

**BIODIVERSIDAD Y ECOGEOGRAFÍA DEL GÉNERO *LUPINUS* L.  
(LEGUMINOSAE) EN COLOMBIA**

**VICTORIA EUGENIA BARNEY DURAN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
COORDINACION GENERAL DE POSTGRADOS  
PALMIRA  
2011**

**BIODIVERSIDAD Y ECOGEOGRAFÍA DEL GÉNERO *LUPINUS* L.  
(LEGUMINOSAE) EN COLOMBIA**

**VICTORIA EUGENIA BARNEY DURAN**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título  
Magister en Ciencias Biológicas línea Recursos Fitogenéticos  
Neotropicales**

**Directores de tesis:**

**Joel Tupac Otero, PhD**

**Jairo Palta, PhD. CSIRO- Australia**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
COORDINACION GENERAL DE POSTGRADOS  
PALMIRA**

**2011**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS  
LINEA DE INVESTIGACIÓN  
RECURSOS FITOGENÉTICOS NEOTROPICALES

En Palmira a los 02 días del mes de Junio de 2011, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores CREUCI MARIA CAETANO y JHON ALBEIRO OCAMPO PEREZ

Para calificar la Tesis de Grado de:

**VICTORIA EUGENIA BARNEY DURAN**

Titulada:

"BIODIVERSIDAD Y ECOGEOGRAFIA DEL GENERO *LUPINUS (LEGUMINOSAE)* EN COLOMBIA", bajo la dirección de Joel Tupac Otero, Ph.D.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los doctores CREUCI MARIA CAETANO y JHON ALBEIRO OCAMPO PEREZ, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADO

REPROBADO

  
CREUCI MARIA CAETANO

  
JHON ALBEIRO OCAMPO PEREZ

Secc. 1. Facultad  
2. H. U. C.

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se hizo por iniciativa de los doctores Isabella Borrero desde USA y Jairo Palta de CSIRO de Australia, quienes desde la lejanía de su país, piensan en Colombia como su centro focal de trabajo, quienes me encomendaron la tarea de buscar una planta silvestre, escondida en el universo de este nuestro bello y biodiverso país, Colombia, un recurso genético casi desconocido del Neotrópico con gran futuro en valor de uso.

Al Centro de Leguminosas del Mediterráneo Australiano- CLIMA por el apoyo logístico, esperando queden satisfechos con el trabajo y podamos los colombianos seguir trabajando en la búsqueda de plantas con valor nutritivo, por el bien de la humanidad.

A los curadores de los herbarios de COL, CAUP, HPS, CUCV, VALLE, HUQ, HUC, TOL, COL, FMB, HUA, UIS, UPTC, JBA, HPUJ, JBJCM, quienes me ayudaron en la búsqueda y fotografías de los exsiccados.

A los geógrafos Geovanny Marmolejo, July Andrea Medina, Carlos Ramírez y al Dr. Xavier Sheldeman por sus correcciones y consejos, todos ellos fueron pieza fundamental en la elaboración de los mapas y uso de los programas GIS.

A nuestra compañera de Maestría Lorena Sandoval por sus datos del páramo de Doña Juana y a los naturalistas y fotógrafos Emilio Constantino y Ana Beatriz Varela Borja, esta última compañera incondicional de los viajes por la alta montaña.

A mis amigas Luz Dary Tangarife y Graciela Abouchar, quienes me apoyaron en la transcripción y elaboración de este trabajo con paciencia infinita.

A mis profesores de la Universidad Nacional, especialmente a la profesora Creusi Caetano y Tupac Otero por confiar en mí como futura profesional en el área de los Recursos Fitogenéticos Neotropicales.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
1 BIOLOGÍA DE <i>LUPINUS</i>	5
1.1 Taxonomía	5
1.2 Descripción botánica del Género <i>Lupinus</i> L.	6
1.3 Origen del Género <i>Lupinus</i> L.	7
1.4 Usos y valor nutricional	7
1.5 <i>Lupinus</i> silvestres de Colombia	8
1.6 Especies cultivadas	13
1.7 Problemas taxonómicos	14
2 ESTUDIOS ECOGEOGRÁFICOS	17
2.1 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica – SIG	17
2.2 Software DIVA-GIS	17
2.3 El páramo	18
3 METODOLOGÍA	27
4. RESULTADOS	31
4.1 Especies de <i>Lupinus</i> descritas en Colombia	31

	Pág.
4.2 Distribución de observaciones del Género <i>Lupinus</i> en Colombia	32
4.3 Distribución de especies	33
4.3.1 Especies raras	33
4.4 Análisis de patrón de riqueza	43
4.5 Análisis de complementariedad	46
4.5.1 Áreas prioritarias de conservación (prioridad por celdas)	47
4.6 Análisis bioclimático	52
4.6.1 Matriz de correlación con los tres componentes principales utilizando la versión 9.2 de SAS	55
DISCUSIÓN	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
PERSPECTIVAS	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	70

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Acrónimos de herbarios	71
Anexo 2. Base de datos general	72
Anexo 3. Mapas de distribución del Género <i>Lupinus</i> en complejos de Páramos	85
Anexo 4. Matriz de presencia – ausencia de especies de <i>Lupinus</i> en Colombia	94
Anexo 5. Distribución de especies de <i>Lupinus</i> en Colombia por vertientes	97
Anexo 6. Áreas de páramos	99
Anexo 7. Datos bioclimáticos de <i>Lupinus</i> en Colombia	100
Anexo 8. Análisis cluster de ecosistemas	110
Anexo 9. Bancos de germoplasma	118

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Climograma de una zona de alta montaña relativamente húmeda con régimen monomodal (Chingaza)	20
Figura 2. Climograma de una zona de alta montaña relativamente seca con régimen bimodal (Neusa)	21
Figura 3. Unidades fitosociológicas de la parte alta del bosque andino y de las cordilleras Occidental, Oriental y Central (vertiente oeste y este) y de la Sierra Nevada de Santa Marta (vertiente norte).	26
Figura 4. Distribución general y rangos altitudinales del Género <i>Lupinus</i> en Colombia	32
Figura 5. Rango del número de observaciones y distribución por especies del Género <i>Lupinus</i> en Colombia	34
Figura 6. Distribución de las especies más abundantes de <i>Lupinus</i> en Colombia	35
Figura 7. Número de observaciones de <i>Lupinus</i> en Colombia- Diva-Gis	37
Figura 8. Curva de regresión entre el número de observaciones vs Número de especies de <i>Lupinus</i> para cada celda de grid	40
Figura 9. Patrón de riqueza determinado por el número de especies por zona geográfica de <i>Lupinus</i> de Colombia obtenido por Diva-Gis	43
Figura 10. Riqueza de especies de <i>Lupinus</i> vs altitud	45
Figura 11. Análisis de complementariedad del <i>Lupinus</i> en Colombia	47
Figura 12. Nicho climático de los <i>Lupinus</i> más abundantes	52
Figura 13. Nicho climático de los <i>Lupinus</i> raros	53
Figura 14. Histograma de ecosistemas vs. especies más frecuentes de <i>Lupinus</i> en Colombia	54
Figura 15. Dendrograma de datos bioclimáticos	56
Figura 16. Dendrograma asociado a análisis cluster de ecosistemas en especies de <i>Lupinus</i> en Colombia	57



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los complejos de páramos y presencia de <i>Lupinus</i>	29
Tabla 2. Número de observaciones, patrón de riqueza y especies raras por complejos de páramos	39
Tabla 3. Número total de <i>Lupinus</i> presentes en Colombia, número de observaciones, distancia máxima (DMax), distancia promedio y área circular (AC) para cada especie de <i>Lupinus</i>	41
Tabla 4. Rangos altitudinales en las principales especies de <i>Lupinus</i> con respecto al número de observaciones	45

## RESUMEN

El Género *Lupinus*, uno de los más diversos de la familia Leguminosae, incluye alrededor de 300 especies de hierbas, arbustos y unos pocos árboles, distribuidas en el Viejo y Nuevo Mundo, donde han colonizado varios ambientes, con características morfológicas relativamente uniformes, pero con un incompleto análisis taxonómico. Es una planta con gran potencial agronómico debido al alto contenido de proteína de sus semillas y al positivo efecto sobre la fertilidad de los suelos y ha sido utilizada desde épocas ancestrales en Europa con 13 especies reconocidas tres de ellas domesticadas; *L. albus*, *L. angustifolius* y *L. luteus*, las cuales fueron dispersadas en el resto del mundo e introducidas como grano forrajero en Suráfrica y Australia, desde principios del siglo XX, convirtiéndose este último país en el primer productor mundial de semilla. En América, se encuentra en todo el continente, con todas las especies silvestres, con excepción del *Lupinus mutabilis* Sweet, que es utilizado desde la época preincaica en Suramérica hace más de 2000 años para la alimentación animal y humana, en las zonas altas de Bolivia, Perú, Ecuador y un poco en el sur de Colombia. La diversidad de especies de *Lupinus* se encuentra principalmente en los ecosistemas de alta montaña y páramos, 2000 > 4500 m de altura y donde se muestra como planta pionera en zonas de "paramización" después de los incendios o sobrepastoreo. Para conocer los patrones de diversidad, riqueza y área de ocupación del género en Colombia, se hizo una base de datos georeferenciada con información proveniente de especímenes de herbarios regionales, nacionales e internacionales, de campo, que junto a sistemas de información geográfica; Google Earth, Arc-View 9.3, DIVA-GIS y del Atlas de Páramos de Colombia con su sistema de clasificación, modificado para *Lupinus*, se contribuyó al entendimiento de los patrones espaciales en la distribución y el área de ocupación de 47 especies determinadas y 193 sin determinar, distribuidas en los Sectores de las tres Cordilleras, Nariño- Putumayo, Macizo Colombiano y Sierra Nevada de Santa Marta. Encontrándose cuatro "hotspots" distribuidos en 34 ecosistemas de alta montaña-páramo, en un total de 510 puntos de colección. Se utilizó un grid de resolución de 30x30 y un radio circular de vecindad de 30 Km. Se observó que la mayoría de las especies son endémicas y raras y que estaban distribuidas de forma desigual en cada una de las vertientes de las cordilleras. Los "hotspots" más importante están en los sectores; cordillera Oriental y cordillera Central, Nariño-Putumayo y Macizo Colombiano, sobre un organigrama jerarquizado de 6 sectores, 10 distritos y 23 complejos de páramo. A partir de esta información se podrán priorizar regiones para la conservación y uso, elaborar consultas relacionadas con la biodiversidad, colección y realizar análisis taxonómicos para apoyar proyectos rigurosos de investigación de este recurso que está amenazado por la erosión genética *in situ*.

## ABSTRACT

*Lupinus* is one of the most diverse and dispersed genus of Leguminosae, comprising about 300 species distributed in the Old and New World. It is a plant with great agricultural potential with high protein content in the seeds and a positive effect on soil fertility. Despite being used since ancient times in Europe and the Incas in South America over 2000 years ago, *Lupinus* is a neglected and underutilized crop. In South America there are the greatest number of wild species and the only cultivated *Lupinus mutabilis* Sweet, used in animal and human nutrition in the highlands of Bolivia, Peru, Ecuador and southern Colombia. Most species of *Lupinus* are distributed in High mountains and paramos ecosystems, 2000 > 4500 m in height. They also are pioneer plant in areas where paramo species are replacing native mountain forest after fires and overgrazing. To examine the patterns of diversity and richness of *Lupinus* in Colombia, I generate a geo-referenced database with information from literature; regional, national and, international herbarium specimens'; and primary information obtained from taxonomists and peasants, to feed geographic information systems such as Google Earth, Arc-View 9.3, and Diva-Gis. The classification system of Colombian Paramo Atlas was used to map a total of 510 points of collection including 193 not determined specimens, and 47 identified wild species of *Lupinus* in Colombia. It was observed that most *Lupinus* species are endemic and rare and. *Lupinus* species were distributed unevenly in each of the slopes of the Nariño and Putumayo mountains, Macizo Colombiano and Sierra Nevada de Santa Marta. Using a grid with resolution or cell size of 30 x 30 km and a circular radius neighbourhood of 30 km we founded three biodiversity hotspots in Eastern slope of the Andes of Cundinamarca and Boyaca; Nariño and Putumayo highlands, and Macizo Colombiano. Since this information may be used to prioritized areas for conservation and use, and support research projects of this important resource that is threatened by genetic *in situ* erosion due to natural effects of the fragility of those ecosystems or human intervention (burns , mining, agriculture and livestock in particular).

## INTRODUCCIÓN

El género *Lupinus* (Leguminosae) se encuentra ampliamente distribuido en casi todo el mundo y se reconocen dos grandes grupos separados geográficamente, con especies en el Nuevo y en el Viejo Mundo. La región Mediterránea y el Norte de África son zonas en donde el *Lupinus* es nativo y de allí fue llevado al sur de África y a Australia a mediados del siglo XX, convirtiéndose este último país en el primer productor mundial de semilla, para luego dispersarse por el Norte de Europa, Rusia, Islandia y otros. En América, donde están la mayoría de las especies nativas, aparecen dos centros importantes de diversidad, el Oeste de Norteamérica y en la zona oriental de Suramérica, en los Andes (Eastwood y Hughes, 2008). Su importancia radica en el gran potencial que tiene para la alimentación animal y humana, además del efecto positivo sobre la fertilidad y mejoramiento de los suelos, pues es capaz de fijar nitrógeno atmosférico a través de una particular simbiosis con bacterias fijadoras *Bradyrhizobium-Lupinus*, que lo hacen especialmente tolerante al estrés abiótico; como sequía, suelos ácidos, herbicidas, nitratos, salinidad y metales pesados. Esta inusual tolerancia ha permitido el uso de plantas inoculadas con *Bradyrhizobium* para la revegetalización de suelos degradados por la capacidad de acumular Cd, Zn y otros metales pesados, por lo cual se la ha considerado como potencial remediadora (Fernández Pascual *et al.*, 2007) y como pionera en la recuperación de suelos erosionados por sus raíces que penetran las capas endurecidas.

*Lupinus* incluye más de 600 especies nombradas, pero solo hay cerca de 300 reconocidas como tales (Eastwood *et al.*, 2008), 13 en el Viejo Mundo, originarias de la región Mediterránea y Norte de África, diez de ellas son silvestres y tres domesticadas: *Lupinus albus*, *L. angustifolius* L y *L. luteus* L. En el Nuevo Mundo, donde se encuentra, desde Alaska hasta Argentina, está el mayor número de especies, con dos centros principales de diversidad: Uno en el oeste de Norte América (100 especies) y otro en los Andes (85 especies), todas silvestres con excepción de *L. mutabilis* que ha sido domesticada desde el imperio Inca, donde tuvo una importancia relevante reflejada en los vestigios de las tumbas y en dibujos en cerámicas. En Perú se consume actualmente y ha renacido el cultivo gracias al

esfuerzo de comunidades indígenas, entes gubernamentales e investigadores (Mujica *et al.*, 2002).

Las especies andinas difieren tanto en su morfología, hábito de crecimiento, forma de las semillas y contenido de alcaloide como en el número cromosómico, pero en lo que si concuerdan casi todos los taxónomos es que pertenece a la tribu de las *Genistaceae* y no hay duda del género. Las especies mediterráneas, las del Norte de África y las de Norte América son todas anuales y autógamas con número de cromosomas variable (32-54), Gladstones 1970, 1974; Tapia y Vargas, 1982; Haneit, 1986; Neves, 1991; Carstairs *et al.*, 1992; citados por Cowling *et al.* (1998).

En Sur América una parte del género se encuentra en la zona del Atlántico y llega a Argentina y Chile; la otra está en la Cordillera de los Andes, desde Colombia y Venezuela hasta Bolivia, mostrando una alta variabilidad interespecífica. Las hay anuales, perennes: arbustivas, leñosas o arbóreas, de hábito erecto, postrado o semipostrado; autógamas y otras como *L. mutabilis*, con un grado de alogamia entre el 10 y 15%, poca variación en el número de cromosomas ( $2n= 48$ ) y con diferentes grados de alcaloides en sus semillas que las protegen de las plagas y enfermedades (Dunn, 1984).

La investigación de la sistemática se ha concentrado en estudios delimitados al Viejo Mundo, Norte América y a las especies unifolioladas de Brasil y Argentina. Las especies andinas han sido pobremente estudiadas, dando lugar a una proliferación de nombres, dos terceras partes puestos por C.P. Smith en su "*Species Lupinoria*" correspondientes a 44 países o localidades que más tarde fueron disminuidos por otros investigadores. El número actual no está aun determinado, pero es probable que sean entre 200-300 especies (Eastwood *et al.*, 2008).

La mayoría de los estudios de citogenética y de filogenia se han hecho con las especies mediterráneas y con las de Norte América y México, Argentina a Ecuador, por Wink *et al.*,(1997), y Hughes y Eastwood (2008). En estas filogenias solo se incluyeron dos y cuatro especies colombianas respectivamente, lo que la hace incompleta ya que Colombia es junto a Venezuela, paso migratorio obligado entre Norteamérica y Suramérica. En trabajos recientes de citogenética, nuevos números de cromosomas han sido reportados para las especies hojas digitadas y unifolioladas del Nuevo Mundo (Norteamérica y Brasil) con un  $2n = 36$ , (Conterato y Schifino-Wittman, 2006).

En el grupo suramericano parece que hubo una rápida rata de especiación coincidente con la transición del hábito anual a perenne y la colonización de las montañas, al levantamiento de la cordillera al norte de los Andes, permitiendo la explotación de nuevos nichos ecológicos (Hughes *et al.*, 2005). Por encontrarse el género en el ecosistema más representativo de la colonización, adaptación y evolución de la flora en un ambiente tropical frio de origen relativamente reciente. El levantamiento final de los Andes y los episodios glaciares durante el Pleistoceno en que produjeron un nuevo tipo de ecología en Suramérica: la alta montaña Tropical Húmeda. Un ecosistema geológico y climático particular que combina el régimen tropical (isoterma anual y estacionalidad diurna) con bajas temperaturas, heladas frecuentes y altas precipitaciones, configurando un clima Periglacial Tropical Húmedo (Monasterio M, 2001), en donde la presión de selección es drástica para la supervivencia de las especies, y el aislamiento geográfico es decisivo para la selección natural, a tal punto que se los ha considerado como una islas rodeada de bosque, conformando un gran archipiélago en los andes Colombianos que pueden mostrar sitios de alta diversidad (Van der Hammen. T, en Morales *et al.*, 2006).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Conocer la diversidad y la distribución Ecogeográfica del Género *Lupinus* L. en Colombia.

### **Objetivos Específicos**

- Documentar las especies de *Lupinus* presentes en Colombia, en una base de datos elaborada a través de registros de herbario, campo y literatura científica, para sistematizar la información disponible.
- Representar la distribución espacial de la diversidad del género en Colombia usando Sistemas de Información Geográfica (SIG), para identificar sus patrones de diversidad.
- Caracterizar el rango de hábitats en que se presentan las especies colombianas de *Lupinus* a través de mapas y generar posibles herramientas de conservación.

## 1 BIOLOGÍA DE *LUPINUS L.*

### 1.1 Taxonomía

La taxonomía del género permanece provisional, pues hay desacuerdos en la determinación de muchas especies y se siguen descubriendo nuevas (Fernández-Pascual, 2006; Easwood *et al.*, 2008).

- Nomenclatura

Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papiolionodeae
Tribu	Genisteae (Adanson) Bentham
Subtribu	Lupininae
Género	<i>Lupinus</i> L., del latín lupus= lobo

- Nombres comunes:

Chocho, alverjilla (Colombia, Ecuador y N Perú)

Tarwi (Centro del Perú- Lengua Quechua)

Tauri (S. Perú- Bolivia) – Lengua Aymara)

Altramuz- España

Pearl lupin- Ingles



## 1.2 Descripción botánica del Género *Lupinus* L.

Son plantas dicotiledóneas anuales o perennes, herbáceas a leñosas con hojas de forma digitada, generalmente compuesta por ocho-doce folíolos que varían entre ovalados a lanceolados, aunque existen especies unifolioladas. El color puede variar de amarillo a verdoso. En la base del pecíolo existen pequeñas hojas estipulares, muchas veces rudimentarias. Las inflorescencias son muy vistosas, de colores variados dispuestas en espigas o en racimos, flores en racimos terminales o espigas; cáliz marcadamente profundo, estandarte erecto; alas connadas al ápex; quilla incurvada y enroscada dentro de las alas; 10 estambres basifijos y un ovario corto y sésil; el estilo es incurvado y glabro; estigma terminal. Las semillas son de forma aplastada u ovalada dependiendo de la especie y otras pequeñas, rugosas y de color café.

Las especies mediterráneas cultivadas son todas anuales, herbáceas, con hojas compuestas, flores con variados colores, desde el blanco, azul hasta el amarillo en *L. luteus*, autógamas, pero pueden cruzarse en un porcentaje variable. Las semillas son grandes (>60 mg) divididas en lisas y rugosas según la especie (Plitmann y Heyn, 1984) y con variado número de cromosomas (32-50).

Los informes de los herbarios muestran que las especies americanas silvestres son comúnmente herbáceas erectas y de hábitos rastreros, postrados, semipostrados, más raramente leñosas (árboles de 4 m de altura). Las hojas de diferentes tamaños y las flores con colores que van desde el azul violeta al rosado, naranja, hasta el amarillo y blanco. Las vainas en grupos y de distintos tamaños, dehiscentes. Semillas rugosas o lisas, de colores café o blanco, de tamaños variables.

### **1.3 Origen del género *Lupinus* L.**

Se han planteado varias hipótesis acerca del origen filogenético del *Lupinus*, debido a la amplia distribución en el Viejo y Nuevo Mundo.

- Origen polifilético: origen en el Nuevo y en el Viejo Mundo, evolución paralela a partir de diferentes ancestros (Kass y Wink, 1977).
  
- Origen monofilético: con centro primario de diferenciación en América (Gladstones, 1998).
  
- Origen monofilético: con centro primario de diferenciación en el mediterráneo (Plitmann, 1981).
  
- Origen monofilético y perteneciendo al mismo clado como el resto de la tribu *Genisteae* (Cristofoline, 1989).

En Suramérica se ha ubicado el centro de origen en los Andes de Bolivia, Ecuador y Perú, ya que allá se reporta la mayor variabilidad genética. En esta región se han identificado 83 especies (Cowlig *et al.*, 1998), aunque falta hacer más prospección en otros países, como Colombia y Venezuela.

### **1.4 Usos y valor nutricional**

La semilla es la parte que se consume, una vez se ha desamargado y removido los alcaloides que aun conservan las especies comestibles. Los nutrientes proteínicos y ácidos grasos benéficos y fibra de esta leguminosa son comparables a los de la soya para la alimentación animal y humana (Gladstones, 1980). Los descendientes de los Incas, han llamado al tarwi, "la soya de los Andes" que aun es utilizada por los

pobladores de los Andes del Perú y Bolivia en su alimentación, por lo cual los gobiernos están promoviendo su consumo en los niños, para contribuir a su nutrición.

En tiempos de los romanos era utilizado como regalo y aun representaba dinero, pero los mayores reportes que se tienen, son como mejorador de los suelos y rotación con el trigo. En Australia, Rusia, Polonia e Islandia, el *Lupinus* juega un papel importante en el mejoramiento de pasturas y suelos, además de su uso en la alimentación animal. Otro uso no menos importante es el ornamental. Horticultores y botánicos han hecho con trabajos de mejoramiento, lindas flores (incluso para coronación del Rey Jorge VI fue desarrollada la variedad ‘Russell lupin’, proveniente de varios cruces.

### **1.5 *Lupinus* silvestres de Colombia**

En Colombia se han reportado 47 especies de *Lupinus*, incluyendo *L. mutabilis* que se siembra en baja proporción en las zonas de Nariño y Putumayo y también se encuentra silvestre en otras zonas del país. La casi totalidad está asentada en las zonas de alta montaña y páramos de la cordillera de los Andes, Sierra Nevada de Santa Marta y Macizo Colombiano, además de una especie en el parque Nacional Tuparro, en el departamento del Vichada.



*Lupinus alopecuroides*. Benth. El Cocuy, Boyacá.  
Fotografía José Mauricio Salcedo (IAvH)



*Lupinus bogotensis* Benth. Fotografía Ana Beatriz Varela Borja



*Lupinus sp* Páramo de Arce. Fotografía Ana Beatriz Varela Borja



*Lupinus* cf. Género. Col. Zarucchi 18 mar/98. Dpto. del Vichada, Cumaribo, El Tuparro, 115msnm.



*Lupinus* sp. Alto Putumayo 2010. Fotógrafo Emilio Constantino

- *Lupinus bogotensis* Benth. Nombres comunes: chocho, alverjilla lupino. Planta de tallo erecto, que habitualmente alcanzan hasta 2 m de altura. Sus hojas están formadas por un número impar de foliolos y su aspecto es semejante al de una mano. Las flores se reúnen en largas y vistosas inflorescencias, los colores de los pétalos varían desde el blanco al azul intenso, con predominio de tonos azulados y rosados. Su fruto es una legumbre que contiene semillas con forma de esfera achatada.

Usos: posee semillas con un valor proteínico (43%), una buena proporción de fibras (25,5%), una adecuada cantidad de azúcares (13,5%) y minerales - principalmente cobalto, fósforo y potasio (5,5%). Las semillas sirven de alimento a los ganados e incluso para el ser humano; su consumo debe ser moderado ya que poseen alcaloides y otras sustancias que pueden afectar la salud humana. También se ha encontrado que sirve para el control del coleóptero *Hypothenemus hampei* (Ferrari) una de las plagas más devastadoras del café (Molina D *et al*; 2010)-

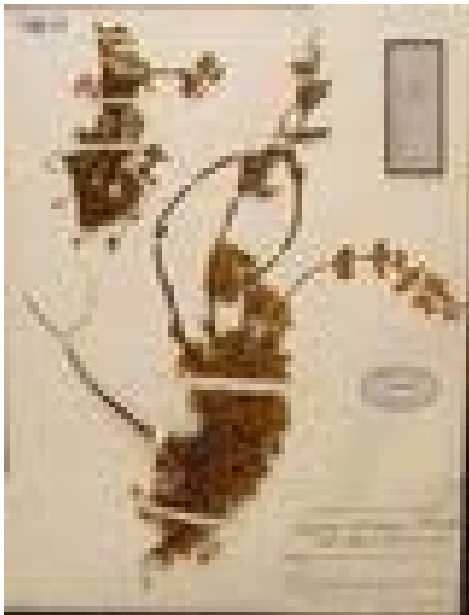
- *Lupinus alopecuroides* Desr. Llamado chocho, sachá o rabo de zorro; es un arbusto pubescente con inflorescencia grande y vistosa, crece por encima de los 4.000 m con un rango de distribución al oeste de Suramérica entre Colombia (Arauca, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Meta, Risaralda, Santander, Valle del Cauca) y en Ecuador en Chimborazo, Napo y Pichincha.



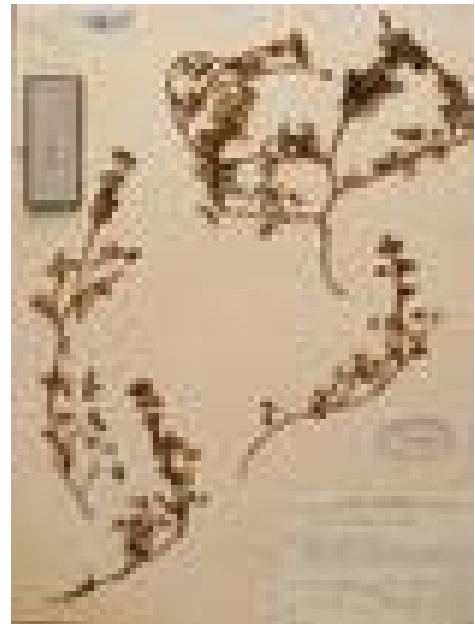
COL000056772. *Lupinus carrikeri*. Sierra Nevada de Santa Marta, hoya del rio Donaduchi, sabana Diricumbe. Colector(es): Cuatrecasas, J.; Herbario Nacional Colombiano N° Colección: 24497 Fecha: 1959-09-29



COL000056853. *Lupinus argirocalyx*. Cordillera Oriental, paramo de Santurban, entre Bucaramanga y Berlin. Roadside, near boqueron. Colector(es): Barclay, H. G.; Herbario Nacional Colombiano N° Colección: 10482 Fecha: 1960-01-03



COL000056781. *Lupinus colombiensis*. Vereda Butagá, paramo de La Cortadera, Mata Blanca. Colector(es): Bejarano B., M.; Herbario Nacional Colombiano N° Colección: 58 Fecha: 1981-12-09



COL000056927. *Lupinus ruizensis*. Nevado del Ruiz. Rocas humedas 4 km NNE del cono volcanico de La Olleta. Colector(es): Cleef, A. M.; Herbario Nacional Colombiano N° Colección: 6001 Fecha: 1972-10-14

## 1.6 Especies cultivadas

El *Lupinus albus* var. *albus* tiene la más larga historia de consumo en el Viejo Mundo, datando desde los tiempos de los Griegos y Romanos (Gladstones, 1970) quienes seleccionaron semillas lisas, grandes y permeables con un poco más de 2% de contenido de alcaloides. El resto de las especies cultivadas tienen una historia corta de domesticación, dando como resultado una estrecha base genética.

*L. angustifolius* L, de hoja estrecha fue recolectado en Europa, por hombres muy antiguos que colectaban semillas de gran tamaño para forraje mejoramiento de los suelos y para su consumo, pero esto último solo ocurrió cuando se logró incorporar el gene dulce *incundis* en todas las variedades dulces de *Lupinus* que fueron liberadas en Australia (Gladstones, 1970).

El *Lupinus luteus* L, se origino en el este del Mediterráneo, es aún muy utilizado en el mejoramiento de suelos en Israel, donde se da silvestre y la variedad dulce se utiliza para hacer pan.

Con respecto al Nuevo Mundo, la domesticación solo se dio en el norte de los Andes en la zona de alta montaña entre Bolivia y Colombia hace más de 2000 años, con *Lupinus mutabilis* Sweet y fue materia prima fundamental en la nutrición de los Incas y se han encontrado semillas junto a restos preincaicos.

El *Lupinus mutabilis* Sweet es aparentemente desconocido silvestre en la Naturaleza, La especie exhibe muchos de los rasgos típicos de domesticación tales como indehiscencia de las vainas, semillas grandes, germinación rápida y uniforme entre otros, pero se desconocen sus progenitores. Kazimierski and Nowacki (1961), basándose en caracteres morfológicos que *L. mutabilis* que compartía con las especies del oeste del Nuevo Mundo, sugirieron que era un híbrido entre dos especies



provenientes de Norteamérica *L. douglasii* y *L. ornatus* con semillas transportadas a Suramérica. Más tarde en estudios filogenéticos hechos por Hughes and Eastwood, 2006; Drumond, 2008), después Blanco 1982b, 1984, 1986) y Tapia y Vargas (1982) sugirieron que había unas formas silvestres, tales como *L. prestabilis* en una zona cercana a Cuzco en el sur del Perú, aunque presentaba también diferencias muy grandes como el tamaño de las estipulas de 40-60 mm, caso único entre las especies Andinas. Mas tarde Hughes and Eastwood hicieron análisis filogenético molecular, basados en muestras de herbarios en donde previamente resolvieron sinonimias y nombres con especies cercanas a *L. mutabilis*, luego secuenciaron tres loci (ITS, Cycloidea LEGCYCIA y GPAT, construyendo una matriz en que incluyeron 36 especies andinas. Los datos sugirieron que el mas posible progenitor de *L. mutabilis*, era *L. piurensis*. Si esta hipótesis es correcta, quiere decir que la distribución de este ultimo estuvo en las montañas al norte del Perú entre los 1600- 3300 msnm y que *L. mutabilis* fue domesticada en múltiples tiempos, con mas de un evento de domesticación.

Como dato curioso la primera descripción del *Lupinus mutabilis* o tarwi realizada en 1825, corresponde al botánico inglés Sweet, quien la hizo a partir de una planta sembrada en un jardín en Bury Hill. Inglaterra, de una semilla obtenida por Robert Barclay en Colombia (Cowling *et al.*, 1998).

### **1.7 Problemas taxonómicos**

La taxonomía de *Lupinus* ha sido y es aun notoriamente problemática, debido principalmente a la proliferación de especies poco consistentes, la mayoría de ellas nombradas por el taxónomo Norteamericano C.P. Smith 1938-1952 en su monografía *Species Lupinorum* pero no se sabe si son especies diferentes o ecotipos mostrados por la gran variedad de microambientes a los que se ha visto sometido.

Aunque se han hecho trabajos con los mas sofisticados métodos aun persisten problemas para la determinación y se están descubriendo nuevas especies, aun en Europa (Pascual, 2004).

Los estudios de filogenia han sido incompletos, especialmente en Sudamérica y específicamente en Colombia; las ultimas filogenias hechas por Wink, 1977 y Eastwood, 2008 no tuvieron en cuenta las especies Colombianas o lo hicieron en muy poca representación 4-5 especies respectivamente.

Con respecto a los números de cromosomas también hay un gran vacio, a pesar de los trabajos hechos por Shiiffino – Wittmann *et al*, 2008.



*Lupinus luteus* L



*Lupinus albus* L



*Lupinus angustifolius* L.



*Lupinus mutabilis* Sweet

## **2 ESTUDIO ECOGEOGRÁFICO**

*“Es la recopilación y síntesis de información ecológica, geográfica y taxonómica, cuyos resultados, de carácter predictivo, sirven para diseñar estrategias de conservación y determinar prioridades para la colecta de germoplasma” (Maxted et al., 1995).*

### **2.1 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica - SIG.**

Un SIG, es un sistema cartográfico flexible que integra información espacial y temática con el fin de comparar un alto rango de datos geográficos, ecológicos, y biológicos, una vez estén digitalizados mediante la superposición de capas de información. Este es un sistema de bases de datos dedicado a manejar la información espacial referenciada geográficamente como coordenadas de un sitio o la topografía del mismo (Guarino, 2004). El SIG permite conocer las características de los sitios en donde no se registran datos durante una colecta o ubicar zonas con ciertas combinaciones de características ecológicas que se puedan visitar en colectas futuras. Los programas de software que permiten visualizar mapas son de gran ayuda para observar la distribución del taxón que se está trabajando. Estos programas permiten importar coordenadas de latitud y longitud de una base de datos eco geográficos que luego se visualizan en mapas computarizados (Jarvis *et al.*, 2005).

### **2.2 Software DIVA-GIS**

El Diva-Gis es un software que puede emplearse para analizar la distribución de las especies con el fin de dilucidar patrones geográficos, ecológicos y genéticos. Con esta herramienta se pueden encontrar las coordenadas probables de las bases de datos de las colecciones, que en su mayoría se encuentran incompletas o inexactas. Los

registros de herbarios, de literatura, colecciones de campo en las diferentes regiones y los datos de pasaporte pueden ser registrados y tabulados en Diva-Gis. Se pueden localizar las coordenadas de los sitios en donde se colectaron las muestras biológicas y analizar los datos de distribución de puntos para producir mapas de riqueza y patrones de diversidad que puedan ser empleados para desarrollar planes estratégicos para actividades futuras de colección, siembra y conservación, además de obtener estimaciones del clima donde se ha colectado el germoplasma, basada en información meteorológica en el tiempo deseado (Hijman *et al.*, 2004). El software DIVA GIS incluye los modelos BIOCLIM para construir estimaciones de los nichos ecológicos en los cuales se encuentra una especie. Por medio de este modelo se puede analizar datos climáticos a una resolución de 2.5 minutos de condiciones presentes y futuras.

### **2.3 El páramo**

Uno de los ecosistemas que más se ha visto afectado por la insostenibilidad, pese al gran impacto que tiene en la vida de los seres humanos, es el páramo. Ubicado en Colombia generalmente por encima de los 3.000 metros de altitud, este ecosistema posee unas condiciones fisicobióticas que lo convierten en fuente permanente del recurso más importante para la supervivencia de los seres vivos: el agua. Esta característica, junto con su gran capacidad de almacenamiento y captación de carbono atmosférico a través de la retención de materia orgánica en sus suelos y la absorción del mismo por parte de las plantas en crecimiento (Hofstede *et al.*, 2003), hacen del páramo un ecosistema estratégico de amplia importancia nacional e internacional. Este hecho ha impulsado a la ciencia a avanzar hacia la comprensión de las complejas interrelaciones que hacen del páramo una verdadera “fuente de vida”, de tal manera que se puedan plantear políticas más claras para su conservación y uso sostenible (Morales *et al.*, 2007).

Según Thomas van der Hammen (1998), uno de los más grandes conocedores de los páramos, éstos forman una especie de “archipiélago” en un mar de bosque. Durante las glaciaciones una parte de estas “islas” pudieron unirse, permitiendo cierto intercambio directo de especies. Otras islas se ampliaron sin esta posibilidad, resultando diferentes grados de aislamiento. La cordillera Oriental tenía una gran cantidad de “islas”, de donde se pudo originar cierto endemismo y un número considerable de especies. La cordillera Central se encuentra bastante aislada de la Oriental por el valle del Magdalena, pero tiene más continuidad de norte a sur. En ella se presenta un área larga de páramos conectados. Es además fuertemente volcánica. La cordillera Occidental es aún más aislada (por el valle geográfico del río Cauca) y tiene solo áreas pequeñas de páramo, ya que en ella no se encuentran alturas mayores a 4070 msnm. La Sierra Nevada de Santa Marta es el otro sector que se encuentra también bastante alejado y tiene una flora especial.

El conjunto de diferentes grados de aislamiento o conexión, los procesos y posibilidades de distribución de las semillas y esporas, la especiación y extinción, las grandes transformaciones climáticas, resultaron en regiones y áreas diferenciadas en diferentes grados en cuanto a flora y fauna. Para estas áreas biogeográficas se han establecido categorías jerárquicas: sectores, distritos y complejos (Van der Hammen, T, 1998).

La variación de temperatura media mensual es mínima, pero las diferencias entre día y noche son considerables. Esta variación ha hecho que el páramo se conozca como el “trópico frío”; mientras durante el día las temperaturas pueden subir bastante, por la noche puede nevar o helar. En el régimen pluviométrico existen diferencias considerables tanto en la precipitación media multianual como en su distribución mensual. Los valores pueden variar entre aproximadamente 700 y 5.000 mm; la distribución multianual puede ser monomodal, con una estación seca y una húmeda (Figura 1), o bimodal (Figura 2), con dos secas y dos húmedas. Los páramos más

húmedos se encuentran en la vertiente oriental de la cordillera Oriental y la vertiente occidental de la cordillera Occidental, y los más secos en ciertas áreas del interior de la cordillera Oriental. En la actualidad se le ha dado importancia a la precipitación horizontal como una de las principales fuentes de captación de agua en las zonas de páramo, aunque no se conocen estudios cuantitativos que reflejen esta situación.

Figura 1. Climograma de una zona de alta montaña relativamente húmeda con régimen monomodal (Chingaza). Tomado de Cleef (1981)

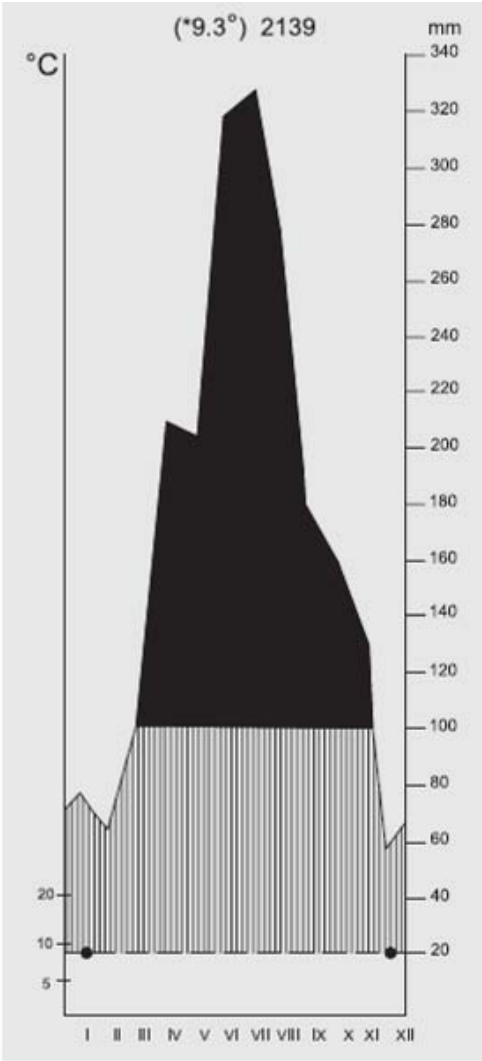
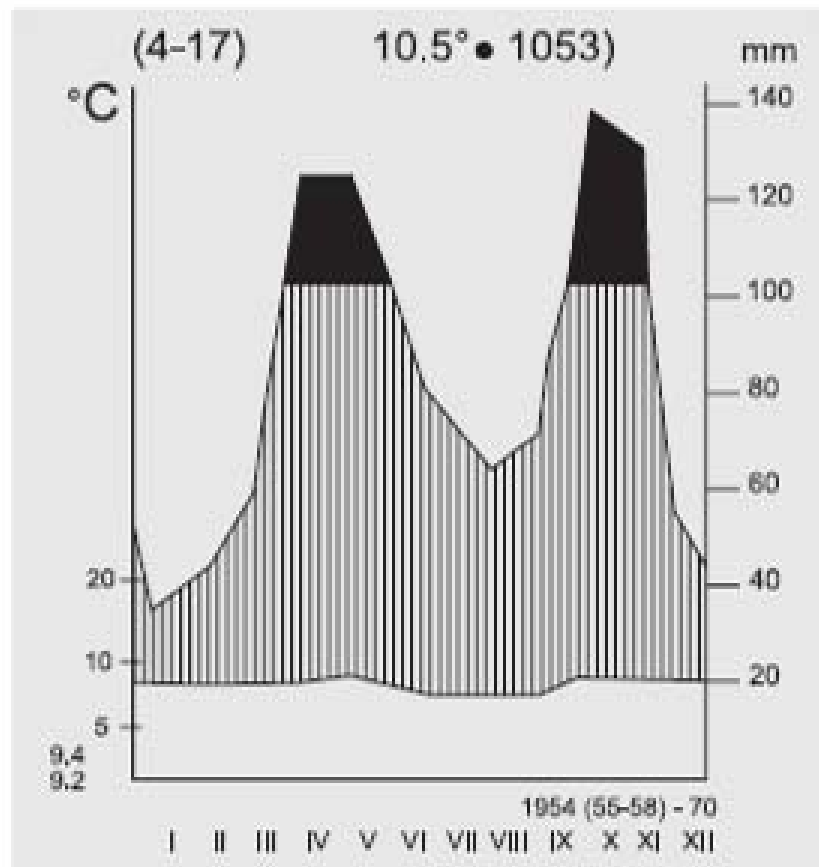


Figura 2. Climograma de una zona de alta montaña relativamente seca con régimen bimodal (Neusa). Tomado de Cleef (1981)





La humedad relativa con frecuencia es muy alta, entre 80 y 98% durante gran parte de la noche y el día. Posee un carácter variable y estacional (máxima en época de lluvias y mínima en las estaciones secas), y además suele presentarse el fenómeno de niebla. En general, en estas zonas la evapotranspiración real es baja. Se presenta una alta incidencia de la radiación ultravioleta, una luminosidad variable con alta intensidad y abundante luz difusa. Por otra parte, los vientos son variables y de distinta intensidad, aunque particularmente fuertes en las vertientes expuestas a los valles interandinos.” Thomas van der Hammen en colaboración con Javier Otero García. Citado por Morales *et al.*, 2007.

Con respecto a los suelos del páramo, hay mucha variabilidad debido a la presencia de cenizas volcánicas, material parental diverso y temperaturas bajas. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi ha hecho una serie de clasificaciones y que robustamente podrían ser resumidas así del libro de Páramos de Colombia (Morales *et al.*, 2007).

- En las cordilleras Central y Occidental, y en algunas zonas de la Oriental, los suelos se desarrollaron a partir de la intemperización de cenizas volcánicas.

- En la cordillera Oriental (dentro de la zona del Sumapaz), en parte sobre rocas calcáreas y sin cenizas, hay suelos de los órdenes Entisoles, Inceptisoles y orgánicos esqueléticos y, localmente, suelos muy orgánicos (Histosoles). Por encima de los 3.800 msnm, donde las bajas temperaturas son un factor dominante, existen Cryorthents y Cryands. Localmente también existen otros suelos con cenizas volcánicas (Hapludands, Melanudands). En la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentran Cryaquepts sobre rocas ígneas por encima de los 3.800 msnm y por lo menos hasta los 4.100. Cuando el clima es muy húmedo, en las depresiones de los

páramos se desarrollan suelos turbosos con muy alto contenido de materia orgánica, en parte relacionados con tipos de vegetación de pantano o turbera (Saprists, Hemists y Fibrists) (IGAC, Morales *et al.*, 2007).

- Flora y vegetación del páramo

La evolución de las especies vegetales del páramo presenta una serie de formas importantes de adaptación para su supervivencia en condiciones climatológicas como las que presentan estas altas cumbres andinas tropicales.

Dentro de las adaptaciones más comunes de las plantas de páramo están:

. Formación de rosetas: en muchas plantas de páramos las hojas se reúnen en la parte superior del tallo, formando una roseta que sirve de defensa a las yemas contra el viento y contra el frío.

. Granificación de arbustos y arbustillos: en la mayor parte las plantas leñosas, los tallos y gramas crecen y se prolongan a ras del suelo, de tal manera que las yemas permanecen bien protegidas por la acumulación de hojas caídas y otros residuos vegetales, a la vez que se amortiguan las oscilaciones bruscas de temperatura sobre la superficie del suelo.

. El engrosamiento de las hojas: para almacenar agua o para impedir la deshidratación. El desarrollo de hojas que reduzcan al mínimo la pérdida de agua por transpiración. Ejemplo de estas adaptaciones son cardón (hoja espinosa), romero (hoja recurvada) y chite (hoja acicular).

- El límite entre el bosque y el páramo. Con frecuencia es muy difícil establecer el límite original entre el bosque y el páramo, ya que en muchas partes el bosque

superior ha desaparecido por la acción del hombre. En estas áreas se presenta el fenómeno de la “paramización”, es decir, el hecho de que la vegetación con especies de páramo se extiende, remplazando al bosque nativo. Este fenómeno que puede presentarse incluso en una altitud de 3.000 msnm aproximadamente y tiene relación con el lento crecimiento de las especies leñosas en estas altitudes, mientras que las especies de vegetación abierta (hierbas, sufrutex, “caulirrosula”) se establecen mucho más rápido. Existe también una vegetación de páramo azonal (o extrazonal), en sitios que se ubican por debajo del propio límite altitudinal del bosque, en el fondo de valles donde se presenta inversión de temperaturas, o en lugares pantanosos (el páramos cerca a La Cocha, 2850 msnm; el fondo de los grandes valles glaciares en Tatamá, entre otros) o en lugares con suelos rocosos.

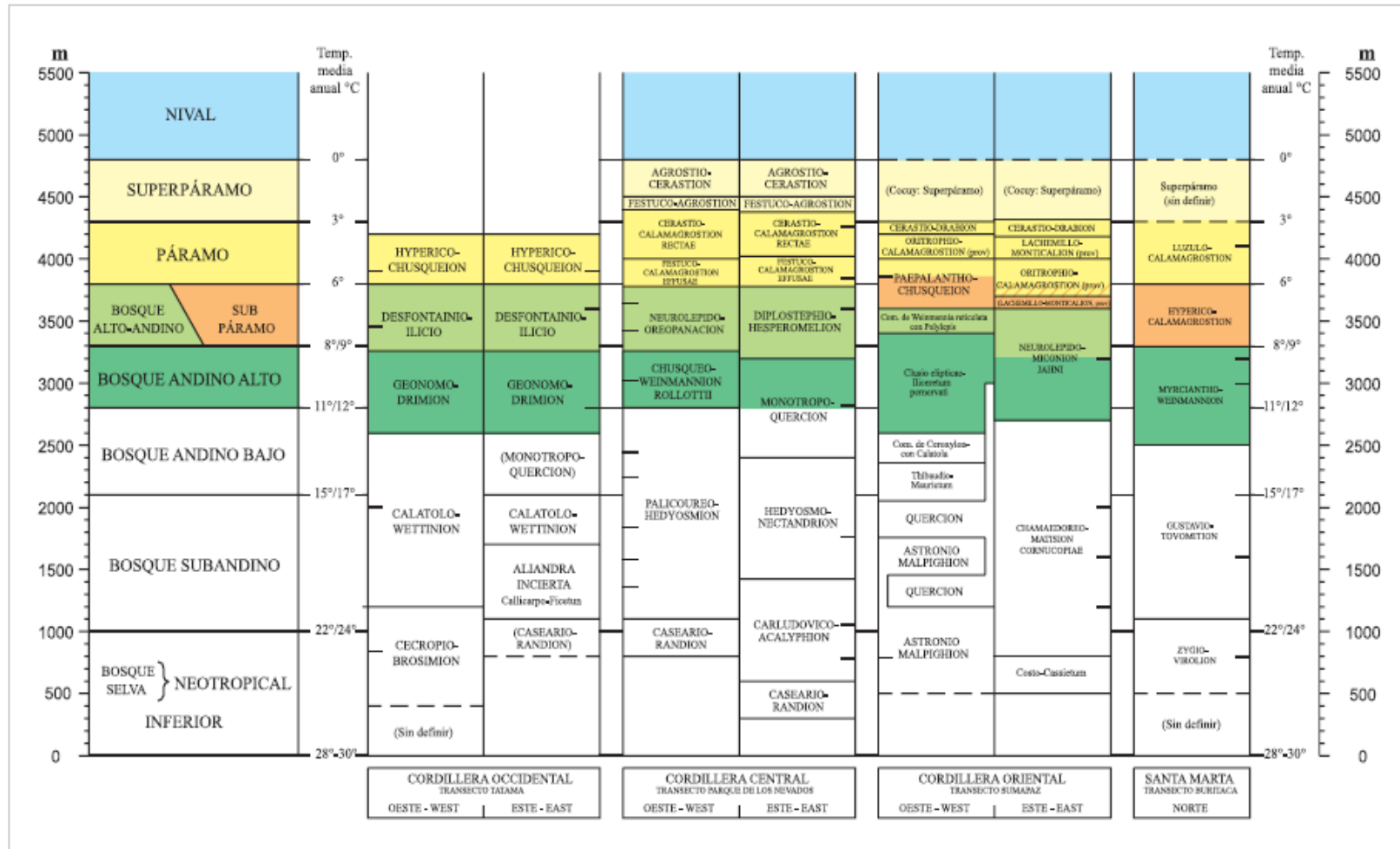
Los bosques andinos y altoandinos se extienden entre aproximadamente 2.100 y 3.800 msnm (Ver figura 3) y los límites corresponden específicamente a temperaturas medias anuales y se dividen en: bosque andino bajo o inferior (aproximadamente entre 2.100 y 2.800 msnm y temperaturas entre 15 y 17°C); bosque andino alto o superior (2.800 a 3.300 msnm y temperaturas entre 11 y 12°C) y bosque altoandino (aproximadamente 3.300 a 3.800 msnm y temperaturas entre 8 o 9 y 6°C). El límite entre el bosque andino superior y el bosque altoandino se encuentra en las cordilleras Occidental y Central aproximadamente a 3.3000 msnm, entre bosque altoandino y páramos a aproximadamente 3.800 msnm (temperatura media multianual de 6°C). En la cordillera Oriental y aun en la Sierra Nevada de Santa Marta, el límite entre el bosque altoandino y el páramo se encuentra frecuentemente más bajo, entre 3.200 y 3.500 msnm.

En conclusión es que existe una equivalencia altitudinal de bosque altoandino y subpáramo. La coexistencia de estos dos ecosistemas puede deberse a factores naturales, como condiciones climáticas más extremas en partes altas o expuestas de cerros y montañas, ya sea vientos fuertes, temperaturas menores y quemadas naturales o

factores antropógenos como la extensión de los potreros para ganadería y sus quemas frecuentes o ampliación de los cultivos de papa con su “paramización” asociada. En muchos casos es difícil definir las reales causas de estos cambios y establecer con precisión el límite altitudinal original entre el bosque y el páramo.

En la figura 3 se observa que el límite superior de la parte alta del bosque andino, en sitios donde la vegetación se encuentra todavía intacta, se halla en la cordillera Central y Occidental a 3.300 msnm y el del bosque altoandino a 3.800 msnm. Igualmente en la cordillera oriental y también en la Sierra Nevada de Santa Marta, puede darse subpáramo en el intervalo altitudinal desde 3.000 hasta 3.100 msnm, sin que se tenga la certeza de si eso representa una situación natural o si obedece a la influencia del hombre, lo que sí es evidente, es que en muchas partes esta zona ha perdido o está perdiendo su cobertura arbustiva y bosques bajos por influencia de la ganadería y sus quemas y el cultivo de la papa. Una solución podría ser delimitar los páramos con dos curvas de nivel a 3.300 y 3.800 msnm (zona de bosque altoandino o de subpáramo) y debajo de la curva de 3.300 msnm delimitar estas áreas que aparecen en la imágenes de satélite como con vegetación abierta tipo páramo.

Figura 3. Unidades fitosociológicas de la parte alta del bosque andino y de las cordilleras Occidental, Oriental y Central (vertiente oeste y este) y de la Sierra Nevada de Santa Marta (vertiente norte). Datos del proyecto Ecoandes (tomado de Van der Hammen, 2007)



### 3 METODOLOGÍA

La información sobre el Género *Lupinus* para este estudio se hizo principalmente por medio de la recolección de las muestras de 18 herbarios nacionales, regionales e internacionales (por medios reales y virtuales), con 510 observaciones. Se tomaron fotografías a los especímenes y se registro la información en Excel. Se chequearon y corrigieron las coordenadas, por medio de los sistemas de información geográfica (SIG); Google earth (<http://earth.google.com/>), Google-maps (<http://maps.google.com>), Arc.-View 9.3. Gis y el software Diva- Gis (Hijmans *et al.*, 2006) y con la ayuda de gaceteros de Colombia, obtenidos de la página web de Diva Gis y mapas topográficos a escala 1:250.000. Aunque estas herramientas son muy valiosas, para asegurar una mejor calidad de los datos obtenidos con la información de las muestras de herbarios, fue necesario hacer una revisión exhaustiva, partiendo de los resultados obtenidos al aplicar las funciones de chequeo de coordenadas de Diva-Gis (*Check coordinates*), pues muchos datos eran incompletos, antiguos y/o confusos, por lo que se debió consultar tanto a la literatura como a información primaria con taxónomos y campesinos de las regiones. Esta ayuda fue importante para corregir muchos errores de localización y de taxonomía. Con base en esta información se hizo la base de datos a partir de la cual se realizaron los mapas de numero de observaciones, de distribución, de riqueza y de complementariedad de las especies de *Lupinus* en Colombia y luego los de cada uno de los Complejos de paramos, que sirvieron para hacer los análisis de las relaciones entre las especies colombianas.

La información de los ecosistemas de cada uno de los páramos se obtuvo con base en la clasificación del *Atlas de Paramos de Colombia*, (Morales *et al.*, 2006), elaborado por las instituciones nacionales responsables de las políticas geográficas y del medio ambiente: Ministerio de Ambiente (MAVDT), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

(IDEAM) y el consultor Thomas van der Hammen, publicado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Se hizo un sistema de clasificación de los páramos basados en criterios biogeográficos, que los identificaron en unidades jerarquizadas en sectores, distritos y complejos. Los sectores incluyen varios distritos y estos a su vez varios complejos según, parámetros taxonómicos. (Hernández- Camacho *et al.*, 1992 y Van der Hammen, 1998, citados por Morales *et al.*, 2006). Se hizo una modificación ajustada a la distribución de *Lupinus* en Colombia y partiendo de esta propuesta de clasificación, se agregó el sector de Macizo Colombiano.

El método de análisis de distribución de especies y riqueza se hizo una vez tabulado el número de observaciones para cada complejo de paramo, teniendo en cuenta los registros sin determinación *Lupinus* sp y las especies raras, definidas como aquellas para las cuales se tuvieron menos de 5 registros, y las que estaban por fuera de los Complejos (ver tabla 1). Las observaciones y su rango de elevación fueron tabulados y mapeados a nivel de zonas de páramo, utilizando los mapas publicados en el Atlas de páramos de Colombia (Morales *et al.*, 2007) y se generaron las capas vectoriales a nivel de complejo utilizando un Modelo Digital de Elevación de SRTM con resolución de 90 m. (Marmolejo G. Comunicación personal, 2011). Teniendo en cuenta además los rangos altitudinales de las principales especies y la riqueza de especies se hizo un análisis de altitud vs riqueza (ver figura 9).

Tabla 1. Clasificación de los complejos de páramos y presencia de *Lupinus* (modificado de Morales *et al.*, 2007)

Sector	Distrito	Complejo
Cordillera Oriental	Páramos Perijá	Perijá
	Páramos de los Santanderes	Santurban Almorzadero Cocuy
	Páramos de Boyacá	Pisba Tota - Bijagual –Mamapacha Guantiva – La Rusia Iguaque-Merchán
	Páramos de Cundinamarca	Guerrero Rabanal y rio Bogotá Chingaza Cruz verde-Sumapaz
Cordillera Central	Viejo Caldas-Tolima	Nevados Chili- Barragán
	Paramos Valle-Tolima	Las hermosas
Macizo Colombiano	Páramos Macizo Colombiano	Nevado del Tolima – Moras Guanacas – Puracé – Coconucos Sotará
Nariño-Putumayo	Paramos Nariño-Putumayo	Doña Juana-Chimanoy La Cocha- Patascoy Chiles-Cumbal
Cordillera Occidental	Paramo Frontino-Tatama	Frontino
Sierra Nevada de Santa Marta	Paramos de la Sierra Nevada de Santa Marta	Santa Marta



El área de distribución de cada especie se obtuvo midiendo la distancia máxima (DMax) entre dos observaciones de la misma especie, calculada como la mayor distancia entre todos los posibles pares de observaciones, y la asignación de un área circular (AC) con un radio  $r$  y centro en cada observación, siguiendo el método de Hijman *et al.*, 2001. Se decidió utilizar un radio de 30 Km (AC30) para ajustar la estimación del área de distribución a la mayor concentración en el número de observaciones en rangos altitudinales de paramo mayores a 2500 m. (ver tabla 2). Se hizo un análisis de regresión entre el número de observaciones vs riqueza para cada celda de grid (ver figura 8) y los mapas que se generaron fueron basados en estos parámetros.

La riqueza de especies fué calculada como el número de especies dentro de un área definida, superponiendo los mapas de puntos con mapa general de Colombia por departamentos para lograr una mejor visualización y usando la herramienta de análisis de puntos (*point- to- grids richness*) del software Diva-Gis, utilizando un grid con tamaño de celda de 30 X 30 Km y la opción circular de vecindad (*circular neighborhood*) que fue aplicada para un radio de 30 Km, con centro en el punto medio de cada celda, con el fin de eliminar efectos de bordes provocados por la asignación arbitraria del origen de grid. Esta riqueza de especies fue utilizada como una medida para estimar la diversidad taxonómica ya que es un parámetro simple y fácil de usar (Gaston, 1996).

Se hicieron dos Análisis Multivariado; uno, a partir de los 19 bioclimas obtenidos con Diva- Gis con respecto a las 47 especies de *Lupinus* y se corrió un análisis cluster vía análisis de Componentes principales, el otro, se calculo una matriz de distancias de Jaccard entre ecosistemas, y a continuación, se corrió un análisis cluster con base en el programa Statistic Analysed System (SAS), se utilizo la versión 9.2,

## 4 RESULTADOS

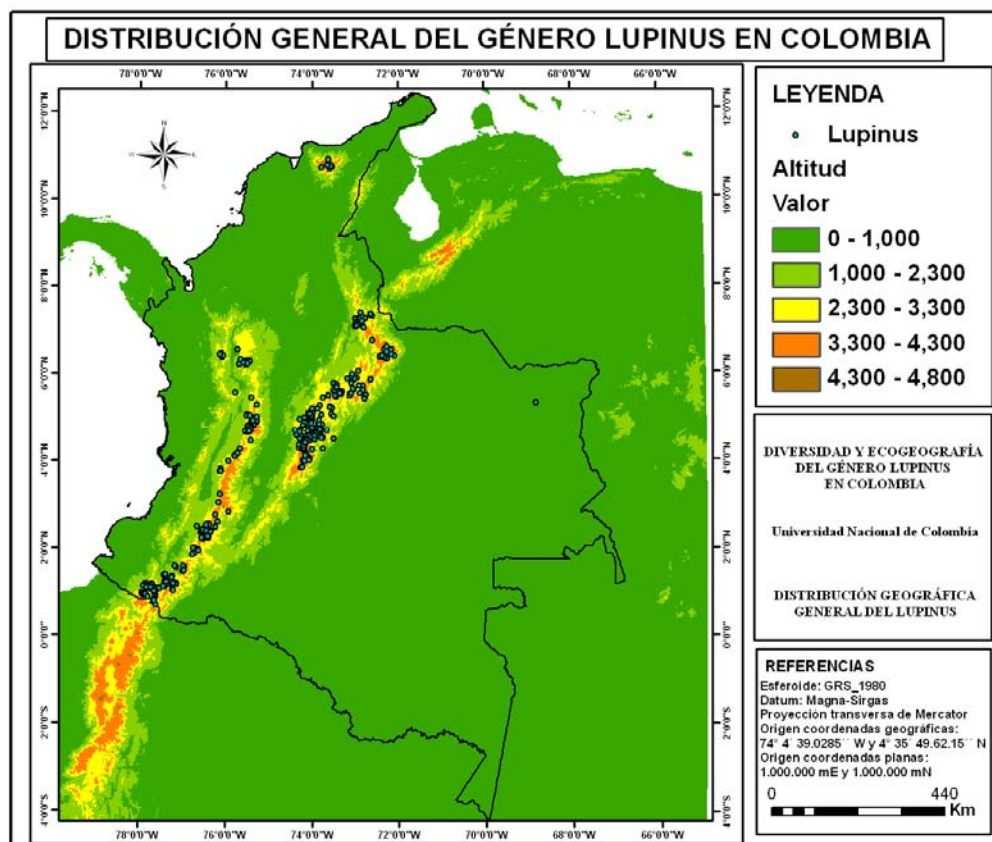
### 4.1 Especies de *Lupinus* descritas en Colombia

<i>L. alirevolutus</i> C.P. Smith (3 registros)	<i>L. lanatocarpus</i> C.P. Smith (1 registro)
<i>L. aberrans</i> C.P. Smith (16 registros)	<i>L. meridensis</i> (2 registros)
<i>L. albirostratus</i> (3 registros)	<i>L. microphyllus</i> Desr (14 registros)
<i>L. albus</i> L. (6 registros)	<i>L. mirabilis</i> C.P. Smith (7 registros)
<i>L. alopecuroides</i> . Desv. (28 registros)	<i>L. monserratisensis</i> C.P. Smith (2 registros)
<i>L. amandus</i> C.P. Smith (24 registros)	<i>L. mutabilis</i> Sweet (10 registros)
<i>L. andicola</i> (1 registro)	<i>L. ornatus</i> C.P. Smith (1 registro)
<i>L. argirocalyx</i> C.P. Smith (2 registros)	<i>L. panniculatus</i> Desr (1 registro)
<i>L. bogotensis</i> Benth (54 registros)	<i>L. perennis</i> L. (5 registros)
<i>L. caldasensis</i> C.P. Smith (1 registro)	<i>L. protrusus</i> C.P. Smith (1 registros)
<i>L. carrikeri</i> C.P. Smith (8 registros)	<i>L. pubescens</i> Benth (13 registros)
<i>L. caucensis</i> C.P. Smith (7 registros)	<i>L. puracensis</i> C.P. Smith (9 registros)
<i>L. chipaquensis</i> C.P. Smith, (2 registros)	<i>L. radiatus</i> C.P. Smith (1 registro)
<i>L. colombiensis</i> C.P. Smith, (12 registros)	<i>L. ramosissimus</i> Benth (1 registro)
<i>L. cuatrecasii</i> C.P. Smith (3 registros)	<i>L. revolutus</i> C.P. Smith (8 registros)
<i>L. dotatus</i> C.P. Smith (1 registro)	<i>L. ruizensis</i> C.P. Smith (1 registro)
<i>L. expetendus</i> C.P. Smith (5 registros)	<i>L. santanderensis</i> C. P. Smith (1 registro)
<i>L. falsorevolutus</i> C.P. Smith (10 registros)	<i>L. sarmentosus</i> Desv. (6 registros)
<i>L. gachetensis</i> C.P. Smith (2 registros)	<i>L. spragueanus</i> C. P. Smith (1 registro)
<i>L. cf. gactrelensis</i> C.P. Smith (1 registro)	<i>L. tauris</i> Benth (1 registro)
<i>L. guacensis</i> C.P. Smith (12 registros)	<i>L. trianaus</i> C. P. Smith (1 registro)
<i>L. hortorum</i> C.P. Smith (2 registros)	<i>L. tricolor</i> C. P. Smith (1 registro)
<i>L. humifusus</i> C.P. Smith (19 registros)	<i>L. ulbrichiatus</i> C.P. Smith (1 registros)
<i>L. interruptus</i> C.P. Smith (7 registros)	<i>L. sp.</i> (194 registros)

## 4.2 Distribución de observaciones del género *Lupinus* en Colombia

La siguiente figura muestra la distribución de puntos de las observaciones de la colección en Colombia, concentrados en la región Andina, en altitudes por encima de los 2300 msnm.

Figura 4. Mapa de distribución general y rangos altitudinales del Género *Lupinus* en Colombia



En el figura se puede observar que las especies de *Lupinus* se localizan principalmente en las cordilleras Central y Oriental, en Nariño-Putumayo y en el

Macizo Colombiano, además se tienen registros aislados en la Sierra Nevada de Santa Marta, hasta los 4500 msnm, en la Orinoquia a 115 msnm y en la cordillera Occidental en el Páramo de Frontino, en el departamento de Antioquia.

### **4.3 Distribución de especies**

La distribución del número de observaciones por especie es heterogénea. Las especies más frecuentemente observadas fueron *L. bogotensis* (55 observaciones), *L. alopecuroides* (26), *L. amandus* (24), *L. humifusus* (19), y *L. aberrans* (16). Estas cinco especies acumulan el 27.8% del total de registros., mientras que entre las restantes; 26 especies conformaron el 55.3% del total, el resto, con el menor número de observaciones (menos de 5) representaron el 7% (ver tabla 2).

#### **4.3.1 Especies raras**

Son aquellas que tienen menos de 5 observaciones/especie en menos de 100 Km de distancia máxima y menos de 10000 Km<sup>2</sup> de área circular. Se encontraron principalmente en el distrito Macizo Colombiano, en el complejo Guanacas- Puracé y en el de Sotará, cada uno con 4 especies raras. En los complejos Sumapaz- Cruz-verde y en el complejo de Los Nevados y Chiles Cumbal cada una con dos especies raras.

Figura 5. Mapa de distribución por especies del genero *Lupinus* en Colombia y rango del número de observaciones

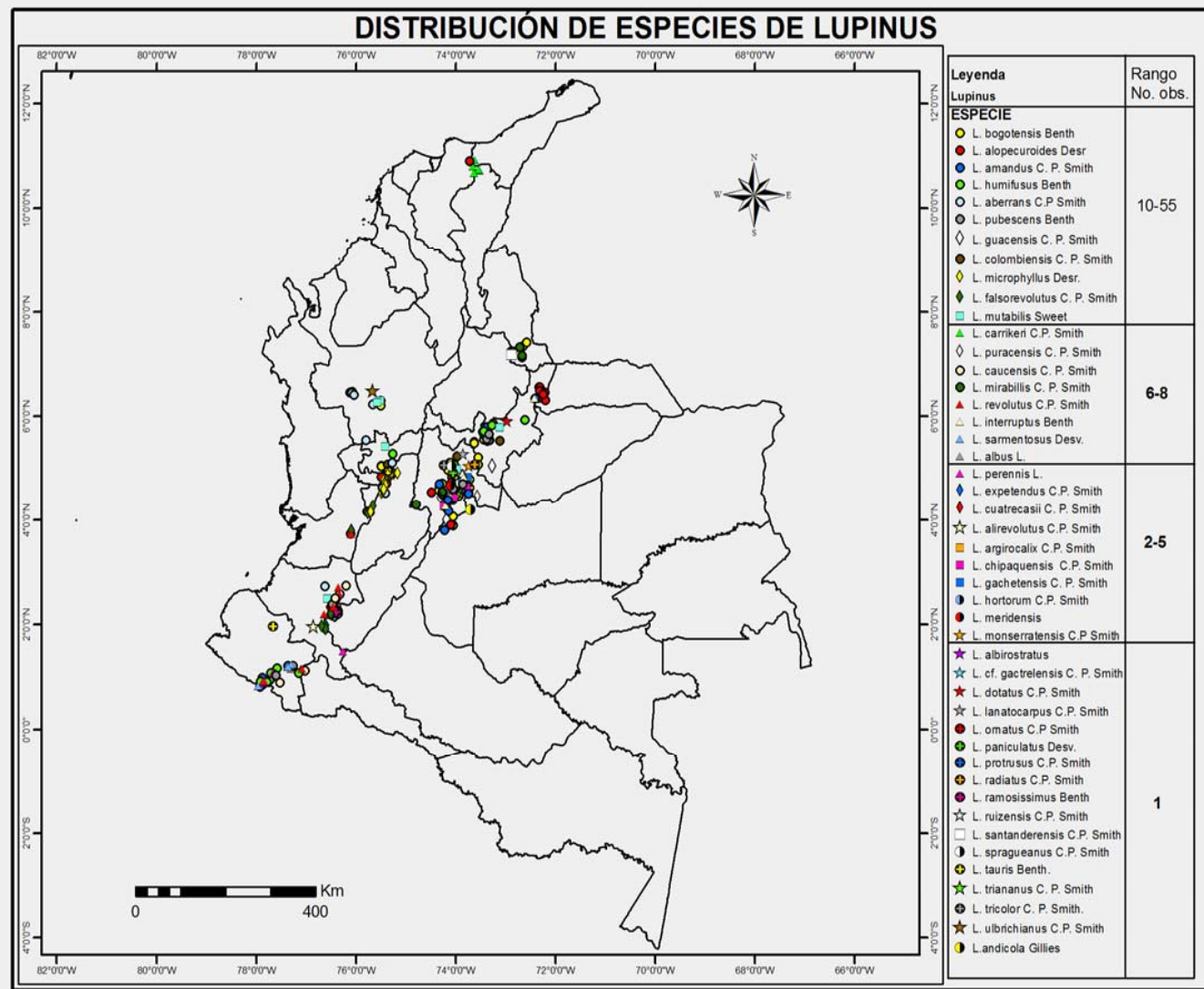
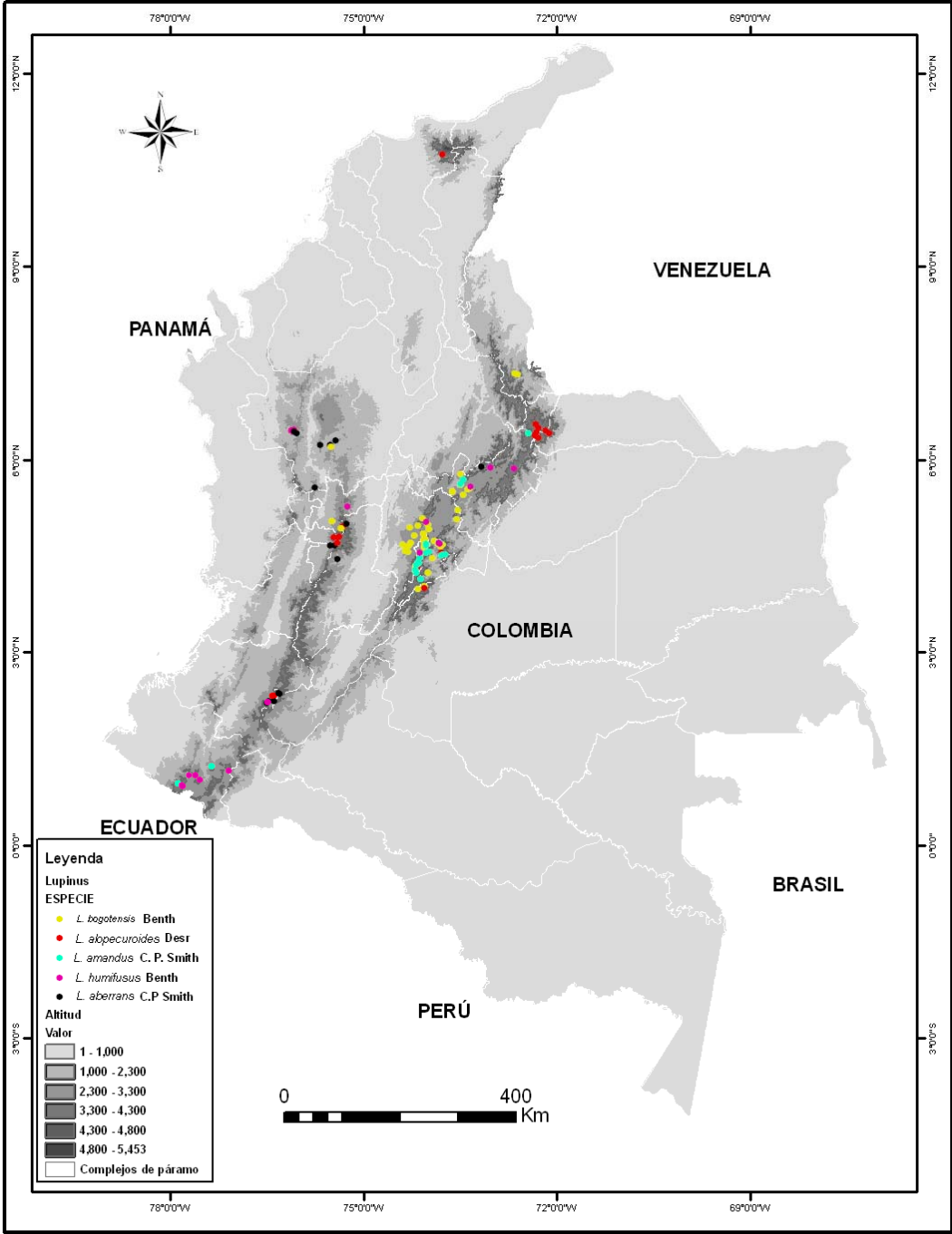


Figura 6. Distribución de las especies más abundantes de *Lupinus* en Colombia



*Lupinus bogotensis*, con 55 registros (10.9% del total) está distribuida en las cordilleras Oriental y Central, zona cundiboyacense, Viejo Caldas y Santander del norte. A pesar de que *L. bogotensis* es la especie con mayor número de observaciones, la distancia máxima entre dos pares de éstas es menor que la distancia máxima de *L. alopecuroides* y de *L. amandus*, es decir hay menor dispersión de la especie (ver tabla 3).

*Lupinus alopecuroides*, con 26 registros, está distribuida en las cordilleras Oriental y Central, desde la Sierras Nevadas del Cocuy en Boyacá y de Santa Marta en el Magdalena respectivamente (con una alta concentración) hasta el Macizo Colombiano en el Cauca. Es una de las especies con mayor área de distribución (ver tabla 3).

*Lupinus humifusus*, con 19 registros, está distribuido principalmente en Cundinamarca, Boyacá y en Nariño. También hay registros en la cordillera Occidental en el páramo de Frontino. La distribución es muy amplia, aunque tiene un menor número de registros, su distribución se observa en las tres cordilleras.

*Lupinus amandus*, con 25 registros, está distribuida en el altiplano Cundiboyacense en el Cocuy y en el departamento de Nariño en la zona de Cumbal.

*Lupinus guacensis*, con 12 registros, se encontró principalmente en Cundinamarca y uno en Boyacá.

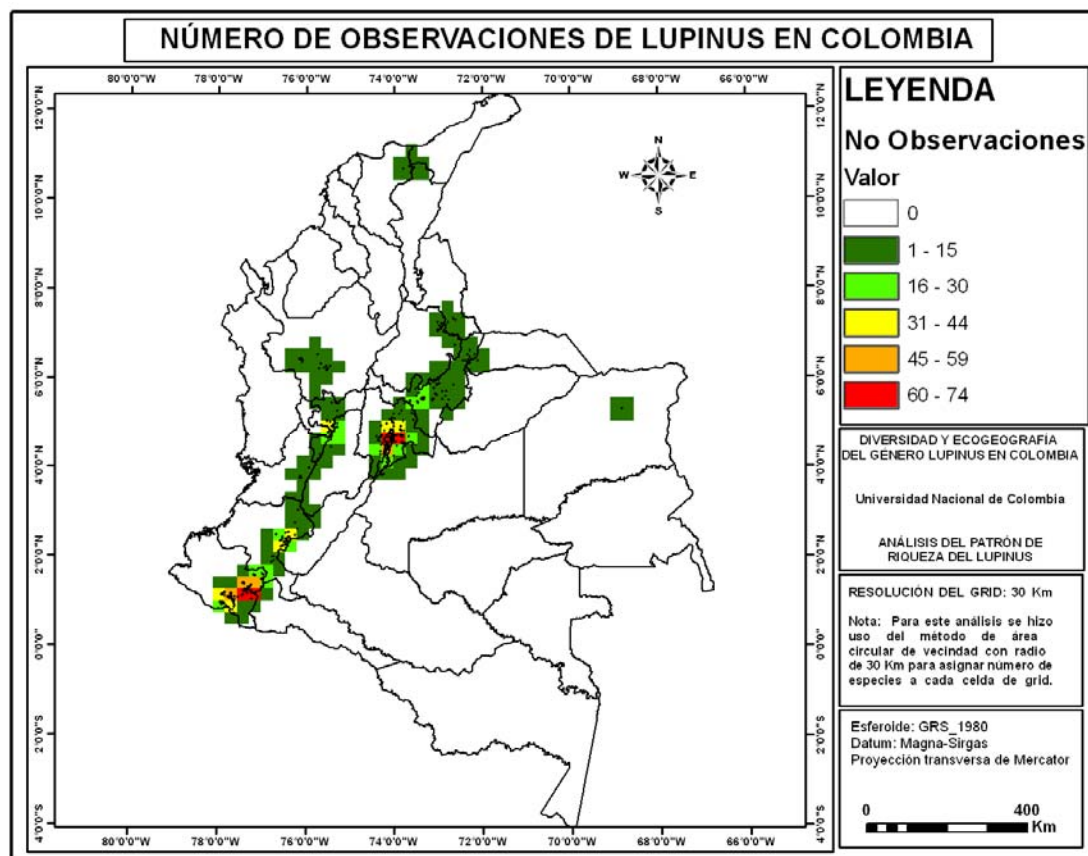
*Lupinus aberrans*, con 16 registros y con una Dmax de 549 Km, concentradas en la cordillera Central en el Complejos de los Nevados, Viejo Caldas y Macizo Colombiano. También lo encontramos en la Cordillera Occidental, Complejo Frontino y en la Cordillera Oriental en Guantiva- La Rusia, en el distrito de Boyacá.

*Lupinus colombiensis*, con 12 registros, se encontró en Boyacá, Cundinamarca y en el Viejo Caldas, cordilleras Oriental y Central.

*Lupinus argirocalix*, con dos registros; uno en Santander en el páramo del Almorzadero y el otro en el Macizo Colombiano, páramo de Guanacas. Llama la atención por la distancia extrema entre ellas.

*Lupinus carrikeri*, se encuentra exclusivamente en la zona de la Sierra Nevada de Santa Marta y al norte de Boyacá.

Figura 7. Número de observaciones de Lupinus en Colombia – Diva- Gis





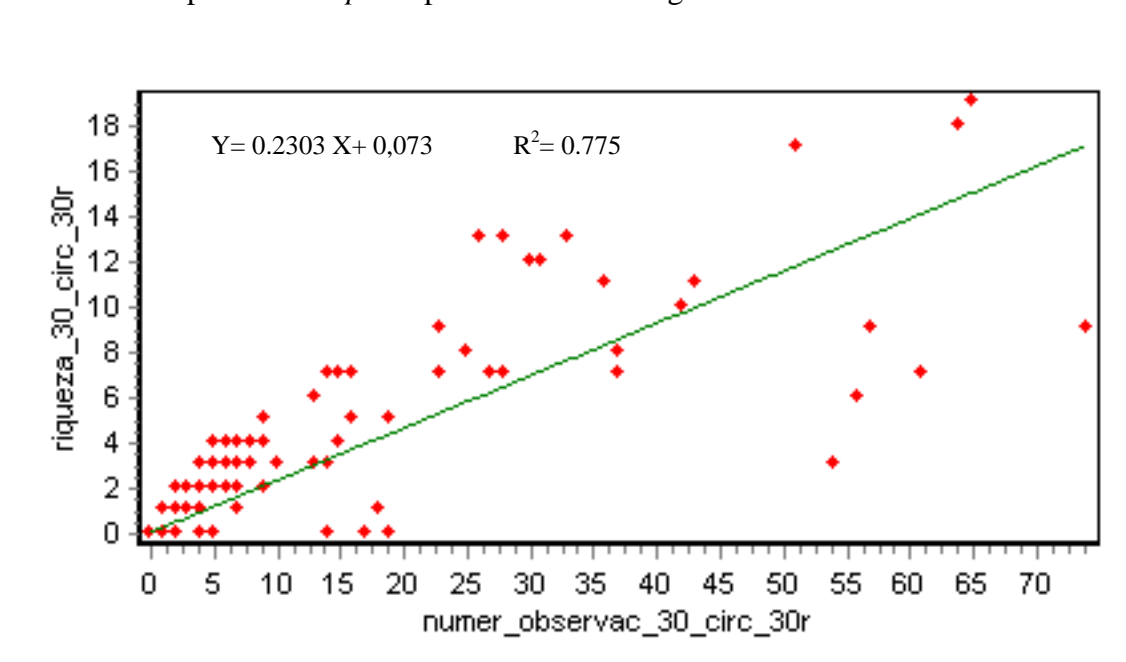
El mayor número de observaciones (60-74) se ha hecho en el Sector de la Cordillera Oriental, Distrito de Cundinamarca en los complejos Chingaza y Sumapaz - Cruz Verde, y al sur de estos, por fuera del complejo del paramo de Guerrero en Cundinamarca, con (31-44) observaciones.

El otro sitio de colecta intenso fue el distrito Nariño- Putumayo, principalmente en el complejo La Cocha Patascoy y en las zonas por fuera del complejo, al norte del volcán Galeras con el mayor número de observaciones. En el complejo Doña Juana-Chimanoy hay muchos registros pero son en su mayoría son indeterminados. El otro sitio dentro de este distrito con el mayor número de observaciones (45-59) fue en complejo Chiles-Cumbal, especialmente en la zona norte.

Tabla 2. Número de observaciones, patrón de riqueza y especies raras por complejos de páramos (ver Anexo 6. Áreas de páramo)

Sectores	Distritos de páram	Complejo de páramo	Observ	Especies	Obsev. L. sp.	Especies raras	Obs/ especie
Cordillera Oriental	Perijá	Perijá	1	0	1	0	1
	Santanderes	Jurisdicciones-Santurbán	12	3	5	1	4
		Almorzadero	3	2	1	1	1,5
	Boyacá	Cocuy	13	3	2	0	4,33
		Pisba	1	1	0	0	1
		Tota-Bijagual-Mamapacha	8	3	5	0	2,67
		Guantiva-La Rusia	7	3	4	1	2,33
		Iguaque-Merchán	7	3	1	0	2,33
	Cundinamarca	Rabanal-Río Bogotá	1	1	0	0	1
		Guerrero	8	5	3	1	1,6
		Chingaza	26	7	0	0	3,71
		Sumapaz-Cruz Verde	32	11	8	4	2,91
Cordillera Central	Viejo Caldas	Los Nevados	32	8	6	2	4
		Chilí-Barragán	6	3	0	0	2
	Valle-Tolima	Las Hermosas	6	3	3	0	2
Macizo Colombiano	Macizo Colombiano	Huila-Moras	3	2	0	0	1,5
		Guanacas-Puracé-Coconucos	32	11	4	4	2,91
		Sotará	4	2	0	1	2
Nariño-Putumayo	Nariño-Putumayo	Doña Juana-Chimayoy	14	0	14	0	
		La Cocha-Patascoy	51	8	38	1	6,37
		Chiles-Cumbal	33	10	16	2	3,3
Cordillera Occidental	Frontino-Tatamá	Frontino-Urrao	6	3	0	1	2
		Citará	2	2	0	1	1
Santa Marta	Santa Marta	Santa Marta	7	2	0	0	3,5
		TOTAL	314		110		

Figura 8. Curva de regresión entre el número de observaciones vs riqueza de especies de *Lupinus* para cada celda de grid.



Vemos una correlación positiva entre el número de observaciones vs el número de especies; Es decir se encontró mayor riqueza en las zonas en donde se hicieron más registros determinados. Aquellos valores encontrados por debajo de la línea, corresponden a celdas de grids ubicadas en Nariño-Putumayo principalmente, esta menor riqueza, podríamos atribuirle a la alta cantidad de registros sin determinar. Los puntos ubicados por encima de la línea, con los valores de riqueza más altos están ubicados en los distritos de Cundinamarca y Macizo colombiano.

Tabla 3. Número total de *Lupinus* presentes en Colombia, Número de Observaciones, Distancia máxima (MaxD), distancia promedio y área circular (CA) para cada especie

ESPECIE	No. Observaciones	MAXD (m)	Promedio (m)	CA30 (Km2)
<i>L. sp.</i>	193	1111596	334659	89852
<i>L. bogotensis</i> Benth	54	408180	98087	33532
<i>L. alopecuroides</i> Desr	26	977709	266882	25512
<i>L. amandus</i> C. P. Smith	24	854603	187664	22116
<i>L. humifusus</i> Benth	19	792960	384701	31732
<i>L. avernas</i> C.P Smith	16	549372	249381	24500
<i>L. pubescens</i> Benth	13	695815	260240	14788
<i>L. guacensis</i> C. P. Smith	12	209842	60380	14604
<i>L. colombiensis</i> C. P. Smith	12	379930	142315	20976
<i>L. microphyllus</i> Desr.	12	503988	102434	11140
<i>L. falsorevolutus</i> C. P. Smith	10	329516	158598	15260
<i>L. mutabilis</i> Sweet	10	536491	195378	15588
<i>L. caucensis</i> C. P. Smith	8	272968	129408	15032
<i>L. puracensis</i> C. P. Smith	8	409775	164726	9904
<i>L. carrikeri</i> C.P. Smith	8	599398	258704	8896
<i>L. interruptus</i> Benth	7	307190	146805	10316
<i>L. mirabilis</i> C. P. Smith	7	350854	166864	9684
<i>L. revolutus</i> C.P. Smith	7	367132	163073	17188
<i>L. albus</i> L.	6	66441	38292	8148
<i>L. sarmentosus</i> Desv.	6	83948	29466	6980
<i>L. expetendus</i> C.P. Smith	5	86004	35173	7120
<i>L. perennis</i> L.	5	610265	262328	10188
<i>L. cuatrecasii</i> C.P. Smith	3	29439	19872	4616
<i>L. hortorum</i> C.P. Smith	2	429	429	2852
<i>L. meridensis</i>	2	2038	2038	2956

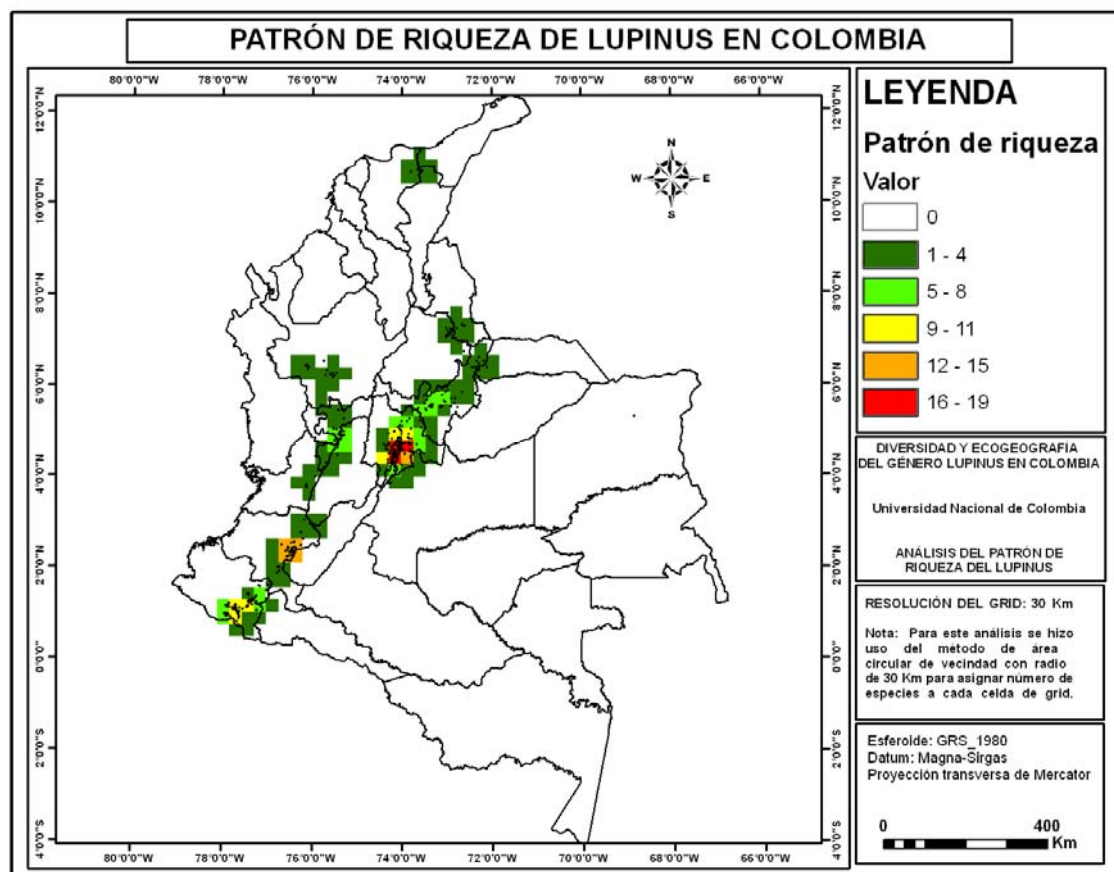
Continuación Tabla 3

<i>L. chipaquensis</i> C.P. Smith	2	18985	18985	3936
<i>L. monserratis</i> C.P. Smith	2	53923	53923	5576
<i>L. alirevolutus</i> C.P. Smith	2	56619	56619	5604
<i>L. gachetensis</i> C. P. Smith	2	80701	80701	5664
<i>L. argirocalix</i> C.P. Smith	2	653284	653284	5654
<i>L. albirostratus</i>	1	0	0	2827
<i>L. cf. gactrelensis</i> C. P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. dotatus</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. lanatocarpus</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. ornatus</i> C.P Smith	1	0	0	2827
<i>L. paniculatus</i> Desv.	1	0	0	2827
<i>L. protrusus</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. radiatus</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. ramosissimus</i> Benth	1	0	0	2827
<i>L. ruizensis</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. santanderensis</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. spragueanus</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. tauris</i> Benth.	1	0	0	2827
<i>L. trianaus</i> C. P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. tricolor</i> C. P. Smith.	1	0	0	2827
<i>L. ulbrichianus</i> C.P. Smith	1	0	0	2827
<i>L. andicola</i> Gillies	1	0	0	2827
<i>L. austrohumifusus</i> C. P. Smith	1	0	0	2827

#### 4.4 Análisis de patrón de riqueza

La riqueza de especies de *Lupinus* no está distribuida homogéneamente en Colombia, hay concentraciones en zonas de Las cordilleras Oriental, Central, el Macizo Colombiano y el distrito de Nariño- Putumayo, donde se encuentran tres puntos calientes. El "hotspot" de diversidad más grande, se encontró en el altiplano cundiboyacence en los complejos Sumapaz- Cruz verde y Chingaza, con 17 y 18 especies respectivamente y, en la zona de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá con 19 especies.

Figura 9. Patrón de riqueza determinado por el número de especies por zona geográfica de *Lupinus* de Colombia obtenido por Diva- Gis



El complejo Macizo Colombiano, llama la atención por ser el segundo "hotspot" de diversidad con una riqueza de especies (12-15) y por poseer especies raras y endémicas concentrándose principalmente en el complejo Guanacas-Puracé, a pesar de las pocas observaciones que se han hecho.

El tercer "hotspot" se encontró en el complejo Nariño- Putumayo con una riqueza de (9 -11) especies concentradas en los complejos de Chiles-Cumbal y La Cocha-Patascoy, con valores intermedios a pesar de tener el mayor número de observaciones.

La región del Viejo Caldas, principalmente en el Complejo de Los Nevados posee el cuarto valor más alto de riqueza de especies (5-8) en áreas aledañas al volcán Nevado del Ruiz y la laguna del Otún, que junto a los complejos ubicados en Boyacá, tuvieron valores de riqueza de especies entre 5-8 cada uno, siendo Iguaque- Merchan en la zona de la meseta de Tunja en donde se hizo el mayor número de observaciones.

Existen otros complejos en donde la distribución de la riqueza está más dispersa pero este patrón es menor; los de Cocuy- Almorzadero y Santurban en Santanderes, Frontino- Urao en Antioquia y el de la Sierra Nevada de Santa Marta con valores entre 1-4 especies, varias de ellas endémicas (ver anexo 3). Asimismo se encontró diversidad en los complejos de Huila - Moras y de la hermosas y en el de Chili-Barragán en el Sector Cordillera Central.

En la Orinoquia colombiana a 115 se encontró una especie muy particular de *Lupinus* msnm, pero solo se posee una observación.

Figura 10. Riqueza de especies vs altitud

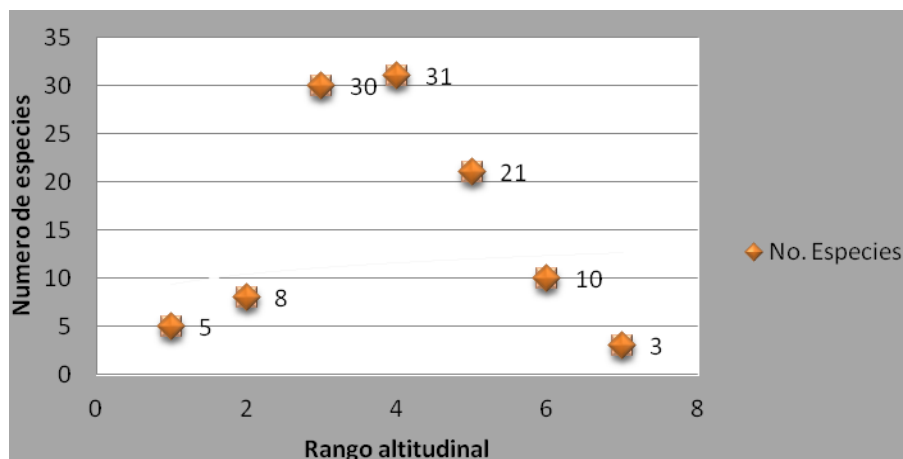


Tabla 4. Rangos altitudinales de las especies de Lupinus con respecto al numero de observaciones

No. Intervalo	Rango altitudinal	No. observaciones	No. Especies
1	1500-2000	18	5
2	2000-2500	34	8
3	2500-3000	162	30
4	3000-3500	157	31
5	3500-4000	86	21
6	4000-4500	31	10
7	Mayor a 4500	5	3

De acuerdo a la figura 10 en los cuales se comparan rangos altitudinales con la riqueza de especies, se puede observar que los valores más altos de diversidad están



entre los 2500-3500 msnm, con un valor promedio de 30 especies, para 319 observaciones (63.3%), seguidos por 3500-4000 m con 21 especies y 86 observaciones y el de 4000- 4500 en el superpáramo con 10 especies (ver tabla 4). Es decir cerca del 80 % de las especies de *Lupinus* en Colombia están sobre los 2500-400 msnm, zonas de alta fragilidad ecológica debido a los cultivos de papa, de amapola, a la ganadería, minería y a las quemadas que estos conllevan.

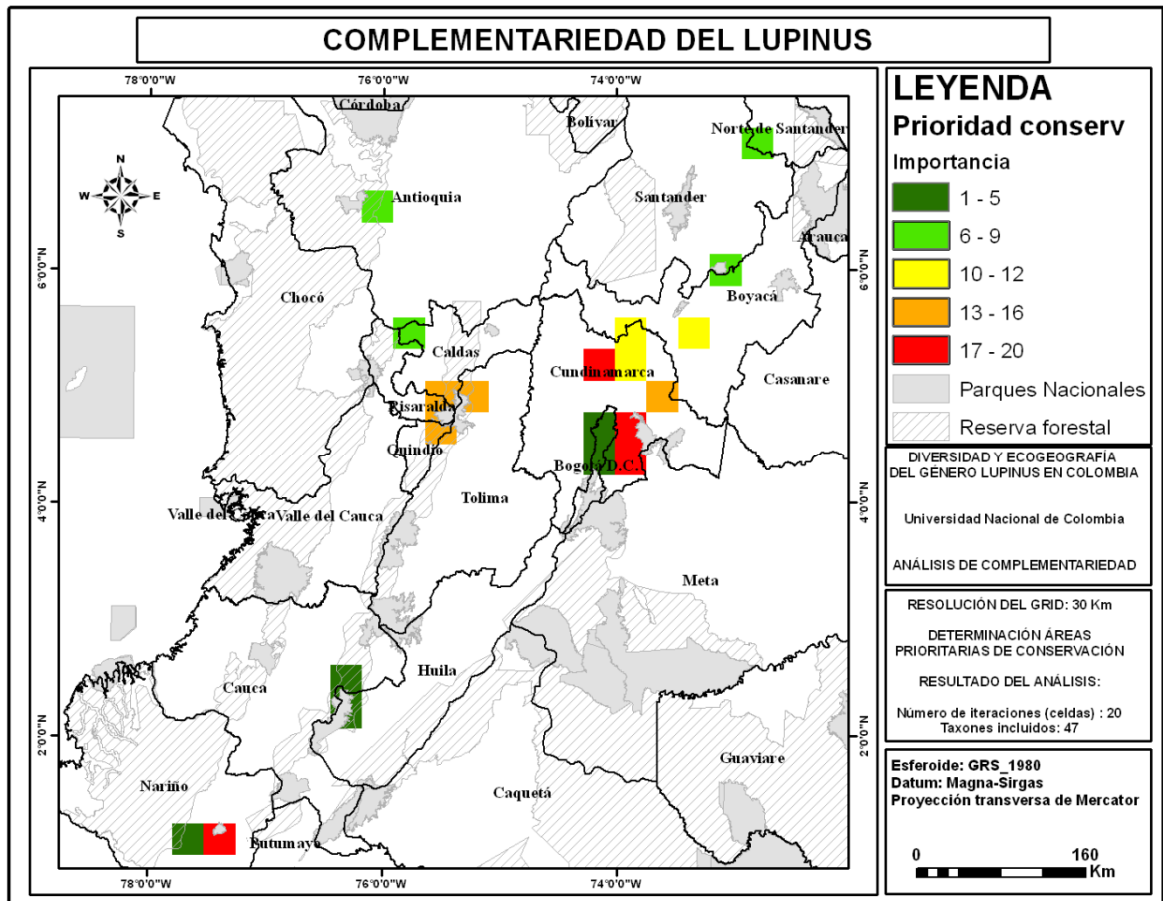
#### **4.5 Análisis de complementariedad**

Con el fin de identificar áreas complementarias de diversidad de especies que no estaban previamente incluidas, Diva-Gis desarrollo un análisis con el fin de optimizar la selección de especies no incluidas y endémicas, para la planificación de la conservación y analizar la distribución con un área de grid mínima para capturar el máximo de especies por celda de grid.

Se utilizó el algoritmo descrito por Rebelo (1994) en Diva- Gis, que consiste en un procedimiento iterativo de captura del mayor número de especies en el área más pequeña posible (menor número de celdas de grids) (Hijman, 2001, Ocampo, J.A. *et al.*, 2007).

Se seleccionaron 20 celdas de grid, necesarias para conservar todas las especies de *Lupinus* (47). El raster indica la prioridad de las celdas o áreas a ser conservadas (las celdas con los valores 1 a 5 son las cinco áreas más importantes para conservación).

Figura 11. Análisis de complementariedad de *Lupinus* en Colombia



#### 4.5.1 Áreas prioritarias de conservación (prioridad por celdas)

La celda localizada en la ciudad de Bogotá que alberga principalmente los cerros orientales de la ciudad y el páramo de Cruz Verde en el complejo Sumapaz-Cruz Verde. Como se puede observar en el mapa, esta área con la prioridad de conservación más alta, no se encuentra dentro de ninguna de las áreas protegidas ni en una reserva forestal. Esto indica que el estado de protección no está asegurado por disposiciones legales de manejo de área protegida o parque nacional.

La segunda prioridad de conservación, se situó en el Macizo Colombiano, al norte del volcán Puracé, en el complejo de páramo Guanacas-Puracé-Coconucos y está parcialmente protegida por la reserva forestal Central. Esta área se encuentra por fuera del Parque Nacional Natural Puracé, así que su estado de conservación es bajo.

La tercera área, y más importante para la conservación, se localiza al sur de la ciudad de Bogotá, en el área rural de la localidad de Usme y la zona de influencia del embalse de La Regadera, al norte del complejo de páramo de Sumapaz. Al igual que las celdas anteriores, el estado de conservación para esta área puede ser muy bajo, ya que tampoco se encuentra dentro de un área protegida ni parque nacional.

Estas tres primeras áreas prioritarias para la conservación se localizan por fuera de áreas administrativas con manejo especial y por eso su estado de conservación podría estar en una amenaza alta de intervención.

La cuarta área más importante, situada al sur del departamento de Nariño, se encuentra en el complejo Chiles-Cumbal, y no se encuentra dentro de ningún área protegida y se solo se sitúa parcialmente en la reserva forestal del Pacífico, al occidente.

La quinta área en importancia comprende la zona de influencia del Volcán Puracé, al sur del complejo Guanacas-Puracé-Coconucos y su estado de conservación es parcial debido a que solo parte de esta área se encuentra dentro del Parque Nacional Natural Puracé.

Las celdas con prioridad 6 a 9 se encuentran todos por fuera del área de parques nacionales, a excepción de la celda con prioridad 9 situada en los límites entre los departamentos de Boyacá y Santander y en el complejo de Iguaque-Merchán, que se

encuentra parcialmente cubierta por el área del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque.

La secuencia de rango de importancia se da para los complejo de Frontino-Urrao, Citará, Almorzadero-Santurbán e Iguaque-Merchán. Aunque el estado de conservación de estas áreas es muy bajo y existen riesgo de pérdida de recursos genéticos de *Lupinus* debido a la ausencia de planes de manejo ambiental para estas áreas y los niveles de intervención de tendencia creciente especialmente en la cordillera Oriental, que es el caso para las celdas con prioridad 8 y 9 correspondientes a áreas de los complejos Santurbán- Almorzadero e Iguaque-Merchán respectivamente.

Las áreas con prioridad 10 a 12 corresponden a zonas localizadas en el complejo de Guerrero en Cundinamarca y a la meseta de Tunja en Boyacá. Estas celdas se encuentra totalmente por fuera de algún área protegida o parque nacional y así su estado de conservación es muy bajo. Estas áreas son especialmente críticas debido a los niveles de intervención antrópica que presentan, principalmente en el complejo de Guerrero, que es el complejo de páramo más intervenido del país según el Instituto von Humboldt, 2006.

Las áreas con prioridad 13 a 16 se localizan principalmente en el complejo de páramo Los Nevados, en el páramo de Letras y en el norte del departamento del Quindío, en la zona de influencia de los volcanes nevados del Quindío, Santa Isabel y del Ruíz. Estas áreas prioritarias son las mejor conservadas del país y se encuentran parcialmente cubiertas, en un gran porcentaje, dentro del Parque Nacional Los Nevados y la reserva forestal Central. Además se tiene la celda con prioridad 15 en el complejo Rabanal-Río Bogotá, que no se encuentra cubierta por ningún área protegida, lo que indica que es un área de conservación con mayor riesgo de pérdida de recursos de diversidad de *Lupinus*, si además se tiene en cuenta que este complejo

de páramo tiene una importancia estratégica debido a su oferta de recurso hídrico que abastece varios acueductos de municipios del norte de la sabana de Bogotá y de la capital misma, ya que en este complejo nace el río Bogotá.

Las celdas con prioridad 17 a 20 se localizan en el complejo Chingaza y en el complejo Guerrero en la cordillera Oriental y en el complejo La Cocha-Patascoy en Nariño. Las celdas que se encuentran en el complejo Chingaza son las que tienen mejor estado de conservación, ya que se localizan parcialmente en el Parque Nacional Chingaza; la celda que se encuentra en el complejo Guerrero tiene un estado de conservación muy bajo, debido a que no se encuentra dentro de ningún área protegida y a los altos niveles de intervención antrópica que presenta este complejo y la celda que se ubica en Nariño está parcialmente cubierta por el área del Santuario de Flora y Fauna del volcán Galeras.

En términos generales podemos ver que el estado de conservación para las áreas prioritarias del *Lupinus* es muy bajo, ya que solo 7 de las 20 áreas o celdas complementarias se encuentran parcialmente dentro de un área protegida y las áreas con mayor prioridad están por fuera del área de parques nacionales o santuarios de flora y fauna. Así mismo, las áreas complementarias, que aportan especies de alto endemismo como aquellas ubicadas en los complejos de páramo de la cordillera Occidental, especialmente en Antioquia, Risaralda y Caldas, tampoco se encuentran dentro de ningún área protegida, y a esto se suma que en las restantes áreas prioritarias, se tiene altos niveles de intervención antrópica y ningún plan de manejo o de conservación, como es el caso de aquellas situadas en los complejos Guerrero y Rabanal-Río Bogotá en el departamento de Cundinamarca, así como las situadas en Nariño, en la zona de influencia del volcanes Galeras, Chiles y Cumbal, con niveles de intervención crecientes, igual suerte corren los complejos de los departamentos de Santander y Norte de Santander; Jurisdicciones- Santurbán y Almorzadero.

Para incluir todas las especies al menos una vez, fue necesario seleccionar 20 celdas de grids de las 119 con observaciones. Esto nos indica que las áreas complementarias que comprenden los mayores centros de diversidad (distritos de Cundinamarca, Macizo Colombiano y Nariño- Putumayo y de otras que no tienen valores tan altos pero que constituyen también áreas importantes para la conservación por su posición ecosistémica y por encontrarse especies endémicas y raras como en los Complejos de Santurban y Almorzadero en los Santanderes y los Complejo Frontino-Urrao y Citara en Antioquia, Iguaque- Merchan y Guantiva – La Rusia en Boyacá Además del Complejo de los Nevados y el Paramo de Guerrero (ver anexo 3).

## 4.6 Análisis bioclimático

Con base a 19 parámetros bioclimáticos obtenidos de las estaciones meteorológicas cercanas a las zonas de presencia de las especies, Diva- Gis, muestra tanto los nichos bioclimáticos más abundantes, como los raros presentes en Colombia.

Figura 12. Nicho climático de *Lupinus* más abundantes

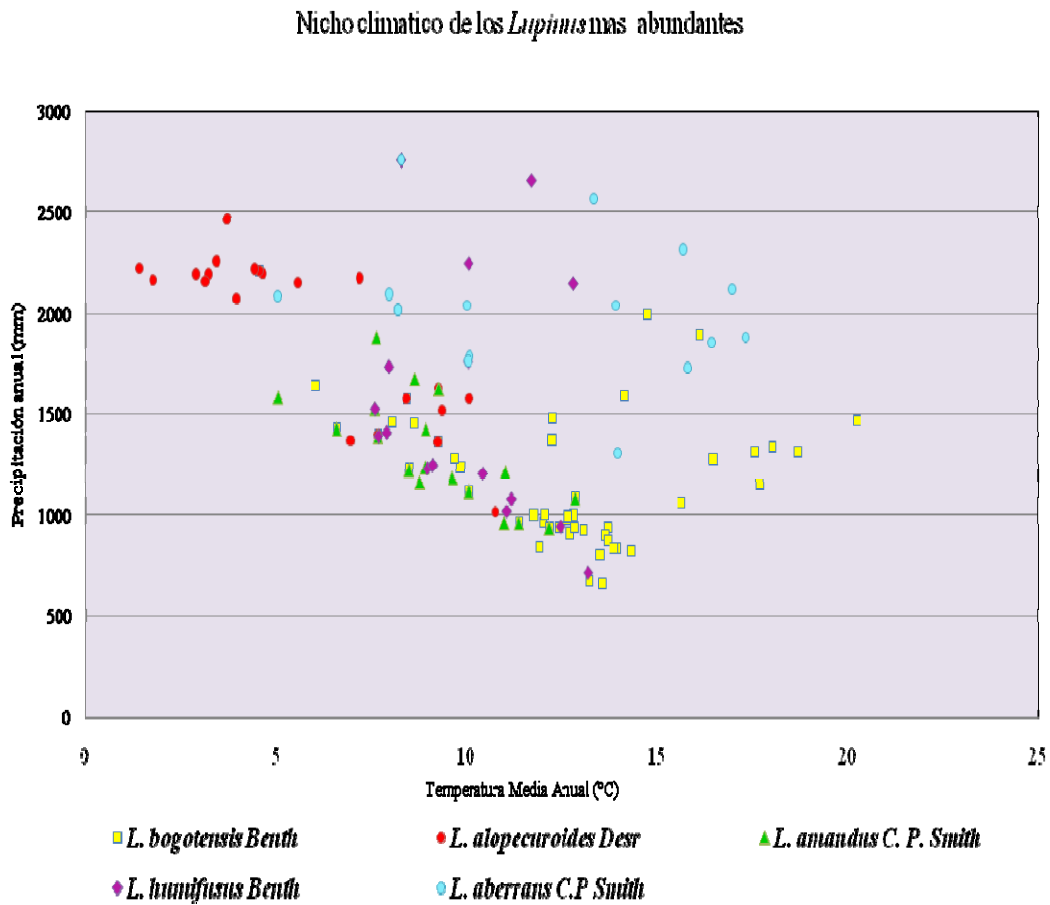


Figura 13. Nicho climático de *Lupinus* raros

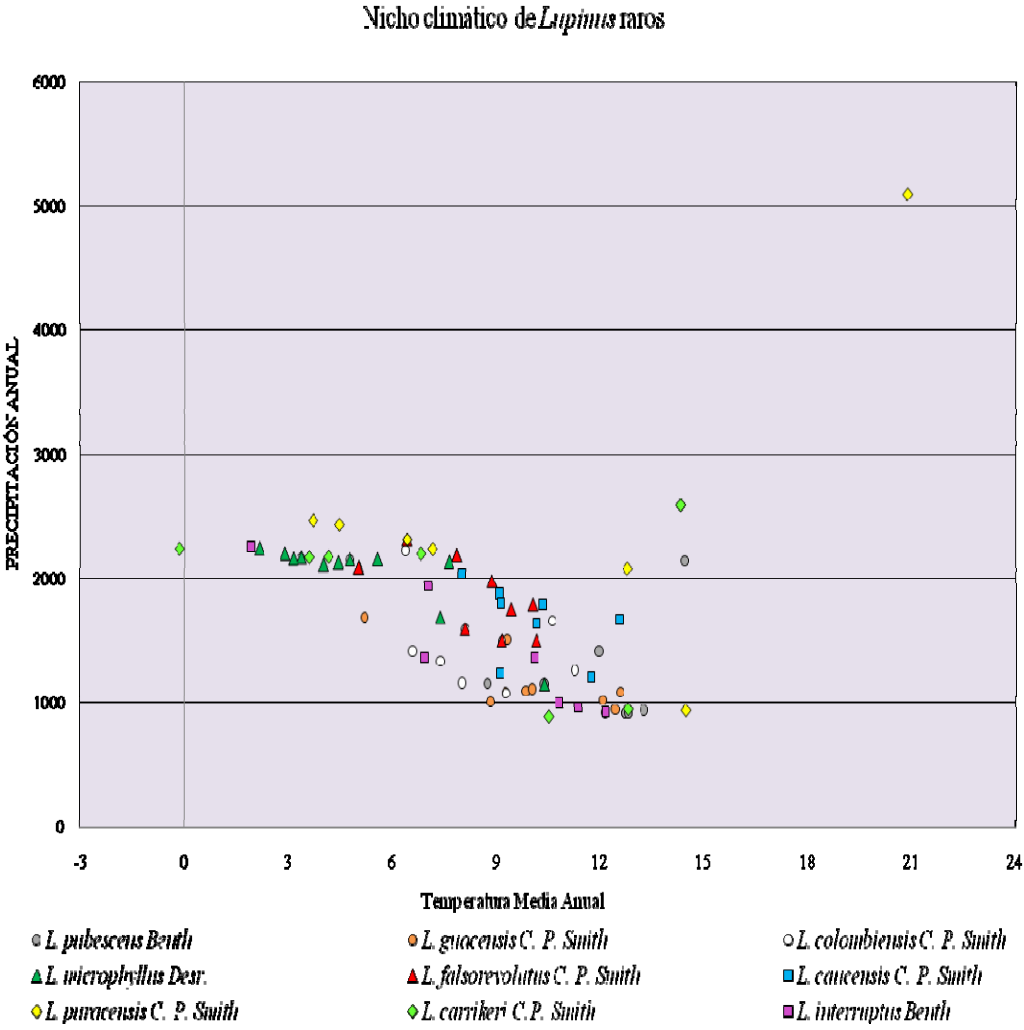
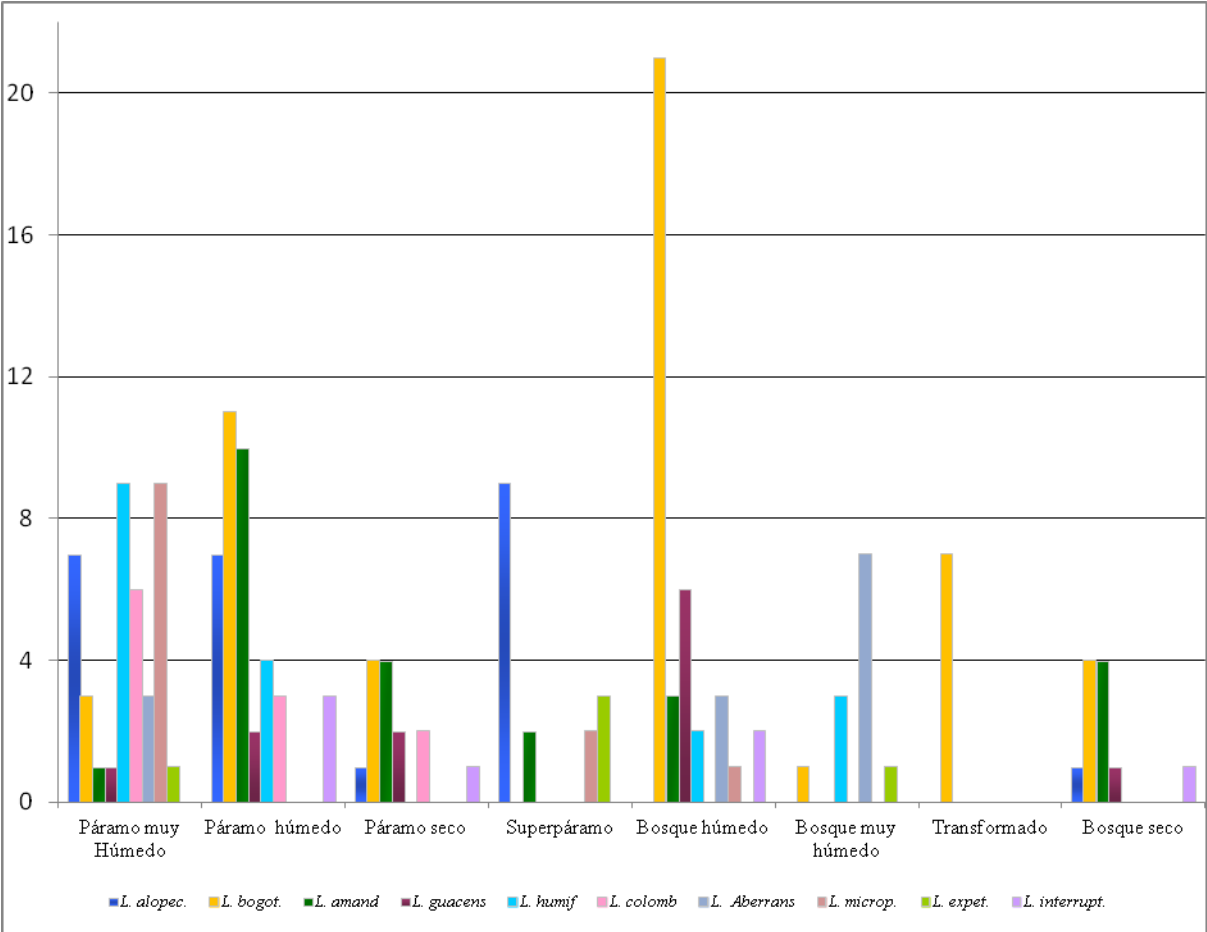




Figura 14. Histograma de ecosistemas vs. Especies más frecuentes de *Lupinus* en Colombia



#### 4.6.1 Matriz de correlación con los tres componentes principales utilizando la versión 9.2 de SAS

Autovalores de la matriz de correlación

	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	10.9779889	6.4028680	0.5778	0.5778
2	4.5751209	2.6842833	0.2408	0.8186
3	1.8908376		0.0995	0.9181

- El primer componente correspondió a precipitación anual, explicando el 11 % de la variación

- El segundo componente correspondió a la temperatura media mensual, explicando el 4.6%

- El tercer componente correspondió a la humedad relativa, solo explica el 1.9%.

Figura 15. Dendrograma de Datos Bioclimáticos

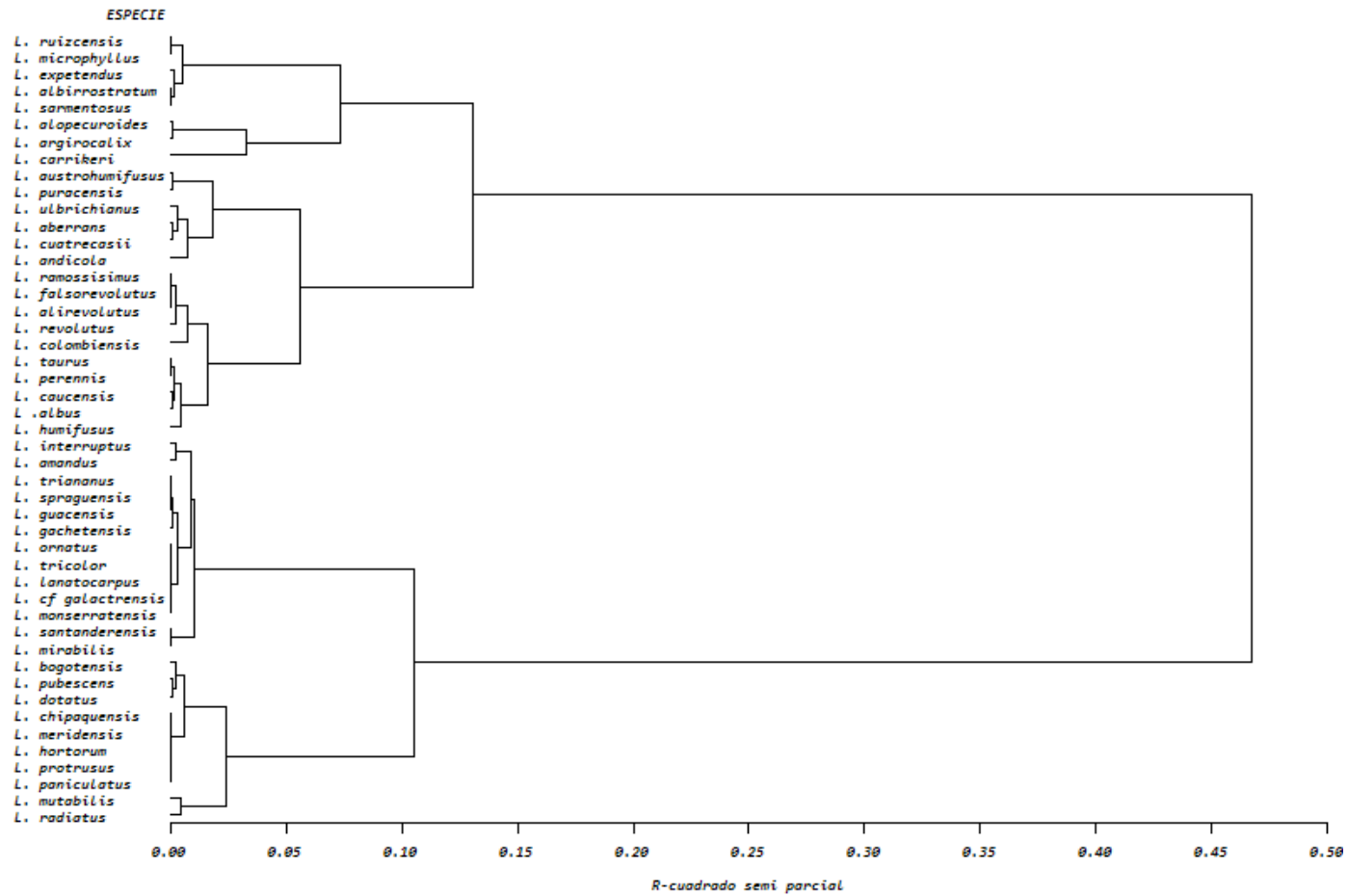
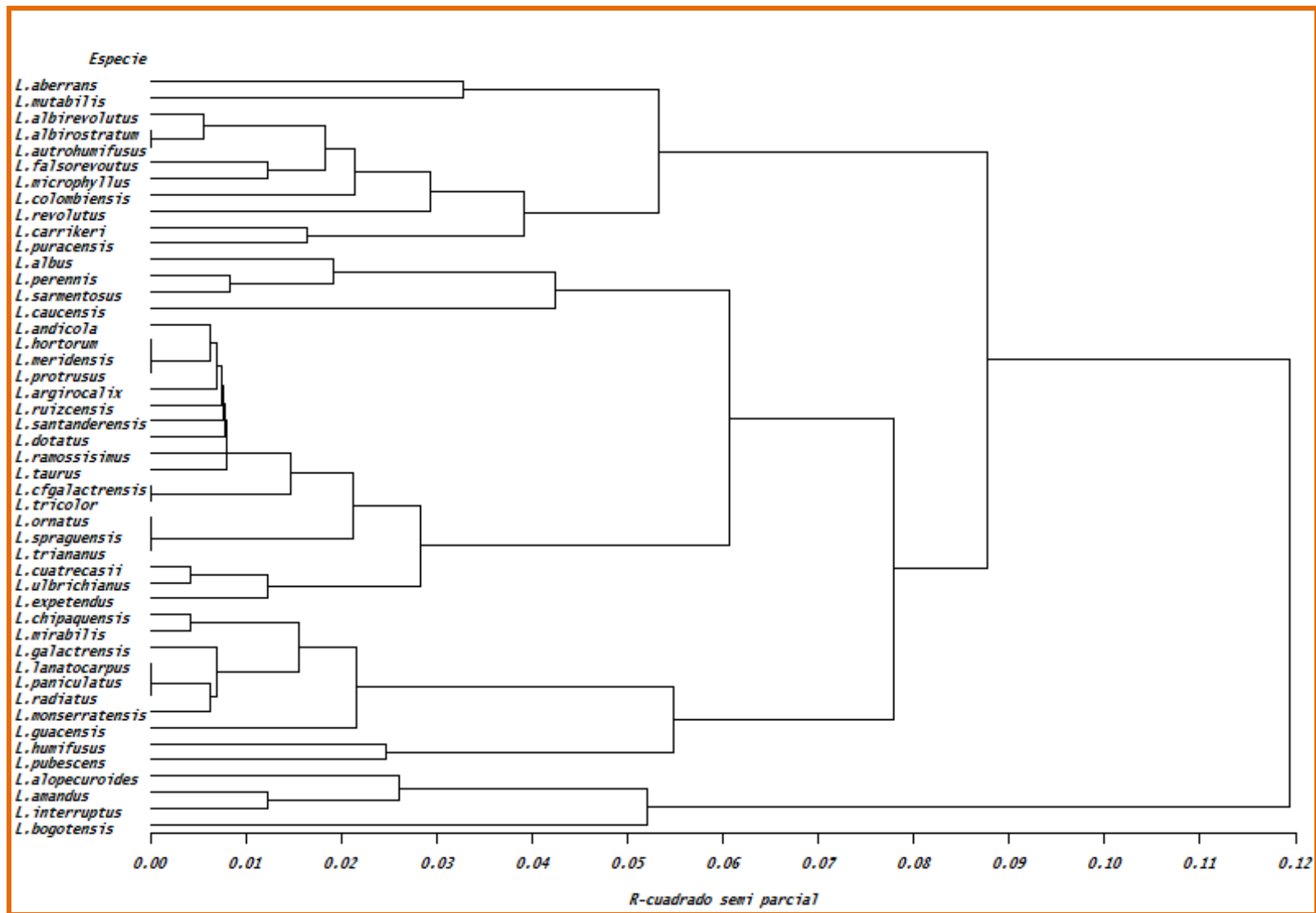


Figura 16. Dendrograma asociado a análisis cluster de ecosistemas en especies de *Lupinus* en Colombia



## DISCUSIÓN

*Lupinus* es una planta desconocida para la mayoría de los colombianos. Solamente en el sur del país es utilizada por la población, y se siembra a pequeña escala, la especie cultivada *L. mutabilis*. En menor proporción se siembran otras especies en las ciudades de clima frío como Bogotá, Tunja, Pasto como ornamentales. A pesar de ser una planta importante en la biodiversidad de los páramos, por ser clave en el almacenamiento de nutrientes y pionera en la revegetalización después de la intervención antrópica, es una planta despreciada por las comunidades campesinas, cultivadoras de papa, amapola y pastos para ganadería bovina ovina y caprina, que no dejan que el *Lupinus* crezca, porque los animales se envenenan si lo comen. Sumado a esto, la intervención minera en algunos páramos, hacen la situación del género más crítica para el futuro de las especies paramunas.

Colombia cuenta con una diversidad de especies de *Lupinus*, equivalentes a las de Ecuador y Perú (aproximadamente 50 en cada país). No hay bancos de germoplasma en Colombia y los registros que se tienen son muy pocos, pues a pesar de que el Centro de Investigación La Selva CORPOICA, manifestó tener un banco de germoplasma con 36 especies sin determinar (Knudsen H; 2000), este no ya existe, y fue a través de los registros de los herbarios, (los cuales también son de acceso restringido), que se pudo hacer un inventario y fotografiar los especímenes colombianos, lo que facilitó hacer la base de datos, para hacer este trabajo. La elaboración del inventario, tuvo los inconvenientes de que los registros no estaban georeferenciados y mucha de la información era deficiente. Para obtener las coordenadas, hubo que hacer muchas consultas, pues los datos de pasaporte son en su mayoría antiguos y las referencias geográficas departamentales han cambiado, como es el caso de la zona cafetera, otros con nombres repetidos y en lugares cercanos (San Pedro, San Francisco, San Pacho etc.).

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG), fueron herramientas muy valiosas, que permitieron dar respuesta a preguntas tales como, donde se encuentran localizadas las diferentes especies de *Lupinus* en Colombia? Como es el clima en esos sitios? Donde hay mayor riqueza? En donde falta coleccionar? Esta el género amenazado de erosión genética?

*Lupinus*, se encontró en 34 de los 39 ecosistemas descritos en el Atlas de Paramos de Colombia, a lo largo de las cordilleras de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta. Las cordilleras colombianas tienen diferencias climáticas en sus vertientes, siendo la más húmeda la cordillera Occidental en la vertiente occidental. Allí no se encontró *Lupinus*, pero en la vertiente oriental se encontraron 4 especies determinadas y una indeterminada; dos de ellas raras y dos endémicas. La mayoría de las especies se registraron sobre la cordillera Oriental con diferencias entre las vertientes, siendo la menos húmeda la vertiente occidental con 27 especies frente a 9 especies en la vertiente oriental, igualmente en el Macizo Colombiano la vertiente Cauca tuvo 13 especies frente a la vertiente Magdalena con tres especies. En la cordillera Central la diferencia de 11 frente a 6 especies diferentes, en el Macizo Colombiano se encontraron 13 en la vertiente Cauca y 3 en la vertiente Magdalena.

La mayor mayor riqueza de registros determinados, se encontro en el sector cordillera oriental, complejo cundiboyacense, seguida por el sector macizo Colombiano y el de Nariño-Putumayo y el sector cordillera central, complejo Purace-Guanacas en donde se encontraron los cuatro "hotspots" mas grandes.

El conocer el parentesco entre las especies colombianas nos permitiría saber si pertenecen a un mismo Phylum evolutivo, como han logrado su posición geográfica, y preguntarnos porque se dice que han migrado desde el norte, pues en el Macizo Colombiano, al sur de Colombia hay un "hotspot" importante por su riqueza y especies únicas; ¿ha sido doble la migración?

La posición orográfica de los páramos colombianos, junto a la intensidad y distribución de las precipitaciones, condiciona que haya paramos atmosféricamente húmedos y atmosféricamente secos (Cleef, 1981) (Rangel, 2000). Esto se hace evidente observando las diferencias en la presencia de especies de *Lupinus*, entre las vertientes de las cordilleras, las cuales están influenciadas por las corrientes de los vientos, y que traen como consecuencia niveles de humedad diferentes. Colombia al no contar con suficientes registros meteorológicos en las zonas de paramos, se limita la información sobre las relaciones entre las especies basadas en el clima. La distribución de las precipitaciones es muy variada, al igual que la temperatura, con la alternancia térmica diaria, que produce amplitud en los cambios diarios de temperatura; lo que algunos llaman: "verano de día e invierno de noche." La luminosidad, la incidencia de la energía ultravioleta, la humedad relativa, los vientos, suelos y vegetación, varían en pocos metros de altitud, formando "parches discontinuos" como islas, con variaciones regionales y locales. Estas islas presentan ecosistemas variados, llegando a determinarse 39 en el estudio de Paramos de Colombia (Morales *et al*; 2007), de los cuales, en 34 ecosistemas se encontró presencia de *Lupinus*. Se pudo observar que hay especies adaptadas a niveles de humedad diferentes, incluso extremas, tales como es el caso de *L. bogotensis* que se encontró en casi todos los niveles de humedad, desde el bosque muy húmedo al bosque seco, con excepción del superpáramo e incluyendo los transformados, pero su presencia se circunscribe solamente a la zona céntrica del país, El *L. alopecuroides* se encuentra a lo largo del país pero solo se encuentra en zonas húmedas y frías.

Otro tipo de estrés que sufren las plantas en el paramo, es el nutricional, pues los suelos son pobres en nutrientes, con PH ácidos y sufren congelamiento nocturno, lo que limita el movimiento del agua a través de las raíces, produciendo una sequía fisiológica y por consiguiente limitando el crecimiento de las plantas. Y si a esto se le suman las quemadas y el pastoreo haciendo más lentos los procesos de sucesión y

regeneración y por consiguiente susceptibles de perder su integridad ecológica (composición de especies, estructura y forma) es, cuando se puede echar mano de especies pioneras y resistentes al estrés como los *Lupinus* para la conservación y preservación de los páramos.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La historia geológica y geomorfológica es determinante en la estructuración de los tres factores más importantes que determinan el ecosistema páramo: Biodiversidad, Agua y Suelo; en el páramo esta relación se manifiesta principalmente en cambios en la disponibilidad de agua y nutrientes y esta interacción es la base de las funciones ecosistémicas más importantes como: los aportes de materia orgánica, la estabilización de los suelos y materia orgánica, solubilización, pérdida y disponibilidad de nutrientes, los ciclos biogeoquímicos, la productividad y la regulación hídrica. Las herramientas tecnológicas tales como los computadores, internet, la información satelital, los programas como Diva- Gis, Google Earth, Google maps, entre otros, son de gran utilidad para aprovechar la gran información que ha estado guardada por décadas para que los investigadores de Recursos fitogenéticos y otras disciplinas puedan conocer la taxonomía, genética, filogenia citología, distribución, ecología, etc. de manera más confiable, rápida y oportuna, con el fin de hacer programas de conservación, mejoramiento y aprovechamiento de los recursos vegetales.

Los páramos son considerados como uno de los biomas estratégicos y a la vez, uno de los más vulnerables del norte de Sudamérica y el Neotrópico, lo que les ha valido la denominación de "hotspot ecosistémicos" en la cual se contraponen altos grados de biodiversidad y endemismo con factores críticos de amenaza (Andrade y Álvarez, 2000).

La deforestación, el ascenso del límite de la agricultura, el pastoreo y las quemadas son los problemas más graves que enfrentan los ecosistemas de alta montaña en Colombia (Castaño-Uribe, 2002)

La historia geológica y posteriormente, la geomorfología de herencia glacial y el vulcanismo plio-pleistocénico generaron y modelaron los ambientes paramunos (van der Hammen, 1988, 1992). Las variaciones en altura producen gradientes altitudinales con cambios fisonómico – florísticos, climáticos y de suelos (Cuatrecasas, 1958; Lauer, 1979, Monasterio 1980, Cleef, 1981, Rangel, 1991, Malagón y Pulido, 2000).

Colombia es un país con alta diversidad de especies de *Lupinus*, Se encontraron tres "hotspots" importantes y varias especies endémicas y raras, lo que amerita considerarlo lugar estratégico para la conservación y estudios de taxonomía, citogenética y filogenia, pero todas están por fuera de las zonas protegidas o parques Nacionales. Se encontraron especies de *Lupinus* compartiendo el mismo nicho ecológico, por lo que se debería estudiar más su taxonomía para constatar que se trata de especies diferentes. Igualmente hay que hacer mas prospección, pues hubo muchas especies con un solo registro e indeterminadas o podría pensarse que son híbridos naturales?

## **PERSPECTIVAS**

El rescate de las especies silvestres colombianas, abre camino a la investigación sobre las posibilidades de utilizarlo, tanto en la preservación de la biodiversidad nativa como en la preservación de los paramos, dejándolo crecer in situ en aquellos sitios en que aun es abundante y promoviendo su siembra por medio de programas de reforestación, con plántulas provenientes de invernaderos, para llevar a cabo el rescate de suelos degradados de la alta montaña y paramos a consecuencia de la intervención antrópica (quemadas, tala, siembra de cultivos tales como la papa, pinos e ilícito "praderización" para el establecimiento de bovinos, ovinos y caprinos et.).

Siendo el *Lupinus* una de las pocas leguminosas de la zona altoandina y del páramo, se deben aprovechar sus características de proveedora de Nitrógeno y de otros elementos, para regenerar las áreas degradadas y hacer programas de conservación de los páramos, fuentes vitales para la preservación del agua de gran parte del país.

## BIBLIOGRAFÍA

Berger J. B. Ludwig and J. Buirchell, 2008. Ecogeography Of the old World Lupins: Characterizing the Habitat Range. Western Australia.

Cowling W, Buirchel B, Tapia M. 1998, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. (IBPGR Institute).

Cristofoline, G. 1989. A serological contribution to the systematic of genus *Lupinus* (fabaceae) Plant Systematic and Evolution. 166. 265- 278.

Conterato, I.F. and M.T. Schifino- Wittmann. 2006. New chromosome numbers, meiotic behaviour and pollen fertility in American taxa of *Lupinus* (Leguminosae): contributions to taxonomic and evolutionary studies. Botanical Journal of the Linnean Society 150: 229-240.

Dunn, D.B, 1984. Cytotaxonomy and distribution of new World Lupin species. Pp 68-85 in: proceeding of the Third International Lupin Conference. La Rochelle France.

Eastwood R. *et al.*, 2008. Diversity and evolutionary history of Lupins-insights new phylogenies. In: J.A. Palta and Berger (Eds) "Lupins for Health and wealth"

Eastwood R and Colin Hughes.2008. Origen of Domestication of *Lupinus mutabilis*. In the Andes In: J.A. Palta and Berger (Eds) "Lupins for Health and wealth"

Fernández-Pascual M *et al.*, 2007. Singular Features of *Bradyrhizobium- Lupinus* Symbiosis. Dynamic Soil, Dynamic Plant. Global Siente Books, Madrid España.

Gaston, K.J; 1996. Species richness; measure and measurement, in K.J. Gaston (ed), Biodiversity, a biology of numbers and difference, 77-113 Backwell Science, London UK.

Gladstones, J.S. 1970. Lupins as crop plants. Field Crop Abstr. 23: 123-148.

Gladstones, J.S. 1974. Lupins of the Mediterranean Region and Africa. Technical Bulletin Number 26, Western Australian Department of Agriculture, Perth.

Gladstones, J.S. 1980. Recent developments in the understanding, improvement, and use of lupins. Pp. 603-611 in *Advances in Legume Science*, Proceedings of the International Legume Conference, Kew 1978 (R.J. Summerfield and A.H. Bunting, eds). Royal Botanic Gardens, Kew.

Gladstones, J.S, 1998. Distribution, origin, taxonomy .history and importance of Lupins as Crop Plants Biology. New York

Gross, R, 1982. El cultivo y la utilización del tarwi. *Lupinus mutabilis* Sweet. Agencia de cooperación técnica (GTZ).

Guarino, L., A. Jarvis, R. J. Humans, and N. Maxted. In press. Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources, In: Proceedings of the international conference on science and technology for managing plant genetic diversity in the 21st century (SAT21), Kuala Lumpur, Malaysia, 12-16 June 2000. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Guarino, L; Jarvis, R.J. Hijman, and Maxted. Geographic Information System (GIS) and the conservation and used of plant genetic resources, In Hijmans, R; Spooner, D. 2001

Hernández B, J E. León, 1994. Neglected crops: 1492 from a different perspective.

Hijmans, R. J.; Guarino L; Cruz, M.; and Rojas, E. 2002. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genet. Res. Newsl.* 127, 15-19.

Hijmans, R; Spooner, D. 2001. Geographic Distribution of Wild Potato Species. *American Journal of Botany* 88(11): 2101- 2112. 2001.

Hoffman, M. H., Glas, A.S. Tomiuk, J., Shumuths, H. Fritsch, R. M. and Bachmann, K. 2003. Analysis of molecular data of *Arabidopsis thaliana* (L) Heynh. (Brassicaceae) with geographical information systems (GIS). *Mol. Ecol.* 12, 1007-1019.

Hughes, C.E. and R.J. Eastwood 2006. Island radiation on continental scale exceptional rates of species diversification after uplift of the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA* 103:10334-10339

IGAC Instituto Geografico Agustin Codazzi.. Atlas Básico de Colombia, 6a edición 1989.

Jacobsen, S y A. Mujica. 2004. Geographical distribution of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet.). In: VII Congress: European agriculture in global context. Copenhagen, Denmark.

Jarvis A. S. Yeaman, L. Guarino, J. Tohme. 2005. The role of Geographic Analysis in Locating, Understanding and Using Plant Genetic Diversity Method in Enzimology, vol 395 pp. 279-298

Jarvis A. Guarino, L., Williams, D., Williams, K., and Hyman, G. 2002. Spatial analysis of wild peanut distributions and the implications for plant genetic resource conservation. Plant Genet. Res. Newsl. 131, 29-35.

Jones, P., Beebe, S., Tohme, J., and Galwey, N. 1997. The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation. Biodivers. Conserv. 6, 947-958.

Kass, E. and M. Wink. 1997. Phylogenetic relationships in the Papilionoideae (family Leguminosae) base don nucleotide sequences of cpDNA (rbcL9 and ncDNA (ITS1 and 2). Molecular Phylogenetics and Evolution 8:65-88.

Knudsen, H. 2000. Directorio de Colecciones de Germoplasma en América Latina y el Caribe. Primera edición. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Roma, Italia.

Kyle, W. S. A. 1994. The current and potential uses of lupine for human food. In: proceeding of the First Australian Lupin technical Symposium (M. Dracup and J. Palta, Department of Agriculture Western Australia, South Perth.

Marmolejo, G. 2011. Comunicación personal.

Maxted, *et al.*, 1995. Consulta de datos ecogeográficos. IPGRI 2002.

Monasterio, M. 2002. Evolución y transformación de los páramos en la Cordillera de Mérida: paisajes naturales y culturales. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Morales, M; Otero, J; van der Hammen T; Torres A; Cadena C; Pedraza C; Rodríguez N; Franco C; Betancour JC; Olaya E; Posada E y Cardenas L. 2007. Atlas Páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá DC, 208 pp.

Mormul, R. and Leandrini, J. 2007. The Herbarium as a tool for biodiversity conservation. SaBios-Rev. Saude e Biol., Campo Mourao, V. 2, N. 2, p. 1-5 Jul. <http://www.revista.grupointegrado.br/sabios/>

Molina Diana, Humberto Zamora y Alejandro Blanco-Labra' An inhibitor from *Lupinus bogotensis* seeds effective against aspartic proteases from *Hypothenemus hampei* **Phytochemistry** Volume 71, Issues 8-9, June 2010, Pages 923-929

Mujica, A., S. Jacobsen y J. Izquierdo. 2002. Andean Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet.) Forty year researching Peru. In: Tenth International Lupin Conference. Laugarvatn, Iceland. pp.106.

Ocampo J A. Coppens d'Eeckenbrugge, G., Restrepo, M., Jarvis, A., Salazar, M., and Caetano, C.M. (2007). Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana* 8(1): 1-45.

Palta J, J. Berger 2008. Lupins for Health and Wealth Proceeding of 12<sup>th</sup> International Lupin Conference. Fremantle, Western Australia.

Pérez- Arbelaez E. (1978). Plantas útiles de Colombia. 4<sup>a</sup> Edición Bogota, Colombia.

Plitman, U and Heyn. 1984. Old World *Lupinus*: Taxonomy, evolutionary relationship and links with New World species. PP. 55-56

Rebelo, A.G. 1994 Iterative selection procedures: centres of endemism and optimal placement of reserves. *Strelitzia* 1: 231-257. In Hijmans, R; Spooner, D. 2001

Scheldeman, X *et al.*, 2007. Distribution. Diversity and environmental adaptation of highland papayas (*Vasconcellea* spp.) in tropical and subtropical America. *Biodiversity and Conservation*. 16:1867-188

Smith, C.P. 1938-1953. Species Lupinorum. Published privately by the author, Saratoga, California, USA.

Van Der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography* 1: 3-26.

Van Der Hammen, T. y A. Cleef. 1986. "Development of the High Andean Páramo Flora and Vegetation". 1986. *High Tropical Biogeography*, F. Vuilleumier y M. Monasterio, editors, p. 153-201. Oxford-New York, Oxford University Press.

Wink, M., Merino, F. and Kass, E. Molecular Evolution of Lupins (Leguminosae: *Lupinus*). 1999



# **A N E X O S**