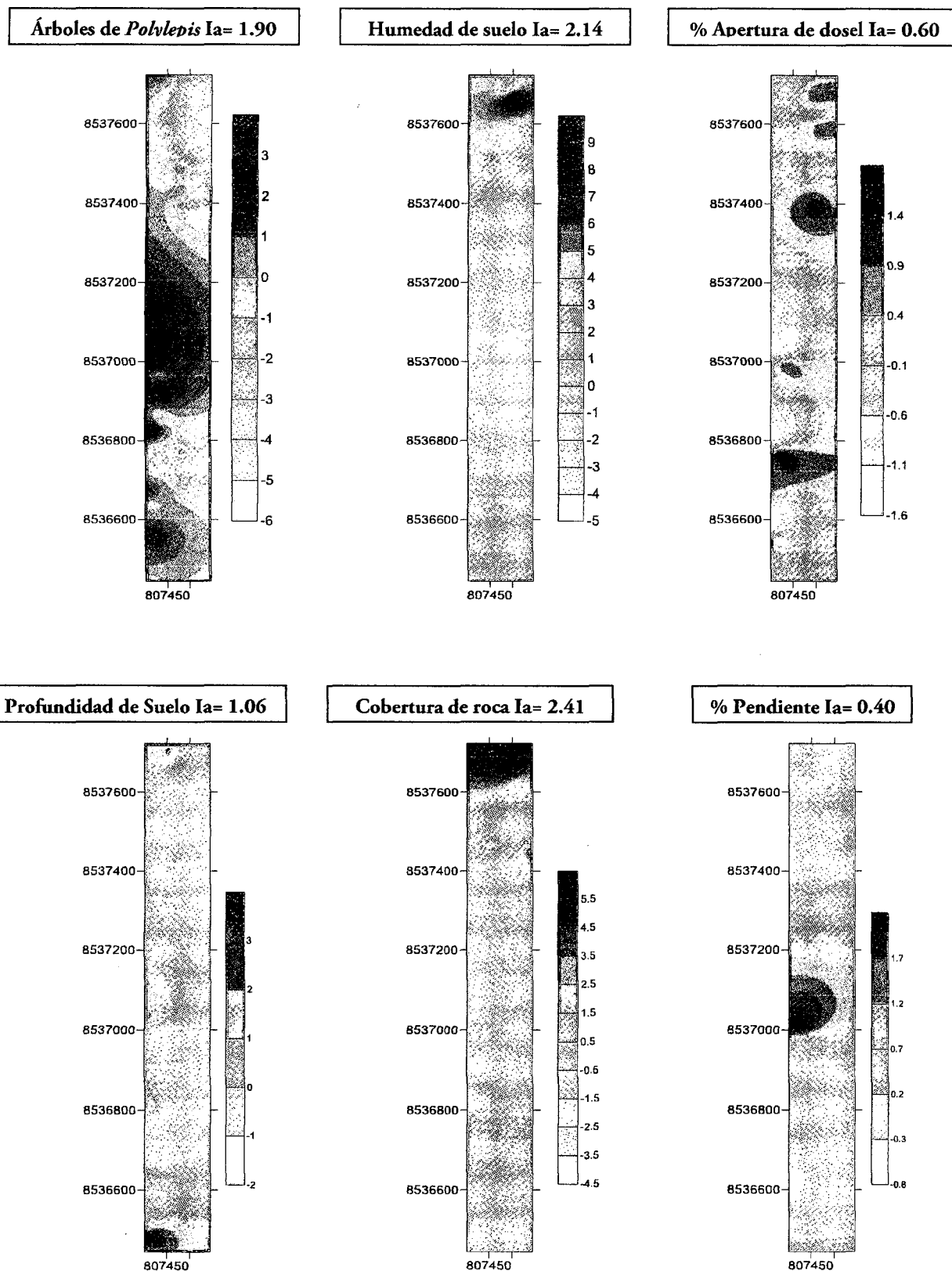
COORDENADAS		Índices de Agrupación (V) parche nº 3					
X	Y	ARB	HUM	LUZ	PROF	ROCA	PEND
807402	8536524	-0.22313	-0.24618	0.21381	-0.63509	0.64186	-0.51865
807409	8536580	2.4087	1.8043	0.59748	0.45798	-1.68081	0.19239
807409	8536553	0.96052	1.44829	-1.68414	-0.21776	-0.99014	-0.71331
807410	8536496	0.79758	1.07579	-0.22845	2.21595	0.4749	-0.21883
807412	8536670	-0.19583	-0.21107	0.18451	1.13395	-0.58616	0.57678
807412	8536444	1.41807	-0.72742	0.65574	-0.7483	0.69889	-0.51133
807413	8536643	-0.46625	1.19112	-1.17374	0.63045	0.49007	-0.7114
807415	8536468	0.14077	1.21825	-0.25582	2.86863	-3.70443	0.13624
807417	8536827	0.3713	-1.21885	-1.50961	1.03823	-2.04179	-0.18752
807417	8536799	3.31231	0.17235	-1.31621	0.94666	-5.27653	0.21942
807420	8536740	-1.21061	-1.73391	0.79602	-0.90261	1.20262	0.70004
807421	8537025	1.95695	-3.23129	-1.56968	1.69853	-2.70186	2.02958
807423	8537050	-1.24953	-1.73795	1.40787	-1.9765	1.43892	-0.47656
807423	8536768	2.31795	-2.21524	-1.33478	1.47744	-2.53345	1.62192
807429	8536875	-0.70089	-1.09523	-0.68488	-0.37475	0.38268	0.39632
807429	8536850	-0.44064	-5.2135	-0.66188	0.48732	-0.70748	0.27989
807431	8536993	2.52721	-2.46051	0.90802	-0.81312	0.96896	1.75624
807434	8536965	-0.74878	-2.22224	0.4334	-0.67862	0.58809	-0.14998
807438	8536908	2.16251	-2.87003	-0.16841	0.14679	-2.9351	-0.20817
807440	8536938	2.05623	-3.10321	0.37898	-0.62275	-3.15978	0.11915
807450	8537724	0.34371	3.4689	-0.31052	1.36123	3.85344	-0.1604
807461	8537702	0.25602	4.68916	-0.46424	1.86731	6.1487	0.24163
807467	8537457	-2.01068	2.26904	-0.08364	-0.42759	3.20648	-0.53123
807472	8537444	0.90031	1.77575	0.25136	0.06389	-1.05727	-0.64184
807479	8537483	0.96718	3.6347	0.20381	-1.44895	-1.04312	-0.33469
807483	8537688	-3.99678	-0.32259	0.53483	0.48067	5.05229	-0.80448
807496	8537644	-2.61851	7.80158	0.25325	-0.38041	4.74934	-0.50249
807498	8537665	-3.9448	9.7491	0.80236	0.49027	5.39629	-0.56298
807503	8537397	-1.48441	-0.46607	1.12483	-1.3072	-0.74757	0.16138
807506	8537629	-5.71461	6.03654	-0.14371	-0.38756	2.2568	0.31551
807515	8537590	-5.27003	1.37739	0.83339	-0.95101	0.94017	0.56172
807529	8537485	-3.71906	1.29875	-0.37759	-1.49592	-0.68249	0.31048
807539	8537454	-2.71238	-0.18326	0.14622	-1.22966	4.01047	0.3484
807545	8537426	0.10122	1.75858	-0.08897	-1.48552	3.2813	-0.10341

*ARB= árboles; HUM= humedad de suelo; A.DOS= apertura de dosel ROCA= cobertura de roca; PROF= Profundidad de suelo; PEND= pendiente

Las zonas de mayor agregación de la variable, están coloreadas en rojos y representan las manchas (V_i), mientras que las zonas de menor agregación se muestran en

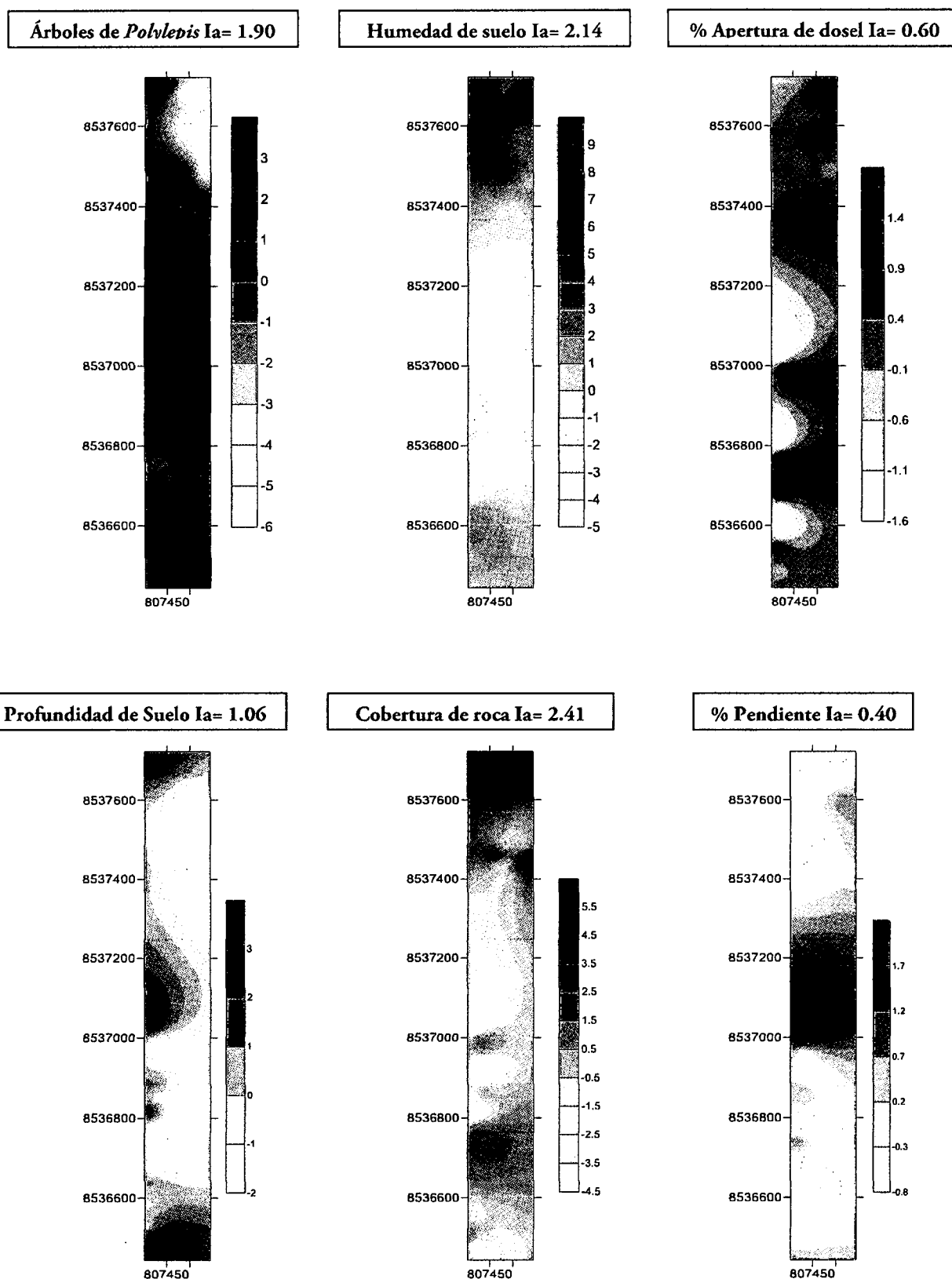
amarillos (V_j), y vienen a ser los claros. La leyenda indica los niveles de agrupación para cada una de las variables.

Figura 10: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche nº 3 del bosque de *Polylepis* de Mantabay.



amarillos (V_j), y vienen a ser los claros. La leyenda indica los niveles de agrupación para cada una de las variables.

Figura 10: Mapas del índice de agrupación (V) para las variables evaluadas en el Parche nº 3 del bosque de *Polylepis* de Mantabay.



Así se detalla que, las manchas de agregación de los árboles se ubicaron al centro del parche, aunque dicha agregación no coincide con las manchas de humedad de suelo o profundidad como en los parches n° 1 y n° 2.

La apertura de dosel arbóreo dibujó una distribución regular para las manchas y claros a lo largo del parche. Se puede observar que la cantidad de claros es superior a las manchas, coloreadas de amarillo y rojo respectivamente.

Por otra parte, la agregación de las manchas del porcentaje de cobertura de roca se distribuyó hacia el lado superior disminuyendo sus valores hacia la parte baja del parche, lo que se comprueba con la coloración de rojo a amarillo.

En lo que respecta a la profundidad de suelo, los índices de agrupación para las manchas (V_i) no son tan elevados como en los casos anteriores y sólo se muestran en los rojos intensos

La pendiente mostró un patrón regular por lo que se infiere que el parche n° 3 se encuentra en zonas de baja pendiente. Como resultado de este patrón no se encontraron valores de los índices de agrupación superiores 1.5 en el caso de las manchas, o inferiores a -1.5 en el caso de los claros por lo que el patrón espacial general resultó regular.

4.1.4. Análisis de covariación espacial global

El cuadro n° 22 resume los análisis de asociación espacial global, entre pares de variables.

Cuadro 22: Covariación espacial de variables para el bosque de Mantamay

		HUMEDAD DE SUELO	APERTURA DE DOSEL	PROFUNDIDAD DE SUELO	COBERTURA DE ROCA	% PENDIENTE
PARCHE 1	ARBOLES	<i>0.73 (0.0001)</i>	-0.57 (0.99)	<i>0.51 (0.003)</i>	<i>0.40 (0.01)</i>	-0.20 (0.85)
PARCHE 2	ARBOLES	0.12 (0.17)	-0.08 (0.76)	<i>0.33 (0.001)</i>	<i>0.32 (0.002)</i>	-0.56 (0.99)
PARCHE 3	ARBOLES	-0.45 (0.99)	-0.34 (0.97)	<i>0.32 (0.03)</i>	-0.59 (0.99)	0.24 (0.85)

*Los valores en negrita y cursiva son los significativos para las asociaciones y esta resaltados en morado; los valores en negrita son los significativos para las disociaciones y están en amarillo.

En el parche n° 1 se detectó una asociación positiva significativa de los árboles de *Polylepis* con las siguientes variables: humedad de suelo, profundidad de suelo y cobertura de roca. Por el contrario, la apertura de dosel y el porcentaje de pendiente mostraron una disociación con los árboles aunque, para ésta última el resultado no es significativo.

Para el parche n° 2 los árboles se asociaron positiva y significativamente a la profundidad de suelo y cobertura de roca. De igual forma, se observó una asociación positiva con la humedad de suelo sin embargo, dicha asociación no es significativa ($P > 0.025$). En cuanto a la pendiente, presentó una clara disociación con los árboles de acuerdo al valor negativo de χ . De forma similar, la apertura de dosel arbóreo; no obstante, el nivel de significación para la disociación resultó menor que 0.925, por lo que no es significativa.

Para el parche n° 3 la única asociación positiva de los árboles fue con las variables profundidad de suelo y la pendiente, aunque ésta última tiene una significancia bastante mayor que 0.025 por lo que no se puede afirmar con certeza la mencionada asociación. Por el contrario, las otras variables: humedad de suelo, apertura de dosel arbóreo y cobertura de roca mostraron una clara disociación con los árboles de *Polylepis*.

4.1.5. Análisis de Asociación local

Con el análisis de asociación local se muestran las zonas concretas de los parches donde las asociaciones o disociaciones ocurren con mayor intensidad. Aquellas zonas donde ambas muestren una mancha o un claro contribuirán de manera importante y positiva a la correlación, mientras que donde una muestre una mancha y la otra un claro la contribución será negativa (disociación). Todos los mapas para la asociación local se obtuvieron mediante los valores de χ que al ser continuos y autorrelacionados pueden ser visualizados en mapas bidimensionales con el software Surfer.

4.1.5.1. Asociación local para el parche n° 1

En el cuadro n° 23 se resumen las coordenadas y los valores de χ para cada uno de los análisis de asociación/disociación que se realizaron entre las variables: árboles-humedad de suelo, árboles-apertura de dosel arbóreo, árboles – profundidad de suelo, árboles- cobertura de roca y árboles- pendiente. Los valores en negrita son valores positivos y por ende

demuestran una asociación positiva. En contraste, los valores negativos afirman una asociación negativa, y están en cursiva.

Cuadro 23: Valores de χ para los análisis de asociación/disociación parche nº 1

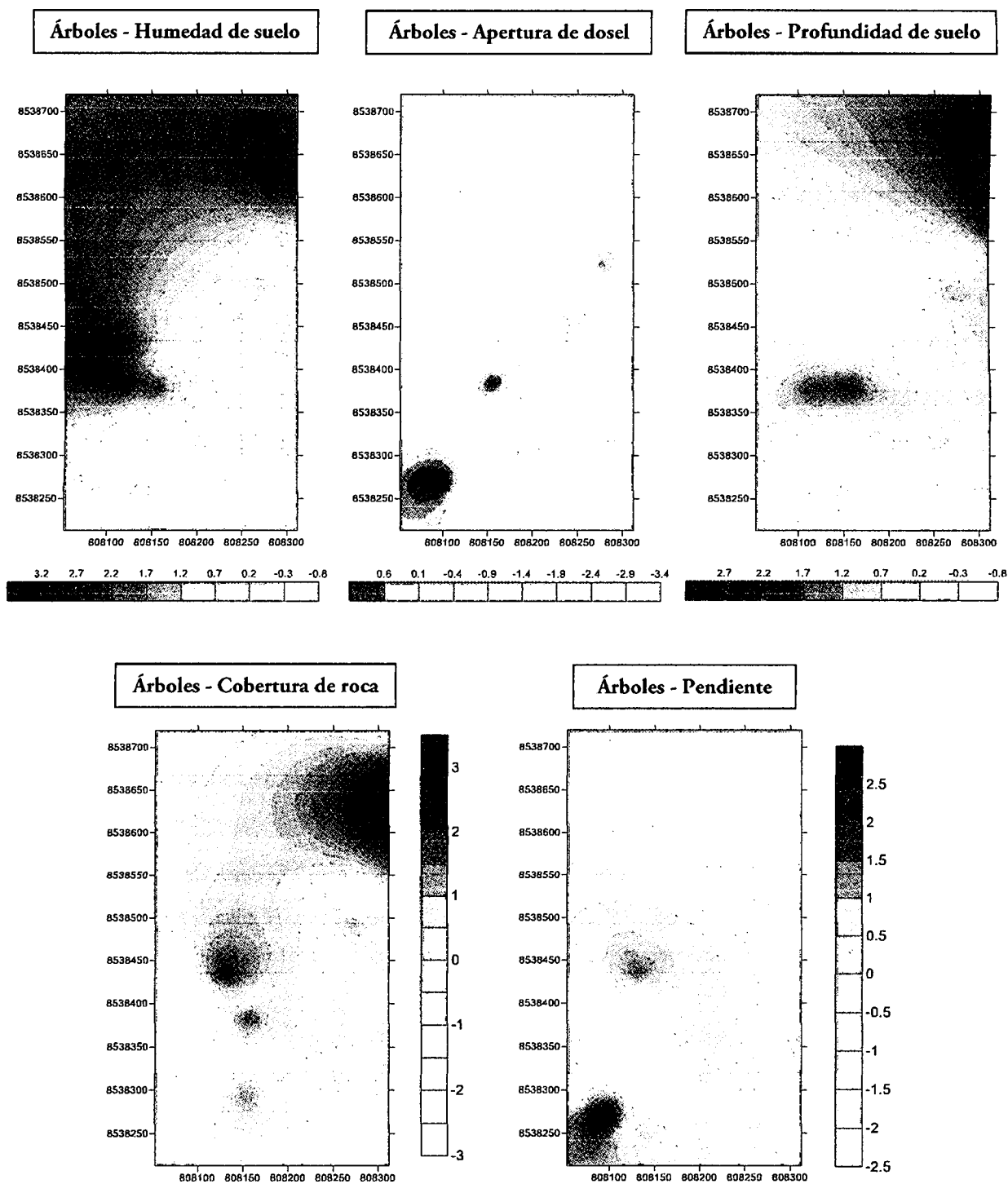
COORDENADAS		χ				
X	Y	ÁRB-HUM	ÁRB-DOSEL	ÁRB-PROF	ÁRB-ROC	ÁRB-PEND
808053	8538336	0.99	<i>-0.72</i>	0.46	<i>-0.31</i>	0.30
808057	8538316	0.03	<i>-0.43</i>	0.30	<i>-0.16</i>	0.20
808067	8538289	0.18	0.38	0.17	<i>-0.10</i>	0.00
808074	8538276	0.45	0.79	0.08	<i>-0.79</i>	1.22
808092	8538407	2.51	<i>-3.30</i>	0.22	<i>-1.48</i>	<i>-0.43</i>
808101	8538267	<i>-0.10</i>	1.01	<i>-0.25</i>	<i>-1.61</i>	2.61
808115	8538256	0.03	<i>-0.06</i>	0.02	0.09	<i>-0.17</i>
808115	8538373	1.97	<i>-0.36</i>	1.47	<i>-0.08</i>	<i>-1.36</i>
808131	8538436	1.87	<i>-1.74</i>	<i>-0.18</i>	2.22	1.25
808134	8538334	<i>-0.78</i>	<i>-0.36</i>	<i>-0.61</i>	<i>-0.59</i>	<i>-1.10</i>
808141	8538246	0.39	<i>-0.81</i>	0.36	0.24	0.81
808142	8538459	0.96	<i>-1.05</i>	<i>-0.65</i>	1.30	0.54
808152	8538294	<i>-0.52</i>	<i>-0.41</i>	<i>-0.42</i>	1.28	<i>-0.71</i>
808156	8538403	0.13	0.06	0.11	0.11	<i>-0.08</i>
808157	8538382	1.92	0.87	1.94	1.66	<i>-1.15</i>
808159	8538231	0.00	0.09	<i>0.00</i>	0.02	<i>-0.13</i>
808173	8538365	0.56	<i>-0.75</i>	0.93	0.63	0.48
808177	8538213	<i>-0.21</i>	<i>-0.29</i>	<i>-0.64</i>	<i>-0.58</i>	0.54
808179	8538343	0.11	<i>-0.11</i>	0.19	0.10	<i>-0.07</i>
808188	8538323	0.31	<i>-0.30</i>	0.47	0.34	0.18
808191	8538305	0.16	0.12	<i>-0.16</i>	0.11	0.07
808254	8538469	<i>-0.01</i>	0.07	0.04	<i>-0.08</i>	0.10
808271	8538492	0.73	<i>-0.76</i>	1.05	0.97	<i>-0.72</i>
808277	8538519	0.02	0.51	<i>-0.05</i>	<i>-0.44</i>	0.48
808288	8538542	<i>-0.14</i>	0.13	<i>-0.10</i>	<i>-0.12</i>	0.15
808304	8538560	0.46	<i>-1.50</i>	1.62	1.36	<i>-1.10</i>
808305	8538720	1.76	<i>-1.60</i>	1.81	0.10	<i>-1.28</i>
808308	8538609	2.49	<i>-2.10</i>	2.33	2.62	<i>-2.41</i>
808311	8538664	2.38	<i>-2.57</i>	2.70	2.36	<i>-2.10</i>
808312	8538636	3.27	<i>-2.02</i>	2.22	2.89	<i>-2.17</i>

ÁRB-HUM= árboles-humedad de suelo; ÁRB-DOSEL= árboles-apertura de dosel arbóreo; ÁRB-PROF= árboles-profundidad de suelo; ÁRB-ROC=árboles-cobertura de roca; ÁRB-PEND=árboles-pendiente

Los mapas de estas asociaciones se describen en la figura 11. Se realizaron utilizando los valores de χ del cuadro anterior. Las zonas en color amarillo indican disociación entre

las variables las zonas en morado indican una asociación. La leyenda indica la intensidad de la asociación.

Figura 11: Mapas de asociación local para el parche nº 1 del bosque de Mantaney.



La humedad de suelo y los árboles se asociaron positivamente hacia el lado superior derecho del parche, que disminuyó hacia el lado inferior del mismo aunque se mantienen asociados en baja proporción, no llegan a la disociación completa. De forma similar, la profundidad de suelo y la cobertura de roca mostraron una asociación con los árboles especialmente en el lado superior del parche. Los colores morados más intensos muestran las zonas concretas con mayor asociación.

En contraste, la apertura de dosel arbóreo observó una disociación con *Polylepis* en el lado superior del parche, lo cual se observa con la predominancia del color amarillo esto significa que, una de las variables presentó una mancha mientras que la otra un claro. En igual medida, el porcentaje de pendiente mostró una disociación de los árboles, especialmente en aquellas zonas donde la pendiente acrecentó su valor.

4.1.5.2. Asociación local para el parche n° 2

En el cuadro 24 se resumen las coordenadas y los valores de χ para cada uno de los análisis de covariación que se realizaron entre pares de variables: árboles-humedad de suelo, árboles-apertura de dosel arbóreo, árboles-profundidad de suelo, árboles- cobertura de roca y árboles- pendiente. Los valores en negrita son valores positivos y por ende demuestran una asociación positiva. En contraste, los valores negativos afirman una disociación y están en cursiva.

Cuadro 24: Valores de χ para los análisis de asociación/disociación parche n° 2

COORDENADAS		χ				
X	Y	ÁRB-HUM	ÁRB-DOSEL	ÁRB-PROF	ÁRB-ROC	ÁRB-PEND
807414	8537982	0.0662	0.1087	<i>-0.1188</i>	<i>-0.0265</i>	<i>-0.0412</i>
807415	8537950	<i>-0.2307</i>	<i>-0.2448</i>	0.1739	<i>-0.0009</i>	<i>-0.1891</i>
807419	8538013	<i>-0.1868</i>	<i>-0.2341</i>	0.0365	0.1243	<i>-0.0919</i>
807421	8537911	0.3152	0.531	0.303	<i>-0.1381</i>	0.1909
807429	8538042	<i>-0.0604</i>	<i>-0.9532</i>	<i>-0.1433</i>	0.0883	<i>-0.1757</i>
807437	8538067	<i>-0.3349</i>	<i>-0.5051</i>	<i>-0.2056</i>	0.1835	0.0671
807443	8538096	<i>-0.287</i>	0.1046	<i>-0.4678</i>	0.272	<i>-0.0695</i>
807449	8537977	0.1138	0.2038	<i>-0.2832</i>	<i>-0.162</i>	<i>-0.1794</i>
807450	8538121	0.2335	<i>-0.4728</i>	<i>-0.3878</i>	0.1065	0.2781
807454	8537946	0.1128	0.3655	<i>-0.0605</i>	<i>-0.1674</i>	<i>-0.0315</i>
807456	8538027	<i>-0.1238</i>	<i>-0.4056</i>	<i>-0.1618</i>	0.0152	<i>-0.0612</i>
807460	8537997	<i>-0.0768</i>	0.4424	<i>-0.1221</i>	<i>-0.3785</i>	0.0806
807461	8537923	<i>-0.1114</i>	<i>-0.2085</i>	<i>-0.0511</i>	0.4956	<i>-0.0688</i>
807463	8538143	0.0488	0.2844	0.0399	<i>-0.0994</i>	<i>-0.0972</i>

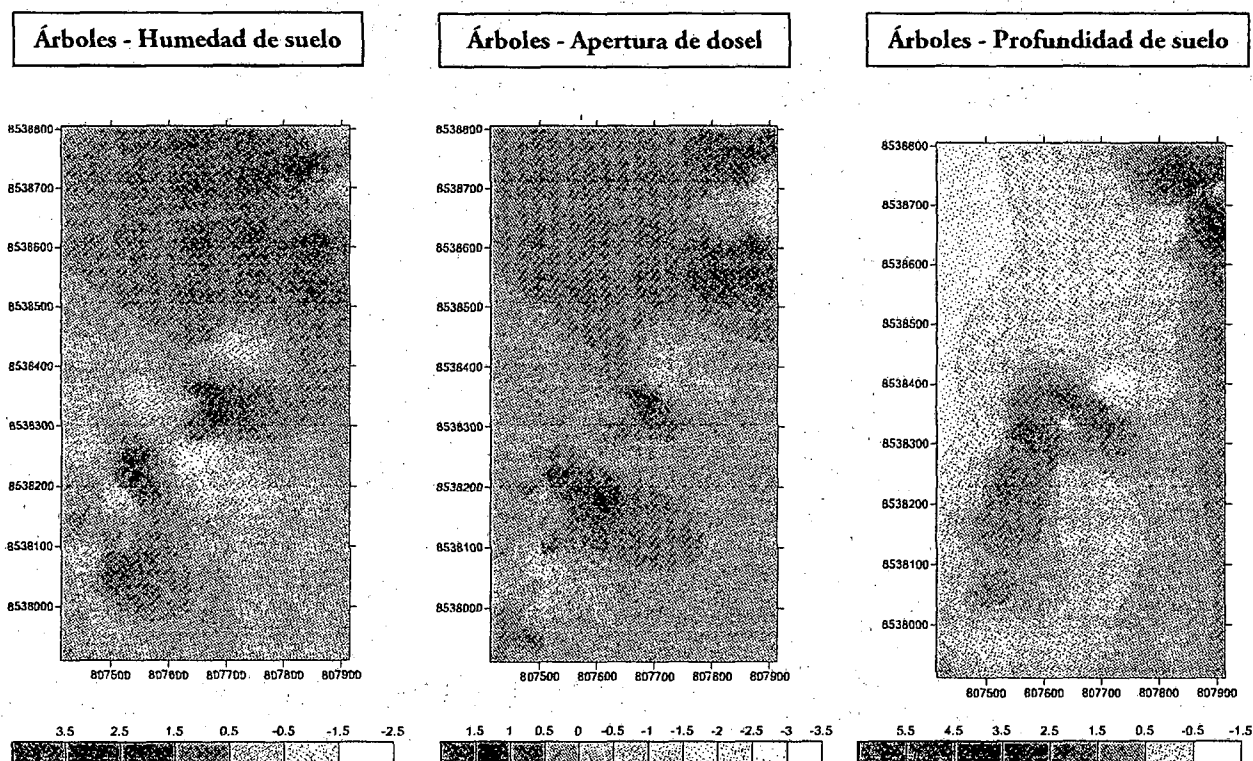
807468	8538058	-0.2545	-0.4592	-0.1259	0.0554	-0.048
807472	8538079	-0.7275	-0.27	-0.2042	0.1265	-0.0494
807475	8538170	0.0982	-0.4036	0.0488	-0.0301	0.1497
807482	8537990	-0.4133	-0.956	-0.3249	2.0168	-0.1697
807483	8537959	-0.6442	0.5306	-0.7192	1.5431	-0.7567
807486	8538017	0.0173	-0.3659	-0.0588	0.4701	0.0952
807487	8538196	-0.1165	0.6479	-0.1382	-1.0825	0.3606
807494	8538040	1.6103	0.3734	0.2145	0.444	-1.0011
807497	8538216	-0.45	-0.3854	-0.1693	1.0601	-0.2414
807502	8538064	1.9068	-3.6115	0.4154	-0.2237	-0.1816
807505	8538236	-0.1913	-0.0849	-0.0349	0.3996	-0.1654
807506	8538117	0.3918	-0.1493	0.1033	-0.1395	0.0434
807511	8538192	-2.2163	-0.622	0.5149	1.3965	-3.4482
807514	8538260	0.0137	0.1124	0.0502	0.0001	-0.0777
807517	8538092	-0.1429	0.3042	0.005	0.0652	-0.0116
807519	8538283	0.0734	-0.2133	0.0114	0.0405	-0.1216
807525	8538217	3.4105	1.7314	0.5322	1.3647	-4.727
807529	8538302	0.1335	0.0579	0.0095	-0.0227	0.0249
807537	8538241	2.3571	-0.2019	1.1352	-1.0047	-3.8166
807537	8538260	0.5252	0.3776	0.7346	0.5794	0.6223
807539	8538320	-0.3611	-0.0336	-0.3083	0.0604	-0.0272
807542	8538294	0.1171	-0.2212	-0.0044	-0.4311	0.3367
807559	8538310	-0.7568	-0.3082	3.2072	1.5792	0.2861
807631	8538258	-1.7858	-0.0914	-0.2867	0.9026	-0.4876
807634	8538172	-0.1992	0.5922	-0.1852	-0.336	0.0597
807636	8538314	-0.0721	-0.007	0.0473	-0.054	-0.0633
807639	8538205	-0.2743	0.4863	-0.1948	-0.8608	-0.1633
807641	8538282	0.6475	0.5142	0.3842	1.2785	0.0923
807644	8538337	-0.4138	-0.3762	-1.0354	0.6114	0.8434
807646	8538237	-2.3878	-0.6317	-0.2582	0.4559	1.0985
807657	8538358	1.4679	0.814	2.4963	-1.8373	-2.1256
807665	8538386	-0.1202	0.0401	0.0587	0.0427	-0.0741
807672	8538445	0.4335	0.0673	-0.4648	0.3787	-0.2695
807678	8538436	-0.5822	-0.027	-0.0358	-0.4725	0.3458
807680	8538407	-0.1047	-0.0338	-0.1493	-0.0438	0.1069
807688	8538270	-0.7956	-0.0582	-0.0609	0.3964	-1.0899
807689	8538299	1.9185	0.3362	0.2269	0.7508	-1.429
807697	8538334	1.3948	0.9759	1.2726	0.5259	-0.8865
807710	8538376	0.3248	-0.811	-0.513	0.286	0.5354
807719	8538412	-0.8196	-0.9947	-1.0912	-0.3419	0.6327
807728	8538447	-0.3853	-0.0554	-0.1548	-0.4955	-0.2721
807835	8538592	0.9497	0.7146	-0.2787	0.68	-0.4573
807840	8538616	0.6552	-0.1422	0.5183	0.5941	-0.2728
807845	8538694	0.2412	-0.2982	-0.3722	0.9837	-0.6558

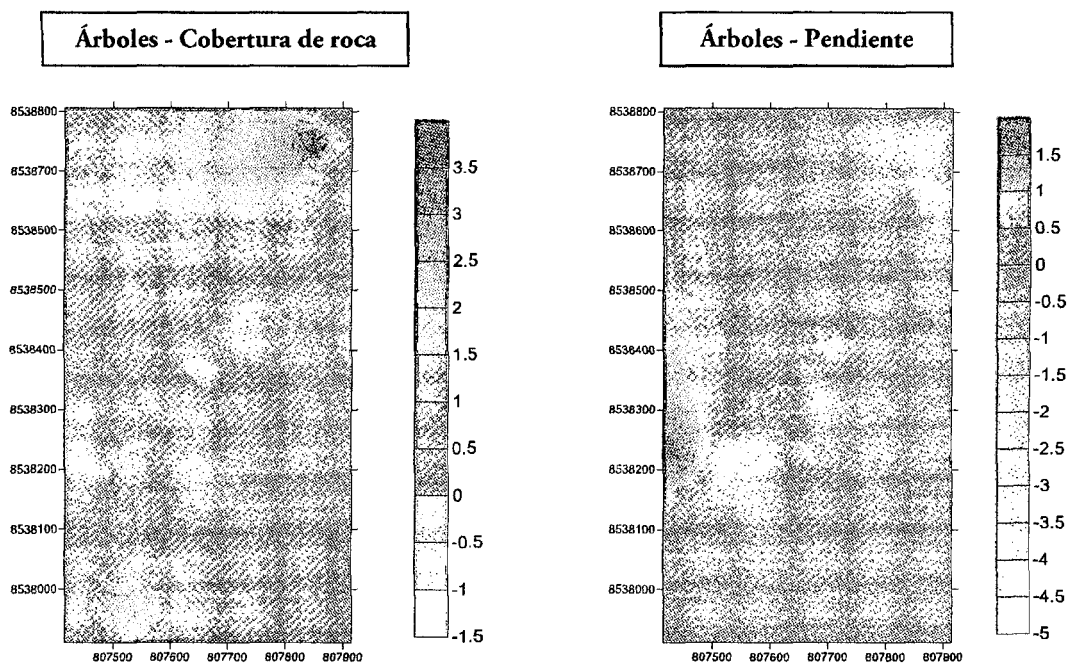
807845	8538679	0.5723	-0.8409	-0.2539	2.3821	-1.859
807849	8538655	0.0036	-0.0176	0.1284	-0.2991	0.2634
807853	8538733	3.5021	0.6611	2.6525	3.372	-3.4042
807856	8538762	-0.126	0.6505	2.2167	2.6546	-2.5744
807857	8538713	0.0534	0.5929	4.0177	1.3234	-4.2732
807869	8538617	1.2303	0.7442	0.6284	0.1808	-0.6428
807874	8538642	-0.3944	-0.4311	1.5515	0.1379	-1.9172
807875	8538806	-0.2568	-0.1749	-0.3267	-0.2744	0.3615
807887	8538667	0.7984	-1.6234	3.6382	0.093	-3.6837
807896	8538685	-0.6428	-1.175	5.6055	0.1492	0.4934
807897	8538709	-0.3468	-1.2141	-0.3512	0.6999	-2.345
807906	8538728	-0.0897	-0.0829	-0.4028	-0.0669	0.142
807909	8538754	0.4126	0.5196	0.8852	0.29	-1.0947
807914	8538779	-0.2409	0.5473	0.7302	0.6451	-1.7889

ÁRB-HUM= árboles-humedad de suelo; ÁRB-DOSEL= árboles-apertura de dosel arbóreo; ÁRB-PROF= árboles-profundidad de suelo; ÁRB-ROC=árboles-cobertura de roca; ÁRB-PEND=árboles-pendiente

A partir de éstos valores de χ se graficaron mapas bidimensionales mediante Surfer y que dibujaron una distribución regular de las asociaciones y disociaciones de las variables. Estos mapas se observan en la figura 12. Las zonas en color amarillo indican disociación entre las variables, las zonas en morado indican una asociación. La leyenda indica la intensidad de la asociación.

Figura 12: Mapas de asociación local para el parche nº 2 del bosque de Mantamay.





Por ejemplo, los árboles y la humedad de suelo se asociaron positivamente en las regiones de color morado más intenso aunque, se observaron también asociaciones negativas coloreadas con amarillo. Asimismo, la profundidad de suelo y la cobertura de roca demostraron estar asociados positivamente a los árboles de *Polylepis*.

En tanto que los variables: árbol-humedad de suelo, árboles-profundidad de suelo y árboles cobertura de roca resultaron asociadas, los variables árboles-apertura de dosel arbóreo y árboles- porcentaje de pendiente se mostraron disociadas. Las zonas de amarillo más intenso describen una clara disociación como por ejemplo, en el mapa de árboles-pendiente. En árboles-apertura de dosel, sin embargo, la disociación no es tan notoria.

4.1.5.3. Asociación local para el parche n° 3

En el cuadro 25 se resumen las coordenadas y los valores de χ para cada uno de los análisis de covariación que se realizaron entre los pares de variables: árboles-humedad de suelo, árboles-apertura de dosel arbóreo, árboles – profundidad de suelo, árboles- cobertura de roca y árboles- pendiente. Los valores en negrita son valores positivos y por ende demuestran una asociación positiva. En contraste, los valores negativos afirman una asociación negativa, y están en cursiva.

Cuadro 25: Valores de χ para los análisis de asociación/disociación parche nº 3

COORDENADAS		χ				
X	Y	ÁRB-HUM	ÁRB-DOSEL	ÁRB-PROF	ÁRB-ROC	ÁRB-PEND
807402	8536524	-0.0225	0.0284	-0.046	0.005	-0.0706
807409	8536580	0.4688	1.0446	0.4483	-0.9753	0.2128
807409	8536553	0.1583	-1.2289	-0.1322	-0.321	-0.7094
807410	8536496	0.0757	-0.1071	0.9923	0.0012	-0.234
807412	8536670	-0.0249	0.0293	0.0862	-0.0353	0.0681
807412	8536444	-0.3525	0.7358	-0.5431	0.0677	-0.7054
807413	8536643	-0.005	0.0389	-0.0142	-0.0002	0.0327
807415	8536468	0.0453	-0.0568	0.5842	-0.3663	0.0211
807417	8536827	-0.204	-0.6225	0.294	-0.3137	-0.135
807417	8536799	-0.2434	-2.5857	1.2813	-3.4446	0.3473
807420	8536740	0.2719	-0.3894	0.288	-0.0956	-0.3308
807421	8537025	-1.2976	-1.9761	1.4871	-1.2075	3.0314
807423	8537050	0.2855	-0.697	0.6467	-0.1325	0.3084
807423	8536768	-1.1027	-1.9219	1.4863	-1.3182	2.7653
807429	8536875	0.0732	0.1023	0.0466	0.0041	-0.0625
807429	8536850	0.0312	0.0124	-0.0064	0.0071	-0.005
807431	8536993	-1.2898	1.5962	-0.9459	0.2366	3.2369
807434	8536965	0.1404	-0.0968	0.0939	-0.0067	0.0517
807438	8536908	-1.2788	-0.1429	0.1062	-1.4092	-0.482
807440	8536938	-1.3074	0.6139	-0.6162	-1.44	0.0676
807450	8537724	0.3014	-0.1008	0.375	0.4079	-0.1168
807461	8537702	0.3805	-0.1455	0.4576	0.6042	0.0713
807467	8537457	-0.3743	0.0135	0.2838	-0.7102	0.6436
807472	8537444	0.212	0.2326	0.0129	-0.321	-0.6168
807479	8537483	0.5854	0.2082	-0.7729	-0.3343	-0.3715
807483	8537688	0.4885	-1.2094	-0.6039	-2.658	2.0849
807496	8537644	-2.2598	-0.3976	0.3514	-1.5303	0.8451
807498	8537665	-4.5941	-1.7204	-0.6081	-2.8161	1.492
807503	8537397	0.169	-0.7197	0.5517	0.2122	-0.0598
807506	8537629	-4.0841	0.2227	0.8569	-1.5326	-0.8323
807515	8537590	-0.5157	-2.4484	1.8256	-0.3703	-1.551
807529	8537485	-0.3143	0.5716	1.9293	0.6159	-0.5086
807539	8537454	0.2681	-0.2766	1.1103	-1.3198	-0.4118
807545	8537426	0.0808	-0.0057	-0.2915	0.2289	-0.06

ÁRB-HUM= árboles-humedad de suelo; ÁRB-DOSEL= árboles-apertura de dosel arbóreo; ÁRB-PROF= árboles-profundidad de suelo; ÁRB-ROC=árboles-cobertura de roca; ÁRB-PEND=árboles-pendiente

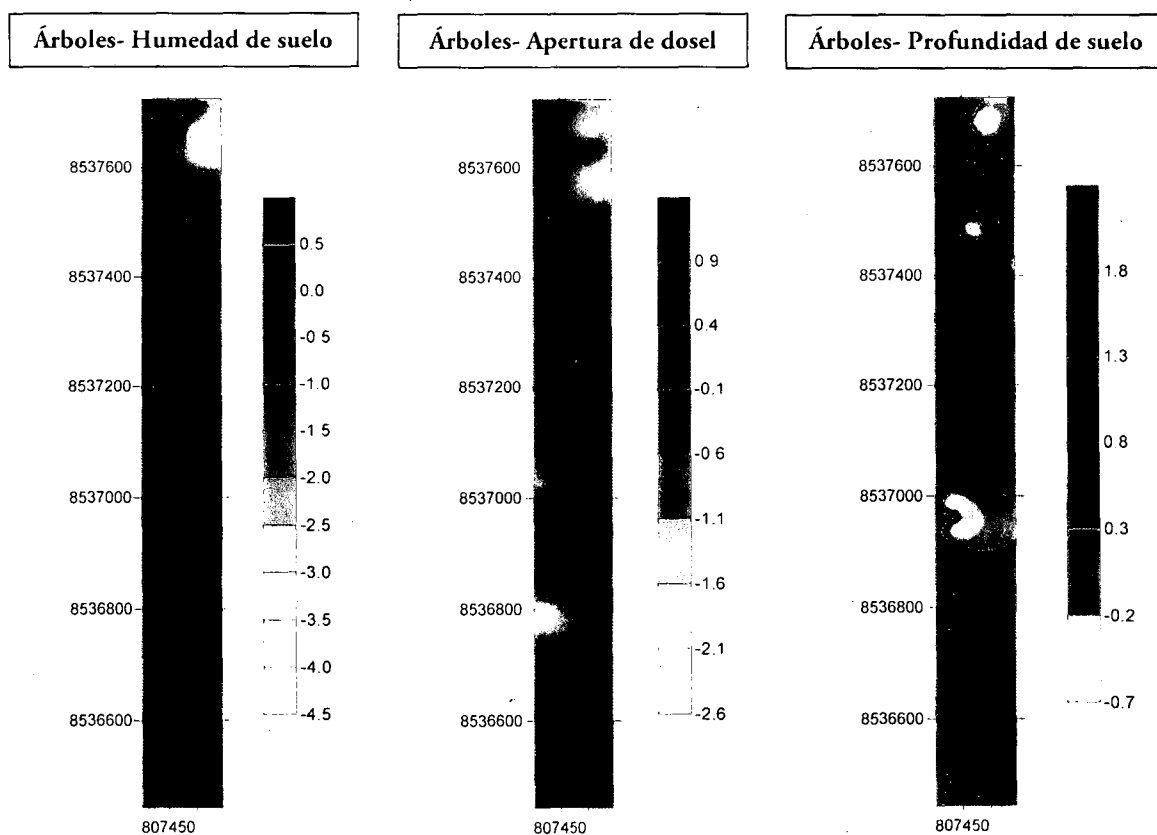
El mapa de asociación y disociación espacial en el parche n° 3 se muestra en la figura 13. Se realizaron utilizando los valores de χ del cuadro anterior. Las zonas en color amarillo indican disociación entre las variables, las zonas en morado indican una asociación. La leyenda indica la intensidad de la asociación.

A pesar de que el análisis de asociación entre los árboles-humedad de suelo mostró una asociación en la parte media superior del parche, dicha asociación no es concluyente debido a que se presentaron fuertes disociaciones en el lado superior-medio del parche donde el valor de χ es igual a -4.5.

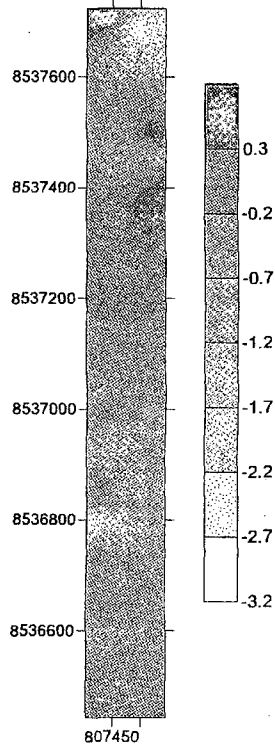
Igualmente, la apertura de dosel arbóreo se disoció de los árboles de *Polylepis* de acuerdo a los valores de χ que en su mayoría resultaron negativos. De la misma manera, la cobertura de roca se disoció de los árboles, observándose valores de χ menores a -3, probablemente en aquellas regiones coloreadas de amarillo intenso.

En contraste, la profundidad de suelo se asoció positivamente con los árboles, por lo que las zonas coloreadas de morado intenso son aquellas donde los valores de χ son altos y positivos. La pendiente para el parche n° 3 se asoció con los árboles en aquellas zonas de coloreadas de morado intenso.

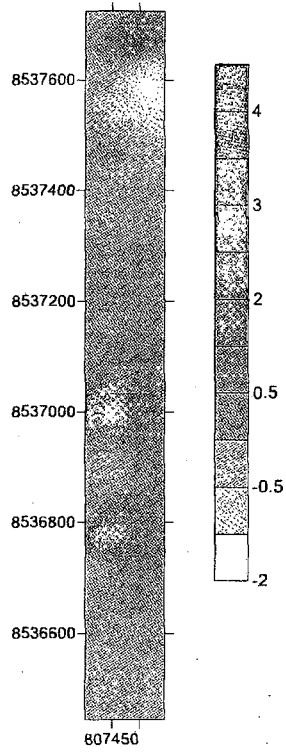
Figura 13: Mapas de asociación local para el parche n° 3 del bosque de Mantamay.



Árboles- Cobertura de roca



Árboles- Pendiente



4.2. DISCUSION

Mediante la utilización de SADIE se identificó un patrón espacial agregado significativo para los árboles de *Polylepis*, en todos los parches evaluados. Ésta información coincide con los trabajos anteriores realizados para este tipo de bosques, como el de Cuellar & Calvo (2001) que trabajaron con *P. microphylla*. De forma similar, concuerda con el trabajo de Tupayachi, (2001) para la especie de *P. racemosa*. Sin embargo, difiere para el caso de *P. subsericans*. Tupayachi identificó una distribución aleatoria con tendencia a la uniformidad para ésta especie. Esta diferencia probablemente, sea debido al tipo de metodología utilizado o a que en la presente investigación no se trabajaron parches únicos de *P. subsericans*, si no más bien parches mixtos de ambas especies.

En lo que respecta a los otros parámetros evaluados y sus patrones espaciales, no se tienen antecedentes para este tipo de bosques con los cuales se pueda comparar resultados.

Así se tiene:

- La humedad de suelo mostró un patrón espacial agregado significativo para el parche n° 1 y n° 3. A pesar de que, en el parche n° 2 también se observó una agregación, el p-valor resultó mayor que 0.05 por lo que no hay certeza de esta agregación y tiende, más bien, a un patrón regular.
- El porcentaje de apertura de dosel arbóreo, que define la cantidad de luz presente en el bosque, presentó una distribución agregada en el parche n° 1. Para los parches n° 2 y n° 3 el patrón resultó regular no significativo.
- El patrón espacial de la profundidad de suelo es agregado en los parches n° 1 y n° 2, en tanto que, en el parche n° 3 la agregación difiere del nivel de significancia ($P > 0.05$) y más bien tiende a un patrón regular, en vista de que el índice de agregación (I_a) es apenas mayor a la unidad, probablemente por la presencia de datos sesgados con valores de 5 a 35cm.
- En el caso de cobertura de roca el patrón espacial resultó agregado altamente significativo para todos los parches evaluados.
- En lo correspondiente al porcentaje de pendiente, se determinó un patrón espacial en gradiente para los parches n° 1 y n° 2. Siguiendo a Maestre *et al.* (2008) este tipo de distribución puede ser catalogado como un patrón espacial

agregado, ya que se asemeja a un patrón en gradiente. Para el parche n° 3 la pendiente mostró un patrón regular no significativo.

La falta de significancia en algunas variables, sobre todo en los parches n° 2 y n° 3 puede ser debido a las condiciones de éstos parches, por ejemplo, el parche n° 2 presenta una alta renovación de individuos y mayor cobertura de musgo lo que influyó a que la humedad sea más regular además, presentó alta densidad de árboles consecuentemente, la apertura de dosel arbóreo determinó en un patrón regular. En el caso del parche n° 3, al tener una conformación alargada y estar atravesado por un camino de herradura de uso turístico está más expuesto a condiciones adversas, como son residuos sólidos, desprendimiento de rocas y sobre todo el efecto de borde, los cuales influyen en los resultados finales.

En lo que respecta al análisis de covariación espacial entre pares de variables se determinó que:

- En el parche n° 1, *Polylepis* se asoció positivamente con la humedad de suelo, con la profundidad y la cobertura de roca. Mientras que, la apertura de dosel y pendiente se asociaron negativamente.
- En el parche n° 2, *Polylepis* se asoció con la profundidad de suelo y cobertura de roca y también con la humedad, y se disoció de apertura de dosel y la pendiente.
- En el parche n° 3, *Polylepis* únicamente se asoció con profundidad y pendiente, mientras que se disoció con todas las otras variables.

Numerosos estudios han afirmado esta preferencia de los árboles hacia estas características y que confirman los resultados obtenidos en éste trabajo.

Por ejemplo, en cuanto a la asociación positiva de *Polylepis* con suelos rocosos varios autores están de acuerdo (Weberbauer, 1945; Smith, 1977; Reynel & León, 1990; Yallico, 1992; Kessler, 2006). Asimismo la hipótesis antrópica de Ellenberg, (1979) señala que los suelos rocosos protegen a *Polylepis* del fuego. De igual manera, Koepcke, (1961) indica que los bosques están asociados con condiciones rocosas las cuales son calentados durante los días soleados conduciendo a altas temperaturas de aire que permiten el crecimiento de los árboles en áreas que serían de otra manera muy frías. Finalmente,

Fjeldsá & Kessler (1996) afirman que la humedad en las grietas de las rocas es mayor, lo que permite que el aire caliente penetre facilitando la profundidad de las raíces.

Con respecto a la preferencia de la humedad de suelo, Fernández *et al.* (2001) señalan que la germinación efectiva de *Polylepis* tiene lugar al término de la época de lluvias. Reynel & León, (1990) apuntan que el género requiere medios a altos y constantes niveles de humedad de suelo. Aunque, éste género no tolera suelos anegados o con poca aireación (Arnal & Monasterio, 2006; Gosling *et al.* 2009). La heterogeneidad en disponibilidad de agua en el suelo, permite una separación en los patrones de regeneración de las plantas como indican Tongway *et al.* (2004). Todos estos estudios coinciden con la asociación de la humedad de suelo con la de los árboles de *Polylepis*, como se demostró en la tesis.

Si bien es cierto, la humedad depende del régimen de lluvias, topografía y las características del suelo, en los bosques de *Polylepis* parece estar condicionada por la presencia de rocas (Smith, 1977; Yallico, 1992; Kerr, 2003) y la orientación Noreste (Galiano, 2014; Arnal, 2014³). A su vez que, la humedad del aire otorgada por la nubosidad, es clave para el género (Yacovleff & Herrera, 1935; Mendoza & Cano 2012) e incrementaría la disponibilidad de humedad en la época desfavorable, razón de que los bosques de *Polylepis* de la Cordillera del Vilcanota tengan mayor diversidad florística. (Gosling *et al.* 2009)

En referencia a la profundidad de suelo, *Polylepis* se desarrolla en suelos residuales (Lao *et al.*, 1990) y ocupan espacios dejados por el retroceso glaciar, por lo que son suelos en formación y de poca profundidad (Galiano, 2014). En varios puntos de muestreo, la profundidad de suelo llegó como máximo a 35cm y como mínimo a 5cm. Lo que concuerda con los autores antes mencionados. Después de esa delgada capa de tierra se notó la presencia de roca sobre la cual *Polylepis* enraíza, para sostenerse de los fuertes vientos de la zona. Además, se obtuvo un pH ácido en la gran mayoría de los puntos muestreados, probablemente por la materia orgánica presente.

En cuanto a la apertura del dosel arbóreo, que controla la cantidad, calidad y la distribución espacial y temporal de la luz en el bosque (Promis & Cruz, 2009), al ser *Polylepis* un árbol perennifolio, se acepta una asociación negativa entre estas dos variables. Sin embargo, Marañón *et al.* (2004) indican la importancia de la luz en la velocidad de

³ Arnal, Hugo (Comunicación personal, 25 de Setiembre del 2013)

germinación de las semillas y por lo que se pudo notar en campo, el parche n° 2 tenía plántulas de *Polylepis*, lo que indica que la cantidad de luz que ingresa al bosque dependerá de la orientación y de la hora en que se tome el muestreo.

Para el caso de la pendiente, según el estudio de Dourojeanni, (2008) los árboles de *Polylepis* se asocian a pendientes de 25 a 45 grados. Más arriba y debajo de este rango el porcentaje de árboles disminuye. Y una de las razones puede ser la que da Serrada (2008): “en pendientes fuertes se produce una situación con menor disponibilidad hídrica, más riesgo de escorrentía y por tanto erosión”. Solo en el parche n° 2 se pueden apreciar una clara disociación significativa con los árboles, para el parche n° 1 la disociación no es significativa mientras que para el parche n° 3 podría incluso haber una asociación positiva aunque no significativa, debida quizá a que este parche se ubica en el fondo de valle. De acuerdo a ello, se reafirma que la disociación se dará con pendientes muy altas y la asociación con pendientes medias a altas.

A la luz de estos resultados, el parche n° 3 podría estar sometido a constantes impactos, que afectarían los análisis. Por ejemplo, la humedad de suelo y la cobertura de roca presentan altas disociaciones con los árboles, especialmente en las zonas adyacentes al camino de herradura. Dichos valores negativos influyen en las corridas realizadas con el programa SADIE, en vista de que el software trabaja en base a la cantidad de manchas (valores positivos) y claros (valores negativos). Además, durante el trabajo de campo se detectaron árboles caídos a causa del peso de las constantes nevadas en la zona, pastoreo de animales, desprendimiento de rocas y poca producción de plántulas. Así como también, se observó contaminación por residuos sólidos producto del tránsito turístico.

Finalmente, con respecto a la hipótesis planteada en ésta tesis, se acepta que *Polylepis* se asocia con los suelos más húmedas y rocosos, de acuerdo a los resultados obtenidos. Sin embargo, la profundidad de suelo efectiva puede ser importante para la germinación de las semillas, por lo que *Polylepis* también mostró una asociación con esta variable. Y se disoció de la luz (cuantificada mediante la apertura de dosel) y pendiente, por encima o debajo del rango de 25 a 45 grados.

CONCLUSIONES

1. El patrón de distribución espacial de los árboles de *Polylepis* determinado mediante el programa SADIE, es de tipo agregado en las tres unidades de bosque evaluadas.
2. El patrón de distribución espacial de las variables ambientales, a pequeña escala, mostraron complejos patrones espaciales para cada uno de las unidades de bosque.
3. Se determinó una asociación positiva de los árboles de *Polylepis* con la humedad de suelo, con suelos rocosos y además con la profundidad, en los parches n° 1 y n° 2.
4. Se determinó una asociación negativa de los árboles de *Polylepis* con la apertura de dosel arbóreo y con la pendiente para el caso del parche n° 1 y n° 2.
5. Los resultados obtenidos en el parche n° 3 pueden no ser confiables producto de los impactos que afectan al mismo.

RECOMENDACIONES

- Evaluar otros bosques de *Polylepis* en lo que respecta a las variables ambientales como temperatura, humedad de suelo, profundidad, cobertura de musgo y roca, con el objetivo que puedan ser comparables a los resultados obtenidos en ésta investigación.
- Considerar el mapeo de las variables mencionadas en caso de trabajos de reforestación, en este tipo de bosques, para tener una mayor efectividad en la restauración.
- Evaluar los impactos antrópicos en el bosque de Mantamay.
- Aplicar el análisis espacial en otros trabajos de investigación en el campo de la ecología.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- AGUILAR, O. (1998). *Evaluación Forestal del bosque de Polylepis spp. Mantamay-Yanahuara (Urubamba)*. Tesis para optar al título de Biólogo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú.
- ALLEE, W.C., A.E. EMERSON, O. PARK & K.P. SCHMIDT. (1949). *Principles of animal ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders Co.
- ARNAL, H., & MONASTERIO, M. (2006). Bosques de *Polylepis sericea* en los Andes de Venezuela: Disposición Espacial y Factores Físico-Ambientales que la condicionan. *II Congreso de Ecología y Conservación de bosques de Polylepis-Cusco, Perú*, (págs. 39-40). Libro de resúmenes. Cusco.
- BITTER, G. (1911). Revision der Gattung *Polylepis*. *Bot.Jahrb.Syst.* 45, 564-656.
- BRAUN, G. (1997). The use of digital methods in assessing forest patterns in an andean environment: The *Polylepis* example. *Mountain Research and Development*, 17(3), 253-262.
- CABIDO, M., & ACOSTA, A. (1985). Estudio Fitosociológico en bosque de *Polylepis australis* Bitter ("Tabaquillo") en las sierras de Córdoba. *Documents phytosociologiques N.S.*, IX, 365-400.
- CONDÉS, S., MONTES, F., & LEDO, A. (2012). Revisión de índices de distribución espacial usados en inventarios forestales y su aplicación en bosques tropicales. *Revista Peruana de Biología*, 19(1), 113-124.
- COTTAM, G., & CURTIS, J. (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 451-460.
- CUELLAR, R., & CALVO, C. (2001). *Patrón de distribución espacial de Polylepis cf microphylla (Weddell) Rosaceae en las microcuencas Chacan y Huaccoto, sub cuenca del río Huatanay Cusco, 2001*. Seminario Curricular Fac. Cs Biológicas UNSAAC. Cusco-Perú
- DÍAZ, M. (2013). *Diversidad Liqueñica en árboles de Polylepis y la importancia de su conservación en las localidades de Cancha-Cancha, Contorqayku, Quellococha y Mantamay - Cordillera del Vilcanota -Cusco*. Tesis para optar al grado de Biólogo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú.
- DOUROJEANNI, P. (2008). *Distribución y conectividad de bosques alto andinos (Polylepis) en la cuenca alta del río Pativilca*. Tesis para optar al grado de Geólogo. Universidad Pontificia Católica del Perú. Lima-Perú.

ELLENBERG, H. (1979). Man's influence on the tropical mountain ecosystems in South America. *Journal of Ecology*, 67, 401-416.

FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO (2004). *Inventario Forestal Nacional-Manual de Campo*. Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FÉRNANDEZ, M., MERCADO, M. A., & MARTINEZ, E. (2001). Estructura y composición florística de un fragmento boscoso de *Polylepis besseri* Hieron SUBESP *besseri* en Sacha Loma (Cochabamba). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 15-27.

FJELDSÁ, & KESSLER, M. (1996). *Conserving the biological diversity of Polylepis woodlands of the highland of Peru and Bolivia. A Contribution to Sustainable Natural Resource Management in the Andes*. Copenhagen, Denmark: Nordic Foundation for Development and Ecology.

FJELDSÁ, J. (2002). Vestiges of a vanishing Ecosystem in the Andes. *Ecotropica. Society for tropical Ecology*, 111-123.

FORMAN, (1995) *Land Mosaic*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

FORTIN & DALE, (2005) *Spatial Analysis: A guide for Ecologist*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

GALÁN DE MERA, A. (1996). Relación entre los suelos y la vegetación del Perú. *Arnaldoa*, 4(1), 87-94.

GALIANO, W.(1990).*The flora of Yanacocha a tropical high-andean forest in Southern Peru*. Tesis para optar al grado de Master en Ciencias. University of Missouri. St. Luis, USA.

GALLARDO, A., & MAESTRE, F. (2008). Modelos geoestadísticos para el análisis de datos ecológicos espacialmente explícitos (Cap. 6). En F. Maestre, A. Escudero, & A. Bonet, *Introducción al Análisis de Datos Espacial en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones* (págs. 216-272). Madrid, España: Dykins, S.L.

GARCÍA, D. (2008). El concepto de escala y su importancia en el análisis espacial. En F. Maestre, A. Escudero, & A. Bonet, *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones* (págs. 36-73). Madrid, España: Dykinson, S.L.

GARCÍA, D., ZAMORA, R., GÓMEZ, J., & HODAR, J. (2001). Frugivory at *Juniperus communis* depends more on population characteristics than on individual attributes. *Journal of Ecology*, 639-647.

GOSLING, W. D., HANSELMAN, J. A., KNOX, C., & VALENCIA, B. G. (2009). Long term drivers of change in *Polylepis* woodland distribution in the central Andes. *Journal of Vegetation Science*, 20(6), 1041-1052.

HERRERO, A., QUERO, J., & ZAMORA, R. (2006). *Heterogeneidad ambiental a pequeña escala y patrones espaciales de supervivencia de especies leñosas en áreas de montaña mediterránea (Sierra Nevada, Granada)*. Escuela Superior de Ciencias experimentales y tecnología. España

HIJMANS, R., CAMERON, S., & PARRA, J. (S.F.). Recuperado el 15 de diciembre de 2013, de WorldClim|BioClim - Global Climate Data: <http://www.worldclim.org/bioclim>

HOCH, G., & KORNER, C. (2005). Growth, demography and carbon relations of *Polylepis* trees at the world's highest treeline. *Functional Ecology*, 19(6), 941-951.

INDECI (2006). *Mapa de peligros de la ciudad de Urubamba Informe final*. Cusco-Perú: Proyecto INDECI ciudades sostenibles.

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). (1995). *Guía Explicativa del Mapa forestal del Perú*. Lima-Perú.

IUCN (2013). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 30 March 2014.

KERR, M. (2003). *A Phylogenetic and Biogeographic analysis of the Sanguisorbeae (Rosaceae) with emphasis on the pleistocene radiation of the high Andean genus Polylepis*. Tesis para optar al grado de PhD. University of Maryland. Maryland.

KESSLER, M. (1995a). The genus *Polylepis* (Rosaceae) in Bolivia. *Candollea* 50, 131-171.

KESSLER, M. (1995b). Revalidación de *Polylepis rugulosa* Bitter. *Gayana Bot*(52), 49-51.

KESSLER, M. (2002). The *Polylepis* problem: Where we do stand? *Ecotropica*, 97-110.

KESSLER, M. (2006). bosque de *Polylepis*. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 110-120.

KESSLER, M., & SCHMIDT-LEBUHN, A. (2006). Taxonomical and Distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms Diversity and Evolution*, 5, 1-10.

KOEPCKE, H.(1961) Synökologische Studien an der Westseite der Peruanischen Anden. Fer dümmerl Verlag, Detuschland.

KOHEN, E., SANTUS, R., & HIRSCHBERG, J. (1995). *Photobiology*. Londres: Academic Press.

KUNZE, T., ROSKOV Y., ORRELL T., Y OTROS, eds. (2014). Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2014 Annual Checklist. Digital resource at www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2014. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.

LAO, R., ZEBALLOS, P., DE LA CRUZ, H. (1990) Información preliminar de la Ecología, Dendrología y Distribución Geográfica del Género *Polylepis* en el Perú. *Espacio y desarrollo* 2 (2). pág. 47-62

LENGENDRE, P. & FORTIN, M. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80, 107-138.

MAESTRE, F. (2002). *La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de los factores bióticos y abióticos* (Vol. XII). Tesis para optar al grado de Doctor en Biología. Fac. Ciencias. Universidad de Alicante. España.

MAESTRE, F., & ESCUDERO, A. (2008). Cap. 1: Introducción . En F. Maestre, A. Escudero, & A. Bonet, *Introducción al Análisis espacial de datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones* (págs. 1-33). Madrid, España: Dykinson, S.L.

MAESTRE, F., & QUERO, J. (2008). Análisis espacial mediante índices de distancia SADIE (Cap.4). En F. Maestre, A. Escudero, & A. Bonet, *Introducción al Análisis Espacial de datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones* (págs. 130-182). Madrid, España: Dykins, S.L.

MAESTRE, F., ESCUDERO, A., & BONET, A. (2008). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: Métodos y Aplicaciones*. Madrid, España : Dykinson S.L.

MARAÑÓN, T., CAMERO, J., CASTRO, J., DÍAZ, M., ESPELTA, J., JORDANO, P., Y OTROS. (2004). Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. En *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (págs. 69-99). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

MARGALEF, R. (1982). *Ecología*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

MATTEUCCI, S., & COLMA, A. (1982). *Metodología para l estudio de la vegetación*. Washington D.C.: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos.

- MENDOZA, W. (2010). *Taxonomía y Distribución de las especies peruanas de Polylepis Ruiz & Pavo (Rosaceae, Magnoliopsida)*. Tesis para optar al grado de Master en Ciencias. Universidad Mayor de San Marcos: Lima-Perú.
- MENDOZA, W., & CANO, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18(2), 197-200.
- MENDOZA, W., & CANO, A. (2012). *El género Polylepis en el Perú: Taxonomía, morfología y distribución*. Saarbrücken. Alemania: Editorial Académica Española.
- MILNE, B. (1991). Heterogeneity as a multiscale characteristics of landscape studies . En J. Kolasa, & S. Picket, *Ecological Heterogeneity* (págs. 69-84). Nueva York, Estados Unidos : Springer-Verlag.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (7 de Mayo de 2010). Reconocen área de Conservación Privada "Mantanay" ubicada en la provincia de Urubamba, departamento del Cusco. Resolución Ministerial nº 073-2010-MINAM. *El Peruano*, págs. 418514-418516.
- ODUM, E. (1972). *Ecología*. Mexico D.F.: Nueva Editorial Interamericana.
- O'NEILL, R., RIITERS, K., & WICKMAN, J. (1998). Landscape pattern metric and regional assessment. *Ecosystem Health*, 225-233.
- PÉREZ DE PAZ, J. (2004). Rosaceae-Sanguisorbae de Macaronesia: género *Marcetella*, *Bencomia* y *Dendriopoterium*. Palinología, Biogeografía, Sistema sexual y Filogenia. *Bot. Macaronésica*, 25, 95-126.
- PERRY, J. (1998). Measures of Spatial Patterns for counts. *Ecology*, 79, 95-102.
- PERRY, J., & DIXON, P. (2002). A new method to measure spatial association for ecological count data. *Ecoscience*, 9, 133-141.
- PERRY, J., WINDER, L., HOLLAND, J., & ALSTON, R. (1999). Red-blue plots for detecting clusters in count data . *Ecology letters*, 106-113.
- PIELOU, E. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. Nueva York: Wiley Interscience.
- POLLARD, J. (1971). On distance estimators of Density on randomly Distributed Forest. *Biometrics*, 27(4), 991-1002.
- PRETELL, O.(1985). *Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana*. Lima, Perú: Proyecto FAO, Holanda.

PROMIS, A., & CRUZ, G. (2009). Fotografías Hemisféricas: un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque. *bosque Nativo N°44*, 12-15.

PURCELL, J., BRELSFORD, A., & KESSLER, M. (2004). The world Highest Forest. A better understanding of the properties of the andean Queuña woodlands has major implications for their conservation. *America Scientist*, 92.

RAMIREZ, A. (2006). Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. En A. Ramirez, *Densidad estimada por mediciones de distancia* (págs. 104-106). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

RENISON, D., HENSEN, I., SUAREZ, R., & CINGOLANI, A. (2006). Cover and growth habit of *Polylepis* woodlands and shrublands in the mountains of central Argentina: human or environmental influence. *Journal of Biogeography*, 876-887.

REYNEL, C., & LEÓN, J. (1990). Árboles y arbustos andinos para la agroforestería y conservación de suelos. Tomos I y II. Lima, Perú: Proyecto FAO HOLANDA/DGFF.

ROMOLEROUX, K. (1992). Rosaceae in the Páramo of Ecuador. In Balslev H. & J.L. Luteyn (eds.) *Páramo: An Andean Ecosystem under Human Influence*, 85-94.

SERRADA, R. (2008). Influencia de los factores ecológicos en la vegetación. En *Apuntes de Silvicultura* (págs. 83-130). Madrid: Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal.

SERVAT, G., MENDOZA, W., & OCHOA, J. (2002). Flora y Fauna de cuatro bosques de *Polylepis* (Rosaceae) en la Cordillera del Vilcanota (Cusco, Perú). *Ecología Aplicada*, 1(1), 25-35.

SIMPSON, B. (1979). A revision of the Genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). *Smithsonian Contributions to Botany* (Número 43).

SMITH, A. (1976-1977). Establishment of seedlings of *Polylepis sericea* in the Paramo (Alpine) zone of the Venezuela Andes. *Bartonia*(45), 73-78.

STEWART, A. (2000). The world is heterogeneous: ecological consequences of living in a patchy environment. En J. E. Stewart A., *The Ecological Consequences of Environmental Heterogeneity* (págs. 1-8). Oxford: Blackwell Science Ltd.

STRAHLER, A. (1989). *Geografía física* (Tercera ed.). Barcelona: Omega.

TEJEDOR, B. (2009). *Patrones de distribución del Guillomo (Amelanchier ovalis), en la Sierra de la Cabrera*. Proyecto de fin de carrera. Departamento de Biología. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid - España.

- TILLMAN, D., & KAREIVA, P. (1997). *Spatial Ecology: the role of space in Population Dynamics and Interspecific Interactions*. Princenton, Estados Unidos : Princenton University Press.
- TONGWAY, D., CORTINA, J., & MAESTRE, F. (2004). Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. *Ecosistemas*, 13, 2–15.
- TUPAYACHI, A. (2004). *Evaluación de los bosques altoandinos de Polylepis (Rosaceae) del Valle Sagrado de los Inkas para una propuesta de Área de Conservación Regional*. Tesis de Maestría en Ecología y Recursos Naturales, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú.
- TUPAYACHI, A. (2005). Flora del la Cordillera del Vilcanota. *Arnaldoa*, 12(1-2), 126-144.
- TUPAYACHI, R. (2001). *Estudio fitosociológico comparativa en dos núcleos boscosos de Polylepis: Quellococha- Vizcachanayoc Prov. de Urubamba, Cusco*. Seminario Curricular, Fac. Cs Biologicas. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco-Perú.
- TURNER, M. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and Process*. Nueva York, Estados Unidos: Springer-Verlag.
- VENERO, J. L. (1987). Las aves de los Altos Andes del Perú. *Biota*, (93) 50-60.
- VENERO, J.L. & DE MACEDO, H. (1992) Relictos de bosques en la puna del Perú. *Boletín de Lima*, (30): 19-26.
- WEBERBAUER, A. (1945). *El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos*. Lima, Perú: Lumen S. A.
- YACOVLEFF, E., & HERRERA, F. L. (1935). *El mundo vegetal de los antiguos peruanos*. Lima: Impr. del Museo Nacional, 1935.
- YALLICO, E. (1992). *Distribución de Polylepis en el Sur de Puno*. . Pomata, Perú: Proyecto Arbolandino.

ANEXOS

CONTENIDO

1.1. Datos evaluados en campo	1
1.1.1. PARCHE N° 1	1
1.1.2. PARCHE N° 2	2
1.1.3. PARCHE N° 3	4
1.2. Especies de <i>Polylepis</i> determinadas para el bosque de Mantamay- Urubamba	6
1.3. Fotografías del parche de bosque n° 1	7
1.4. Fotografías del Parche de bosque n° 2	7
1.5. Fotografía del Parche de bosque n° 3	8
1.6. Fotografías del trabajo de Campo	9
1.7. Descripción del Software GLA: % Apertura de dosel	11
1.8. Descripción del Software SADIE: Guía práctica	13



Oreomanes frasseri

1.1. Datos evaluados en campo

1.1.1. PARCHE N° 1

	PARCHE	COORDENADAS		DISTANCIAS (CM)				PROMEDIO	DENSIDAD POLLARD Arb/m ²	DAP (CM)				% HUMEDAD	PROFUNDIDAD (CM)	% ROCA	% APERTURA DE DOSEL	% PENDIENTE	ALTITUD (msnm)
		x	y	d1	d2	d3	d4			DAP1	DAP2	DAP3	DAP4						
1	1	808142	8538459	11.2	7.86	6.83	14.1	10.00	0.01	42.34	31.51	31.83	25.46	20	13	10	79	31	4181
2	1	808131	8538436	6.7	8.5	10.11	7	8.08	0.02	31.83	25.46	28.65	31.51	20	10	10	80	37	4189
3	1	808156	8538403	6.78	5.4	5.08	4.17	5.36	0.04	22.28	15.92	14.32	25.46	20	9	5	54	44	4198
4	1	808157	8538382	14.1	4.2	10.15	5.4	8.47	0.01	20.69	25.46	22.28	15.92	20	10	5	53	49	4207
5	1	808173	8538365	6.88	10.5	7.61	6.48	7.87	0.02	41.70	34.06	28.65	35.01	10	10	5	75	41	4220
6	1	808179	8538343	5.87	6.89	3	8.89	6.16	0.03	12.73	27.06	28.65	14.32	20	10	5	74	45	4230
7	1	808188	8538323	2.14	11.1	5.87	9.98	7.27	0.02	9.87	29.28	30.24	11.14	20	10	5	84	35	4240
8	1	808191	8538305	4.2	1.2	3.2	3.8	3.10	0.12	28.65	31.83	38.20	20.69	30	8	50	84	63	4249
9	1	808177	8538213	3.91	4.04	2.96	3.83	3.69	0.09	9.55	6.37	14.01	31.83	20	7	2	46	55	4269
10	1	808159	8538231	3.9	4.05	13.4	3.8	6.29	0.02	11.14	6.37	14.32	31.83	20	9	5	46	53	4255
11	1	808141	8538246	4.9	1.97	3.06	2.18	3.03	0.12	25.46	38.20	25.78	20.69	30	13	55	50	50	4243
12	1	808115	8538256	4	8.2	4.27	6	5.62	0.04	28.65	35.01	38.20	18.78	20	7	10	60	57	4231
13	1	808101	8538267	3.56	8.14	3.27	6.34	5.33	0.04	31.19	38.20	35.01	18.78	20	7	15	60	72	4219
14	1	808074	8538276	2.1	5.27	3.64	2.7	3.43	0.10	25.46	23.87	19.42	12.10	40	10	10	59	60	4202
15	1	808067	8538289	2.12	6.27	3.84	3.2	3.86	0.07	24.83	22.28	21.65	12.10	40	13	10	61	48	4190
16	1	808057	8538316	6.5	8.4	4.6	10.4	7.48	0.02	22.28	25.46	23.87	31.83	10	10	30	73	39	4179
17	1	808053	8538336	5.42	8.47	20.64	4.66	9.80	0.01	22.92	21.65	29.60	34.06	10	10	30	74	32	4170
18	1	808254	8538469	3.1	6.02	11	4.07	6.05	0.03	22.92	24.19	30.88	11.14	20	10	80	50	22	4233
19	1	808271	8538492	6.02	3.13	1.76	6.4	4.33	0.06	22.28	0.64	11.14	35.01	80	13	40	33	4	4239
20	1	808277	8538519	10.8	10.5	5.74	5.06	8.02	0.02	24.83	14.01	7.00	22.92	20	10	70	58	13	4240
21	1	808288	8538542	6.93	3.52	3.95	7.17	5.39	0.04	21.01	39.79	17.51	8.28	50	11	70	47	30	4243
22	1	808304	8538560	3.53	3.66	1.55	2.42	2.79	0.15	21.65	11.46	23.87	19.42	30	12	80	58	0	4250
23	1	808308	8538609	5.99	3.01	2.79	9.15	5.24	0.04	22.12	22.92	14.01	16.23	60	12	30	34	12	4250
24	1	808312	8538636	2.38	5.6	7	6.12	5.28	0.04	29.28	35.33	17.19	32.79	50	14	25	48	4	4253
25	1	808311	8538664	3.8	7.24	3.68	3.18	4.48	0.06	20.05	19.10	26.42	28.01	60	11	50	53	9	4254
26	1	808305	8538720	1.8	11.1	3.13	2.36	4.60	0.04	23.87	20.05	15.92	14.01	40	11	20	51	8	4259

27	1	808092	8538407	11.2	7.86	6.83	14.1	10.00	0.01	24.83	21.01	21.65	23.87	10	10	30	75	50	4171	
28	1	808115	8538373	5.87	6.89	11.3	5.09	7.29	0.02	14.01	39.79	11.46	20.05	20	9	20	60	49	4191	
29	1	808134	8538334	2.14	11.1	5.87	9.98	7.27	0.02	7.00	17.51	23.87	15.92	30	12	35	60	48	4212	
30	1	808152	8538294	10.8	10.5	5.74	13.1	10.01	0.01	24.83	22.28	21.65	12.10	30	13	15	65	46	4233	
PROMEDIOS														22.96	29	10	27.57	60		

1.1.2. PARCHE N° 2

	PARCHE	COORDENADAS		DISTANCIAS (CM)				PROMEDIO	DENSIDAD POLLARD Arb/m ²	DAP (CM)				% HUMEDAD	PROFUNDIDAD (CM)	% ROCA	% APERTURA DE DOSEI	% PENDIENTE	ALTITUD (msnm)
		x	y	d1	d2	d3	d4			DAP1	DAP2	DAP3	DAP4						
31	2	807869	8538617	3.1	12.7	9.91	6.26	7.99	0.02	54.11	55.07	22.28	12.25	20	8	40	45	46	4149
32	2	807874	8538642	6.83	2.63	3.04	7.35	4.96	0.04	42.97	50.93	19.10	42.97	60	9	80	57	33	4160
33	2	807887	8538667	5.75	11.5	7.48	4.03	7.19	0.02	20.69	36.61	49.34	34.06	30	8	75	65	40	4169
34	2	807896	8538685	1.67	3.06	5.14	6.08	3.99	0.07	16.55	16.55	16.23	16.87	70	10	60	57	27	4180
35	2	807897	8538709	7.02	5.25	15.6	4.51	8.10	0.01	9.87	19.10	19.10	25.46	40	12	30	68	46	4187
36	2	807906	8538728	3.1	3.69	5.68	1.83	3.58	0.09	35.97	24.51	19.42	61.43	30	10	30	43	41	4197
37	2	807909	8538754	5.69	3.36	3.7	9.31	5.52	0.04	22.60	20.69	60.48	26.42	20	8	25	49	50	4207
38	2	807914	8538779	4.9	7.49	7.77	3.95	6.03	0.03	19.10	23.24	37.56	23.24	40	8	30	42	48	4220
39	2	807875	8538806	2.67	5.54	2.89	3.65	3.69	0.09	20.69	27.06	32.15	7.96	20	8	20	51	38	4239
40	2	807856	8538762	17	1.94	5.82	2.84	6.90	0.02	1.81	33.42	11.14	14.32	50	11	20	49	48	4228
41	2	807853	8538733	10.8	4.56	2.47	4.74	5.65	0.03	22.60	28.01	21.33	12.73	20	8	15	53	42	4217
42	2	807857	8538713	6.75	6.02	9.46	3.18	6.35	0.03	31.83	35.01	28.65	22.28	40	10	20	46	37	4208
43	2	807845	8538694	2.97	10.9	3.86	10	6.92	0.02	19.10	22.92	32.79	23.87	30	12	3	55	59	4199
44	2	807845	8538679	0	10.4	10.7	4.84	6.49	0.02	0.00	12.73	7.64	25.46	30	15	3	80	38	4184
45	2	807849	8538655	1.13	1.35	5.87	1.41	2.44	0.13	25.46	20.37	8.91	27.37	70	13	10	49	43	4174
46	2	807840	8538616	11.5	1.99	5.7	2.04	5.32	0.03	38.20	21.33	12.73	7.64	10	11	10	54	51	4161
47	2	807835	8538592	4.07	6.54	9.88	4.41	6.23	0.03	6.37	17.51	25.46	10.50	20	12	15	43	44	4146
48	2	807461	8537923	4.23	3.17	2.73	1.82	2.99	0.13	15.60	4.14	14.32	11.14	20	8	40	42	26	4097
49	2	807454	8537946	9.42	2.77	8.76	2.36	5.83	0.03	8.28	23.87	18.46	11.14	30	12	70	45	33	4103
50	2	807449	8537977	3.77	3.98	1.51	4.94	3.55	0.09	18.14	6.37	9.55	3.82	70	10	30	56	30	4111
51	2	807460	8537997	5.56	3.24	4.51	3.51	4.21	0.07	14.01	21.96	5.73	12.73	40	18	50	51	27	4119

52	2	807456	8538027	6.07	2.56	2.24	2.26	3.28	0.10	19.42	21.96	7.64	14.96	20	11	90	53	32	4126
53	2	807468	8538058	9.39	3.3	2.33	5.24	5.07	0.04	28.01	17.19	22.92	17.51	60	28	50	54	38	4134
54	2	807472	8538079	6.28	2.22	6.35	1.4	4.06	0.06	28.33	22.92	18.78	31.83	60	12	30	63	36	4142
55	2	807483	8537959	2.67	1.78	5.81	4.93	3.80	0.07	9.23	15.28	14.64	6.37	30	11	80	57	24	4095
56	2	807482	8537990	6.21	1.93	2.12	1.72	3.00	0.10	10.50	10.19	14.32	7.00	20	5	90	49	29	4101
57	2	807486	8538017	2.06	1.81	2.85	1.55	2.07	0.28	12.73	13.69	10.82	15.28	70	3	70	36	39	4108
58	2	807494	8538040	4.87	2	5.07	2.92	3.72	0.08	32.47	8.28	20.37	13.37	70	18	75	55	3	4118
59	2	807502	8538064	2.85	2.31	1.42	1.81	2.10	0.27	14.64	9.23	19.10	12.73	40	12	40	52	23	4119
60	2	807517	8538092	2.9	3.3	6.45	3.39	4.01	0.07	25.15	11.46	15.92	28.65	40	11	30	53	41	4126
61	2	807506	8538117	4.8	3.06	4.46	1.81	3.53	0.09	9.23	38.52	12.73	36.61	70	14	35	48	41	4135
62	2	807511	8538192	2.83	2.55	4.79	4.31	3.62	0.09	22.28	14.64	38.20	23.87	20	12	40	49	9	4166
63	2	807525	8538217	4.59	4.04	2.39	2.61	3.41	0.10	8.59	18.78	14.32	20.69	40	14	45	61	16	4168
64	2	807537	8538241	4.1	2	3.18	1.82	2.78	0.15	17.51	40.43	17.51	9.55	70	12	20	46	14	4172
65	2	807537	8538260	1.81	1.62	4.68	1.5	2.40	0.17	5.73	32.15	44.56	26.42	80	16	50	59	49	4176
66	2	807542	8538294	12.4	2.31	6.6	6.37	6.92	0.02	45.84	43.93	6.37	22.28	20	7	60	56	4	4187
67	2	807559	8538310	2.1	2.42	6.78	1.04	3.09	0.09	11.78	17.51	19.10	22.28	30	13	40	46	44	4188
68	2	807672	8538445	3.83	2.82	6.05	3.04	3.94	0.07	22.28	20.37	18.78	6.37	20	23	30	46	35	4165
69	2	807678	8538436	2.38	0.73	1.81	1.54	1.62	0.43	10.19	17.83	12.73	23.87	20	10	20	47	42	4158
70	2	807680	8538407	4.2	4.01	5.64	3.13	4.25	0.07	18.46	20.69	28.65	66.84	60	14	40	69	17	4147
71	2	807665	8538386	4.86	4.22	3.21	3.33	3.91	0.08	21.33	6.37	45.20	0.64	20	20	40	60	19	4143
72	2	807657	8538358	4.05	3.55	2.09	4.16	3.46	0.10	15.28	20.69	11.46	40.11	80	22	30	60	8	4139
73	2	807644	8538337	21.2	2.17	20.14	6.85	12.58	0.01	38.20	0.64	7.96	5.73	40	14	10	59	17	4137
74	2	807636	8538314	5	1.84	3.33	2.99	3.29	0.11	30.88	0.40	12.10	4.14	30	18	10	40	29	4133
75	2	807641	8538282	8.04	1.66	3.27	2.27	3.81	0.06	22.28	0.54	18.46	14.32	70	13	40	70	35	4125
76	2	807631	8538258	2.23	1.36	7.44	1.71	3.19	0.08	25.15	42.65	14.96	25.46	30	8	60	49	28	4116
77	2	807646	8538237	2.64	2.55	5.62	3.4	3.55	0.09	20.37	22.28	35.65	19.10	20	8	70	40	64	4108
78	2	807639	8538205	6.05	2.21	9.38	2.29	4.98	0.04	45.20	7.96	18.78	12.73	50	14	60	51	74	4126
79	2	807634	8538172	13.7	5	4.2	5.36	7.07	0.02	55.39	14.64	28.01	38.20	50	12	90	51	12	4099
80	2	807421	8537911	4.23	3.2	8.5	1.82	4.44	0.05	14.32	20.69	22.28	5.73	20	10	45	42	30	4109
81	2	807415	8537950	3.8	4.5	2	3.9	3.55	0.09	18.14	9.55	7.64	26.42	30	12	60	45	32	4117
82	2	807414	8537982	5.4	2.56	2.2	5.24	3.85	0.07	19.10	22.28	17.19	14.01	60	10	50	56	27	4125
83	2	807419	8538013	5.56	3	4.5	3	4.02	0.07	8.75	21.65	23.87	6.37	70	7	10	59	44	4133
84	2	807429	8538042	7.39	3.1	2.4	6.24	4.78	0.05	28.65	15.92	22.28	28.65	60	20	40	54	38	4145
85	2	807437	8538067	7	2.5	6.8	1.4	4.43	0.05	25.46	19.10	10.82	23.87	50	14	25	63	18	4156
86	2	807443	8538096	2.87	1.98	6.12	4.9	3.97	0.07	38.20	11.46	10.19	7.32	70	14	30	48	33	4161

87	2	807450	8538121	4.8	4.24	3.6	3.4	4.01	0.08	21.33	7.96	19.10	11.78	30	20	40	60	22	4170	
88	2	807463	8538143	1.66	8	3.3	2.27	3.81	0.06	22.28	47.75	9.55	13.37	70	12	35	70	23	4175	
89	2	807475	8538170	10.9	1.04	2.4	2.1	4.10	0.04	33.10	11.78	13.05	30.24	30	11	70	57	18	4182	
90	2	807487	8538196	6	2.3	9.38	2.4	5.02	0.04	7.64	0.64	11.14	6.37	50	12	60	51	24	4187	
91	2	807497	8538216	2.7	2.6	5.6	3.24	3.54	0.09	22.28	20.37	2.55	4.77	20	8	70	40	10	4193	
92	2	807505	8538236	2.3	1.56	7.44	1.8	3.28	0.08	25.46	44.56	4.14	8.91	30	10	60	49	32	4196	
93	2	807514	8538260	1.81	1.62	4.78	1.5	2.43	0.16	31.83	32.15	2.86	16.55	80	15	50	59	24	4203	
94	2	807519	8538283	10.4	2.32	6.65	6.37	6.44	0.03	38.20	43.93	8.91	8.28	20	9	60	56	35	4208	
95	2	807529	8538302	4.08	3.65	2.29	4.2	3.56	0.10	15.28	20.69	19.10	23.87	80	22	30	60	48	4215	
96	2	807539	8538320	12.2	3.2	6.54	7.4	7.33	0.02	41.38	26.10	25.15	14.96	40	12	15	59	52	4226	
97	2	807688	8538270	2.7	2.5	5.7	3.4	3.58	0.09	19.10	22.28	35.65	22.60	20	8	70	40	18	4102	
98	2	807689	8538299	6.04	1.96	3.4	2.3	3.43	0.09	22.28	53.79	29.60	28.33	70	13	40	70	22	4107	
99	2	807697	8538334	2.55	3.6	4.25	2.05	3.11	0.12	13.05	12.10	13.37	16.23	40	15	50	59	14	4113	
100	2	807710	8538376	4.56	3.92	3.36	4.22	4.02	0.08	12.10	24.19	24.83	30.56	20	13	25	60	31	4117	
101	2	807719	8538412	4.2	5.01	5.24	3.1	4.39	0.06	18.46	20.69	57.30	16.55	60	14	40	69	14	4126	
102	2	807728	8538447	2.48	0.99	1.87	1.64	1.75	0.38	17.83	13.37	28.65	50.93	20	10	20	47	12	4129	
PROMEDIOS														20.83	42.08	12	41.89	54		

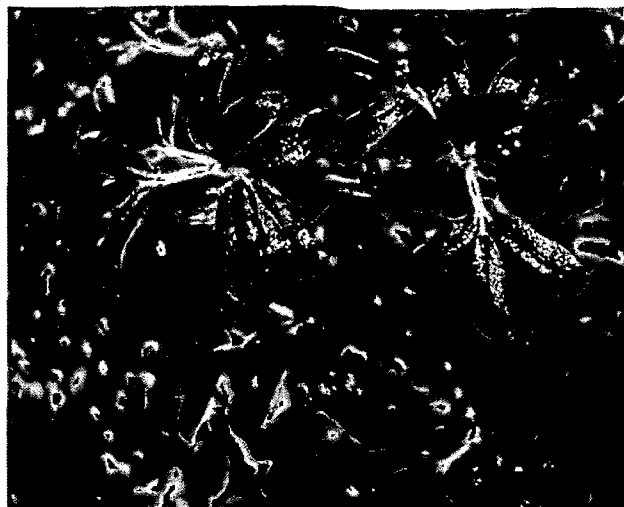
1.1.3. PARCHE N° 3

	PARCHE	COORDENADAS		DISTANCIAS (CM)				PROMEDIO	DENSIDAD POLLARD Arb/m ²	DAP (CM)				% HUMEDAD	PROFUNDIDAD (CM)	% ROCA	% APERTURA DE DOSEL	% PENDIENTE	ALTITUD (msnm)
		x	y	d1	d2	d3	d4			DAP1	DAP2	DAP3	DAP4						
103	3	807450	8537724	4.57	1.64	4.62	3	3.46	0.09	19.10	23.87	29.92	5.09	80	19	65	50	12	4071
104	3	807461	8537702	5.1	0.82	4.87	2.89	3.42	0.09	19.10	21.96	25.15	12.73	60	22	80	51	14	4068
105	3	807483	8537688	2.31	8.27	9.05	2.97	5.65	0.03	27.06	26.74	37.56	24.83	30	24	85	64	4	4065
106	3	807498	8537665	10.9	1.53	5.48	2.04	4.98	0.03	19.74	14.01	17.51	27.37	60	13	60	55	4	4064
107	3	807496	8537644	10.1	8.76	2.35	3.12	6.08	0.03	3.50	27.37	5.73	14.64	40	7	40	80	8	4063
108	3	807506	8537629	8.31	1.34	5.99	1.63	4.32	0.05	17.03	10.03	17.19	33.42	60	8	30	43	16	4065
109	3	807515	8537590	6.31	2.3	6.45	1.89	4.24	0.06	19.74	19.42	23.55	30.56	60	10	35	60	29	4070
110	3	807529	8537485	2.72	1.83	3.79	7.76	4.03	0.06	17.51	8.75	7.96	54.11	60	8	20	41	16	4074
111	3	807539	8537454	6.37	1.68	8.42	4.93	5.35	0.04	13.21	10.60	10.82	9.55	30	7	45	78	14	4079

1.2. Especies de *Polylepis* determinadas para el bosque de Mantamay- Urubamba



Polylepis racemosa



Polylepis subsericans



Polylepis racemosa



Polylepis racemosa

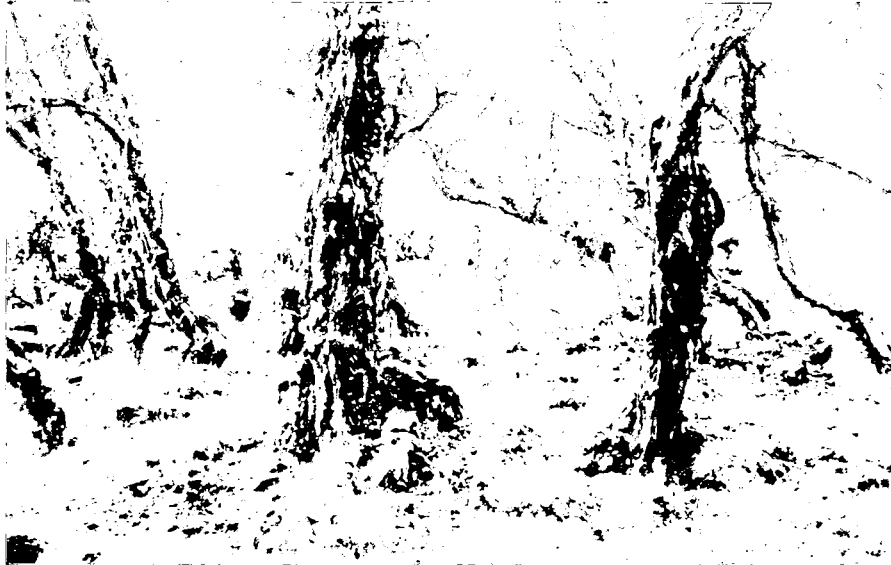


Polylepis racemosa

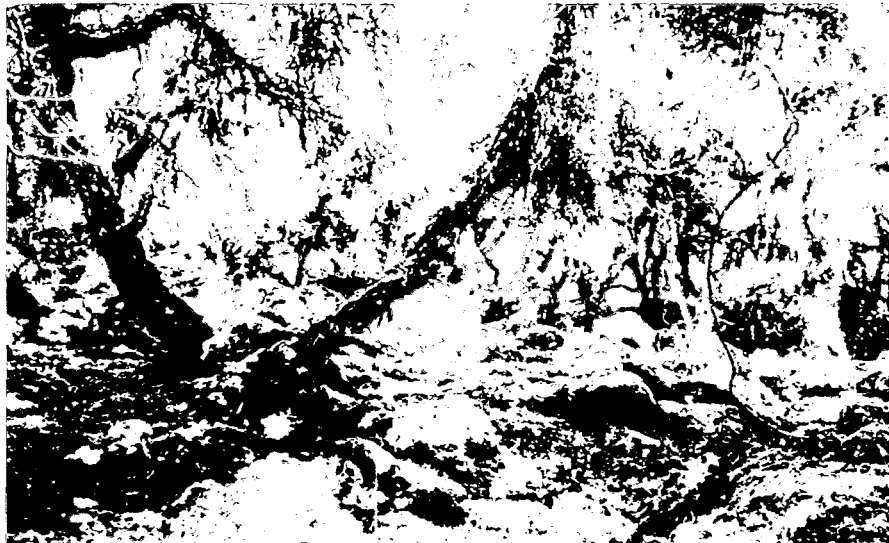


Polylepis racemosa

1.3. Fotografías del Parche de bosque n° 1



1.4. Fotografías del parche de bosque n° 2



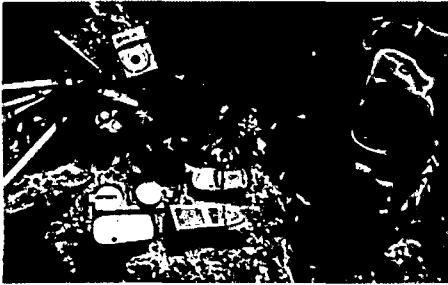
Fotografías del parche de bosque n° 2



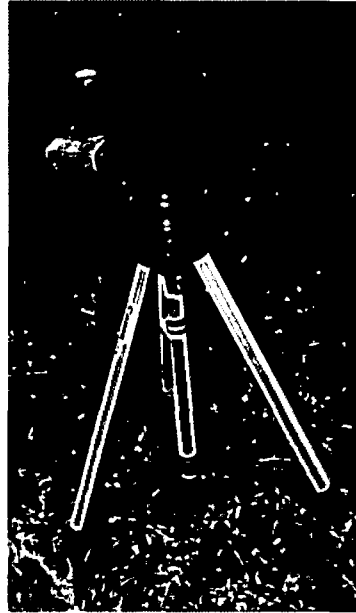
1.5. Fotografía del Parche de bosque n° 3



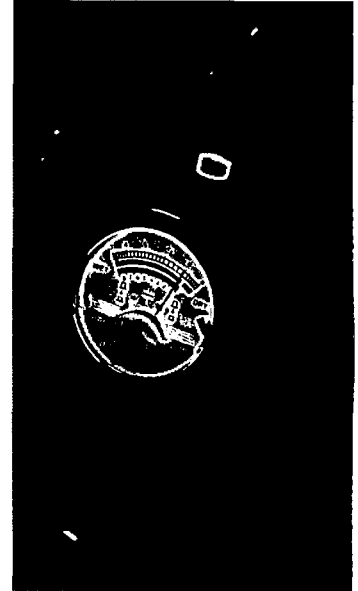
1.6. Fotografías del trabajo de Campo



Materiales de campo



Cámara sobre trípode



Higrómetro



Distanciómetro



Vista de la laguna Azulcocha y el nevado Pumahuanca

Equipo de trabajo



Nevado Pumahuanca



Vista del parche de bosque n° 2

1.7. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

GAP LIGHT ANALYZER (GLA)

Introducción

La fotografía hemisférica para evaluar la estructura de dosel arbóreo es un método indirecto muy confiable, mediante esta técnica las fotografías son tomadas mirando hacia el dosel arbóreo, utilizando un lente ojo de pescado, el cual posee en general un campo de visión de 180°. El resultado es una fotografía que registra la posición, tamaño y forma de las aberturas o claros que existen en el dosel.

Con estas metodologías se abordan parámetros estructurales del dosel arbóreo y estimaciones de la luminosidad en el interior del bosque. En teoría, las mediciones de la estructura del dosel arbóreo se basan en que, la probabilidad de que la luz pase a través del dosel sería proporcional a la longitud de su trayectoria, y al tipo, densidad, distribución y orientación del follaje. Así, a través de técnicas matemáticas, es posible calcular la fracción de claros en el dosel, el porcentaje de aberturas del dosel e índices de área foliar.

El GAP LIGHT ANALYZER es un software gratuito disponible para Windows XP creado por el Dr. Charles Canham en el Institute of Ecosystem Studies (IES), Millbrook, New York (Canham 1995).

El programa y su correspondiente manual pueden ser descargados de la siguiente página web

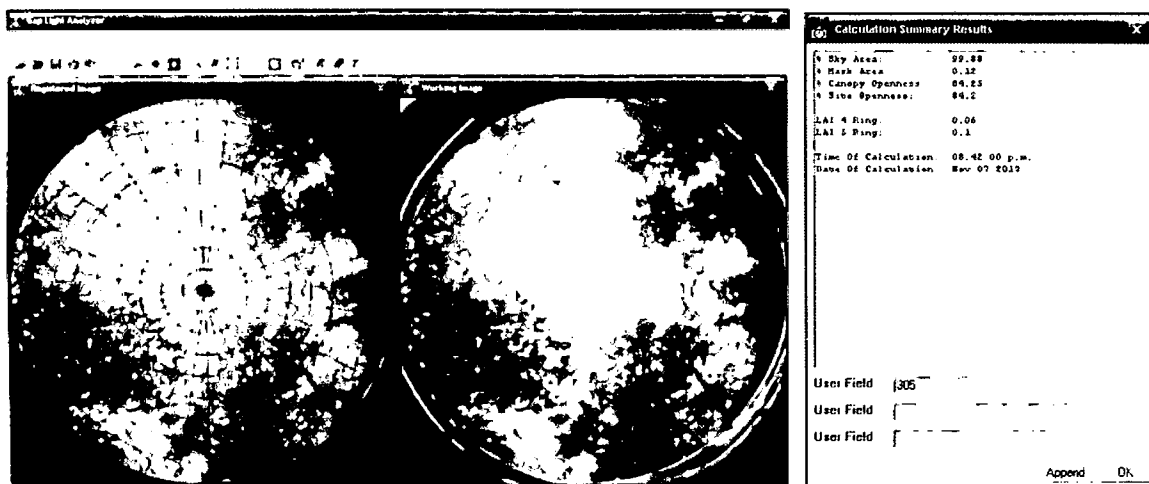
<http://www.rem.sfu.ca/forestry/publications/downloads/gaplightanalyzer.htm>

Se puede utilizar el mismo software para análisis más avanzados. En la presente tesis el objetivo era hallar el porcentaje de apertura de dosel arbóreo que condiciona la cantidad de luz que entra al bosque.

Considerando esto, se siguieron los siguientes pasos:

1. Abrir la imagen "File- Open- New Imagen" que puede ser en formato JPG.
2. Registrar la imagen, "Register Imagen" en el menú "Configure" este paso ayuda a determinar la orientación de la fotografía y la delimitación del campo que va ser

analizado como se muestra en la figura. Una vez terminado se pulsa el botón "Apply" y "Ok" para guardar la selección. La figura de la izquierda es la imagen registrada, mientras que la de la derecha es la imagen de trabajo.



3. El siguiente paso es la Clasificación de la Imagen y que se logra con la herramienta "threshold". La imagen de trabajo se convierte en una imagen binaria con blancos y negros puros.



4. El último paso consiste en calcular el porcentaje de blanco en la imagen, que viene a ser la apertura de dosel utilizando la herramienta "Calculate". Existe dos opciones para seleccionar "Canopy Structure" y "Canopy Transmitted GAP Light", seleccionamos la primera opción.
5. Una vez calculada la estructura de dosel (Canopy Structure) se guardan los resultados y se continúa con el procesamiento de la siguiente imagen.

GUÍA PRACTICA SADIE

Análisis Espacial mediante Índices de Distancias

¿Qué es SADIE Shell?

SADIE, es el acrónimo de *Spatial Analisis by distance Indices*. Es un método para estimar el patrón espacial. El software fue creado por, Joe Perry, y su equipo de colaboradores Kelvin Conrad y Colin J. Alexander.

Estos programas, que son totalmente gratuitos, funcionan en cualquier ordenador personal (PC) con sistema operativo Windows (versión 95 y superiores). El programa y su correspondiente documentación pueden descargarse de la página web de SADIE (<http://home.cogeco.ca/~sadiespatial/index.html>)

1.1. Caracterización del patrón espacial

El programa SADIE calcula el patrón espacial del objeto de estudio, estimando el mínimo esfuerzo necesario para obtener una distribución regular donde todas las unidades de muestreo tienen el mismo valor. (Perry, 1998)

En la práctica, este esfuerzo equivale a la mínima distancia en el espacio requerida para obtener dicha regularidad, esta distancia se denomina como "D". Generalmente, cuanto mayor es D, mayor agregación espacial hay en los datos. El valor de D se obtiene utilizando un algoritmo de transporte empleado en la programación del software y que se basa en la existencia de flujos de individuos y fracciones de individuos, desde unidades muestrales "donantes" (aquellas con valores altos de la variable), hacia unidades muestrales "receptoras", (zonas con valores bajos de la variable).

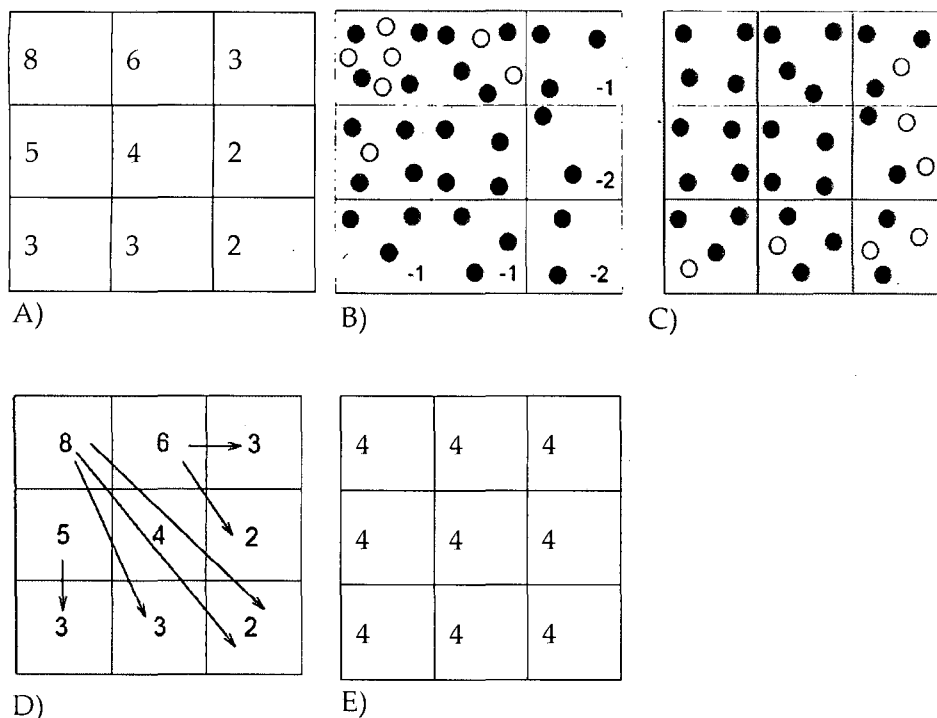
1.1.1. Índice de agregación: (I_a)

Una vez obtenido el valor de D de los datos (D obs), se necesita evaluar si este valor difiere estadísticamente de la aleatoriedad. Para ello el programa SADIE realiza un test de permutaciones donde los valores de la variable son distribuidos al azar en el espacio, esto repite varias cientos y miles de veces, la división del valor observado (D obs), por el valor medio (D perm), obtenido a partir de las permutaciones, genera un índice de agregación que describe el patrón espacial de los datos. (Maestre & Quero, 2008)

Usualmente los datos muestran una distribución agregada si $I_a > 1$, aleatoria si $I_a = 1$, y regular si $I_a < 1$. Bajo la hipótesis nula de una distribución aleatoria de la variable objeto de estudio. (Perry, 1998) La significación estadística de "D" (P-valor) puede obtenerse calculando que proporción de valores de "D" en la distribución de frecuencias tiene un valor igual o mayor al valor observado, lo cual se realiza automáticamente, a través de la permutaciones.

El índice de agregación (I_a), es una medida del patrón espacial general de un grupo de datos en un área de estudio determinada, pero no proporciona información sobre una zona concreta del área de estudio, por ejemplo si una determinada zona corresponde a una mancha (zona con valores de la variable superiores a la media), o a un claro (zona con valores de la variable inferiores a la media). Esta información se obtiene del índice de agrupación. (Maestre & Quero, 2008)

Figura 1: Caracterización del patrón espacial mediante SADIE



Representación del número de individuos presente en cada unidad de muestreo (A) y de las celdas que tienen más o menos individuos que la media (B). Utilizando un algoritmo de transporte, el programa SADIE redistribuye los individuos desde las celdas que tienen un número de individuos mayor que la media (4) hacia las que tienen un número menor, de forma que al final todas las celdas tienen el mismo número de individuos. Las unidades que se han desplazado se representan como círculos blancos (C). Los flujos desde las celdas con más individuos que la media se encuentran representados por las flechas en el panel (D).

1.1.2. Índice de agrupación: (V)

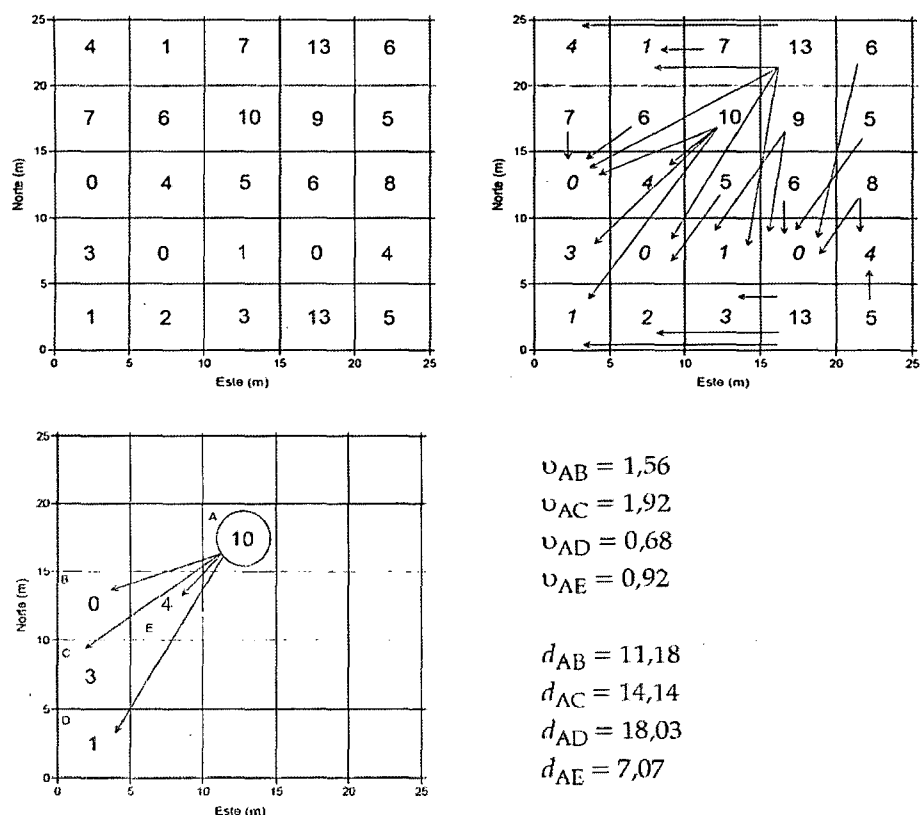
Cuantifica el grado en el que cada valor de la variable en su posición contribuye al patrón espacial general de los datos. SADIE calcula un índice de agrupación para cada posición muestreada basándose nuevamente en el algoritmo de transporte.

La distancia media, del flujo desde "A" se utiliza como base para calcular un índice de agrupación para la unidad A, que viene a ser, " Y_a ". Si se considera una unidad A donante que tiene flujo de unidades hacia "n" unidades receptoras, la distancia media del flujo Y_a , se calcula teniendo en cuenta la magnitud y la distancia desde "A" hasta "n". Así pues existe un valor de Y para cada una de las unidades donantes. (Maestre & Quero, 2008)

Este proceso se repite para cada una de las unidades de muestreo, con lo cual, se obtiene un valor de "v" por posición. Así, se puede delimitar espacialmente la presencia de manchas y claros en el área de estudio. Las unidades de muestreo situadas dentro de una mancha tienen valores de v (v_i) elevados y positivos, mientras que, en aquellas ubicadas en un claro (v_j) son elevados y negativos. La presencia de agrupaciones en los datos viene dada por valores elevados de v_i o muy bajos de v_j . Valores de v mayores que 1.5 o menores que -1.5 indican la presencia de una mancha o de un claro respectivamente, mientras que aquellos cercanos a 1 indican una distribución aleatoria de esa unidad. (Perry, 1998)

Y_a es un buen indicador de la agregación porque tiende a ser más elevado para una unidad que forma parte de una mancha que para una que tiene un valor de la variable a estudiar elevado pero que está rodeada por unidades vecinas con valores bajos. Sin embargo, Y_a depende de la escala a la que las distancias son medidas, del valor de cobertura y de su localización respecto a otras unidades. Entonces a partir de Y_a se calcula que v es adimensional y tiene en cuenta estas características.

Figura 2: Índice de Agregación (V)



Distribución original de los datos (A), gráfico "inicial y final" (B) y reparto de los flujos desde la unidad situada en las coordenadas 10, 15 (C) en el ejemplo empleado. La magnitud de los flujos en el panel B difiere, pero por claridad no se tienen en cuenta en la figura. La magnitud (v) y distancia (d) de los flujos individuales representados en el panel C se indica a la derecha del mismo.

El índice V es una variable continua, por lo que si se localiza en un mapa de los puntos muestreados se puede obtener una representación visual de la localización y tamaño de las manchas y los claros. Para evaluar estadísticamente el grado de significación del conjunto de manchas y los claros, se realiza un test de permutaciones donde sus valores medios, denominados como V_i y V_j respectivamente, son comparados con los obtenidos mediante permutaciones, de igual forma que ocurre con I_a . (Perry *et al.* 1999)

1.2. Covariación espacial entre pares de variables

1.2.1. Asociación global

El programa SADIE permite evaluar los patrones de covariación espacial de dos variables en la zona de estudio, siempre que los datos de ambas hayan sido tomados en las mismas coordenadas. Toda medida de asociación espacial entre dos variables debería cumplir dos requisitos principales (Perry & Dixon, 2002) (i) estar basada en una comparación clara de las propiedades espaciales de cada variable, de modo que aquellas características del patrón espacial que coinciden en ambas reflejarían la asociación entre ellas, mientras que en caso contrario indicarían su disociación espacial y (ii) tener en cuenta el patrón espacial de cada una de las variables a comparar. La utilización del coeficiente de correlación con los valores de v para las dos especies satisface ambas propiedades. Aquellos puntos de muestreo donde los índices v de ambas muestren una mancha o un claro contribuirán de manera importante y positiva a la correlación (asociación), mientras que donde una de las especies muestre una mancha y la otra un claro, la contribución será negativa (disociación). (Maestre & Quero, 2008)

Como sucede con los índices I_a , V_i y V_j para calcular la significación estadística, se compara el valor obtenido con la distribución formada al permutar los datos entre las unidades de muestreo y recalculando dicho coeficiente un determinado número de veces (usualmente unas 10,000 veces). Así si se considera un test de dos colas y un nivel de significación de 0,05 las dos especies estarán significativamente disociadas si la correlación observada es menor que el valor de 250 de esta serie ordenada, ocurriendo lo contrario si la correlación es igual o más grande que el valor 9751. (Maestre & Quero, 2008)

1.2.2. Asociación local

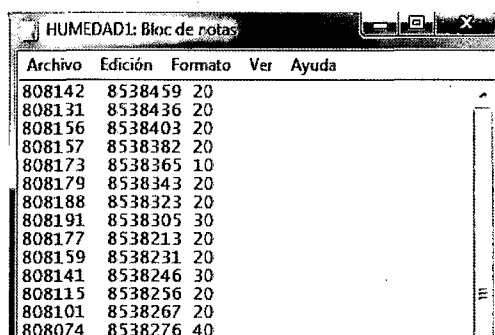
Al igual que ocurría con los índices I y V , el análisis descrito en el apartado anterior permite describir el grado global de asociación o disociación espacial de dos variables en la zona de estudio. No obstante, no identifica aquellas zonas concretas del espacio donde las asociaciones o disociaciones ocurren con mayor intensidad. Para estimar la importancia de cada punto de muestreo para el patrón de asociación/disociación global, el programa SADIE toma en cuenta los valores de χ_i . Valores positivos de χ_i indican la presencia de coincidencias en las manchas y claros de ambas variables estudiadas en la unidad de muestreo; mientras

que valores negativos revelan la presencia de una mancha en una variables y un claro en la otra.

Los valores de χ_i son continuos y están autocorrelacionados por lo que su representación en mapas de dos dimensiones, como los obtenidos con Kriging, son posibles y cumplen el objetivo de visualizar las zonas donde se produce una asociación o disociación dentro de la superficie estudiada.

1.3. Visión General de la ejecución del programa

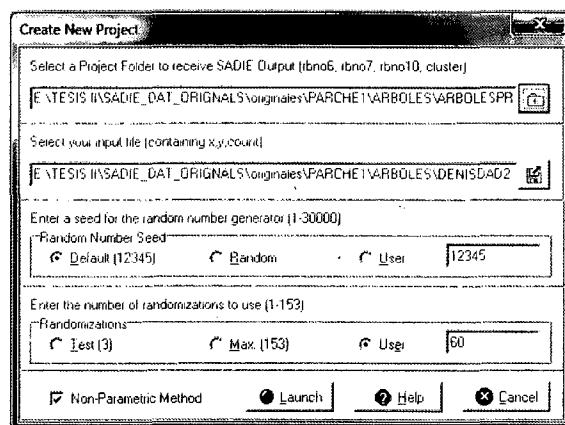
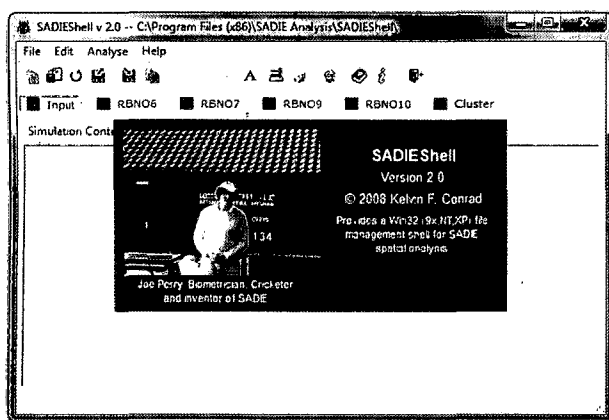
- El fichero de entrada: Puede ser creado fácilmente con formato texto delimitado por tabulaciones (*.dat ó *.txt). Debe poseer tres columnas, dos de posición (coordenadas x, y) y una con el valor de la variable objeto de estudio.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
808142	8538459	20		
808131	8538436	20		
808156	8538403	20		
808157	8538382	20		
808173	8538365	10		
808179	8538343	20		
808188	8538323	20		
808191	8538305	30		
808177	8538213	20		
808159	8538231	20		
808141	8538246	30		
808115	8538256	20		
808101	8538267	20		
808074	8538276	40		

- Corrida del análisis:

Sadie utiliza el concepto de carpetas o ficheros. En la ventana se pueden ver las pestañas que diferencian unos de otros: Input, Rbn06, Rbn07, Rbn09, Rbn10, Cluster.

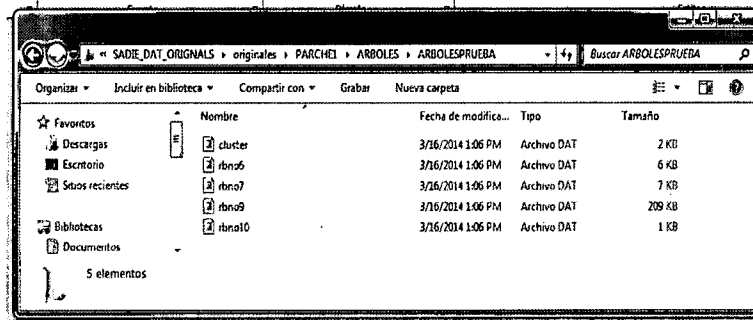


Para empezar un análisis se crea una nueva carpeta y los pasos son los siguientes:

1. Una vez instalado el programa en el computador, abrimos la interfaz Sadie_shell Inicio---Todos los programas---Sadie Analysis---Sadie_Shell
2. **FILE - New Project:** (Fig 2.b) Seleccionamos la carpeta donde se guardarán los resultados de los análisis. En la segunda parte, seleccionamos la carpeta que contenga el fichero de entrada antes descrito, el que contiene las coordenadas (x, y) y una con el valor de la variable objeto de estudio
3. **Random Number Seed:** Contiene la "semilla" para comenzar las permutaciones.
4. **Enter the number of randomizations to use:** indica el número de randomizaciones a realizar (en bloques de 39, si ponemos 60 el programa utilizaría 2.340 permutaciones). Se recomienda seleccionar el máximo número posible de permutaciones (5.967 en la versión actual), ya que cualquier ordenador personal actual será capaz de realizar los análisis SADIE en varios minutos.
5. SADIShell ofrece también la alternativa de usar el método no paramétrico para distribuciones de datos muy sesgadas.

- **Ficheros de salida:**

La ejecución de SADIShell, produce los siguientes archivos de salida (independientemente de que se use la versión paramétrica o no paramétrica de SADIE) y se guardan en el disco del computador previamente elegido.



- **"rbno6.dat"**: contiene el número de puntos de muestreo, el número de parámetros introducidos en INPUT, el número de permutaciones y algunos estadísticos que resumen ciertas características del patrón espacial de los datos (coordenadas del centroide de los valores de la variable objetivo de estudio, distancia máxima entre dos unidades de muestreo, media, varianza e índice de dispersión). Además si se ha practicado un análisis no paramétrico este fichero contiene los valores que han reemplazado a los originales por sus rangos.
- **"rbno7.dat"**: contiene la media de la variable objeto de estudio, el valor de D observado para los datos, su significación estadística, la media de D para las permutaciones, el índice Ia , el valor de para cada punto de muestreo (con información adicional necesaria para calcular cada valor de v) los índices V_i y V_j (con sus correspondientes tests estadísticos).

- "rbno9.dat": este archivo contiene numerosa información para realizar algunas representaciones gráficas de interés, como los gráficos "inicial y final" y otros gráficos presentados en Perry et al. (1999). También contiene los valores de D para cada una de las permutaciones, los valores de v para cada unidad de muestreo, los valores medios de v para cada permutación, así como otra información presente también en el "rbno7.dat".
- "rbno10.dat": Resume los índices I_a , V_i y V_j , con sus correspondientes P valores bajo la hipótesis nula de una distribución aleatoria de la variable objeto de estudio.
- "cluster.dat": este archivo contiene las coordenadas de los datos (columnas 1 y 2) y los valores de v (columna 3), y puede utilizarse directamente para la realización de mapas bidimensionales con programas como Surfer y para el análisis de asociación/disociación con el programa "n_a.exe"

"N_AShell" ¿Qué es N_Ashell?

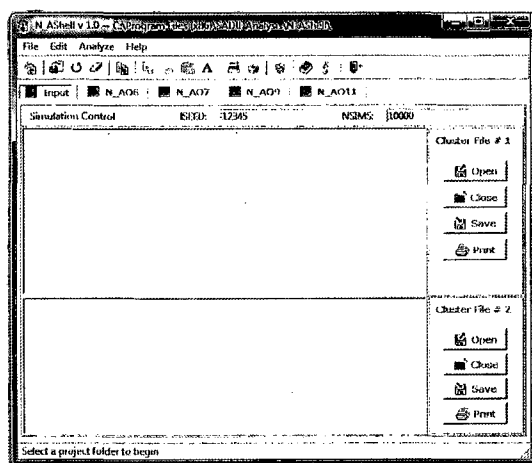
Es una interfaz gráfica que detecta asociaciones o disociaciones de dos variables tomadas en las mismas coordenadas. Calcula el coeficiente de correlación y el índice de asociación χ que puede ser global o local.

2.1. Visión General de la ejecución del programa:

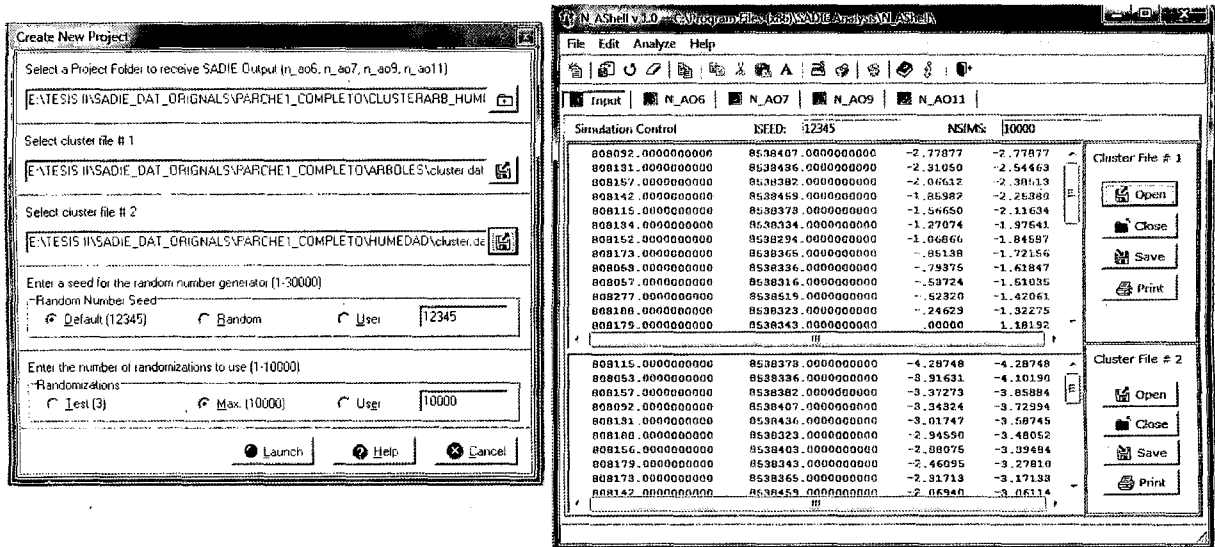
Ésta aplicación también puede ser descargada de la misma página de Sadie Shell: <http://home.cogeco.ca/~sadiespatial/index.html>

Corrida del análisis:

1. Una vez instalado el programa en el computador, abrimos la interfaz N_Ashell Inicio--Todos los programas--Sadie Analysis--N_AShell. La ventana de inicio se presenta en la siguiente figura.



1. File- New Project. (Fig 5) Seleccionar una carpeta donde se guardarán los resultados, Seleccionar el primer "cluster.dat" proveniente de SADIEShell. Seleccionar el segundo "cluster.dat". Cada uno de ellos llevará tres columnas, dos con las coordenadas x e y, una tercera con los valores del índice de agrupación de la variable a analizar (v).



La ejecución del programa "n_a.exe" produce los siguientes archivos de salida:

- "n_a06.dat": contiene los parámetros seleccionados para los análisis y los datos utilizados, junto con un análisis previo para comprobar si las coordenadas coinciden en los dos archivos.
- "n_a07.dat": en este archivo podemos encontrar los valores del índice χ , los valores del índice χ_i para cada unidad de muestreo y sus correspondientes tests estadísticos.
- "n_a09.dat": contiene todos los valores del índice χ derivados de las permutaciones, así como todos los detalles del análisis de tendencias descrito en el apartado 4.3.1.
- "n_a011.dat": el contenido de este archivo es irrelevante para la mayor parte de usuarios, ya que alberga información relativa al ajuste de Dutilleul (1993a), de interés únicamente para aquellos usuarios avanzados que deseen calcular sus propios ajustes.

Por último, conviene mencionar que cada vez que se ejecuta "rebrelv13.exe" o "n_a.exe" hay que renombrar los archivos de salida, ya que si no se hace SADIEShell escribirá encima de los mismos los resultados de cada nuevo análisis.

Páginas web de interés

- GAP LIGHT ANALYZER (GAP)

<http://www.rem.sfu.ca/forestry/publications/downloads/gaplightanalyzer.htm>

- GOLDEN SURFER 10:

El manual de software Golden Surfer se de Arce, R. (2001): *Curso de surfer en imágenes*. Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica. De la siguiente página web:

<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf>

- N_ASHELL (Análisis de Asociación/ disociación)
- SADIE_SHELL (Análisis espacial mediante índices de distancia)

<http://home.cogeco.ca/~sadiespatial/index.html>