

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
Màster en Biodiversitat: Conservació i Evolució
TREBALL FI DE MÀSTER

Caracterización eco-geográfica de *Prunus serotina*
Ehrh subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh (capuli), en la
región andina de Ecuador



EDWIN JOSÉ BORJA BORJA

Tutores:

Dr. Miguel Guara Requena

Departamento de Botánica y Geología

Dr. César Tapia Bastidas

INIAP - DENAREF



UNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

2016 – 2017



TRABAJO FIN DE MÁSTER
Máster en Biodiversidad: Conservación y Evolución
Especialidad: Diversidad y Conservación de los Ecosistemas

Caracterización eco-geográfica de *Prunus serotina* Ehrh subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh (capulí), en la región andina de Ecuador



EDWIN JOSÉ BORJA BORJA

Tutores:

Dr. Miguel Guara Requena

Departamento de Botánica y Geología

Dr. César Tapia Bastidas

INIAP - DENAREF



2016 – 2017



Índice

	Resumen	1
1	Introducción	2
2	Materiales y métodos	6
	2.1. Especie de estudio	6
	2.2- Área de estudio	10
	2.3. Muestreo	10
	2.4. Evaluación de datos y variables asociadas	11
	2.5. Selección de variables	12
	2.6. Caracterización ecogeográfica	15
	2.7. Tratamiento de las variables seleccionadas	15
	2.8. Identificación de áreas potenciales de adaptación	16
3	Resultados	18
	3.1. Distribución regional de morfotipos y variables ecogeográficas	18
	3.2. Mapa de caracterización ecogeográfica	22
	3.3. Identificación de zonas de conservación y producción	24
4	Discusión	26
	4.1. Distribución espacial de morfotipos	26
	4.2. Diversidad ecogeográfica de los morfotipos	27
	4.3. Diversidad ecogeográfica de las categorías	30
5	Conclusiones	33
6	Referencias	35
	Agradecimientos	42
	Anexos	43

Resumen

El estudio se realizó con información proporcionada por el Banco Nacional de Germoplasma de INIAP- Ecuador, de 147 accesiones de *Prunus serotina* Ehrh subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh morfológicamente clasificados en 11 morfotipos, colectados en 89 sitios, entre los 2300 y 3200 m.s.n.m., que corresponde a 10 provincias de la región andina de Ecuador. Los objetivos fueron conocer las características edafoclimáticas y geofísicas, identificar materiales tolerantes a condiciones adversas e identificar zonas de conservación y producción. La caracterización ecogeográfica se realizó mediante la herramienta ELC mapas de CAPFITOGEN, basado en 12 variables: cinco climáticas, cinco edáficas y dos geofísicas, seleccionadas por dos métodos: generalista mediante consulta a expertos, y de manera específica, por métodos estadísticos Análisis de Componentes Principales (ACP). De las 26 categorías ecogeográficas en que clasificó el país, 12 categorías se manifiestan en la zona de estudio de la región andina ecuatoriana. Encontrándose la especie únicamente en cuatro categorías 5, 6, 7 y 10; siendo la categoría 5 la que alberga el 83,0% de las accesiones. El morfotipo 7 resultó ser el más flexible por su adaptabilidad, presentándose en las cuatro categorías. Por otro lado, los puntos de colecta revelaron valores de: precipitación anual entre 520 y 1234 mm, rango de temperatura anual entre 10,4 y 14,9° C, suelos moderadamente profundos, bajos en contenido de materia orgánica, con un pH entre 5,5 y 7,9, y una pendiente del terreno entre 0,3 y 10,3°. Además, mediante el empleo de las 12 variables y los puntos de colecta se realizó un modelo predictivo MaxEnt, que identificó como altamente potenciales tres provincias de la zona centro del País: Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo sin descartar las demás, salvo la provincia de Loja que reveló bajas posibilidades para conservar y producir esta especie.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización ecogeográfica se puede realizar mediante la compilación de variables ambientales como: precipitación, temperatura, características de los suelos, entre otros, que se denominan “descriptores ecológicos”, al igual que en una caracterización morfoagronómica, bioquímica o genética. (Steiner y Greene, 1996, Parra-Quijano *et al.*, 2008). La combinación de la información fenotípica, geográfica y ecológica, ayudará tanto a fitomejoradores como a agricultores en la selección de especies que se puedan adaptar a condiciones ambientales particulares abaratando costos (McCouch, 2013). Para el 2050, por el crecimiento de la población, la producción agraria se deberá de incrementar en un 60% para el abastecimiento de alimentos adaptándose a los cambios climáticos y a su vez garantizar la seguridad alimentaria (FAO 2016). Así, en las últimas décadas los fitomejoradores han logrado incrementar la producción agrícola en un 30%, mediante la combinación de genes de especies cultivadas con parientes silvestres (Pimentel *et al.*, 1997).

La caracterización ecogeográfica de los recursos fitogenéticos permite complementar la información genotípica y fenotípica utilizando directamente los puntos de recolección asignándoles categorías a partir de mapas (Parra-Quijano *et al.*, 2011a). En la actualidad se entiende como un análisis de información ambiental del sitio donde se desarrolla una especie o conjunto de especies, identificando sus rangos de adaptabilidad (Parra-Quijano *et al.*, 2012b). Por lo tanto, en la conservación de la diversidad está implícita la conservación de la diversidad geográfica (Phillips *et al.*, 2016).

Producto del cambio climático, la temperatura en los próximos 40 años se incrementará entre 2° y 3°C, de modo que todas las áreas agrícolas quedarán afectadas (Hatfield, 2013). Tanto la temperatura

como la escasez de agua, influyen en las plantas en sus procesos fisiológicos y moleculares convirtiéndose en factores abióticos estresantes (Osakabe *et al.*, 2013). Las especies arbóreas, a diferencia de las herbáceas anuales, se enfrentan a condiciones de estrés en repetidas ocasiones por su longevidad durante un mayor período (Tuskan *et al.*, 2006).

Independientemente del objetivo que persiga el gestor de los recursos fitogenéticos, se requiere un conocimiento de las variables climáticas y geográficas que influyen en el desarrollo y adaptación de cada una de las especies vegetales de interés (Vogel *et al.*, 2005). La integración de la información de naturaleza abiótica combinada con la de naturaleza biótica dio lugar al concepto de ecorregión que podía ser representada en forma de mapas (Crowley, 1967) y que Bailey (2005) complementó con el sistema de redes jerárquicas que facilita la clasificación regional de germoplasma.

La representación cartográfica de distinta información biológica favorece la comprensión y su interpretación. Así la necesidad de obtener mapas con esta información propició el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica –SIG– (Buzai, 2017), que desde su aparición constituyen una herramienta fundamental en la ordenación del territorio y gestión de los recursos naturales (Nieto, 2010). Por ejemplo, Hijmans y Spooner (2001) analizaron la distribución geográfica de patatas silvestres (Solanaceae, *Solanum* Sect. *Petota*) utilizando datos de observaciones georreferenciadas por bancos de germoplasma. Y más recientemente Parra-Quijano *et al.* (2015) desarrolla el programa CAPFITOGEN con la herramienta ELC mapas (mapas de caracterización ecogeográfica del terreno), con el objetivo de obtener mapas de caracterización ecogeográfica que muestren lugares de adaptación para una determinada especie.

Entre los principales estudios en esta área podemos destacar: i) evaluación y validación de colecciones ecogeográficas utilizando datos fenotípicos de la colección española de *Phaseolus vulgaris* L. (Parra-Quijano *et al.*, 2011b); ii) elaboración de estrategias para el desarrollo de colecciones básicas utilizando seis especies de *Lupinus* en España y las Islas Baleares (Parra-Quijano *et al.*, 2011a); iii); en China, Li *et al.* (2013) determinaron sitios potenciales con estrés abiótico atendiendo a la caracterización de sitios de recolección de germoplasma de *Pisum sativum* L. (guisante); iv) y más recientemente, podemos mencionar el análisis de la diversidad *in situ* y *ex situ* de parientes silvestres de cultivos prioritarios en Noruega (Phillips *et al.*, 2016).

En Ecuador, Tapia *et al.* (2015) son pioneros en realizar un análisis ecogeográfico con datos pasaporte del banco de semillas de una colección de 1186 accesiones, que corresponden a 26 razas de *Zea mays* L. (maíz) en su búsqueda a la adaptación de estrés abiótico. El resultado de esta investigación reveló la presencia de dicha especie en 28 de 56 categorías en que se clasificó la región andina de Ecuador. Posteriormente, Naranjo (2017) en su estudio de caracterización ecogeográfica de tres especies de tubérculos andinos, con el apoyo de la herramienta ELC mapas de CAPFITOGEN, definió 22 categorías adaptativas para *Ullucus tuberosus* Caldas (melloco), y 18 para *Oxalis tuberosa* Molina (oca) y *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. (mashua).

En Ecuador, *Prunus serotina* Ehrh subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh es una especie con mucha prospección por sus diferentes usos como frutal, maderero y sanitario. A pesar de su importancia cultural y comercial, pocas investigaciones se han realizado hasta hoy en día, por lo que la falta de información limita su explotación. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF), en el año 2012 y 2013 realizó una caracterización morfoagronómica *in situ* y colecta de germoplasma, en toda la región andina de Ecuador, basándose en sitios

georreferenciados entre los años 1983 a 1986, con el objetivo de conservar esas semillas en el banco de germoplasma. En la investigación realizada por Chucuri (2014) se identificaron 147 entradas (accesiones). El análisis estadístico multivariado identificó seis descriptores cualitativos y uno cuantitativo altamente discriminantes, el agrupamiento jerárquico de Ward formó tres grupos y 11 morfotipos. Además, Guadalupe *et al.* (2015) realizaron un estudio molecular de 217 accesiones en ocho provincias de la sierra ecuatoriana, detectando un grado moderado de variación genética distinguiendo dos grupos genéticos potenciales. Sin embargo, hasta la actualidad se desconoce los requerimientos edafoclimáticos para su óptimo desarrollo.

El presente estudio tiene como objetivos conocer:

- 1) las características climáticas, edáficas y geofísicas discriminantes de las localidades de colecta de germoplasma;
- 2) identificar materiales con tolerancia a estrés abióticos (condiciones adversas como temperaturas extremas, aridez, salinidad, etc.); y,
- 3) detectar lugares con características edafoclimáticas potenciales para su producción y conservación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Especie de estudio

Prunus serotina Ehrh subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh [Brittonia 7: 308. 1951], comúnmente conocido como capulí (Figura 1), posee una raíz medianamente profunda, tallos conformados por troncos rectos, ramas ascendentes y arqueadas, de madera muy dura de color rojizo y corteza negra (McVaugh, 1951). Las hojas son alternas, lisas en ambas caras, lanceoladas, estipuladas, pecioladas y ovadas (Spier y Biederbick, 1980). Las flores están dispuestas en racimos, de color blanco con medidas de 10 a 15 cm de largo (Mille, 1942). El fruto es una drupa de mesocarpio carnoso con una sola semilla, que en su madurez presenta una coloración marrón púrpura (Geilfus, 1994). Su sabor fluctúa entre dulce y amargo (Popenoe y Pachano, 1922).

Esta especie, originaria de Norte América, se distribuye por el sur de Canadá, Estados Unidos, México, Guatemala, Ecuador, Perú hasta el sur de Bolivia (Fresnedo-Ramírez *et al.*, 2011). Su madera es apreciada por su dureza en el este de Estados Unidos y Canadá (Meilan *et al.*, 2001). También se encuentra en la parte central del continente europeo, en países como Alemania, Bélgica, Francia, Holanda, entre otros, donde fue introducida como una especie maderable y útil en silvicultura. Sin embargo, es una especie invasora a pesar de que algunos silvicultores alemanes creen en el cultivo mediante la aplicación de técnicas de manejo forestal (Starfinger *et al.*, 2003).

En Ecuador se distribuye a lo largo del callejón interandino, políticamente constituido por diez provincias, que de norte a sur son: Carchi, Imbabura y Pichincha (zona Norte), Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo (zona Centro), Cañar, Azuay y Loja (zona Sur) (Figura 2).



Figura 1. *Prunus serotina* subsp. *capuli* en Ecuador, a) árbol, b) hojas, c) tallo, d) flores y, e) frutos.

Hasta la fecha la variabilidad morfológica de la especie tipo ha sido tratada taxonómicamente de diferente manera, que McVaugh (1951), tras su revisión, concretó en cinco subespecies y dos variedades (Anexo 1). El interés etnobotánico de la especie, en sentido amplio, es muy alto al tratarse de una especie sometida a una presión selectiva artificial, por diferentes intereses agroalimentarios desde tiempos prehispánicos (Avendaño-Gómez *et al.*, 2015). Sin embargo, los estudios de su variabilidad fenotípica a nivel infraespecífico, varietal o de formas locales es escaso (Fresnedo-Ramírez *et al.*, 2011 –México-; Chucuri, 2014 –Ecuador-).

La variabilidad infraespecífica en Ecuador fue estudiada por Chucuri (2014), que con seis descriptores cualitativos y uno cuantitativo, estableció tres grupos fenotípicos principales (Anexo 2), que a su vez dieron origen a 11 morfotipos, que el autor denominaba “subgrupos”, identificándolos con las primeras letras del alfabeto en mayúscula de los que no aportaba más información y tampoco comentaba los valores de las variables que lo definen. En el presente trabajo se ha revisado

toda la información disponible en el INIAP para establecer las características principales de cada uno de los morfotipos (Tabla 1).

Tabla 1. Características cualitativas principales de los 11 morfotipos de *Prunus serotina* subsp. *capuli* en Ecuador.

Morfotipo	Hábito de crecimiento	Forma de la copa	Forma de las ramas	Base de la hoja	Color de la hoja	Color del pedúnculo floral	Forma del fruto	Forma de la semilla
1	Erguido Semi erguido Extendido Colgante	Aguda Obtusa Redonda	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde claro Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica Esférica redondeada
2	Erguido Extendido Colgante	Aguda Obtusa Redonda	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica Esférica redondeada
3	Erguido Semi erguido Extendido Colgante	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde claro Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica Esférica redondeada
4	Erguido Semi erguido Colgante	Recta Semirrecta Extendida	Recta Colgante	Aguda Obtusa	Verde oscuro	Verde claro	Elíptica Esférica	Elíptica estrecha Elíptica
5	Erguido Semi erguido Extendido	Semirrecta Extendida	Recta Extendida Colgante	Obtusa	Verde claro Verde oscuro	Verde claro	Elíptica Esférica	Elíptica
6	Semi erguido Extendido Colgante	Semirrecta Extendida	Extendida Colgante	Aguda	Verde claro Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica Esférica redondeada
7	Erguido Semi erguido	Recta Semirrecta	Recta	Aguda Obtusa	Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica Esférica redondeada
8	Erguido Semi erguido Extendido Colgante	Recta Semirrecta Extendida	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde claro Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica	Elíptica estrecho Elíptica Esférica redondeada
9	Erguido Semi erguido Extendido Colgante	Recta Semirrecta Extendida	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde claro Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica estrecha Elíptica Esférica redondeada
10	Erguido Semi erguido Extendido Colgante	Recta Semirrecta Extendida	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde claro Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica Esférica redondeada
11	Erguido Extendido Colgante	Recta Semirrecta Extendida	Recta Semirrecta Extendida Colgante	Aguda Obtusa	Verde oscuro	Verde claro Verde amarillento	Elíptica Esférica	Elíptica

Tabla 1 (continuación). Características cuantitativas principales (valores medios) de los 11 morfotipos de *Prunus serotina* subsp. *capuli* en Ecuador. (Se indican entre paréntesis los valores extremos: mínimo y máximo)

Morfotipo	Número de ramas secundarias	Ancho de la hoja (mm)	Porcentaje de materia seca	Peso del fruto (g)
1	(7,00)-15,57-(41,00)	(26,24)-34,41-(49,09)	(12,36)-16,74-(22,01)	(0,89)-1,96-(2,61)
2	(5,00)-8,00-(14,00)	(21,03)-33,13-(43,12)	(10,37)-17,02-(22,33)	(0,64)-1,96-(3,57)
3	(5,00)-10,87-(21,00)	(25,43)-33,93-(39,57)	(10,86)-17,35-(20,71)	(0,78)-1,49-(2,16)
4	(8,00)-12,00-(17,00)	(26,95)-31,57-(35,68)	(12,01)-14,04-(16,11)	(1,43)-2,07-(3,19)
5	(6,00)-11,50-(15,00)	(27,39)-36,77-(41,79)	(12,33)-16,99-(19,94)	(0,82)-1,68-(2,27)
6	(8,00)-11,88-(15,00)	(30,73)-33,42-(37,63)	(11,69)-16,24-(20,41)	(1,32)-2,06-(3,63)
7	(4,00)-7,40-(13,00)	(22,74)-34,11-(40,49)	(14,71)-19,15-(22,93)	(0,62)-1,38-(2,90)
8	(5,00)-9,77-(17,00)	(24,12)-33,14-(38,74)	(10,92)-17,44-(22,76)	(0,46)-1,33-(2,23)
9	(3,00)-8,80-(18,00)	(26,53)-33,38-(45,89)	(12,13)-17,34-(20,47)	(0,85)-1,65-(2,39)
10	(5,00)-10,08-(21,00)	(26,54)-39,11-(81,71)	(10,69)-16,85-(20,43)	(0,77)-2,02-(4,44)
11	(7,00)-12,00-(28,00)	(30,16)-37,72-(47,54)	(18,46)-19,69-(21,95)	(1,22)-1,87-(2,59)

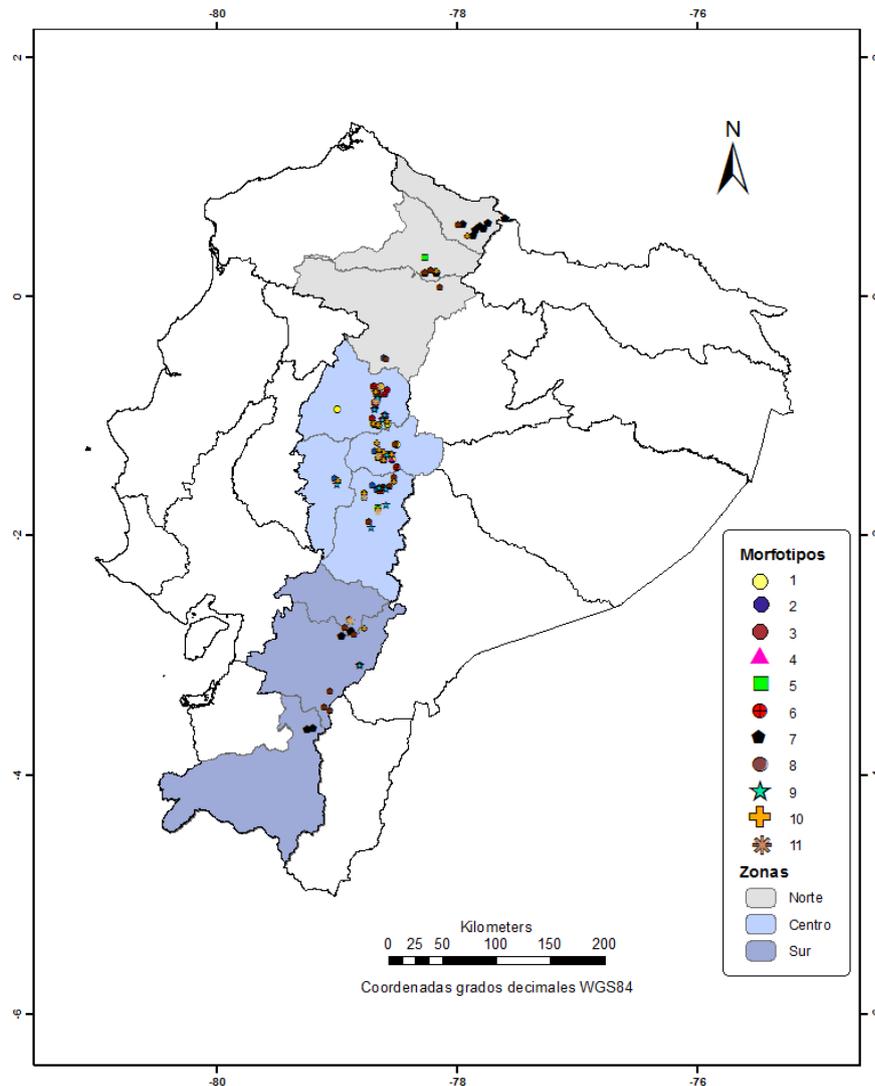


Figura 2. Puntos de colecta de *Prunus serotina* subsp. *capuli* en Ecuador indicando los morfotipos asignados.

2.2. Área de estudio

El área de estudio comprende la región Sierra de Ecuador, que forma parte de la vertiente extrema de los Andes occidentales y cuenca interandina, barrera montañosa con una alta presencia de volcanes a excepción de la parte sur. Las variadas condiciones topográficas favorecen la existencia de gran diversidad de microclimas y a su vez de especies; Jørgensen y León-Yáñez (1999) reportan 9865 especies para toda la región andina, lo que representa el 64,4% de la diversidad de la flora vascular de Ecuador. Las temperaturas varían según la altitud desde 22°C en las zonas más bajas entre 1200 y 2500 m.s.n.m., hasta valores inferiores a 10°C en las más elevadas a partir de los 3200 m.s.n.m., con oscilación de temperaturas extremas durante un mismo día. La precipitación que varía entre los 710 y 2975 mm, está influenciada por las corrientes marinas: caliente del Niño y fría de Humboldt. Además, se distinguen dos estaciones lluviosas (marzo - junio) y (octubre - diciembre) (Winckell *et al.*, 1997). Los suelos que se desarrollaron a partir de cenizas volcánicas, evidencian moderada evolución y presentan un apreciable contenido de alófono (arcilla amorfa), baja densidad aparente (<0,85 g/cc) y alta fijación de fósforo; la mayoría tiene una capa orgánica muy gruesa de hasta 48 cm de espesor (Calvache, 2015). Además, posee un relieve irregular, la pendiente en la mayoría de las zonas como valles y planicies son inferiores a (5°), sin embargo, en zonas de montaña pueden variar entre (15° y 25°) (Tapia *et al.*, 2015).

2.3. Muestreo

Entre los años 2012 y 2013, se realizó el muestreo de 147 accesiones (Tabla 2, Anexo 3), basándose en los sitios referenciados entre los años 1983 - 1986 por el INIAP, elaborando la denominada "tabla de datos pasaporte" según las directrices de FAO/Biodiversity (2012). La ubicación geográfica se registró con un receptor GPS Garmin 62sc en

coordenadas geográficas (grados, minutos, segundos), sistema de proyección WGS84.

2.4. Evaluación de datos y variables asociadas

La validación de la calidad de las coordenadas geográficas del lugar referenciado en el muestreo, se realizó por medio de la herramienta GEOQUAL de CAPFITOGEN versión 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015), que evalúa la calidad de los datos en cada sitio de recolección, asignando un valor a cada punto según la exactitud de sus coordenadas, de manera que, cuanto más alto sea su valor (TOTALQUAL 100), mayor será su grado de certeza; se considera aceptable a partir de 60. En las accesiones de *P. serotina* el valor más bajo fue de 87,5, y la media en las 147 accesiones fue de 94,98.

Zona	N° de accesiones totales	Morfotipos presentes	N° de accesiones por morfotipo	Frecuencias (%)		Colectores	Accesiones
				Zona	Área total		
Norte	26	2	4	15,38	2,72	Monteros, A. Chucuri, J.	2
		3	1	3,85	0,68		
		5	1	3,85	0,68	Tacán, M. Borja, E. Chucuri, J.	12
		7	11	42,31	7,48		
		8	6	23,08	4,08	Tacán, M. Chucuri, J.	12
		10	3	11,54	2,04		
Centro	104	1	13	12,50	8,84	Borja, E. Chucuri, J.	44
		2	12	11,54	8,16		
		3	14	13,46	9,52		
		4	4	3,85	2,72	Borja, E. Villarroel, J. Chucuri, J.	58
		5	5	4,81	3,40		
		6	8	7,69	5,44		
		8	10	9,62	6,80		
		9	13	12,50	8,84	Monteros, A. Chucuri, J.	2
		10	20	19,23	13,61		
		11	5	4,81	3,40		
Sur	17	1	1	5,88	0,68	Borja, E. Villarroel, J. Chucuri, J.	17
		3	1	5,88	0,68		
		7	4	23,53	2,72		
		8	6	35,29	4,08		
		9	2	11,76	1,36		
		10	1	5,88	0,68		
		11	2	11,76	1,36		
Total	147	11			100		147

A continuación, se procedió a la captura de las variables ecogeográficas por medio de la herramienta SelecVar de CAPFITOGEN versión 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015), que accede a 105 variables en distintas bases de datos accesibles desde Internet (Tabla 3, Anexo 4).

Tabla 3. Formato y fuente de las variables ecogeográficas.			
Nº de variables	Capas	Fuente	Formato
67	Climáticas	WorldClim	Ráster
7	Geofísicas	Shuttle Radar Mission	Ráster
31	Edáficas	MAGAP	Vectorial

2.5. Selección de variables

Dado que las 105 variables capturas previamente no tienen el mismo valor discriminatorio (objetivo 1), se procedió a seleccionar las variables de tres modos:

- Método A) Este modo, que se podría denominar “generalista”, consiste en consultar a expertos en esta especie qué variables de las disponibles son las que se consideran *a priori* las más importantes. Por correo electrónico se solicitó la opinión a Aníbal Martínez y Pablo Viteri del Programa Nacional de Fruticultura de INIAP, posteriormente en INIAP - DENAREF mediante un debate entre César Tapia, Edwin Naranjo y el autor de este trabajo, se llegó a un consenso (véase Parra-Quijano *et al.*, 2012a). Con este método se seleccionaron 20 variables (Tabla 4).
- Método B) Este modo, denominado “específico”, consiste en la aplicación de algún procedimiento estadístico para la selección. Se aplicó un Análisis en Componentes Principales (ACP) a la matriz de datos de 147 accesiones por 105 variables, es decir se consideraron todas las variables capturadas. Este método aportó 19 variables (Tabla 4).

- Método C) Procediendo como en el método anterior, pero aplicando un ACP atendiendo a la cualidad de las variables: precipitaciones (147 accesiones por 20 variables), temperaturas (147 accesiones por 47 variables), edáficas (147 variables por 31 variables) y geofísicas (147 variables por 7 variables). Las variables seleccionadas se corresponden con las componentes extremas de los vectores propios que recapitulan una varianza total acumulada del 95% para ambos métodos. Con este último método se seleccionaron 25 variables (Tabla 4).

En estudios precedentes, se empleó el método de consulta junto con el análisis de la correlación entre las variables y su clasificación en dos pasos según su cualidad (Tapia *et al.*, 2015) o con la aplicación de un test de colinealidad seguido de un ACP (Phillips *et al.*, 2016) para seleccionar finalmente un conjunto reducido de variables (12 y 13 variables, respectivamente) aplicables a otros análisis posteriores (elaboración de mapas de caracterización ecogeográfica y/o predicciones de áreas de distribución), que coincidían en los distintos procedimientos de selección aplicados.

En el presente estudio, la combinación de los tres métodos da lugar a un conjunto de 40 variables (Tabla 4). Al tratarse de un número muy extenso se procedió a seleccionar aquellas variables coincidentes en los tres métodos (7 variables), incorporando otras variables atendiendo al estudio de las matrices de correlación de Pearson para las variables climáticas y geofísicas, así como el coeficiente de correlación de Spearman para las variables edáficas obtenidas en los distintos grupos (5 variables). Finalmente fueron seleccionadas 12 variables: cinco climáticas, cinco edáficas y dos geofísicas (Tabla 4).

Los ACP fueron ejecutados en la herramienta SelecVar de CAPFITOGEN versión 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015), si bien, de

manera ocasional se ejecutaron en NTSYS-pc versión 2.21 (Rohlf, 2005) o PAST versión 3.12 (Hammer *et al.*, 2001), tipificando las variables en análisis (Podani, 2000). Las matrices de correlación (Pearson y Spearman) con su significación fueron calculadas con SPSS versión 24 (IBM 2016).

Tabla 4. Variables seleccionadas atendiendo a los métodos considerados.					
Nº	Variables	Método A	Método B	Método C	Variables seleccionadas
1	Precipitación anual	1	1	1	1
2	Precipitación marzo	0	0	1	0
3	Precipitación mayo	1	0	0	0
4	Precipitación junio	1	0	0	0
5	Precipitación julio	1	1	1	1
6	Precipitación agosto	1	0	0	0
7	Precipitación septiembre	0	0	1	0
8	Precipitación noviembre	0	0	1	0
9	Estacionalidad en precipitación	1	1	1	1
10	Precipitación cuarto más frío	1	0	1	0
11	Precipitación mes más seco	0	0	1	0
12	Temperatura media anual	1	0	1	0
13	Rango de temperatura anual	1	1	0	1
14	Isotermalidad	0	0	1	0
15	Estacionalidad en la temp.	1	1	1	1
16	Rango medio temperatura anual	1	0	1	0
17	Temperatura mínima mes más frío	1	0	0	0
18	Temperatura media marzo	0	1	0	0
19	Arena en suelo	1	0	0	0
20	Limo en suelo	1	0	0	0
21	Arcilla en suelo	1	0	0	0
22	Arcila en subsuelo	0	0	1	0
23	Densidad aparente suelo	0	0	1	1
24	Profundidad suelo	1	0	0	1
25	Materia orgánica	0	1	1	1
26	Grava en suelo	0	1	0	0
27	Grava en subsuelo	0	0	1	0
28	pH suelo	1	1	1	1
29	Salinidad en suelo	1	0	0	0
30	CIC suelo	0	1	0	1
31	CIC subsuelo	0	0	1	0
32	Saturación suelo	0	1	0	0
33	Sodicidad suelo	0	1	1	0
34	Sodicidad subsuelo	0	1	1	0
35	Altitud sobre el mar	1	1	1	1
36	Pendiente	1	1	1	1
37	Latitud	0	1	1	0
38	Longitud	0	1	1	0
39	Orientación	0	1	0	0
40	Norticidad	0	1	1	0
Totales		20	19	25	12
<p>Valor (1) representa las variables seleccionadas en el método correspondiente. Valor (0) representa las variables no seleccionadas en el método correspondiente o descartadas en la selección final.</p>					

2.6. Caracterización ecogeográfica

La herramienta ELC mapas CAPFITOGEN versión 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015), permite elaborar mapas de caracterización del terreno mediante la integración de paquetes de R (Gentleman y Ihaka, 2000). Este software, posee una amplia capacidad de cálculo estadístico y potencia gráfica, que permite integrar SIG y análisis multivariado. Los mapas ELC (objetivo 2) fueron generados a partir de la combinación de diferentes agrupamientos basados en la extracción de variables del punto anterior.

Considerando la superficie del país es de 256.370 km² (Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Pública, 2013), se optó por trabajar con una resolución de cuadrículas de 1 x 1 km (30 arc-segundos), utilizando el método de "elbow" o "codo", para su caracterización, que emplea el algoritmo de agrupamiento "K-means" con determinación del punto de corte en la disminución de la suma de cuadrados intragrupo (Ketchen y Shook, 1996).

2.7. Tratamiento de las variables edáficas seleccionadas

Los valores de las variables edáficas profundidad de referencia del suelo, materia orgánica y pH del suelo, fueron categorizados atendiendo a la propuesta del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE, 2017) (Tablas 5, 6 y 7), mientras que la densidad aparente de resistencia en la superficie y capacidad de intercambio catiónico, se fundamentó en las categorías elaboradas por Schargel y Delgado (1990) (Tablas 8 y 9).

Tabla 5. Categorización de la variable profundidad del suelo.		
Orden	Categoría	Rango
1	Superficial	0 - 20 cm
2	Poco profundo	20 - 50 cm
3	Moderadamente profundo	50 - 100 cm
4	Profundo	> 100 cm

Tabla 6. Categorización de la variable contenido de materia orgánica.

Orden	Categoría	Rango
1	Muy bajo	< 1 %
2	Bajo	1 - 2 %
3	Medio	2 - 4 %
4	Alto	4 - 10 %
5	Muy alto	> 10 %

Tabla 7. Categorización de la variable pH en el suelo.

Orden	Categoría	Rango
1	Muy ácido	< 4,5
2	Ácido	4,5 - 5,5
3	Ligeramente ácido	5,6 - 6,5
4	Neutro	6,6 - 7,4
5	Moderadamente alcalino	7,8 - 8,5

Tabla 8. Categorización de la variable capacidad de intercambio catiónico.

Orden	Categoría	Rango
1	Muy bajo	< 6
2	Bajo	6 - 12
3	Medio	12 - 25
4	Alto	25 - 40
5	Muy alto	> 40

Tabla 9. Categorización de la variable densidad aparente de resistencia del suelo.

Orden	Categoría	Rango
1	Fina (arcillosos)	1,00 - 1,30 Mg m ⁻³
2	Media (francos)	1,30 - 1,50 Mg m ⁻³
3	Gruesa (arenosos)	1,50 - 1,70 Mg m ⁻³

2.8. Identificación de áreas potenciales de adaptación

Con objeto de identificar áreas potenciales de adaptación y producción de la especie (objetivo 3), se procedió al modelado de la distribución espacial de las presencias de la especie mediante el algoritmo de máxima entropía (Phillips *et al.*, 2004; 2006) en el programa MaxEnt versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2017), que calcula la

distribución más probable para la especie considerando los puntos de presencia como variable dependiente, y las variables ecogeográficas como independientes (Franklin, 2009) (Anexo 5). Se trata de un método de modelización ampliamente utilizado (Elith y Leathwick, 2009) en diferentes campos relacionados con la biogeografía, la biología de la conservación y la ecología, donde las observaciones no se han realizado de manera sistemática (Elith *et al.*, 2011). La valoración de la calidad del modelo se realizó en función del valor AUC (área bajo la curva), asumiendo que el modelo es suficientemente preciso cuando está por encima de 0,7 (Newbold *et al.*, 2009).

Toda la información geoespacial fue elaborada y tratada en el programa ArcGIS versión 10.2.2 (ESRI, 2015).

3. RESULTADOS

Las 147 accesiones de *P. serotina* subsp. *capuli* estudiadas fueron colectadas en 89 ubicaciones a lo largo de los andes ecuatorianos y se corresponden con 11 morfotipos (Tabla 1, Figura 2), siendo el número de accesiones para cada uno de los morfotipos diferente (Tabla 2).

3.1. Distribución regional de morfotipos y variables ecogeográficas

Los descriptivos de las variables para todas las accesiones de *P. serotina* subsp. *capuli* se muestran en la Tabla 10. Las variables con un mayor coeficiente de variación ($\geq 30\%$) han resultado ser: la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, la pendiente, la precipitación del mes de julio, la estacionalidad de las temperaturas y la estacionalidad de la precipitación.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de las variables estudiadas para los morfotipos de <i>P. serotina</i> subsp. <i>capuli</i> .				
Variables	CV	Mín - Máx	1stQU - 3rdQu	Med \pm DE
Precipitación anual	23,74	520-1234	563,8-811,5	705,6 \pm 167,52
Precipitación julio	53,31	7,3-98	19,7-44,05	33,29 \pm 17,74
Estacionalidad en precipitación	30,45	14,67-71	25-40,67	33,49 \pm 10,2
Rango temp. anual	7,00	10,4-14,9	13-14,1	13,38 \pm 0,94
Estacionalidad en la temp.	34,74	14,7-78,3	36,17-64,7	49,33 \pm 17,14
Densidad aparente del suelo	7,55	1,2-1,7	1,6-1,7	1,59 \pm 0,12
Profundidad del suelo	8,22	30-100	100-100	99,05 \pm 8,14
Materia orgánica en suelo	85,69	0,5-6	0,9-1	1,26 \pm 1,08
pH del suelo	7,93	5,2-7,9	6,2-6,6	6,29 \pm 0,5
CIC del suelo	68,91	7-39	7-7	9,48 \pm 6,54
Altitud	6,43	2320-3190	2710-2995	2840 \pm 182,52
Pendiente	67,67	0,33-10,25	1,5-4,71	3,38 \pm 2,29

CV: Coeficiente de variación. Mín: Valor mínimo. Máx: Valor máximo. 1stQU: primer cuartil. 3rdQu: tercer cuartil. Med: Media. DE: Desviación típica.

Considerando las zonas de la región Sierra de Ecuador, la zona Centro concentra la mayor diversidad, pues se presentan todos los morfotipos salvo el morfotipo 7, propio de las zonas Norte y Sur. Los morfotipos 4 y 6 se encuentran únicamente en la zona Centro, mientras que los morfotipos 3, 8 y 10 están distribuidos en las tres zonas. El resto de morfotipos (2, 3, 5, 7, 9 y 11) están distribuidos en dos de las tres zonas. (Figura 3).

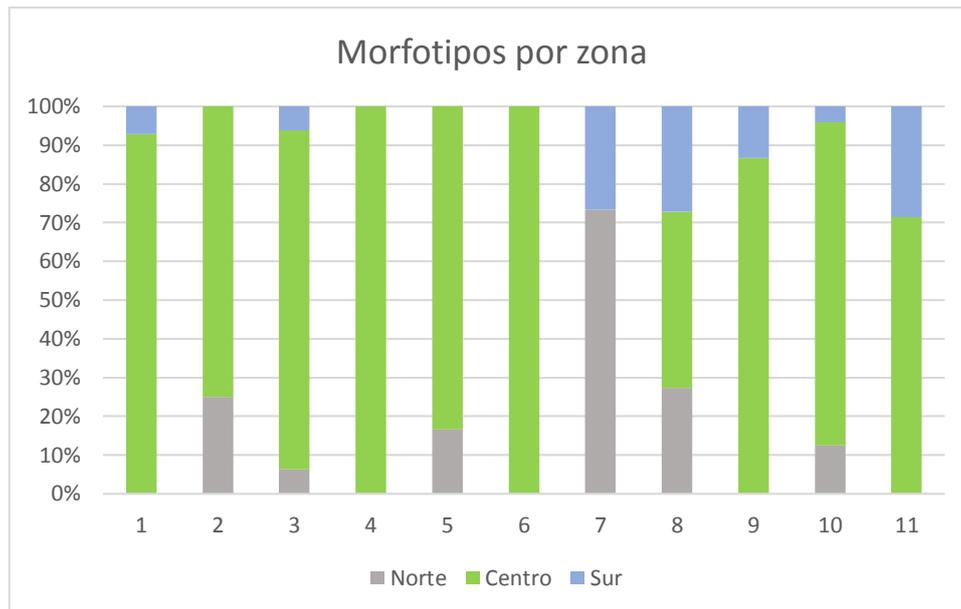


Figura 3. Distribución de los morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli* por las zonas Norte, Centro y Sur de los Andes ecuatorianos.

En cuanto a las diferencias entre los morfotipos considerando las distintas variables seleccionadas (Figuras 4, 5 y 6), no se han encontrado diferencias significativas ($p \geq 0,05$) en el análisis de ANOVA de un factor con un test de comparaciones múltiples de Tukey para las variables altitud, pendiente, estacionalidad de la precipitación, estacionalidad de la temperatura, contenido de carbono orgánico en superficie, capacidad de intercambio catiónico en superficie, pH en el suelo. Mientras que sí se han detectado diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en las variables precipitación anual (entre todos los morfotipos y el morfotipo 7, excepto entre los morfotipos 7 y 11, $p = 0,092$), precipitación media de julio (sólo entre los morfotipos 3 y 7, $p \leq 0,013$), rango de temperatura anual (entre todos los morfotipos y el morfotipo 7, excepto con los morfotipos 6 y 11; entre los morfotipos 5 y 8, $p \leq 0,041$) (Figura 4), densidad aparente en superficie (el morfotipo 7 es diferente a los morfotipos 2 y 6, $p = 0,026$; y al morfotipo 3, $p = 0,041$) y profundidad de referencia (el morfotipo 7 es

diferente a los morfotipos 2 y 3, $p = 0,048$; al morfotipo 8, $p = 0,023$; y al morfotipo 10, $p = 0,019$) (Figura 5).

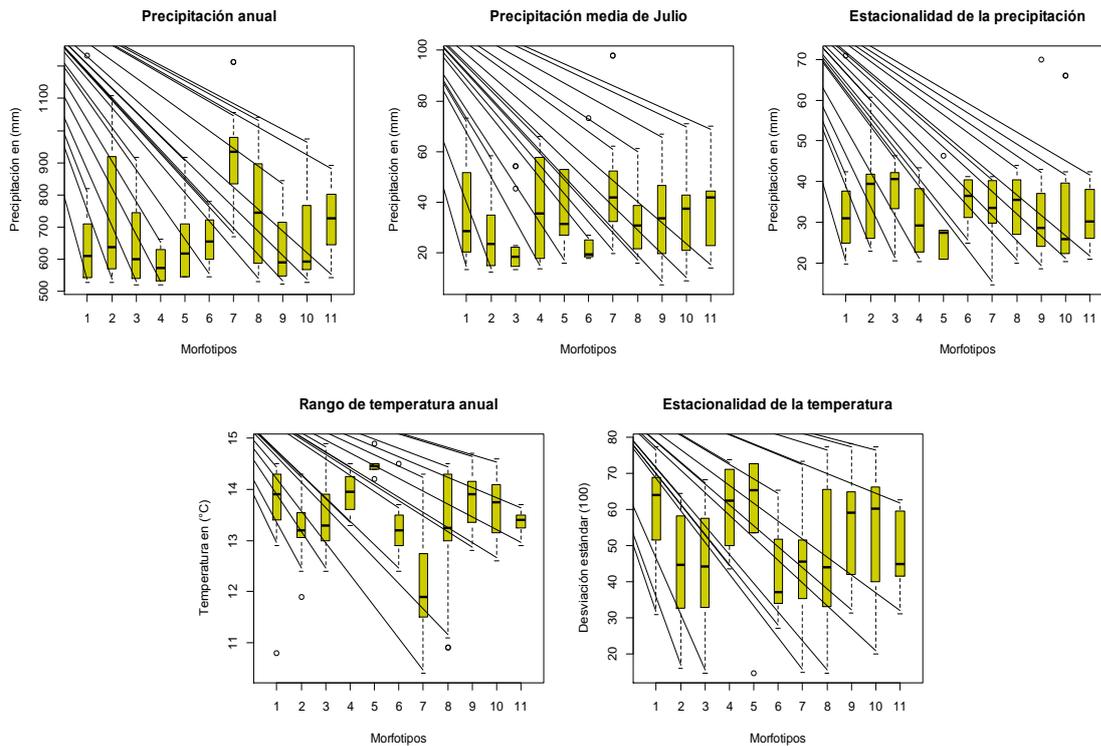


Figura 4. Variables climáticas para morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli*.

Las afinidades entre los 11 morfotipos basadas en estas 12 variables ecogeográficas (Anexo 6) dan lugar a tres grupos (Anexo 6a): el grupo 1 formado por los morfotipos 7 y 8, que están influenciados por las variables precipitación anual, capacidad de intercambio catiónico en superficie, y contenido de materia orgánica en superficie; el grupo 2 formado por los morfotipos 1, 4, 5, 9, 10 y 11, influenciados por las variables estacionalidad de la temperatura, rango de temperatura anual, precipitación de julio y la pendiente del terreno; y el grupo 3 formado por los morfotipos 2, 3 y 6, que lo son por las variables estacionalidad de la precipitación, densidad aparente y pH en superficie, y altitud (Anexo 6b).

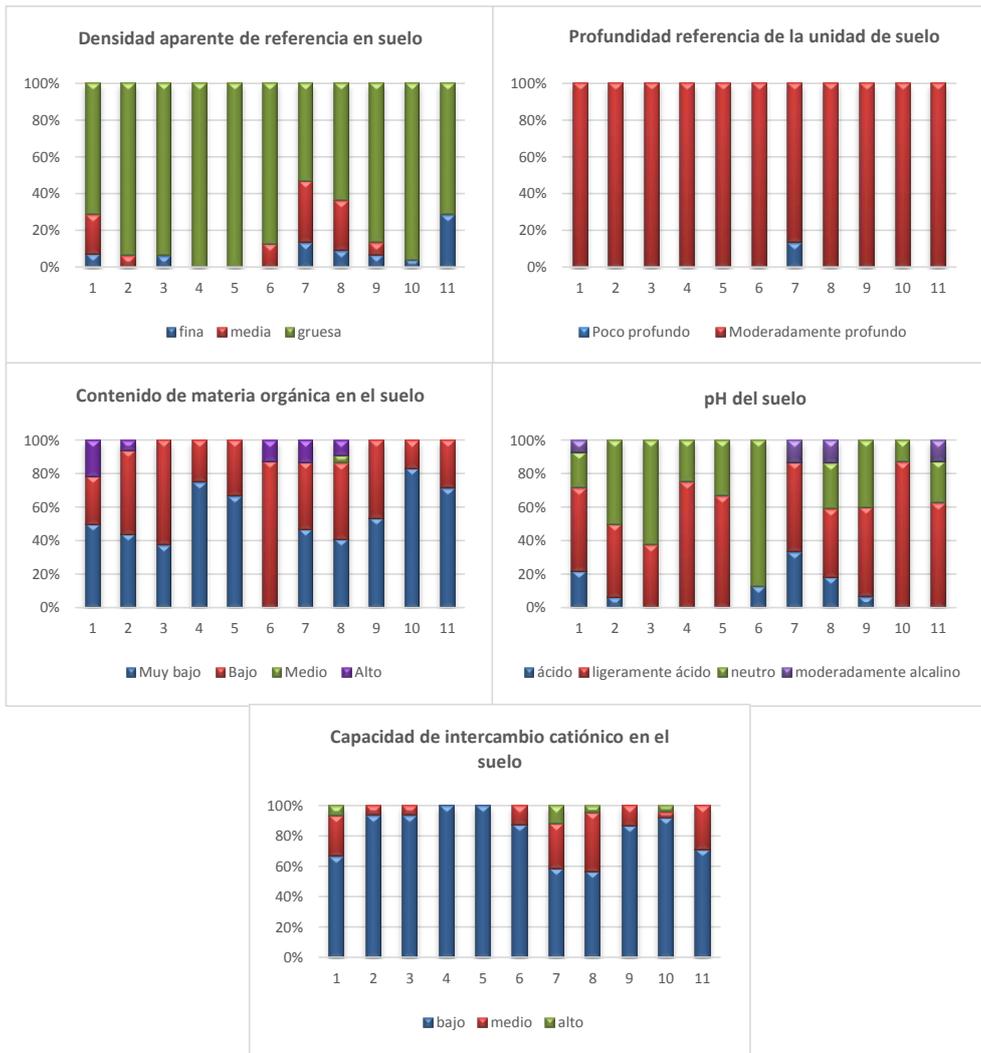


Figura 5. Variables edáficas para los morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli*.

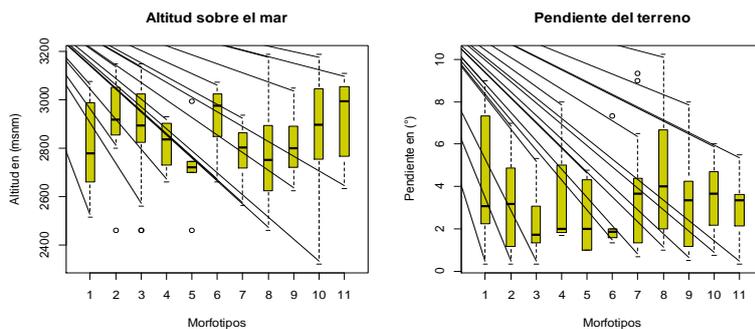


Figura 6. Variables geofísicas para los morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli*.

3.2. Mapa de caracterización ecogeográfica

La superficie de Ecuador ha quedado clasificada en 26 categorías ecogeográficas considerando las 12 variables seleccionadas (Tabla 4). Dado que la distribución de *P. serotina* subsp. *capuli* está acotada por una altitud mínima (2300 m.s.n.m.) y máxima (3200 m.s.n.m.), únicamente 12 categorías ecogeográficas quedan representadas en el área de estudio (Figura 7, Anexos 7 y 8).

Las muestras de capulí se encuentran en cuatro de estas categorías (Tabla 11). La categoría 5 alberga el 83% de la población con presencia de todos los morfotipos de la especie, comprobándose que los morfotipos 4, 5 y 6 son exclusivos de esta categoría. El morfotipo 7 se ha presentado en todas las categorías, mientras que los morfotipos 8, 9 y 10 están presentes en tres de las cuatro categorías. Los demás morfotipos se manifiestan en dos categorías, si bien es mucho más elevada su presencia en la categoría 5.

Tabla 11. Distribución de los morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli* en las categorías ecogeográficas (mapa ELC).

Morfotipos	Categorías				Total	Total %
	5	6	7	10		
1	13	1			14	9,52
2	15			1	16	10,88
3	15	1			16	10,88
4	4				4	2,72
5	6				6	4,08
6	8				8	5,44
7	5	2	4	4	15	10,20
8	16	4	2		22	14,97
9	13	1	1		15	10,20
10	22	1		1	24	16,33
11	5	2			7	4,76
Total	122	12	7	6	147	100
Total %	83,0	8,16	4,76	4,08	100	

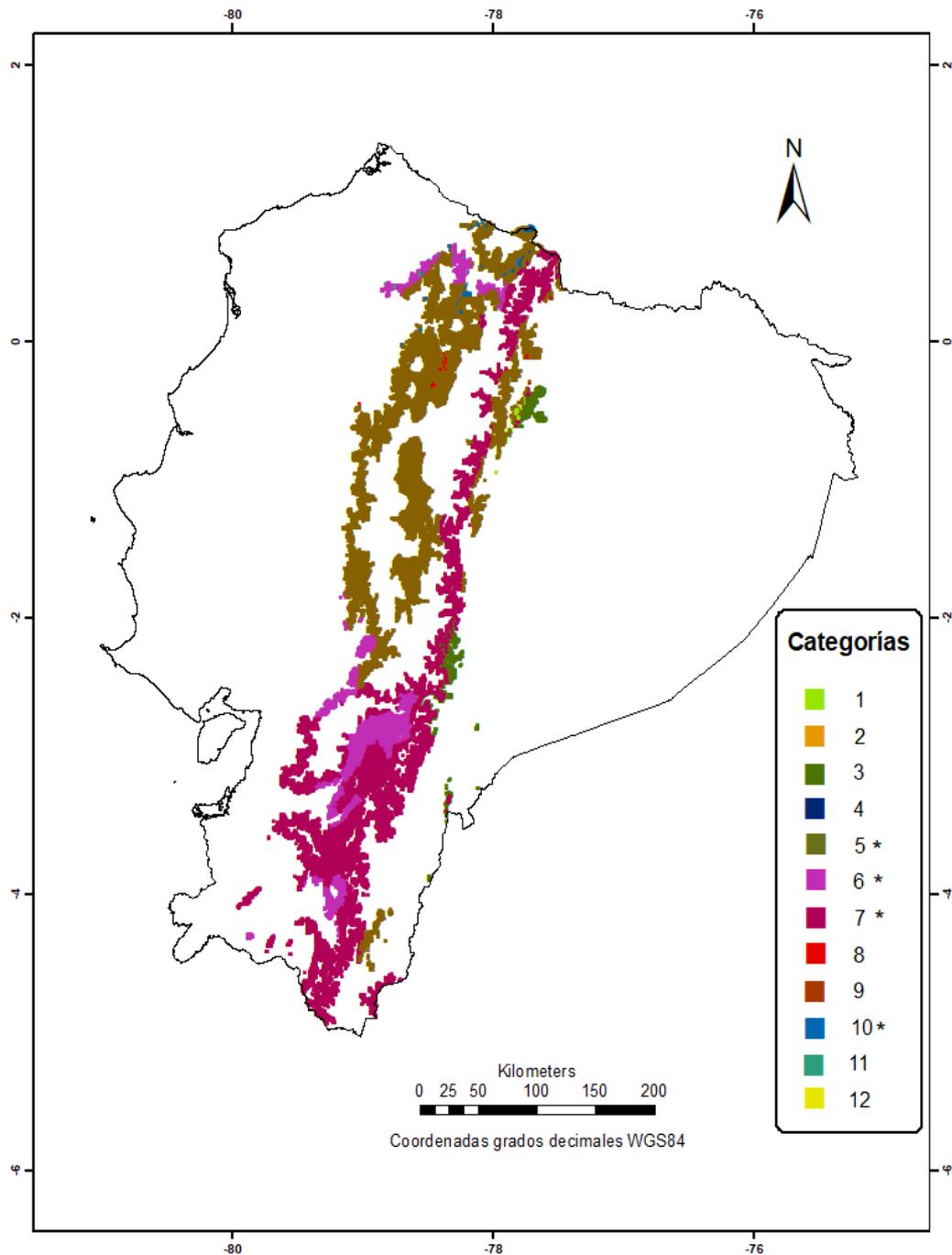


Figura 7. Mapa (ELC) de caracterización ecogeográfica. Las categorías con asterisco indican presencia *P. serotina* subsp. *capuli*. Los límites altitudinales de la especie se encuentran entre los 2300 y 3200 m.s.n.m. por lo que el resto de Ecuador aparece en color blanco.

Considerando exclusivamente las categorías ecogeográficas donde se presenta capulí (Anexo 8), en el análisis de ANOVA de un factor con un test de comparaciones múltiples de Tukey, se han detectado diferencias significativas para todas las categorías ecogeográficas considerando las variables seleccionadas. Así, en el caso de la

estacionalidad de la temperatura, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y pH en superficie, todas las categorías son diferentes entre sí ($p \leq 0,001$). Mientras que para el resto de las variables, algunas categorías no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$), como es el caso de: la estacionalidad de la precipitación, la categoría 7 no es distinta de la 10 ($p = 0,969$); la precipitación anual, la categoría 6 no es distinta de la 10 ($p = 0,057$); la precipitación de julio, la categoría 5 no es distinta de la 6 ($p = 1,000$); la estacionalidad de la temperatura, donde la categoría 5 no difiere de la 10 ($p = 0,283$) y la categoría 6 de la 7 ($p = 207$); la densidad aparente en superficie, la categoría 5 no es distinta de la 10 ($p = 0,633$); la profundidad del suelo, la categoría 5 no difiere de la 6, ni de la 10 ($p = 0,435$, $p = 0,283$, respectivamente), y la categoría 6 no es distinta de la 10 ($p = 0,822$); y, finalmente, la altitud, en la que la categoría 5 no es distinta de la 7 ($p = 0,964$), y la categoría 6 lo es de la 10 ($p = 0,122$).

3.3. Identificación de zonas de conservación y producción

Los resultados revelan que el modelo utilizado se ajusta perfectamente, al haber obtenido un valor AUC 0,955 (Anexo 9). Además, todas las variables contribuyen positivamente para este modelo, siendo las de mayor aportación la capacidad de intercambio catiónico, la pendiente del terreno y el rango de temperatura anual. Mientras que las de menor contribución fueron el contenido de materia orgánica y la precipitación del mes de julio (Anexo 10).

Por otra parte, la prueba de Jackknife ha resaltado la importancia que el pH del suelo tiene cuando se considera de manera aislada, así como que la estacionalidad de la precipitación es la variable con menor importancia considerada aisladamente (Anexo 11). Se puede apreciar que las variables edáficas tienen un efecto mayor que las bioclimáticas, con la excepción de la precipitación anual.

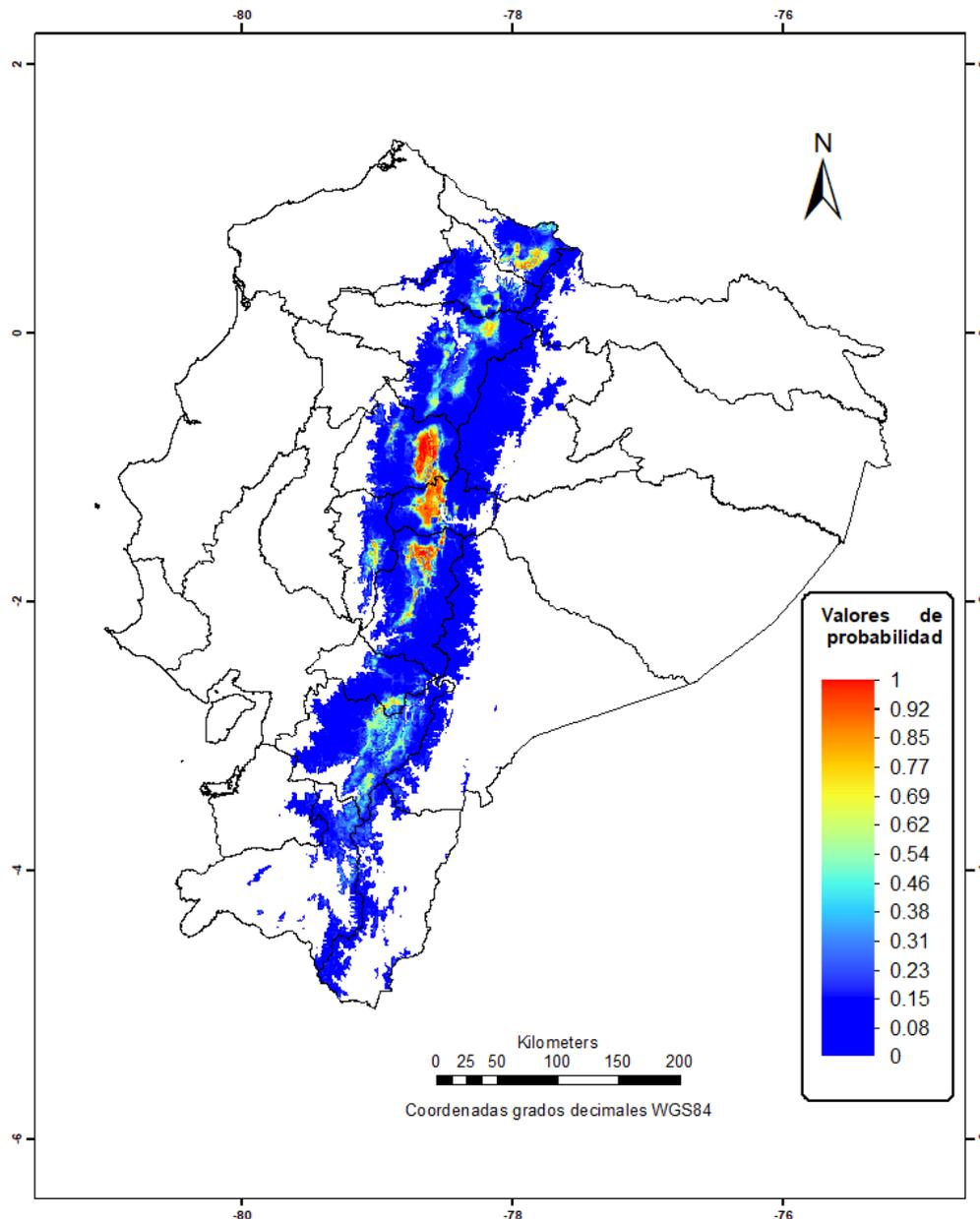


Figura 8. Distribución potencial de *P. serotina* subsp. *capuli* según el modelo MaxEnt.

El modelo indica como áreas con mayor potencial para la conservación y producción de este frutal tres provincias, todas ellas de la zona Centro del país, como son: Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. Por su parte, las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Bolívar, Cañar y Azuay, que presentan menor extensión territorial, disponen de menor probabilidad de acogida, a diferencia de la provincia de Loja (zona Sur), donde las probabilidades son muy bajas con valores inferiores a 0,5 (Figura 8).

4. DISCUSIÓN

4.1. Distribución espacial de morfotipos

El germoplasma de *Prunus serotina* subsp. *capuli* se encuentra distribuido prácticamente en toda la región andina de Ecuador, con una marcada presencia en las provincias de la zona Centro (todos los morfotipos menos el 7), salvo la provincia de Bolívar (morfotipos 2, 9 y 10). Guadalupe *et al.* (2015) no reportaron germoplasma de las provincias de Bolívar y Loja, sin embargo, en la parte norte de la provincia de Bolívar, Cantón Guaranda, y de Loja, Cantón Saraguro, durante el muestreo para los datos pasaporte considerados en el presente estudio, se encontraron algunos árboles dispersos (Anexo 3). Los resultados obtenidos por MaxEnt han proyectado la presencia de la especie en áreas similares para todas las provincias a excepción de estas dos provincias, en particular de Loja, que ha mostrado una baja probabilidad de albergar esta especie.

Las especies se distribuyen en función de su adaptabilidad al ambiente (Tapia *et al.*, 2015) correspondiendo a sus características ecofisiológicas y al uso cultural (Avendaño-Gómez, 2015). Así pues, suponiendo que es una especie introducida, al ser un complemento de la dieta alimentaria, las personas han distribuido los morfotipos atendiendo a su utilidad más común, consumo directo de la pulpa y para la elaboración de una bebida a la que se denomina "jucho". En la actualidad esta especie se comercializa en algunos mercados de las principales ciudades de la región Sierra, provincias de Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo, donde los frutos provenientes de la zona Centro tienen una mayor aceptación debido a su tamaño y calidad (El Comercio, 2012; El Tiempo, 2017). En el análisis de estas características del fruto para los morfotipos ecuatorianos no se han encontrado diferencias significativas (resultados no mostrados), hecho

opuesto con lo documentado por Avendaño-Gómez *et al.* (2015) para México.

Esta utilización y manejo es un proceso de domesticación de la especie, que Casas *et al.* (2007) denominan de "fomento" ("encouraging growing"), contrasta con la que se da en Estados Unidos o México, que prácticamente llega a ser un "cultivo". En Estados Unidos es reconocido su valor maderable (McVaugh, 1951) y en México también se utiliza como elemento mejorador del entorno estructural del paisaje agroforestal (fijación del sustrato para evitar la erosión, delimitación de cultivos, rompevientos) (Palacios, 2011; Avendaño-Gómez *et al.*, 2015; Guadalupe *et al.*, 2015). Es evidente que la zona Centro reúne las mejores condiciones para la presencia de capulí, a partir de los datos observados y la proyección de MaxEnt.

4.2. Diversidad ecogeográfica de los morfotipos

El morfotipo 7 ha resultado ser el más flexible por presentarse en todas las categorías ecogeográficas, aunque únicamente se encuentre en la zona Norte y Sur, presentando diferencias significativas con los restantes morfotipos, posiblemente debido a su adaptabilidad a suelos poco profundos, pues en general la especie se ha encontrado sobre suelos profundos y una precipitación anual mediana más alta en relación a los demás morfotipos (Figura 5).

Los morfotipos 4, 5 y 6 presentaron menor flexibilidad de adaptación para las categorías encontrándose únicamente en la categoría ecogeográfica 5, estos materiales provienen de la zona Centro, a excepción de una accesión que corresponde a la zona Norte. Esto parece deberse principalmente a que los suelos donde se desarrollan, presentan densidad aparente de referencia gruesa (arenosos) salvo un material del morfotipo 6 que está en suelos de apariencia media (francos), además, la mediana de la pendiente donde se encuentran es

la más baja ($\leq 2^{\circ}$) en relación a los demás morfotipos, salvo el morfotipo 3 que presenta características similares.

Por otro lado, el morfotipo 4, exclusivo de la zona Centro, presentó la mediana de precipitación más baja, el rango de temperatura anual más alta, superado únicamente por el morfotipo 5, y suelos con densidad aparente gruesa. Por lo cual se asume que está adaptado a temperaturas altas, con precipitaciones relativamente bajas y suelos arenosos.

De los tres morfotipos 3, 8 y 10 que se encuentran en las tres zonas de Ecuador, el morfotipo 8 está más equilibrado en cuanto al número de accesiones por zona, así como también está presente en tres de cuatro categorías ecogeográficas 5, 6 y 7. Al parecer esto se debe, a que es el único morfotipo que presenta un rango en la estacionalidad de la temperatura más amplio (14,7 a 77,4) en relación al resto. Además, en las variables edáficas como densidad aparente de superficie, contenido de materia orgánica, pH en el suelo y capacidad de intercambio catiónico, dispone de todas las categorías estudiadas (Figura 5), cosa que no sucede con los demás morfotipos.

Por otro lado, los vegetales se exponen a constantes alteraciones climáticas, según (Fedoroff *et al.*, 2010; Zhu, 2016) consideran como las más importantes para la adaptabilidad y rendimiento las precipitaciones y las temperaturas. Sin embargo, esta agua necesaria procede del régimen de precipitaciones o es suministrado mediante sistemas de riego. En la región andina de Ecuador, el 31% de la superficie es apto para la agricultura, de ese porcentaje un 42% dispone de un sistema de riego (Subsecretaría de Riego y Drenaje 2011). El germoplasma estudiado se encuentra en lugares con precipitaciones anuales entre 520 y 1234 mm (Tabla 10), concordante con los estudios realizados en México por Avendaño-Gómez (2000) donde las precipitaciones óptimas están entre los 500 y 1000 mm. Sin

embargo, esto no significa que todo el tiempo dispongan de una precipitación que satisfaga la demanda del cultivo, considerando que la precipitación media del mes de julio es de apenas 33,29 mm (Tabla 10). Es importante destacar que tres accesiones, dos del morfotipo 10 (19937 y 19938) y una del morfotipo 9 (19939), presentes en la categoría ecogeográfica 5 (Anexo 3), soportan valores inferiores a los 10 mm de precipitación en este mes, por lo que se puede considerar materiales con potencial adaptación a bajas precipitaciones en un determinado tiempo.

Producto del cambio climático, los Andes ecuatorianos se han visto seriamente amenazados, ya que las variaciones de las temperaturas juegan un papel importante y dependerá de la capacidad de la especie para que pueda adaptarse a estos cambios. A pesar de no haber mucha información de un largo período de tiempo, el cambio de temperatura es evidente. La Frenierre y Mark (2017) demuestran en sus estudios un incremento de 0,11°C por década, de la misma manera (VanderMolen, 2011) evidencia el incremento de temperaturas mediante de la presencia del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a 3200 m.s.n.m. en la última década. Bajo estos parámetros radica la importancia de analizar las temperaturas en las que se encuentra la especie, teniendo así materiales con un rango de temperatura anual entre 10,4°C y 14,9°C. Es así que tanto las temperaturas altas como bajas causan estrés a los vegetales que los inducen a experimentar cambios estructurales en los tejidos y órganos celulares, alterando las relaciones hídricas foliares, que a su vez afecta a los procesos fotosintéticos (Żróbek-Sokolnik, 2012). En este sentido, se han detectado dos accesiones 19967 y 19968 (Anexo 3) del morfotipo 7, con menor rango de temperatura anual 10,4°C y 10,5°C respectivamente, así como dos accesiones 20520 y 20521 (Anexo 3) de la provincia de Imbabura, que corresponden a los morfotipos 3 y 5 con mayor rango de temperatura anual 14,9°C.

Los materiales estudiados se encuentran en suelos francos y arenosos con bajo contenido de materia orgánica expuestos a fenómenos de erosión principalmente por la topografía y su sistema de agricultura, Merino (2017) menciona que en los andes ecuatorianos prevalece un sistema de subsistencia. Sin embargo, los resultados obtenidos están acorde a lo reportado por Fresnedo-Ramírez *et al.* (2011) ya que esta especie en México se adapta a suelos pobres con pendientes pronunciadas facilitando la conservación de los suelos, y a su vez, se puede utilizar para la restauración de suelos degradados. Sin embargo, a pesar de tener esa elasticidad de adaptación a diferentes suelos en Estados Unidos, comúnmente se encuentra en suelos profundos, ricos, húmedos, bien drenados, independientemente del pH (CABI, 2017).

La colección nacional de germoplasma de *P. serotina* subsp. *capuli* reporta el punto más bajo a 2320 m.s.n.m. para una accesión del morfotipo 10 de la provincia de Azuay y el punto más alto a 3190 m.s.n.m. para dos accesiones del morfotipo 8 y una del 10 de la provincia de Chimborazo. Los resultados obtenidos en cuanto al límite de altitud se acercan más con los reportados de México, entre los 1000 y 3200 m.s.n.m. (Niembro, 1990), ya que lo reportado en Estados Unidos entre 0 y 1520 m.s.n.m. (Nesom, 2003) está totalmente fuera del rango de adaptabilidad de los materiales estudiados.

En México se puede encontrar la especie en lugares con pronunciada pendiente (Avendaño-Gómez, 2000), sin embargo en Estados Unidos, se encuentran en lugares planos (Nesom, 2003). En Ecuador, la especie se presenta en lugares por debajo de 8° salvo unos materiales del morfotipo 1, 7 y 8 que están próximos a los 11°.

4.3. Diversidad ecogeográfica de las categorías

La categoría 5 es la más general, recoge el 83,0 % de la población y alberga todos los morfotipos, geográficamente ocupa la zona Norte

Centro y Sur. Considerando que el mayor número de accesiones proviene de la zona Centro, se puede asumir que el territorio bajo esta categoría es el más idóneo para la producción y conservación de esta especie. Entre sus principales características nos presenta precipitaciones anuales entre 487,0 mm y 2089,0 mm, rango de temperatura media anual entre 10,4°C y 17,1°C, suelos entre poco profundos y profundos (Anexo 8). Además, la categoría 6 alberga un considerable número de morfotipos, siete exactamente, pero con reducido número de individuos, a pesar de que las categorías fueron estadísticamente diferentes se asemeja a la categoría 5, presentando similitudes en las variables precipitación del mes de julio y profundidad del suelo. Por otro lado, la categoría 10 alberga materiales únicamente de la provincia del Carchi, que corresponden a los morfotipos 2, 7 y 10, al parecer esta categoría es la menos adecuada ya que geográficamente apenas ocupa el 0,98% del territorio estudiado, y se ubica exclusivamente en la zona Norte.

La categoría 7 es la segunda más amplia en porcentaje de ocupación de territorio, pero la de mayor distribución geográfica de norte a sur, sin embargo, es una de las que menor capacidad para albergar la especie. Esto se debería a que es la única categoría con un rango de temperatura anual entre 10,2°C y 14,5°C, un contenido de materia orgánica de bajo a medio y una capacidad de intercambio catiónico entre bajo y medio. Al parecer, la adaptabilidad de los morfotipos en las cuatro categorías ecogeográficas donde se presenta capulí, las variables de mayor influencia son las edáficas, además de la temperatura.

En los campos ecuatorianos es bastante común la presencia de *P. serotina* subsp. *capuli* bordeando cultivos de maíz, por lo que no es extraño que, en el presente trabajo, coincidan en ocho de las 12 variables, con lo realizado por Tapia (2015) para maíz (*Zea mays* L.).

Atendiendo al modelo para los lugares de colecta (VanDerWal *et al.*, 2009) la limitación para aplicar MaxEnt estaría dentro del óptimo, 100 km de distancia entre ocurrencias, muestreo por lo que se puede afirmar que las áreas de ocurrencia y no muestreadas son aceptables. Es así que los resultados presentan marcada presencia en lugares de mayor registro de germoplasma, así como también identifica nuevos lugares en la zona Norte en las provincias de Carchi, principalmente Pichincha, junto con la Provincia de Bolívar de la zona Centro, de las que se han muestreado menos individuos se tiene, además para la zona Sur detecta la provincia de Azuay (Figura 8). Estos lugares vendrían a ser vacíos de colecta, que en un futuro se puede complementar para cubrir toda la zona y así complementar la colección Nacional del Banco de semillas de INIAP-Ecuador.

5. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que de las 105 variables que dispone la herramienta CAPFITOGEN versión 2.0. 12 de ellas; cinco climáticas, cinco edáficas y dos geofísicas resultaron ser de gran utilidad para estudiar las localidades de colecta de germoplasma.

Se ha encontrado diferencias altamente significativas, en todas las variables analizadas, para las categorías ecogeográficas con *P. serotina* subsp. *capuli*, lo cual indica que la zona andina de Ecuador presenta una amplia variación climática.

Se ha comprobado que el morfotipo 7 es el más versátil de todos, posee un amplio rango de adaptabilidad, encontrándose en todas las categorías ecogeográficas. Por otro lado, los morfotipos 4, 5 y 6 presentaron menor grado de adaptabilidad encontrándose únicamente en la categoría ecogeográfica 5.

Se han identificado siete accesiones, con posibles tolerancias a factores adversos como temperaturas y precipitaciones extremas, que pueden ser útiles para curadores de germoplasma, como para agricultores.

Acotando el territorio entre los 2300 y 3200 m.s.n.m. quedó clasificado en 12 categorías ecogeográficas, cuatro de ellas con germoplasma, al parecer la categoría 5 es la que reúne las condiciones más adecuadas para la producción y conservación. Además, en esta categoría se encuentra el 83,0 % de la colección.

En la zona Centro del país, se ha identificado las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo como las más idóneas para la producción y conservación de esta especie, y a su vez, son las mejores representadas en cuanto al número de accesiones colectadas.

Por medio del modelo MaxEnt se ha demostrado que la colección está bien explorada. Sin embargo, para mejorar su representatividad

se debería colectar en las provincias de Azuay, Carchi, Pichincha y Bolívar, considerando que éstas dos últimas son las que presentan menor número de individuos.

6. REFERENCIAS

- Avendaño-Gómez, A. 2000. Manejo y aprovechamiento de *Prunus serotina* subsp. *capuli* Ehrh. (Rosaceae) en comunidades campesinas de Tlaxcala y el Estado de México. MSc. Thesis, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de postgraduados. México.
- Avendaño-Gómez, A., Lira-Saade, R., Madrigal-Calle, B., García-Moya, E., Soto-Hernández, M., Romo de Vivar, A. 2015. Management and domestication syndromes of capulín (*Prunus serotina* Ehrh ssp. *capuli* (Cav.) Mc Vaugh) in communities of the state of Tlaxcala. *Agrociencia*, 49: 189-204.
- Bailey, R.G. 2005. Identifying ecoregion boundaries. *Environmental Management*, 34: 14-26.
- Booth, T.H., Nix, H.A., Busby, J.R., Hutchinson, M.F. 2013. Bioclim: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MaxEnt studies. *A Journal of Conservation Biogeography*, 20: 1-9.
- Buzai, G.D. 2017. Rastreando el ADN de los sistemas de información geográfica. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 9: 1-4.
- CABI. 2017. *Invasive species compendium. Prunus serotina (black cherry)*. (<http://www.cabi.org/isc/datasheet/44360>) Consultado: 03-08-2017.
- Calvache, M. 2015. Los suelos del Ecuador. VII Congreso sudamericano de agronomía. Conference paper, *Research Gate*, Guayaquil.
- Casas, A., Otero-Arnáiz, A., Pérez-Negrón, E., Valiente-Baunet, A. 2007. In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100: 1101-1115.
- Chucuri, J. 2014. Caracterización morfoagronómica *in situ* y molecular de capulí (*Prunus serotina* Ehrh.) del banco nacional de germoplasma del INIAP- Ecuador. Tesis de grado. Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Guaranda.
- Crowley, J. 1967. Biogeography in Canada. *Canadian Geographer*, 11: 312-326.

- El Comercio. 2012. El capulí es un fruto andino que se desarrolla y degusta en la serranía (<http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/capuli-fruto-andino-que-se.html>). Consultado: 11-07-2017.
- El Tiempo. 2017. Capulí el fruto que resiste a perderse (<http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cultura/7/407427/capuli-el-fruto-que-resiste-a-perderse>). Consultado: 11-07-2017.
- Elith, J., Leathwick, J. R. 2009. Species distributions models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40: 677-697.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. C., Yates, C. J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17: 43-57.
- ESRI. 2015. Instalación de ArcGis desktop 10.2.2 (Versión de prueba). <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/free-trial>). Consultado: 11/07/2017.
- FAO 2016. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.
- FAO/Biodiversity 2012. FAO/Biodiversity multi-crop passport descriptors V.2. (<https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/faobiodiversity-multi-crop-passport-descriptors-v2-mcpd-v2/>). Consultado: 04/08/2017
- Federoff, N.V., Battisti, D.S., Beachy, R.N., Cooper, P.J.M., Fischhoff, D.A., Hodges, C.N., Knauf, V.C., Lobell, D., Mazur, B.J., Molden, D. Reynolds, M.P., Ronald P.C., Rosegrant, M.W., Sánchez, P.A., Vonshak, A. Zhu, J.-K. 2010. Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science*, 327: 833-834.
- Franklin, J. 2009. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Fresnedo-Ramírez, J., Segura, S., Muratalla-Lúa, A. 2011. Morphovariability of capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) in the central-western region of Mexico from a plant genetic resources perspective. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58: 481-495.

- Geilfus, F. 1994. *El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural*. Volumen 1, Enda-Caribe CATIE. Turrialba.
- Gentleman, R., Ihaka, R. 2000. Lexical scope and statistical computing. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 9: 491-508.
- Guadalupe, J., Gutiérrez, B., Intriago, D., Arahana, V., Tobar, J., Torres, A., Torres, M. 2015. Genetic diversity and distribution patterns of ecuadorian capulí (*Prunus serotina*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 60: 67-73.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- Hatfield, J.L. 2013. Climate change: Challenges for future crop adjustments. Plant environmental stress responses for survival and biomass enhancement. In Tuteja, N., Gill, S.S. (Eds.). *Climate change and plant abiotic stress tolerance*. Wiley Blackwell, Singapore. 3-26.
- Hijmans, R.J., Spooner, D.M. 2001. Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany*, 88: 2101-2012.
- IBM Corp. 2016. IBM SPSS Statistics for Windows 24.0
- IERSE. 2017. Uso de suelo. Cobertura vegetal y uso actual de suelo ([http://uazuay.edu.ec/promsa/metadatos/c-uso de suelo.pdf](http://uazuay.edu.ec/promsa/metadatos/c-uso%20de%20suelo.pdf)). Consultado: 30/06/2017.
- Jørgensen, P.M., León-Yáñez, S. (Eds.) 1999. *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Monographs in Systematic Botany Missouri Botanical Garden, 75: 1-1182.
- Ketchen, D.J., Shook, C.L. 1996. The application of cluster analysis in strategic management research: an analysis and critique. *Strategic Management Journal*, 17: 441-458.
- La Frenierre, J., Mark, B. 2017. Detecting patterns of climate change at Volcán Chimborazo, Ecuador, by integrating instrumental data, public observations, and glacier change analysis. *Annals of the American Association of Geographers*, 107: 979-997.

- Li, L., Redden, R.J., Zong, X., Berger, J.D., Bennett, S.J. 2013. Ecogeographic analysis of pea collection sites from China to determine potential sites with abiotic stresses. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60: 1801-1815.
- McCouch, S. 2013. Agriculture: feeding the future. *Nature*, 499: 23-24.
- McVaugh, R. 1951. A revision of the north American black cherries (*Prunus serotina* Ehrh., and relatives). *Brittonia*, 7: 279-315.
- Meilan, R., Brunner, A., Skinner, J., Strauss S. 2001. Modification of flowering in transgenic trees. In Morohoshi N, Komamine A (Eds.). *Molecular Breeding of Woody Plants*. First edition. Elsevier Science. Amsterdam. 247-256.
- Merino, W. 2017. Agricultura de subsistencia. Miregión. El primer periódico digital de la región sur. (<http://miregion.ec/espindola/opinion/agricultura-de-subsistencia>). Consultado: 28-08-2017.
- Mille, L. 1942. El Capulí. *FLORA-Instituto de Ciencias Naturales del Ecuador*, 2: 50-51.
- Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. 2013. Bienvenidos al Ecuador – Biogeografía. (<http://www.cancilleria.gob.ec/bienvenidos-geografia-del-ecuador/>). Consultado: 22-08-2017.
- Naranjo, E. 2017. Caracterización ecogeográfica de tres especies tuberosas altoandinas del Ecuador: melloco (*Ullucus tuberosus* C.), oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* R y P). Tesis de máster. Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agrícolas, Bayamo.
- Nesom, G. 2003. Black cherry. *Prunus serotina* Ehrh. Plant guide. United States Department of Agriculture. *Natural Resources Conservation Service*. 1-5.
- Newbold, T. Gilbert, F., Zalut, S., El-Gabbas, A., Reader, T. 2009. Climate-based models of spatial patterns of richness in Egypt's butterfly and mammal fauna. *Journal of Biogeography*, 36: 2085-2095.

- Niembro, R.A. 1990. *Árboles y arbustos útiles de México*. In: Noriega-Limusa (eds.) Ciudad de México, México.
- Nieto, A. 2010. The didactic use of geographical information systems in the European higher education area. *Tejuelo*, 9: 136-161.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. 2013. Plant environmental stress responses for survival and biomass enhancement. In Tuteja, N., Gill, S.S. (Eds.). *Climate change and plant abiotic stress tolerance*. Wiley Blackwell, Singapore. 81-108.
- Palacios, W. 2011. *Árboles de Ecuador*. Ministerio del Ambiente, Gobierno Nacional de la República de Ecuador. Edición 1ª. Grupo Comunicacional Efigie, Quito.
- Parra-Quijano, M., Draper, D., Torres, E., Iriando, J.M. 2008. Ecogeographical representativeness in crop wild relative *ex situ* collections. In Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V., Kell, S.P., Iriando, J.M., Dulloo, M.E., Turok, J. (Eds.). *Crop wild relative conservation and use*. Cab International, Wallingford, UK. 249-273.
- Parra-Quijano, M., Iriando, J.M., De la Cruz, M., Torres, E. 2011a. Strategies for the development of core collections based on ecogeographical data. *Crop Science*, 51: 656-666.
- Parra-Quijano, M., Iriando, J.M., Frese, L., Torres, E. 2012a. Spatial and ecogeographic approaches for selecting genetic reserves in Europe. In N. Maxted, M.E. Dulloo, B. V. Ford-Lloyd, L. Frese, J.M. Iriando, M.A.A. Pinheiro de Carvalho (Eds.). *Agrobiodiversity conservation: securing the diversity of crop wild relatives and landraces*. CAB International, Wallingford, UK. 20-28.
- Parra-Quijano, M., Iriando, J.M., Torres, E. 2012b. Review. Applications of ecogeography and geographic information systems in conservation and utilization of plant genetic resources. *Spanish Journal of Agriculture Research*, 10: 419-429.
- Parra-Quijano, M., Iriando, J.M., Torres, E., De la Rosa, L. 2011b. Evaluation and validation of ecogeographical core collections using phenotypic data. *Crop Science*, 51: 694-703.
- Parra-Quijano, M., Torres, E., Iriando, J.M., López, F. 2015. *Herramientas CAPFITOGEN para la conservación y utilización de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*.

Versión 2. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Primera Edición. Madrid.

- Pimentel, D., Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q., Saltman, T., Cliff, D. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, 47: 747-757.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E., Blair, M.E. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40: 887-893.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Phillips, J., Asdal, A., Brehm, J.M., Rasmussen, M., Maxted, N. 2016. *In situ* and *ex situ* diversity analysis of priority crop wild relatives in Norway. *Diversity and Distributions*, 22: 1112-1126.
- Phillips, J., Dudík, M., Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the Twenty First International Conference on Machine Learning*. ACM Press, 472-486.
- Podani, J. 2000. *Introduction to the exploration of multivariate biological data*. Backhuys Publishers, Leiden.
- Popenoe, W., Pachano, A. 1922. The capsulin cherry: a superior from of the northern black cherry developed in the highlands of tropical America. *Journal of Heredity*, 13: 51-62.
- Rohlf, F.J. (2005). *NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system*. Exeter Software, Setauket, New York.
- Schargel, R., Delgado, F. 1990. Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela. In Plasse, D., Peña de Borsotti, N. (Eds.). *VI cursillo sobre bovinos de carne*. FCV-UCV, Maracay. 187-220.
- Spier, H.P., Biederbick, C. 1980. *Árboles y leñosas para reforestar las tierras altas de la región interandina del Ecuador*. Segunda Edición, CAAP, Quito.
- Starfinger, U., Kowarik, I., Rode, M., Schepker, H. 2003. From desirable ornamental plant to pest to accepted addition to the

- flora? -The perception of an alien tree species through the centuries. *Biological Invasions*, 5: 323-335.
- Steiner, J.J., Greene, S.L. 1996. Proposed ecological descriptors and their utility for plant germplasm collections. *Crop Science*, 33: 439-451.
- Subsecretaria de Riego y Drenaje. 2011. Plan Nacional de riego y drenaje 2011-2026. (<http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>). Consultado: 20-07-2017.
- Tapia, C. 2015. Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la sierra de Ecuador. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Biología Vegetal. Madrid.
- Tapia, C., Torres, E., Parra-Quijano, M. 2015. Searching for adaptation to abiotic stress: Ecogeographical analysis of highland ecuadorian maize. *Crop Science*, 55: 262 -274.
- Tuskan, G.A., DiFazio, S., Jansson, S., Bohlmann, J., Grigoriev, I., Hellsten, U., Putnam, N., Ralph, S., Rombauts, S., Salamov, A., et al. 2006. The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). *Science*, 313: 1596-1604.
- VanderMolen, K. 2011. Percepciones del cambio climático y estrategias de adaptación en las comunidades agrícolas de Cotacachi. *Ecuador Debate*, 82: 145-158.
- VanDerVal, J., Shoo, L.P., Graham, C., Williams, S.E. 2009. Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: How far should you stray from what you know?. *Ecological Modelling*, 220: 589-594.
- Vogel, K.P. Schmer, M.R. Mitchell, R.B. 2005. Plant adaptation regions: ecological and classification of plant materials. *Rangeland Ecology and Management*, 58: 315-319.
- Winckell, A., Zebrowski, C., Sourdat, M. 1997. *Las regiones y paisajes del Ecuador*. Tomo IV, volumen 2, Centro ecuatoriano de investigación geográfica, Quito.
- Zhu, J.-K. 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167: 313-324.

Żróbek-Sokolnik, A. 2012. Temperature stress and responses of plants.
In Ahmad, P., Prasad, M.N.V. (Eds.). *Environmental adaptations
and stress tolerance of plants in the era of climate change*.
Springer, New York. 113-134.

Agradecimientos

Infinitamente agradecido con Dios, por permitir culminar este proceso.

A mi hermano David, con quién he compartido todos los momentos de mi vida, eres el apoyo incondicional y motor de mis logros.

A mi madre Luz, por todo el amor, ternura y comprensión, madre ejemplar. A mi padre Segundo, hombre de carácter fuerte, quién nos enseña cada día a ser mejor y nunca dejarnos vencer.

Al Dr. Miguel Guara, por su valioso tiempo invertido y su inagotable paciencia para guiarme en el Trabajo de Fin de Máster TFM.

Al Dr. César Tapia, por darme la oportunidad de formar parte del equipo del DENAREF, facilitar la información, guiarme en el TFM, y por sus acertadas sugerencias en los momentos más oportunos.

A todos los profesores de la Universidad de Valencia, Facultad de Ciencias Biológicas, de manera especial a Carmen Rojo, José Antonio Gil, Jesús Delegido, Javier Armengol y Eduardo García.

A Edwin Naranjo, Hipatia Delgado y Andrés Cáceres por la amistad y compartir experiencias e información.

Al Ing. Pablo Viteri e Ing. Aníbal Martínez del programa de Nacional de Fruticultura, por ayudar a seleccionar las variables en el método generalista.

A los agricultores, por conservar la diversidad genética de mi País, facilitar siempre información y sus materiales.

A Jaime Mosquera por su ayuda en el programa R. Gracias Parce.

A Mariela C. y Verónica B. por su respectiva colaboración.

A mis amigas/os, con quienes siempre puedo contar y sus palabras motivadoras en este transecto.

Al INIAP, en especial al DENAREF y su personal.

A mis compañeras/os Inés, Jessica, Mayra, Javier, Lucas, Pablo y Rubén.

A los compañeros de piso Arturo, Raúl y Stayko.

ANEXOS

Anexo 1. Variabilidad taxonómica de *Prunus serotina* Ehrh. según McVaugh (1951). Se indica el año de publicación de los sinónimos entre paréntesis. Igualmente, se aporta su distribución geográfica general.

Taxon	Sinónimos
<i>P. serotina</i> subsp. <i>serotina</i>	<i>Cerasus serotina</i> var. <i>montana</i> Small (1788) <i>P. capollin</i> var. <i>prophylosa</i> Donn. (1906)
Este de los Estados Unidos, este y sureste de México, y Guatemala.	
<i>P. serotina</i> subsp. <i>hirsuta</i> (Ell.) McVaugh	<i>P. hirsutus</i> Ell. (1821) <i>P. alabamensis</i> Mohr (1899) <i>P. cuthbertii</i> Small (1901)
Estados de Alabama, Georgia, Carolina del Sur, Oklahoma y Florida.	
<i>P. serotina</i> subsp. <i>eximia</i> (Small) McVaugh	<i>P. eximia</i> Small (1901)
Parte central del estado de Texas hacia el río Colorado.	
<i>P. serotina</i> subsp. <i>virens</i> (Woot & Standl.) McVaugh var. <i>virens</i>	<i>Padus virens</i> Woot & Standl. (1913) <i>P. salicifolia</i> var. <i>acutifolia</i> S. Wats. (1887)
Estado de Texas, norte de Coahuila y sureste de Nuevo México.	
<i>P. serotina</i> subsp. <i>virens</i> var. <i>rufula</i> (Woot & Standl.) McVaugh	<i>Padus rufula</i> Woot & Standl. (1913) <i>P. virens</i> var. <i>rufula</i> (Woot & Standl.) Sarg. (1920)
Estados de Nuevo México y Arizona.	
Sierra Madre Occidental desde Sonora a Durango	
<i>P. serotina</i> subsp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh	<i>P. capuli</i> Cav. (1800) <i>P. salicifolia</i> H.B.K. (1824) <i>Cerasus longifolia</i> Nutt. (1840) <i>P. serotina</i> var. <i>salicifolia</i> (H.B.K.) Koehne (1893)
Sur de México y Guatemala.	
Introducido en el resto de Centro América y América del Sur hasta Bolivia.	

Anexo 2. Principales características fenotípicas de los grupos establecidos por Chucuri (2014) para capulí. Se indica la correspondencia entre los grupos con los morfotipos considerados en el presente estudio.

Grupos	Hábito de crecimiento	Forma de la copa	Color de la hoja	Color pedúnculo floral	Tamaño del fruto	Forma de la semilla	Morfotipos
1	Erguido	Aguda	Verde claro	Verde claro	Pequeño	Esférica redondeada	1
							2
							3
2	Semierguido	Redonda	Verde claro y oscuro	Verde claro y verde amarillento	Pequeño	Esférica redondeada	4
							5
							6
3	Extendido colgante	Redonda	Verde claro y oscuro	Verde y verde amarillento	Grande	Elíptica	7
							8
							9
							10
							11

Anexo 3. Material estudiado. Número de orden y código numérico de las accesiones, coordenadas geográficas –latitud, longitud-, zona andina de colecta y provincia- Se indica la adscripción de cada accesión a un morfotipo, así como la categoría ecogeográfica (mapa ELC) en la que se ha ubicado.

Nº	Accesión	Latitud	Longitud	Zona	Provincia	Morfotipo	Categoría
1	19848	00°45'22"S	078°40'40"W	Centro	Cotopaxi	3	5
2	19849	00°45'22"S	078°40'40"W	Centro	Cotopaxi	6	5
3	19851	00°44'59"S	078°41'07"W	Centro	Cotopaxi	2	5
4	19852	00°44'58"S	078°41'07"W	Centro	Cotopaxi	3	5
5	19853	00°45'32"S	078°39'02"W	Centro	Cotopaxi	3	5
6	19854	00°45'30"S	078°38'01"W	Centro	Cotopaxi	11	5
7	19855	00°45'20"S	078°37'53"W	Centro	Cotopaxi	1	5
8	19857	00°56'46"S	078°59'32"W	Centro	Cotopaxi	1	5
9	19858	00°56'19"S	078°40'39"W	Centro	Cotopaxi	2	5
10	19859	00°56'19"S	078°40'40"W	Centro	Cotopaxi	9	5
11	19861	00°54'07"S	078°40'06"W	Centro	Cotopaxi	3	5
12	19863	00°53'14"S	078°40'04"W	Centro	Cotopaxi	2	5
13	19864	00°53'14"S	078°40'05"W	Centro	Cotopaxi	11	5
14	19865	00°53'12"S	078°40'04"W	Centro	Cotopaxi	1	5
15	19866	00°53'17"S	078°40'41"W	Centro	Cotopaxi	3	5
16	19867	00°53'17"S	078°40'41"W	Centro	Cotopaxi	3	5
17	19868	00°53'15"S	078°40'40"W	Centro	Cotopaxi	4	5
18	19869	00°51'06"S	078°39'19"W	Centro	Cotopaxi	9	5
19	19870	00°51'07"S	078°39'19"W	Centro	Cotopaxi	3	5
20	19871	00°49'36"S	078°38'59"W	Centro	Cotopaxi	3	5
21	19872	00°49'36"S	078°38'59"W	Centro	Cotopaxi	8	5
22	19873	00°49'35"S	078°38'59"W	Centro	Cotopaxi	2	5
23	19874	00°46'51"S	078°34'26"W	Centro	Cotopaxi	3	5
24	19875	00°46'52"S	078°34'26"W	Centro	Cotopaxi	6	5
25	19876	00°49'24"S	078°35'37"W	Centro	Cotopaxi	6	5
26	19877	00°49'24"S	078°35'36"W	Centro	Cotopaxi	6	5
27	19878	01°04'01"S	078°41'25"W	Centro	Cotopaxi	1	5
28	19880	01°04'01"S	078°41'26"W	Centro	Cotopaxi	10	5
29	19881	01°04'01"S	078°41'25"W	Centro	Cotopaxi	10	5
30	19882	01°04'37"S	078°39'01"W	Centro	Cotopaxi	10	5
31	19883	01°04'35"S	078°39'02"W	Centro	Cotopaxi	1	5
32	19884	01°04'37"S	078°39'01"W	Centro	Cotopaxi	1	5
33	19885	01°04'01"S	078°34'30"W	Centro	Cotopaxi	1	5
34	19887	01°02'54"S	078°34'40"W	Centro	Cotopaxi	10	5
35	19888	01°02'55"S	078°34'40"W	Centro	Cotopaxi	9	5
36	19889	01°01'35"S	078°36'35"W	Centro	Cotopaxi	9	5
37	19890	01°01'35"S	078°36'36"W	Centro	Cotopaxi	3	5
38	19891	00°47'59"S	078°40'19"W	Centro	Cotopaxi	10	5
39	19892	00°48'03"S	078°40'11"W	Centro	Cotopaxi	9	5
40	19893	00°48'04"S	078°40'10"W	Centro	Cotopaxi	6	5
41	19894	00°48'00"S	078°39'13"W	Centro	Cotopaxi	6	5
42	19896	00°59'17"S	078°35'27"W	Centro	Cotopaxi	3	5
43	19897	00°59'18"S	078°35'24"W	Centro	Cotopaxi	9	5
44	19898	00°59'15"S	078°35'20"W	Centro	Cotopaxi	4	5
45	19901	01°21'57"S	078°32'00"W	Centro	Tungurahua	4	5
46	19902	01°21'57"S	078°32'00"W	Centro	Tungurahua	1	5
47	19904	01°25'56"S	078°29'59"W	Centro	Tungurahua	1	5
48	19905	01°25'55"S	078°29'59"W	Centro	Tungurahua	6	5
49	19906	01°19'25"S	078°32'23"W	Centro	Tungurahua	10	5
50	19907	01°19'04"S	078°32'23"W	Centro	Tungurahua	9	5
51	19909	01°19'28"S	078°34'38"W	Centro	Tungurahua	5	5
52	19910	01°19'28"S	078°34'39"W	Centro	Tungurahua	5	5
53	19912	01°19'27"S	078°34'39"W	Centro	Tungurahua	9	5
54	19914	01°14'22"S	078°30'26"W	Centro	Tungurahua	8	5
55	19915	01°14'24"S	078°30'07"W	Centro	Tungurahua	1	5
56	19916	01°22'29"S	078°36'16"W	Centro	Tungurahua	3	5
57	19917	01°22'26"S	078°36'15"W	Centro	Tungurahua	3	5

Nº	Adquisición	Latitud	Longitud	Zona	Provincia	Morfotipo	Categoría
58	19918	01°22'26"S	078°36'16"W	Centro	Tungurahua	10	5
59	19919	01°21'28"S	078°36'31"W	Centro	Tungurahua	1	5
60	19920	01°21'30"S	078°36'31"W	Centro	Tungurahua	1	5
61	19921	01°20'54"S	078°36'59"W	Centro	Tungurahua	4	5
62	19922	01°18'29"S	078°36'18"W	Centro	Tungurahua	10	5
63	19923	01°18'29"S	078°36'18"W	Centro	Tungurahua	10	5
64	19924	01°18'44"S	078°38'24"W	Centro	Tungurahua	10	5
65	19925	01°18'44"S	078°38'24"W	Centro	Tungurahua	10	5
66	19926	01°13'29"S	078°39'48"W	Centro	Tungurahua	10	5
67	19927	01°21'13"S	078°38'58"W	Centro	Tungurahua	2	5
68	19928	01°21'09"S	078°38'57"W	Centro	Tungurahua	10	5
69	19929	01°20'37"S	078°39'22"W	Centro	Tungurahua	11	5
70	19930	01°17'10"S	078°38'29"W	Centro	Tungurahua	10	5
71	19931	01°17'10"S	078°38'30"W	Centro	Tungurahua	10	5
72	19932	01°17'27"S	078°40'53"W	Centro	Tungurahua	2	5
73	19936	01°31'14"S	079°00'35"W	Centro	Bolívar	2	5
74	19937	01°32'42"S	078°59'00"W	Centro	Bolívar	10	5
75	19938	01°32'41"S	078°59'00"W	Centro	Bolívar	10	5
76	19939	01°34'07"S	078°59'46"W	Centro	Bolívar	9	5
77	19940	01°35'57"S	078°36'50"W	Centro	Chimborazo	8	5
78	19941	01°35'58"S	078°36'50"W	Centro	Chimborazo	1	5
79	19942	01°35'58"S	078°36'50"W	Centro	Chimborazo	8	5
80	19943	01°35'50"S	078°38'35"W	Centro	Chimborazo	2	5
81	19944	01°35'50"S	078°38'35"W	Centro	Chimborazo	9	5
82	19945	01°37'36"S	078°37'58"W	Centro	Chimborazo	5	5
83	19946	01°37'36"S	078°37'59"W	Centro	Chimborazo	5	5
84	19947	01°37'36"S	078°37'59"W	Centro	Chimborazo	6	5
85	19948	01°36'56"S	078°39'42"W	Centro	Chimborazo	2	5
86	19949	01°34'57"S	078°41'47"W	Centro	Chimborazo	2	5
87	19951	01°56'13"S	078°42'20"W	Centro	Chimborazo	9	5
88	19952	01°53'20"S	078°43'30"W	Centro	Chimborazo	8	5
89	19953	01°53'20"S	078°43'30"W	Centro	Chimborazo	8	5
90	19954	01°41'20"S	078°45'45"W	Centro	Chimborazo	2	5
91	19955	01°41'19"S	078°45'46"W	Centro	Chimborazo	11	5
92	19956	01°36'44"S	078°34'59"W	Centro	Chimborazo	9	5
93	19957	01°33'12"S	078°31'19"W	Centro	Chimborazo	10	5
94	19958	01°30'55"S	078°30'58"W	Centro	Chimborazo	8	5
95	19959	01°35'22"S	078°33'07"W	Centro	Chimborazo	8	5
96	19960	01°44'39"S	078°35'15"W	Centro	Chimborazo	9	5
97	19961	01°48'26"S	078°38'51"W	Centro	Chimborazo	11	5
98	19962	01°46'37"S	078°39'14"W	Centro	Chimborazo	10	5
99	19963	01°46'35"S	078°39'14"W	Centro	Chimborazo	5	5
100	19964	01°38'57"S	078°45'51"W	Centro	Chimborazo	8	5
101	19965	01°38'58"S	078°45'51"W	Centro	Chimborazo	10	5
102	19966	01°38'57"S	078°45'51"W	Centro	Chimborazo	8	5
103	19967	03°37'00"S	079°14'41"W	Sur	Loja	7	7
104	19968	03°36'30"S	079°11'35"W	Sur	Loja	7	7
105	19969	03°26'31"S	079°06'11"W	Sur	Azuay	8	6
106	19970	03°28'09"S	079°03'15"W	Sur	Azuay	8	7
107	19971	03°18'09"S	079°03'16"W	Sur	Azuay	8	6
108	19975	02°46'52"S	078°45'56"W	Sur	Azuay	10	6
109	19976	02°49'38"S	078°51'11"W	Sur	Azuay	8	6
110	19979	03°04'52"S	078°48'01"W	Sur	Azuay	9	7
111	19980	03°04'52"S	078°48'01"W	Sur	Azuay	8	7
112	19986	02°50'17"S	078°57'39"W	Sur	Azuay	7	6
113	19989	02°43'01"S	078°52'35"W	Sur	Cañar	11	6
114	19990	02°43'00"S	078°52'36"W	Sur	Cañar	9	6
115	19991	02°48'05"S	078°52'58"W	Sur	Cañar	1	6
116	19992	02°48'03"S	078°52'58"W	Sur	Cañar	7	6
117	19993	02°42'23"S	078°53'19"W	Sur	Cañar	3	6
118	19994	02°43'11"S	078°53'08"W	Sur	Cañar	11	6
119	19998	02°46'15"S	078°55'47"W	Sur	Cañar	8	6
120	20511	00°12'01"N	078°10'00"W	Norte	Imbabura	7	5
121	20512	00°12'01"N	078°10'00"W	Norte	Imbabura	2	5
122	20514	00°12'38"N	078°09'54"W	Norte	Imbabura	10	5
123	20515	00°12'37"N	078°09'54"W	Norte	Imbabura	10	5
124	20516	00°12'23"N	078°10'30"W	Norte	Imbabura	2	5

Nº	Accesión	Latitud	Longitud	Zona	Provincia	Morfotipo	Categoría
125	20517	00°12'54"N	078°12'52"W	Norte	Imbabura	8	5
126	20518	00°12'54"N	078°12'52"W	Norte	Imbabura	8	5
127	20520	00°19'31"N	078°15'47"W	Norte	Imbabura	5	5
128	20521	00°19'30"N	078°15'46"W	Norte	Imbabura	3	5
129	20523	00°04'31"N	078°08'23"W	Norte	Pichincha	8	5
130	20525	00°12'11"N	078°15'25"W	Norte	Imbabura	8	5
131	20526	00°12'11"N	078°15'25"W	Norte	Imbabura	7	5
132	20709	00°31'21"S	078°35'06"W	Norte	Pichincha	8	5
133	20710	00°30'35"S	078°35'59"W	Norte	Pichincha	2	5
134	20711	01°01'09"S	078°41'43"W	Centro	Cotopaxi	2	5
135	20712	01°01'10"S	078°41'42"W	Centro	Cotopaxi	3	5
136	20713	00°30'19"N	077°54'17"W	Norte	Carchi	10	10
137	20714	00°30'50"N	077°51'54"W	Norte	Carchi	7	10
138	20715	00°33'42"N	077°50'21"W	Norte	Carchi	7	5
139	20716	00°35'13"N	077°48'26"W	Norte	Carchi	7	10
140	20717	00°35'13"N	077°48'26"W	Norte	Carchi	7	10
141	20718	00°34'01"N	077°46'18"W	Norte	Carchi	7	10
142	20719	00°34'01"N	077°46'18"W	Norte	Carchi	2	10
143	20720	00°40'29"N	077°36'01"W	Norte	Carchi	7	7
144	20721	00°40'29"N	077°36'01"W	Norte	Carchi	7	7
145	20722	00°37'11"N	077°44'14"W	Norte	Carchi	7	5
146	20723	00°36'35"N	077°56'30"W	Norte	Carchi	7	5
147	20724	00°35'59"N	077°59'18"W	Norte	Carchi	8	5

Anexo 4. Variables ecogeográficas disponibles en la herramienta CAPFITOGEN.

Código	Variables	Unidad
Variables bioclimáticas		
prec_1-12	Precipitación total del mes correspondiente	mm
tmax_1-12	Temperatura máxima del mes correspondiente	°C
tmean_1-12	Temperatura media del mes correspondiente	°C
tmin_1-12	Temperatura mínima del mes correspondiente	°C
bio_1	Temperatura media anual	°C
bio_2	Rango medio de temperaturas diurnas	°C
bio_3	Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7) (x100)	
bio_4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estandarx100)	
bio_5	Máxima temperatura del mes más cálido	°C
bio_6	Mínima temperatura del mes más frío	°C
bio_7	Rango de temperatura anual (Bio_5 - Bio_6)	°C
bio_8	Temperatura media del cuarto más húmedo (tres meses más lluviosos)	°C
bio_9	Temperatura media del cuarto más seco (tres meses más secos)	°C
bio_10	Temperatura media del cuarto más cálido (tres meses más cálidos)	°C
bio_11	Temperatura media del cuarto más frío (tres meses más fríos)	°C
bio_12	Precipitación anual	mm
bio_13	Precipitación del mes más húmedo	mm
bio_14	Precipitación del mes más seco	mm
bio_15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)	mm
bio_16	Precipitación del cuarto más húmedo (los tres meses más lluviosos)	mm
bio_17	Precipitación del cuarto más seco (los tres meses más secos)	mm
bio_18	Precipitación del cuarto más cálido (los tres meses más cálidos)	mm
bio_19	Precipitación del cuarto más frío (los tres meses más fríos)	mm
Edáficas		
ref_depth	Profundidad referencia de la unidad de suelo	m
s_bs	Saturación de bases en subsuelo	%
s_caco3	Carbonato de calcio en subsuelo	% weight
s_caso4	Yesos en subsuelo	% weight
s_cec_clay	Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en subsuelo,	cmol/kg
s_cec_soil	Capacidad de intercambio catiónico en subsuelo	cmol/kg
s_clay	Contenido de arcilla en subsuelo	% weight

Código	Variables	Unidad
s_ece	Salinidad en subsuelo	dS/m
s_esp	Sodicidad en subsuelo	%
s_gravel	Contenido de grava en subsuelo	% vol
s_oc	Contenido de carbón orgánico en subsuelo	% weight
s_ph_h2o	pH en subsuelo	-log(H ⁺)
s_ref_bulk	Densidad aparente de referencia en subsuelo,	kg/dm ³
s_sand	Contenido de arena en subsuelo	% weight
s_silt	Contenido de limo en subsuelo	% weight
s_teb	Bases intercambiables totales en subsuelo	cmol/kg
t_bs	Saturación de bases en suelo superficial	%
t_caco3	Carbonato de calcio en suelo superficial	% weight
t_caso4	Yesos en suelo superficial	% weight
t_cec_clay	Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo superficial	cmol/kg
t_cec_soil	Capacidad de intercambio catiónico en superficie)	cmol/kg
t_clay	Contenido de arcilla en suelo superficial	% weight
t_ece	Salinidad en suelo superficial	dS/m
t_esp	Sodicidad en suelo superficial	%
t_gravel	Contenido de grava en suelo superficial	% vol
t_oc	Contenido de carbón orgánico en suelo superficial	% weight
t_ph_h2o	pH en suelo superficial	-log[H ⁺]
t_ref_bulk	Densidad aparente de referencia en superficie	kg/dm ³
t_sand	Contenido de arena en suelo superficial	% weight
t_silt	Contenido de limo en suelo superficial	% weight
t_teb	Bases intercambiables totales en suelo superficial	cmol/kg
Geofísicas		
alt	Elevación sobre el nivel del mar	m
aspect	Orientación de la superficie del terreno	°
eastness	Esticidad	
northness	Norticidad	
slope	Pendiente del terreno	°
POINT_X	Longitud	°
POINT_Y	Latitud	°

Anexo 5. Parámetros considerados para modelado de distribución de *P. serotina* subsp. *capuli* en MaxEnt.

The follow settings were used during the run:

89 presence records used for training.

10065 points used to determine the Maxent distribution (background points and presence points).

Environmental layers used (all continuous): alt bio_12 bio_15 bio_4 bio_7 prec7 ref_depth slope t_cec_soil t_oc t_ph_h2o t_ref_bulk

Regularization values: linear/quadratic/product: 0.129, categorical: 0.250, threshold: 1.110, hinge: 0.500

Feature types used: hinge product linear quadratic

responsecurves: true

jackknife: true

outputformat: logistic

outputdirectory: C:\Users\edwinjb\Documents\capuli\Maxent

samplesfile:

C:\Users\edwinjb\Documents\capuli\arcsig\shp\Distribucioneb11.csv

environmentallayers: C:\Users\edwinjb\Documents\capuli\arcsig\shp

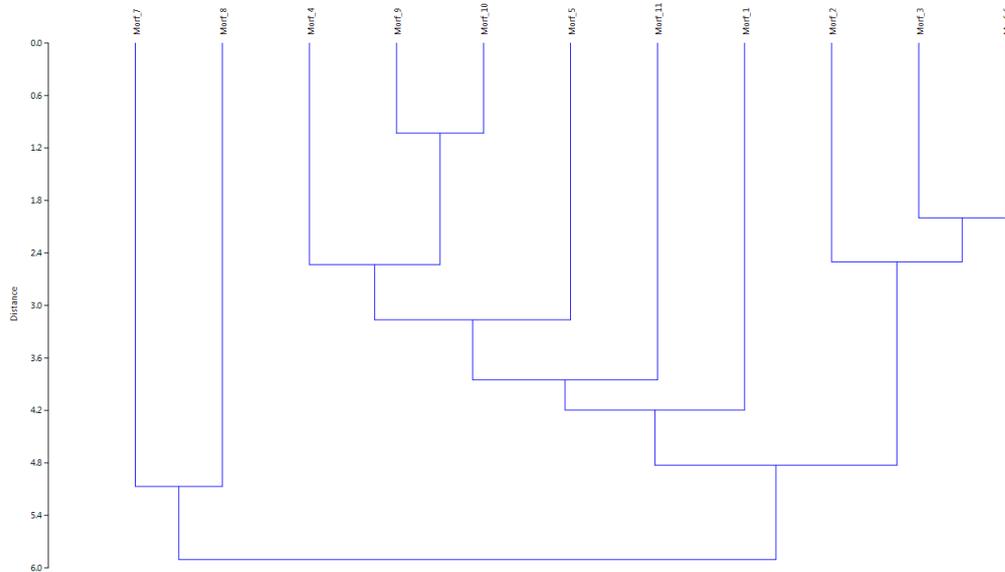
askoverwrite: false

Command line used:

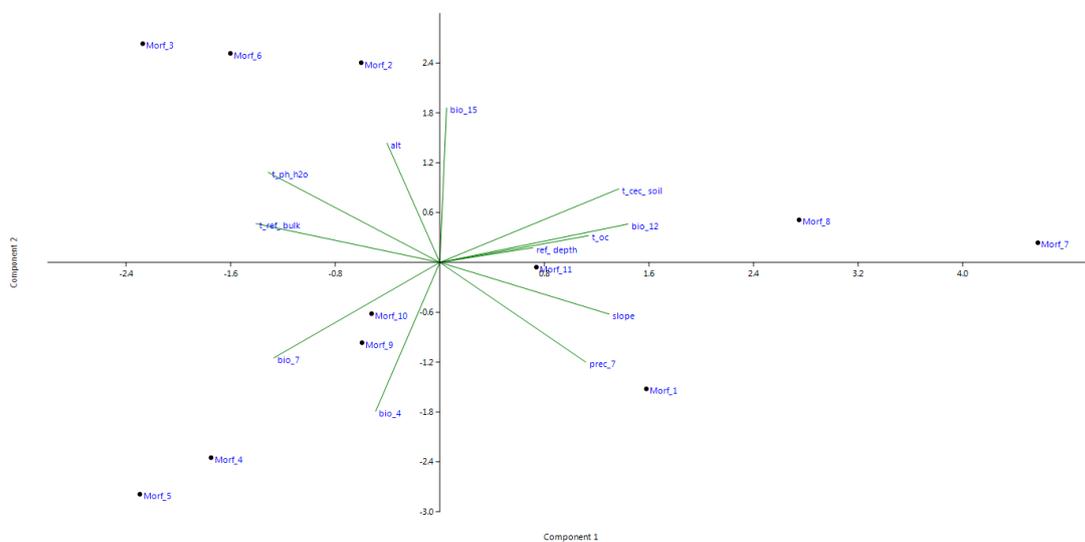
Anexo 6. Estadísticos descriptivos de las variables seleccionadas para cada uno de los morfotipos de *Prunus serotina* subsp. *capuli* atendiendo a su distribución andina ecuatoriana (categorías ecogeográficas). El nombre de las variables se corresponde con los que figuran en el Anexo 4.

Morf.		bio_12	prec_7	bio_15	bio_7	bio_4	t_ref_bulk	ref_depth	t_oc	t_ph_h2o	t_cec_soil	alt	slope
1	CV	28,78	57,43	40,43	7,06	24,43	6,65	0	94,74	11,31	79,09	8,3	70,96
	Min	526,8	13,5	19,8	10,8	309	1,3	100	0,9	5,2	7	2283,7	0,33
	Max	1234	73,3	71	145	772,5	1,7	100	8,3	7,9	39	3052,3	9,00
	Med	660,9	35	32,9	13,6	587	1,58	0	1,9	6,19	11	2756,9	4,06
	DE	190,2	20,1	13,3	0,96	143,4	0,105	0	1,8	0,7	8,7	228,6	2,88
2	CV	26,73	48,53	27,62	4,55	37,65	38,35	0	91,67	5,69	26,67	4,5	68,50
	Min	527,7	12,3	23	11,9	159,8	1,5	100	0,9	5,2	7	2821,3	0,33
	Max	1108,3	58,3	60,7	14,3	643,7	1,7	100	5,3	6,6	15	3205,8	7,00
	Med	723,9	27,2	36,2	13,2	434	1,64	0	1,2	6,33	7,5	2985,9	3,16
	DE	193,5	13,2	10	0,6	163,4	0,629	0	1,1	0,36	2	133,5	2,16
3	CV	18,93	59,92	21,41	4,78	34,49	7,62	0	12,90	3,42	41,67	6,4	62,81
	Min	520	13,5	20,7	12,4	147	1,2	100	0,5	6	7	2427,3	0,33
	Max	916,7	54,3	46,3	14,9	683,3	1,7	100	1	6,6	20	3205,8	5,33
	Med	639,2	23,7	36,9	13,4	442,5	1,64	0	0,93	6,43	7,8	2899,5	2,18
	DE	121	14,2	7,9	0,64	152,6	0,125	0	0,12	0,22	3,25	185,9	1,37
4	CV	10,73	64,36	32,68	3,53	22,14	3,07	0	5,43	3,17	0,00	3,3	89,51
	Min	521	13,7	20,3	13,3	436,3	1,6	100	0,9	6,2	0	2704,8	1,67
	Max	662	65,8	43,3	14,5	737	1,7	100	1	6,6	0	2909,7	8,00
	Med	582,4	37,6	30,6	13,9	606,2	1,63	0	0,92	6,3	0	2818,6	3,42
	DE	62,5	24,2	10	0,49	134,2	0,05	0	0,05	0,2	0	93,3	3,06
5	CV	21,27	42,33	123,4	1,59	38,41	3,07	0	5,38	3,25	0	5,2	65,16
	Min	545,3	16	219,3	14,2	147	1,6	100	0,9	6,2	0	2427,3	1,00
	Max	916,7	52,8	46,3	14,9	726,5	1,7	100	1	6,6	0	2825,0	4,75
	Med	658,6	35,2	28,6	14,5	574,1	1,63	0	0,93	6,33	0	2706,5	2,51
	DE	140,1	14,9	35,3	0,23	220,5	0,05	0	0,05	0,21	0	141,0	1,64
6	CV	12,38	70,00	16,71	4,74	34,21	4,17	0	99,35	7,70	35,25	9,4	81,24
	Min	545,3	17,8	25	12,4	272,3	1,5	100	1	5,2	7	2283,7	1,33
	Max	780,7	73,3	41,3	14,5	654,32	1,7	100	5,3	6,6	18	3167,7	7,33
	Med	660,2	27	35,3	13,3	423,3	1,68	100	1,53	6,43	8	2897,4	2,45
	DE	81,7	18,9	5,9	0,63	144,8	0,07	0	1,52	0,50	2,82	273,8	1,99
7	CV	16,23	51,07	26,75	10,66	36,00	7,89	27,2	82,35	13,50	82,16	5,9	74,78
	Min	669,8	19,7	14,7	10,4	149	1,3	30,0	0,9	5,2	7	2478,5	0,67
	Max	1212,3	98	41,3	14,3	734	1,6	100,0	5,3	7,9	39	3036,0	9,33
	Med	930,1	46,8	32,9	12,2	429,2	1,52	90,67	1,7	6,22	14,07	2760,1	3,72
	DE	151	23,9	8,8	1,3	154,5	0,12	24,6	1,4	0,84	11,56	163,3	2,78
8	CV	21,10	39,21	21,53	9,09	45,79	9,03	0,00	93,67	10,54	66,02	8,6	60,88
	Min	529,3	15,8	22	10,9	147	1,2	100	0,5	5,2	7	2391,3	1,00
	Max	1042,5	61,3	44	14,5	774,3	1,7	100	6	7,9	39	3189,3	10,25
	Med	746,5	32,9	33,9	13,2	451,6	1,55	0	1,58	6,26	11,77	2813,8	4,39
	DE	157,5	12,9	7,3	1,2	206,8	0,14	0	1,48	0,66	7,77	241,3	2,67
9	CV	18,18	54,63	39,69	3,99	27,16	8,50	0	26,80	5,54	45,36	5,2	76,42
	Min	524	7,3	18,7	12,8	313	1,2	100	0,5	5,3	7	2586,0	0,50
	Max	844,3	67	70	14,7	783	1,7	100	1,8	6,6	20	3065,0	8,00
	Med	641,4	33,5	32,5	13,8	551,2	1,6	0	0,97	6,29	8,4	2799,0	3,28
	DE	116,6	18,3	12,9	0,55	149,7	0,136	0	0,26	0,35	3,81	146,1	2,51
10	CV	21,63	47,37	40,75	4,23	31,01	4,38	0	8,60	5,70	78,03	7,4	44,33
	Min	526,8	9	20,3	12,6	199,7	1,3	100	0,9	6,2	7	2217,3	0,75
	Max	973,3	71	66	14,6	773,7	1,7	100	1,3	7,9	39	3185,3	6,00
	Med	668,6	34,2	31,9	13,7	539,8	1,6	0	0,93	6,32	8,33	2864,9	3,49
	DE	144,6	16,2	13	0,58	167,4	0,07	0	0,08	0,36	6,5	211,9	1,55
11	CV	17,29	50,81	25,24	2,01	24,41	14,57	0	27,16	4,0	59,20	6,9	59,25
	Min	542	14	21	12,9	312,5	1,2	100	0,5	6	7	2676,8	0,33
	Max	890,5	70	42,3	13,7	626	1,7	100	1	6,6	20	3195,3	5,50
	Med	722,2	37,2	31,7	13,4	487,1	1,51	0	0,81	6,257	10,71	2949,3	2,95
	DE	124,9	18,9	8	0,27	118,9	0,22	0	0,22	0,25	6,34	203,4	1,75

Anexo 6a. Agrupamiento de los morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli* por el encadenamiento de la media (UPGMA) basado en la distancia euclídea de las medias de las variables tipificadas (Rcof. = 0,8138).



Anexo 6b. ACP basado en la matriz de correlación entre las medias de las variables ecogeográficas para los morfotipos de *P. serotina* subsp. *capuli*. Las dos primeras componentes principales recapitulan el 70,73% de la variación total (40,49% y 30,24%, respectivamente).



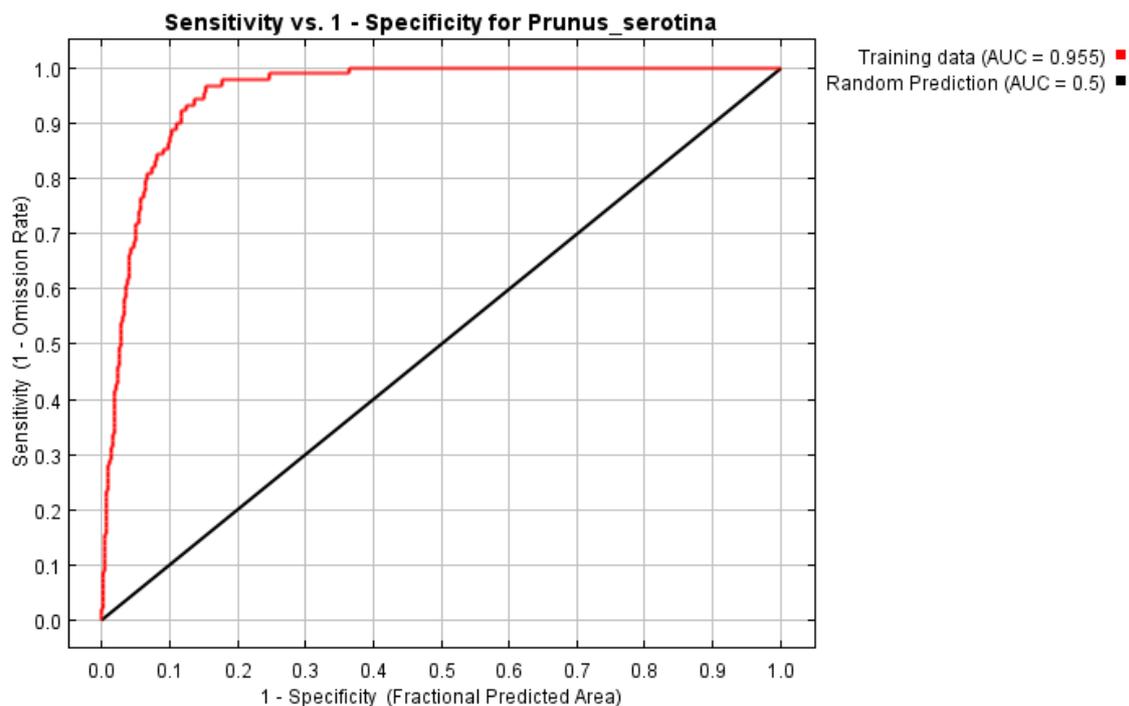
Anexo 7. Descriptivos estadísticos básicos de las variables que definen las categorías ecogeográficas (mapa ELC).

Variables/medidas	CV	Min	Max	Med	D E
Precipitación anual	35,33	379	3058	1045,74	369,44
Precipitación julio	100,71	1	386	62,69	63,14
Estacionalidad en precipitación	43,67	10	11,2	39,93	17,44
Rango temp, anual	10,12	10,2	17,2	127,52	12,91
Estacionalidad en la temp,	45,24	72	82,2	400,68	181,25
t_ref_bulk	6,97	1,22	1,7	1,46	0,10
ref_depth	33,46	30	100	85,27	28,53
t_oc	78,48	0,34	13,28	2,24	1,76
t_ph_h2o	13,64	4,10	8,5	5,76	0,79
t_cec_soil	51,63	7	59	13,65	7,05
Altitud	9,29	2300	3200	2759,68	256,43
Pendiente	61,29	0	30	9,17	5,62
CV: Coeficiente de variación. Mín: Valor mínimo. Máx: Valor máximo. Med: Media. DE: Desviación típica.					

Anexo 8. Estadísticos descriptivos para cada una de las variables seleccionadas en las categorías detectadas en el área de estudio (en negrita las que presentan capulí), Se indica el porcentaje de la superficie correspondiente a cada una de las categorías ecogeográficas. El nombre de las variables se corresponde con los que figuran en el Anexo 1.

Catg, %		bio_12	prec_7	bio_15	bio_7	bio_4	t_ref_ bulk	ref_ depth	t_oc	t_ph_ h2o	t_cec_ soil	alt	slope
1	C V	8,96	4,04	9,28	6,79	10,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,09	41,06
	Min	1668,0	218,00	24,00	10,90	43,80	1,48	100,0	5,33	5,20	15,00	2300,0	1,00
	Max	2322,0	263,00	36,00	14,10	66,90	1,48	100,0	5,33	5,20	15,00	3165,0	22,00
0,20	Med	2035,7	233,95	27,52	13,39	51,52	1,48	100,0	5,33	5,20	15,00	2492,1	10,49
	D E	182,38	9,44	2,55	0,91	5,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	251,54	4,31
2	C V	3,53	4,79	3,12	0,39	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77	26,24
	Min	1947,0	265,00	35,00	14,10	40,60	1,22	100,0	0,48	6,00	20,00	2326,0	11,00
	Max	2122,0	297,00	38,00	14,20	45,70	1,22	100,0	0,48	6,00	20,00	2422,0	18,00
	Med	2040,0	283,40	36,60	14,16	42,66	1,22	100,0	0,48	6,00	20,00	2373,6	14,00
0,02	D E	71,97	13,58	1,14	0,05	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,93	3,67
	C V	11,26	13,69	14,03	4,32	11,26	1,78	53,67	8,87	0,94	24,97	8,51	44,69
	Min	1728,0	216,00	23,00	10,70	36,50	1,38	30,00	1,49	5,30	9,00	2300,0	0,00
	Max	3058,0	386,00	42,00	14,20	68,70	1,43	100,0	1,78	5,40	15,00	3173,0	28,00
2,85	Med	2203,1	274,83	32,72	13,35	49,50	1,40	65,24	1,64	5,35	12,02	2574,9	11,74
	D E	247,99	37,62	4,59	0,58	5,58	0,03	35,02	0,15	0,05	3,00	219,23	5,25
	C V	1,94	1,64	0,00	0,52	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	47,14
4	Min	2265,0	255,00	25,00	13,50	45,80	1,38	100,0	1,78	5,30	15,00	2345,0	1,00
	Max	2328,0	261,00	25,00	13,60	50,20	1,38	100,0	1,78	5,30	15,00	2351,0	2,00
	Med	2296,5	258,00	25,00	13,55	48,00	1,38	100,0	1,78	5,30	15,00	2348,0	1,50
	D E	44,55	4,24	0,00	0,07	3,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,24	0,71
5	C V	32,32	112,16	39,58	9,17	54,44	4,07	6,60	70,30	10,01	38,35	9,02	66,35
	Min	487,0	2,00	12,00	10,40	7,20	1,48	30,00	0,88	4,10	7,00	2300,0	0,00
	Max	2089,0	233,00	96,00	17,10	80,80	1,67	100,0	13,28	6,60	59,00	3200,0	29,00
	Med	1017,5	42,78	42,50	13,36	33,67	1,54	99,38	3,19	5,74	11,15	2780,3	8,07
	D E	328,84	47,99	16,82	1,23	18,33	0,06	6,56	2,24	0,57	4,28	250,65	5,35
6	C V	32,77	77,92	40,07	8,54	42,03	11,85	0,00	71,96	15,67	29,17	8,66	59,87
	Min	383,0	1,00	18,00	10,30	11,20	1,22	100,0	0,34	5,10	20,00	2300,0	0,00
	Max	2308,0	255,00	102,0	14,60	78,00	1,70	100,0	3,14	8,50	39,00	3200,0	29,00
	Med	899,4	42,79	40,83	12,55	45,66	1,37	100,0	1,00	7,09	27,38	2693,2	8,90
	D E	294,68	33,34	16,36	1,07	19,19	0,16	0,00	0,72	1,11	7,99	233,34	5,33
7	C V	27,49	70,51	50,32	8,31	34,57	1,85	53,51	9,53	1,15	24,88	9,42	51,99
	Min	379,0	1,00	10,00	10,20	9,10	1,38	30,00	1,49	4,70	9,00	2300,0	0,00
	Max	2015,0	261,00	112,0	14,50	82,20	1,54	100,0	2,72	5,40	15,00	3200,0	30,00
	Med	1037,0	76,37	37,32	12,04	45,04	1,41	65,40	1,64	5,35	12,04	2781,9	10,66
8	D E	285,01	53,84	18,78	1,00	15,57	0,03	35,00	0,16	0,06	3,00	262,00	5,54
	C V	26,31	134,89	20,88	8,17	44,74	2,47	0,00	93,55	4,60	26,56	4,97	101,79
	Min	523,0	3,00	19,00	10,70	11,40	1,48	100,0	0,88	5,20	7,00	2300,0	0,00
	Max	1922,0	206,00	94,00	17,20	75,90	1,67	100,0	5,33	6,60	15,00	2806,0	2,00
0,60	Med	1061,8	22,39	46,47	15,86	23,23	1,56	100,0	1,19	6,17	7,53	2479,3	0,58
	D E	279,36	30,21	9,70	1,30	10,39	0,04	0,00	1,11	0,28	2,00	123,22	0,59
	C V	22,58	36,67	13,79	6,26	11,95	1,44	68,59	7,70	0,76	24,49	6,95	61,24
	Min	1030,0	86,00	17,00	12,40	33,60	1,38	30,00	1,49	5,30	9,00	2316,0	0,00
9	Max	1846,0	207,00	24,00	14,40	46,30	1,43	100,0	1,78	5,40	15,00	2822,0	2,00
	Med	1317,2	122,17	20,33	13,27	38,40	1,42	41,67	1,54	5,38	10,00	2503,7	1,33
	D E	297,47	44,80	2,80	0,83	4,59	0,02	28,58	0,12	0,04	2,45	173,93	0,82
	C V	16,51	43,78	18,77	11,60	45,46	2,46	9,16	99,24	8,68	64,67	7,79	92,47
10	Min	638,0	11,00	24,00	10,80	11,50	1,48	30,00	0,88	4,10	7,00	2304,0	0,00
	Max	1634,0	62,00	54,00	16,60	51,70	1,67	100,0	13,28	6,60	59,00	3032,0	5,00
	Med	945,9	33,57	37,79	13,05	31,85	1,54	98,81	2,41	5,88	10,14	2659,5	1,07
	D E	156,19	14,70	7,09	1,51	14,48	0,04	9,05	2,39	0,51	6,55	207,21	0,99
11	C V	29,95	39,86	5,20	3,84	13,12	9,04	0,00	50,98	25,39	14,57	6,52	44,83
	Min	782,0	12,00	47,00	12,00	13,50	1,40	100,0	0,34	5,10	23,00	2300,0	0,00
	Max	2299,0	46,00	54,00	14,40	21,70	1,70	100,0	3,14	8,50	33,00	2874,0	4,00
	Med	1676,1	30,25	51,15	13,67	16,37	1,47	100,0	2,44	5,95	30,50	2516,4	2,30
0,07	D E	502,01	12,06	2,66	0,52	2,15	0,13	0,00	1,24	1,51	4,44	164,14	1,03
	C V	1,08	2,59	0,00	0,60	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,00
	Min	1235,0	107,00	15,00	11,70	49,10	1,43	30,00	1,49	5,40	9,00	2751,0	1,00
	Max	1254,0	111,00	15,00	11,80	49,50	1,43	30,00	1,49	5,40	9,00	2785,0	1,00
0,01	Med	1244,5	109,00	15,00	11,75	49,30	1,43	30,00	1,49	5,40	9,00	2768,0	1,00
	D E	13,44	2,83	0,00	0,07	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,04	0,00

Anexo 9. Indicador de precisión del modelo según el valor AUC (área bajo la curva).



Anexo 10. Contribución de las variables en el modelo.

Variable	Porcentaje de contribución	importancia de permutación
Capacidad de intercambio catiónico	28,6	7,9
Pendiente del terreno	17,2	23,7
Rango de temperatura anual	16,4	1,8
Altitud sobre nivel del mar	8,4	36,9
Estacionalidad de la temperatura	8,3	7,7
Precipitación anual	7,1	1,1
Profundidad del suelo	5	1,4
Densidad aparente del suelo	3	0,4
Estacionalidad de la precipitación	2,9	3,8
pH del suelo	2,4	8,1
Contenido de materia orgánica	0,5	4
Precipitación de julio	0,4	3,1

Anexo 11. Importancia de las variables atendiendo a la prueba de Jackknife.

