



Artículo Original | Original Article

Distribución bioclimática de plantas medicinales y sus principios activos en el Departamento de Cajamarca (Perú)

[Bioclimatic distribution of medicinal plants and its active substances in the Department of Cajamarca (Peru)]

Antonio Galán de Mera¹, Eliana Linares-Perea², Fredy Martos³, Juan Montoya-Quino⁴,
Carla Rodríguez-Zegarra³ & Iván Torres-Marquina³

¹Laboratorio de Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad CEU San Pablo, 28660-Boadilla del Monte, Madrid, España

²Estudios Fitogeográficos del Perú, Manuel Prado, Paucarpata, Arequipa, Perú

³Laboratorio de Botánica, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU) Cajamarca, Perú

⁴Herbario CPUN, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú

Contactos / Contacts: Antonio GALÁN DE MERA - E-mail address: agalmer@ceu.es

Abstract: This work presents a distribution of medicinal plants and active substances from Cajamarca Department (Peru) under a bioclimatic criterion. The results show that 108 medicinal plants are spread among five bioclimatic belts: infratropical, thermotropical, mesotropical, supratropical and orotropical. As a statistical analysis shows (non-metric multidimensional scaling, MDS), most of them are concentrated in the mesotropical belt and a subhumid precipitation range. In addition a canonical correspondence analysis (CCA), using the altitude (m), the thermicity index (It) and annual precipitation (P) as environmental variables, indicates how active substances are also distributed with tendencies of them, showing phenolic substances and essential oils as mesotropical products, and complex alkaloids to the highest It values, while simple alkaloids to the lowest It values. Most of these molecular compounds are generated under the highest values of the subhumid and humid precipitation intervals. This bioclimatic method can led us to find new medicinal plants and active molecules.

Keywords: Bioclimatic belts; Biogeography; Medicinal plants distribution; Active compound distribution; Cajamarca; Peru.

Resumen: Este trabajo presenta una distribución de plantas medicinales y principios activos en el departamento de Cajamarca (Perú) bajo un criterio bioclimático. Los resultados muestran que 108 plantas medicinales están repartidas entre cinco pisos bioclimáticos: infratropical, termotropical, mesotropical, supratropical y orotropical. Como muestra el análisis estadístico realizado MDS (non-metric multidimensional scaling), la mayoría de plantas se concentra en el piso mesotropical y en el intervalo subhúmedo de precipitaciones. Además, un análisis canónico de correspondencias (CCA), donde intervienen la altitud (h), el índice de termicidad (It) y las precipitaciones anuales (P) como variables ambientales, indica cómo los principios activos también se distribuyen según tendencias de estas, mostrando a los compuestos fenólicos y aceites esenciales como productos mesotropicales, los alcaloides complejos hacia los valores más elevados de It, mientras que los alcaloides simples hacia los más bajos. Asimismo, la mayoría de estos compuestos tienen su óptimo en los valores más elevados del intervalo subhúmedo y el intervalo húmedo de precipitaciones. Este método bioclimático nos puede llevar a encontrar nuevas plantas medicinales y principios activos.

Palabras clave: Pisos bioclimáticos; Biogeografía; Distribución de plantas medicinales; Distribución de principios activos; Cajamarca; Perú

Recibido | Received: 31 de agosto de 2018

Aceptado | Accepted: 23 de enero de 2019

Aceptado en versión corregida | Accepted in revised form: 29 de enero de 2019

Publicado en línea | Published online: 30 de marzo de 2019.

Este artículo puede ser citado como / This article must be cited as: A Galán-de-Mera, E Linares-Perea, F Martos, J Montoya-Quino, C Rodríguez-Zegarra, I Torres-Marquina. 2019 Distribución bioclimática de plantas medicinales y sus principios activos en el Departamento de Cajamarca (Perú). *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat* 18 (2): 130 – 143.

INTRODUCCIÓN

El uso de plantas medicinales está muy extendido en el norte del Perú, y su estudio se extiende desde la colonización española en el siglo XVI (Gómez Pamo, 1907) y principios del siglo XX (Weberbauer, 1905) hasta nuestros días (Castañeda-Valencia y Condori-Peñaloza, 2010; Sánchez-Vega, 2011; Ruiz Florindez, 2012; Sánchez-Vega y Sánchez-Rojas, 2012; Galán-de-Mera y Sánchez-Vega, 2013; Sánchez-Vega, 2014). A estos estudios, se añade la tendencia de conocer las plantas desde su dimensión antropológica hasta química (Bussmann y Sharon, 2006; Revene *et al.*, 2008; Bussmann *et al.*, 2008, Bussmann *et al.*, 2010; Bussmann y Sharon, 2009), de los que podemos deducir las diferentes escalas del estudio de la naturaleza, desde el paisaje a la composición química de una planta (Cunningham, 2001). La región que estudiamos forma parte de un continente que incluye una determinada sectorización biogeográfica; si disminuimos la escala nos situamos en un ámbito regional, que se corresponde con un sector biogeográfico, que incluye desde plantas endémicas a ciertas características geomorfológicas que le proporcionan la distinción respecto a los que le rodean. Los sectores biogeográficos en el Perú presentan una sucesión altitudinal de asociaciones formadas por plantas características, y sus especies interactúan con el hombre hasta el nivel molecular, pudiéndose transformar así en plantas medicinales (Gurib-Fakim, 2006; Bussmann, 2013). Asociaciones y cultivos, incluidos los de plantas medicinales, dispuestos en franjas altitudinales, representan el uso del territorio por las culturas pre-hispánicas en el Perú, que está de acuerdo con el modelo de Murra (2009) sobre el control vertical del uso del territorio. Este modelo establece un control simultáneo de los diferentes pisos ecológicos a lo largo del año por una comunidad “ayllu” que es la base de la economía y de la organización política de un territorio. El cultivo y la ganadería en diferentes cinturas altitudinales o pisos aseguraban la autosuficiencia de una comunidad, que además podía aumentar sus recursos mediante el comercio (Brush, 1976). Sin embargo, estas franjas altitudinales de vegetación podemos hacerlas coincidir con intervalos de índices climáticos y de humedad definiendo pisos bioclimáticos según el modelo de Rivas-Martínez *et al.* (1999). Además, especies y comunidades vegetales son bioindicadores de un determinado piso bioclimático, por lo que podemos predecir la localización de plantas medicinales.

El objetivo de este trabajo es estudiar cómo se distribuyen las plantas medicinales y sus principios activos en pisos bioclimáticos e intervalos de precipitaciones. Con ello podremos deducir las áreas donde determinados tipos de principios activos son más frecuentes en relación con las especies que las sintetizan, facilitando su búsqueda en el campo así como las investigaciones de nuevas moléculas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Pisos bioclimáticos e intervalos de precipitaciones

Los pisos bioclimáticos están basados en el índice de termicidad (It) y en bioindicadores (plantas y comunidades vegetales).

El índice de termicidad es una expresión matemática con diferentes valores de temperatura (°C): $It = (T+M+m) 10$, donde T es la temperatura media anual, M la temperatura media de las máximas del mes más frío, y m la temperatura media de las mínimas del mes más frío. M y m son los valores que modulan a la temperatura media anual, puesto que son los que indican la presencia de actividad vegetativa en un territorio (Rivas-Martínez *et al.*, 1999).

En el Perú se reconocen 6 pisos bioclimáticos: Infratropical ($It > 610$), termotropical ($It = 610$ a 471), mesotropical ($It = 470$ a 311), supratropical ($It = 310$ a 171), orotropical ($It = 170$ a 50), y criorotropical ($It < 50$). Estos pisos bioclimáticos se matizan con intervalos de precipitaciones (P anual en mm), de tal forma que podemos tener piso infratropical muy húmedo en la Amazonía, pero muy seco en el norte del Perú. Se distinguen en el Perú hasta 9 intervalos de precipitaciones: Ultrahiperárido ($P < 5$), hiperárido ($P = 5$ a 30), árido ($P = 31$ a 100), semiárido ($P = 101$ a 300), seco ($P = 301$ a 500), subhúmedo ($P = 501$ a 900), húmedo ($P = 901$ a 1500), hiperhúmedo ($P = 1501$ a 2500) y ultrahiperhúmedo ($P > 2500$).

Área de estudio

El estudio se ha realizado en el Departamento de Cajamarca, situado en el NW del Perú entre la latitud $7^{\circ}32'S$ y la frontera con Ecuador ($4^{\circ}58'S$). Al E limita con el Departamento de Amazonas a través del río Marañón hasta su confluencia con el Chinchipe; al W encontramos los valles áridos que se continúan en los Departamentos de Lambayeque y Piura, y al SW y S en el Departamento de La Libertad. Excepto el río Marañón, que recorre de S a N gran parte de la frontera oriental del territorio, todos los demás ríos

suelen tener un trazado transversal: al N, Chinchipe y Huancabamba-Chamaya, en el centro, Chancay, Malleta, Llaucano y de las Yangas, y al S, Jequetepeque-Magdalena y Cajamarca-Crisnejas. Estos ríos separan relieves que en pocos casos superan los 4000 m. Las mayores altitudes de la región se encuentran concentradas en el S, con una disminución progresiva de la altitud hasta la depresión del sistema fluvial Huancabamba-Chamaya.

En los trabajos realizados en el Departamento de Cajamarca (Galán de Mera et al., 2013; Galán de Mera et al., 2015; Galán de Mera et al., 2016), hemos detectado 5 pisos bioclimáticos, desde el infratropical al orotropical (Figura N° 1). El piso infratropical se extiende desde el Departamento de Tumbes hasta el sur del Departamento de Cajamarca, el cual se introduce en las proximidades de Tembladera (7°15'03''S-79°07'58''W) y Chilete (7°13'27''S-78°50'25''W) hasta unos 1000 m de altitud. Aquí la vegetación se corresponde con un intervalo semiárido y la asociación *Loxopterygio huasanginis-Neoraimondietum arequipensis*, que incluye especies comunes con otros territorios del norte de América del Sur, como *Bursera graveolens*, *Capparicordis crotonoides*, *Cercidium praecox*, *Espostoa lanata*, *Ipomoea carnea* y *Loxopterygium huasango*. También son frecuentes endemismos peruanos, como *Heliotropium ferreyrae*, *Neoraimondia arequipensis* y *Onoseris odorata*. Hacia el E, en las zonas basales del valle del Marañón, encontramos la asociación *Armatocereus balsasensis-Cercidietum praecocis*; dos de sus características son los endemismos *Armatocereus rauhii* subsp. *balsasensis* y *Browningia altissima*, que marcan una clara diferencia biogeográfica entre el valle inter-andino del Marañón y las vertientes andinas occidentales.

El bosque de *Crotono ruiziani-Acacietum macracanthae* reemplaza a la asociación *Loxopterygio huasanginis-Neoraimondietum arequipensis* hacia los 1000 m, mostrando el paso hacia el piso termotropical seco que se extiende hasta los 2000 m de altitud. Entre 2000 y 2500 m el intervalo subhúmedo establece el bosque de *Annona cherimola* y *Acacia macracantha*, donde destacan plantas de hoja ancha, como *A. cherimola*, *Escallonia pendula*, *Inga feuillei* y *Juglans neotropica*. El piso termotropical en el valle del Marañón (1500-2500 m) está representado por el bosque de *Diplopterydo leiocarphae-Acacietum macracanthae*, donde *Acacia macracantha* es la especie dominante acompañada

por *Cedrela kuelapensis*, *Ceiba insignis*, *Celtis loxensis*, *Eriotheca ruizii*, *Esenbeckia warszewiczii* y *Leucaena trichodes*.

El piso mesotropical se extiende entre 2500 y 3100 m de altitud a ambos lados de la Cordillera, con intervalos de precipitación subhúmedo y húmedo. En este espacio, la vegetación potencial predominante son los bosques de aliso de *Valleo stipularis-Alnetum acuminatae*, donde además podemos distinguir algunos arbustos como *Baccharis latifolia*, *Gaultheria bracteata*, *Maytenus verticillata*, *Monactis flaverioides*, *Myrsine pellucida* y *Rubus praecox*. Sobre los 3100 m de altitud, *Barnadesia dombeyana*, *Polylepis racemosa* (*Barnadesia dombeyanae-Polylepidetum racemosae*) y otros caméfitos y arbustos, como *Ageratina sternbergiana*, *Baccharis latifolia*, *Buddleja incana* y *Junellia occulta*, indican el piso supratropical. La intervención de los bosques de *Polylepis* conduce a la "jalca" de menor altitud, que se extiende hasta unos 3800 m, con el pajonal de *Calamagrostio tarmensis-Hypericetum laricifolii*. Esta asociación es un pajonal bastante denso que encuentra similitudes fisionómicas en los páramos de Ecuador y Colombia, pero a su vez está relacionado con la puna húmeda de los Andes centrales. Se caracteriza por un número elevado de endemismos nor-peruanos (*Calceolaria cajabambae*, *Geranium peruvianum*, *Muhlenbergia caxamarcensis*, *Paranephelium ferreyrii* y *Tridax peruviansis*).

En las mayores altitudes del Departamento de Cajamarca, por encima de 3800 m, el piso orotropical húmedo-hiperhúmedo está representado por la asociación *Agrostio toluensis-Paspaletum bonplandiani*. Este pastizal se caracteriza por los endemismos *Ascidogyne sanchezvegae* y *Puya fastuosa*, aparte de *Arcytophyllum filiforme*, *Agrostis toluensis*, *Festuca huamachucensis*, *Paspalum bonplandianum* y *Werneria stuebelii*.

Obtención del material

Se compilaron 108 plantas medicinales del Departamento de Cajamarca de las que conocemos sus principios activos mayoritarios, de acuerdo con referencias bibliográficas, y la altitud (h en m) media, el índice de termicidad (It) medio, y la precipitación anual (P en mm) a la que se desarrollan. Estas se recogieron en una matriz (Tabla N° 1), en la cual, en el eje Y se dispusieron las especies, mientras que en el X la altitud media, el índice de termicidad (It) medio y la precipitación anual (P) como variables

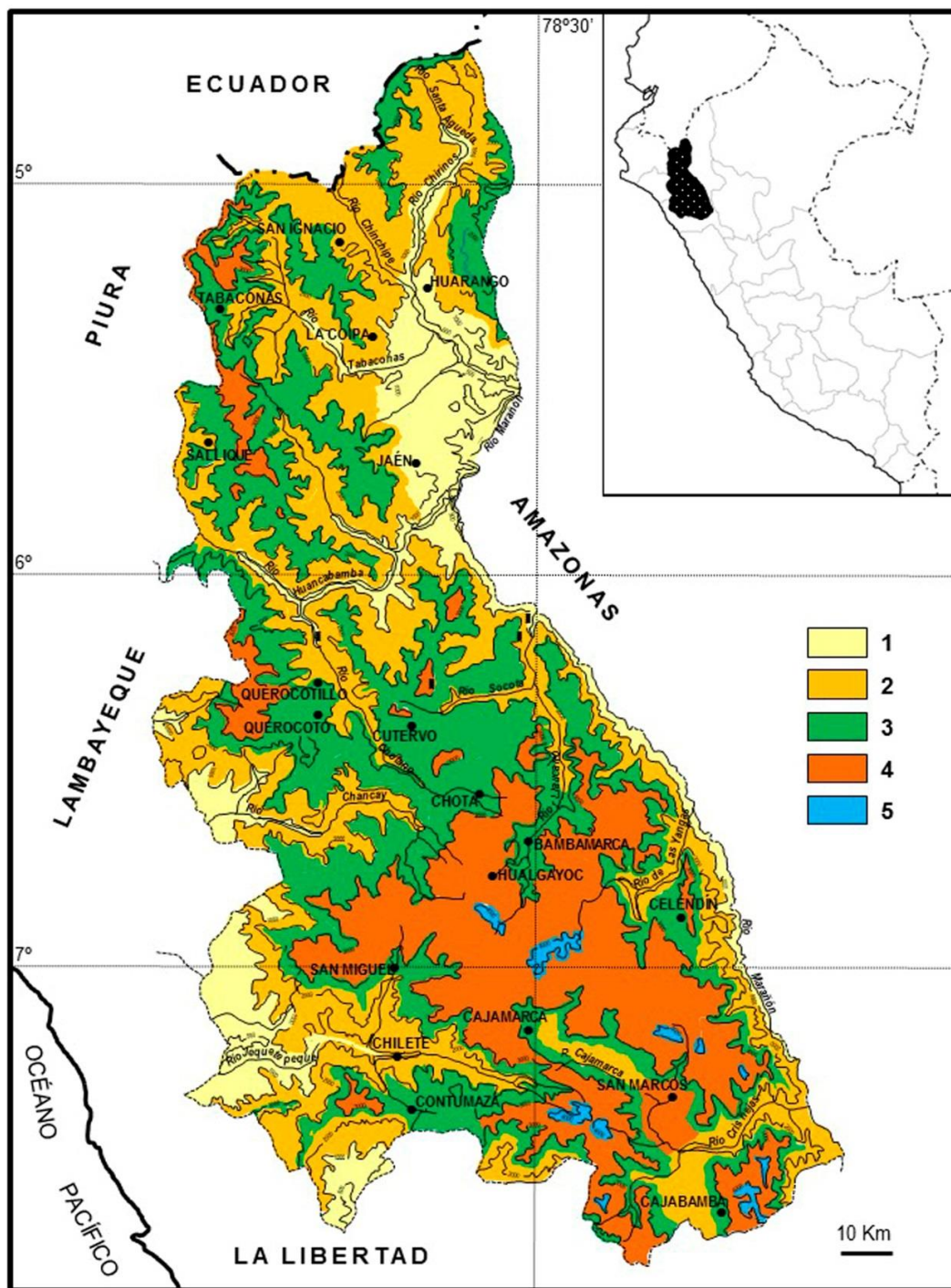


Figura N° 1

Mapa con los pisos bioclimáticos del departamento de Cajamarca.

1: infratropical, 2: termotropical, 3: mesotropical, 4: supratropical, 5: orotropical

ambientales, y la presencia o ausencia en cada especie de determinados principios activos obtenidos de la bibliografía (por ejemplo: Kawano *et al.*, 2009; Castañeda-Valencia y Condori-Peñaloza, 2010; Alejandro-Espinosa *et al.*, 2013; Aranda-Ventura *et al.*, 2014; Meckelmann *et al.*, 2015; Benites *et al.*, 2016, Galán de Mera *et al.*, 2018) y que, además fueron reunidos en grandes grupos (29), siguiendo en su mayor parte la clasificación biosintética de Bruneton (2001): flavonoides (FLA), fenoles (FEN), polifenoles (POL), lignanos (LIG), taninos (TAN), orcinoles y floroglucinosoles (ORC), benzofuranos (BFUR), cumarinas (CUM), quinonas (QUI), antraquinonas (ANT), monoterpenos (MON), iridoides (IRI), sesquiterpenos (SES), lactonas sesquiterpénicas (LSES), diterpenos (DIT), triterpenos y esteroides (TRI), cardenólidos (CAR),

saponinas (SAP), resinas (RES), derivados de feniletanol (FENE), derivados de fenilpropano (FENP), derivados nitrogenados de propanol (DNPR), alcalmidas (ALCM), alcaloides tropánicos (ALT), alcaloides simples (ALS), alcaloides sin especificar (ALN), alcaloides esteroideos (AES), pectinas, hemicelulosas y mucílados (MUC), y otros metabolitos primarios (OMP).

Las altitudes medias donde se pueden detectar las especies se calcularon a partir de la base de datos Tropicos (2018). Estas altitudes medias se hicieron coincidir con valores medios de It. Para indicar el valor de P de cada especie, se buscó una localidad donde se colectó dicha especie según Tropicos (2018) y se localizó el valor en la correspondiente estación meteorológica en la base de datos de Schwarz (2018).

Tabla N°1
Matriz con plantas medicinales, variables ambientales y presencia/ausencia de principios activos

N°	Especies registradas en Cajamarca	Localidades	h (media)	It (medio)	P	Presencia (1)/ausencia (0) de principios activos
1	<i>AAAcena argentea</i>	Cajamarca	3312.5	240.5	708	1000000000000000000000000000000000
2	<i>Achyrocline alata</i>	Contumazá	3257.5	240.5	525	11000000001000000000000000000000
3	<i>Acmella oppositifolia</i>	Contumazá	2600	390.5	525	00000000000000000000000010000000
4	<i>Acnistus arborescens</i>	Jaén	1431.1	540.5	675	000000000000101000000000000000
5	<i>Adiantum concinnum</i>	Llacanora	2610	390.5	698	100000000000001000000000000000
6	<i>Ageratina fastigiata</i>	San Miguel de Pallaqués	2938.5	390.5	1057	100000000000010000000000000000
7	<i>Aloe vera</i>	Cajamarca	2055.2	390.5	708	000000001000000000000000000010
8	<i>Alonsoa meridionalis</i>	Cutervo	2341.5	390.5	774	000000000010000000000000000000
9	<i>Aloysia citrodora</i>	Cajamarca	3015	390.5	708	000000000101000000000000000000
10	<i>Alternanthera porrigens</i>	Cajabamba	1861.4	540.5	801	110000000000001010000000000000
11	<i>Ambrosia arborescens</i>	Contumazá	2534	390.5	525	000000000001010000000000000000
12	<i>Arracacia elata</i>	Hualgayoc	2925	390.5	1341	1100100000100101000000001000
13	<i>Arracacia peruviana</i>	Cajamarca	3325.5	240.5	708	000000000000000000000000000001
14	<i>Astragalus garbancillo</i>	Cajabamba	3385.5	240.5	801	0000000000000000000010000000
15	<i>Baccharis genistelloides</i>	San Ignacio	2420.7	390.5	1165	100000000100101000000000000000
16	<i>Baccharis hutchinsonii</i>	Celendín	2905	390.5	818	000000000000100000000000000000
17	<i>Baccharis latifolia</i>	Contumazá	2668.2	390.5	525	000000000101011000000000000000
18	<i>Bejaria aestuans</i>	Chota	2183	390.5	916	110010001000000100000000000000
19	<i>Borago officinalis</i>	Contumazá	2678.9	390.5	525	00000000000000000000000000010010
20	<i>Brugmansia arborea</i>	San Pablo	1623.7	540.5	765	000000000000000000000000100000
21	<i>Caesalpinia spinose</i>	San Marcos	2397	390.5	670	000010000000000000000000000000
22	<i>Calceolaria pavonii</i>	Cutervo	2518.1	390.5	774	1100000000000000100000001000
23	<i>Capsicum pubescens</i>	Chota	2059.7	540.5	916	100000000000000000000000001000
24	<i>Cestrum auriculatum</i>	Santa Cruz	1773.5	540.5	782	110000000000001000000000000000
25	<i>Chuquiraga weberbaueri</i>	Celendín	3344	240.5	818	100000000000000000000000000000
26	<i>Clinopodium nubigenum</i>	Cajabamba	3550	240.5	801	000000000101000000000000000000
27	<i>Clinopodium pulchellum</i>	Cajabamba	2832.3	390.5	801	000000000100000000000000000000
28	<i>Clinopodium sericeum</i>	Cajamarca	3004	390.5	708	000000000100000000000000000000
29	<i>Clinopodium weberbaueri</i>	Celendín	2768.7	390.5	818	000000000100000000000000000000
30	<i>Culcitium canescens</i>	Cajamarca	4302.2	110	804	000000000001000000000000000000
31	<i>Cuphea strigulosa</i>	San Ignacio	755	655	1165	100000000000001000000000000001
32	<i>Cynara cardunculus</i>	Cajamarca	2366.6	390.5	750	110000000000000000000000000000
33	<i>Cyphomandra betacea</i>	Cutervo	1896.7	540.5	774	100000000000000000000000000011
34	<i>Dalea strobilacea</i>	Cajamarca	2666.6	390.5	708	000000000100000000000000000000

35	<i>Desmodium molliculum</i>	Cajamarca	2660.3	390.5	708	1000100000000001000000000000
36	<i>Dodonaea viscosa</i>	Chota	2181.5	390.5	916	100000000000000100100000000000
37	<i>Drimys granadensis</i> var. <i>peruviana</i>	San Ignacio	2310.4	390.5	1165	0000000000101010000000000000
38	<i>Equisetum bogotense</i>	Cajamarca	2746.3	390.5	708	1000000000000000000000000001
39	<i>Erodium cicutarium</i>	Jaén	3548.5	240.5	675	0000000001000000000000000000
40	<i>Erythroxyllum coca</i>	San Ignacio	933.4	655	1165	100010000000000000000000100000
41	<i>Erythroxyllum novogranatense</i> var. <i>truxillense</i>	Celendín	1075	540.5	687	100010000000000000000000100000
42	<i>Eucalyptus globulus</i>	Cajamarca	3052.8	390.5	708	1000000001000000000000000000
43	<i>Foeniculum vulgare</i>	Cajamarca	2477	390.5	708	0000000100100000000000000000
44	<i>Gaultheria erecta</i>	San Miguel de Pallaqués	2761.5	390.5	1057	1100100001000100010000000000
45	<i>Gaultheria myrsinoides</i>	Celendín	3190.6	240.5	818	1000100000000001000000000001
46	<i>Gentianella graminea</i>	Hualgayoc	3438.2	240.5	1341	1000000000000001010000000000
47	<i>Geranium ayavacense</i>	Cajamarca	3520	240.5	708	1100100000000001010000001000
48	<i>Geranium ruizii</i>	Cajamarca	4190	110	1167	1000100010000001000000000000
49	<i>Halenia sphagnicola</i>	Cajamarca	2950	390.5	708	0100100001000100010000000001
50	<i>Hedyosmum scabrum</i>	San Miguel de Pallaqués	2506.4	390.5	1057	0000000001010000000000000000
51	<i>Huperzia crassa</i>	Cajamarca	4499.2	110	708	00000000000000000000000010000
52	<i>Hypericum silenoides</i>	Contumazá	2315.7	390.5	525	1000010000100000000000000000
53	<i>Iresine diffusa</i>	Cutervo	2183.3	390.5	774	0000000000010000000000000000
54	<i>Krameria lappacea</i>	Cajamarca	2047.9	390.5	708	0000101000000000000000000000
55	<i>Lippia americana</i>	Chota	565	655	916	1100000000100011000000000000
56	<i>Lobelia tenera</i>	Contumazá	3237.3	240.5	525	00000000000000000000000010000
57	<i>Lupinus mutabilis</i>	Santa Cruz	2806.6	390.5	782	00000000000000000000000010001
58	<i>Margyricarpus pinnatus</i>	San Miguel de Pallaqués	3470	240.5	1057	1000000000000000000000000001
59	<i>Mauria heterophylla</i>	San Miguel de Pallaqués	2576.8	390.5	1057	0100000000000000000000000000
60	<i>Minthostachys mollis</i>	San Ignacio	2510	390.5	1165	0000000001000000000000000000
61	<i>Momordica charantia</i>	San Ignacio	211.3	655	1165	0000000000000000010000000000
62	<i>Monochaetum lineatum</i>	Cutervo	2258.5	390.5	774	1100100000000100010000000000
63	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>	Cutervo	2748.8	390.5	774	0000000010000000000000000000
64	<i>Myrcianthes discolor</i>	Celendín	2835.9	390.5	818	1100100000000000000000000000
65	<i>Myrcianthes myrsinoides</i>	Celendín	2914.2	390.5	818	1100100000000001000000001000
66	<i>Oenothera rosea</i>	Contumazá	2209.1	390.5	525	10000001000000000000000010001
67	<i>Oreocallis grandiflora</i>	Chota	2465.7	390.5	916	1100000000000000000000000000
68	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i>	San Miguel de Pallaqués	2992.7	390.5	1057	0100100000000100010000000000
69	<i>Otholobium pubescens</i>	San Marcos	3221.1	240.5	670	0100000000000000000000000000
70	<i>Paranephelium uniflorum</i>	Contumazá	2992.5	390.5	525	000000000000000000000100000000
71	<i>Peperomia galioides</i>	Santa Cruz	2634.4	390.5	782	0000000001000000000000000000
72	<i>Peperomia parvifolia</i>	Cajabamba	3880	110	801	1000000000000000010000000000
73	<i>Perezia multiflora</i>	Hualgayoc	4175	110	1341	10000001000010000000000001000
74	<i>Persea Americana</i>	San Ignacio	1190.3	540.5	1165	11001000000000000000000000001
75	<i>Phlebodium decumanum</i>	San Ignacio	637.5	655	1165	0000000000000001000000000000
76	<i>Phyllactis rigida</i>	Celendín	3858	110	818	0000000000100000000000000000
77	<i>Phyllanthus niruri</i>	Contumazá	2307	390.5	525	10011001000000010000000001000
78	<i>Physalis peruviana</i>	Cajamarca	2083.4	390.5	708	10000000000000010000000100001
79	<i>Piper acutifolium</i>	Santa Cruz	2226.4	390.5	782	1100001100000000000000000000
80	<i>Piper aduncum</i>	San Ignacio	773.6	655	1165	1001100010101001010000000000
81	<i>Plantago major</i>	San Ignacio	1568.2	540.5	1165	10000000000100001000000000010
82	<i>Polystichum montevidense</i>	Contumazá	2166.8	390.5	525	0000000001010000000000000000
83	<i>Ranunculus praemorsus</i>	Celendín	3456.1	240.5	818	100000000000010000000001000
84	<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>	Contumazá	2779.7	390.5	525	1100000001000000000000000000
85	<i>Rosa chinensis</i>	San Ignacio	1078	540.5	1165	000000000000000000000100000000
86	<i>Rubus robustus</i>	San Miguel de Pallaqués	2932.2	390.5	1057	1000000000000000000000000001
87	<i>Salix humboldtiana</i>	Cajamarca	1520	540.5	708	1100000000000000000000000000
88	<i>Salvia oppositiflora</i>	Celendín	2066.5	390.5	818	0000000001000000000000000000
89	<i>Salvia sagittata</i>	Cajamarca	2958.7	390.5	708	0000000000000110000000000000
90	<i>Sambucus peruviana</i>	Contumazá	3117.1	240.5	525	1010000000000101010000000000

91	<i>Sanguisorba minor</i>	Cajamarca	2721.5	390.5	708	100000000010100000000000000000
92	<i>Schkuhria pinnata</i>	Cajamarca	2289.8	390.5	708	100000000000010000001000000000
93	<i>Senecio tephrosioides</i>	Cajamarca	4064.5	110	708	00000000001000000000000010000
94	<i>Sida rhombifolia</i>	Cajamarca	1450.6	540.5	708	000000000000000010000000000000
95	<i>Sigesbeckia jorullensis</i>	Contumazá	2839.2	390.5	525	000000000010101000000000000001
96	<i>Siparuna muricata</i>	Cutervo	2544.7	390.5	774	100010010000010110000000000000
97	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	San Ignacio	1686.5	540.5	1165	110000000000000100000000000000
98	<i>Smilax tomentosa</i>	San Ignacio	1943.2	540.5	1165	100010000000000001001000000000
99	<i>Solanum americanum</i>	San Ignacio	1222.2	540.5	1165	000000000000000000000000000000
100	<i>Sonchus oleraceus</i>	Cajamarca	2407	390.5	708	100100010000010000000100000000
101	<i>Spartium junceum</i>	Cajabamba	2874.1	390.5	801	100000000000000010100000000000
102	<i>Tagetes filifolia</i>	Contumazá	2202.9	390.5	525	000000000010000000001000000000
103	<i>Tagetes multiflora</i>	Celendín	2583	390.5	818	000000000010000000000000000000
104	<i>Urtica echinata</i>	Celendín	2980.8	390.5	818	110000000000000000000000000000
105	<i>Urtica urens</i>	Cajamarca	2450.6	390.5	708	110000010000000100000000000000
106	<i>Valeriana interrupta</i>	Contumazá	3666.6	240.5	525	000000000001000000000000000000
107	<i>Valeriana pilosa</i>	Cajamarca	3498.5	240.5	708	000000000001000000000000000000
108	<i>Xanthium spinosum</i>	Cajamarca	2853.8	390.5	708	000000000000100000000000000000

En la columna de principios activos, los dígitos de las filas se corresponden con el siguiente orden: flavonoides (FLA), fenoles (FEN), polifenoles (POL), lignanos (LIG), taninos (TAN), orcinoles y floroglucinos (ORC), benzofuranos (BFUR), cumarinas (CUM), quinonas (QUI), antraquinonas (ANT), monoterpénos (MON), iridoides (IRI), sesquiterpénos (SES), lactonas sesquiterpénicas (LSES), diterpénos (DIT), triterpénos y esteroides (TRI), cardenólidos (CAR), saponinas (SAP), resinas (RES), derivados de feniletanol (FENE), derivados de fenilpropano (FENP), derivados nitrogenados de propanol (DNPR), alcaloides (ALCM), alcaloides tropánicos (ALT), alcaloides simples (ALS), alcaloides sin especificar (ALN), alcaloides esteroides (AES), hemicelulosas y mucílados (MUC), y otros metabolitos primarios (OMP).

Procesamiento de datos

La matriz se procesó con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), cuyas herramientas estadísticas nos permitirán conocer cómo es la distribución de la flora y de sus principios activos mayoritarios en el territorio estudiado.

Para detectar los valores más frecuentes de altitud (h), It y P de las plantas medicinales de Cajamarca, se recurrió a diagramas de cajas (Box plots), donde se pueden apreciar valores medios y los cuartiles de 25-75%, y los valores mínimos y máximos quedan representados con pequeñas líneas horizontales. Con ello podemos deducir, según el valor de It, cuáles son los pisos bioclimáticos e intervalos de precipitaciones donde se encuentran mayormente estas plantas.

Para el ordenamiento de las especies con relación a la altitud, It y P, se ha utilizado el análisis multivariante MDS (Non-metric multidimensional scaling), capaz de interpretar la distancia euclidiana entre columnas matriciales de numerosos datos. Los principios activos se disponen bajo la mayor o menor influencia de la altitud, It y P, que en un Análisis Canónico de Correspondencias (CCA), estas variables se presentan como vectores de gradientes

respecto a los cuales se disponen la presencia/ausencia de principios activos (Legendre y Legendre, 2012).

Nomenclatura

La nomenclatura de las plantas está basada en la base The Plant List (2013); la de las asociaciones, estudiadas previamente con la metodología fitosociológica de Braun-Blanquet (1979), siguiendo el Código Internacional de Nomenclatura Fitosociológica (Weber *et al.*, 2000).

RESULTADOS

La Figura N° 2 muestra los diagramas de cajas (Box plots) donde podemos observar cómo la mayor parte de las plantas medicinales de Cajamarca crecen entre los 2000 y 3000 m de altitud (a), coincidiendo con la media de It 390.5 en el piso mesotropical (b), mientras que el diagrama (c) muestra que los cuartiles 25-75% están situados entre 700 y algo más de 900 mm coincidiendo con los intervalos de precipitación subhúmedo y húmedo, y la media se sitúa en el intervalo subhúmedo. Entre los valores de It medios no se representan cuartiles debido a que existe una escasa variabilidad entre los valores.

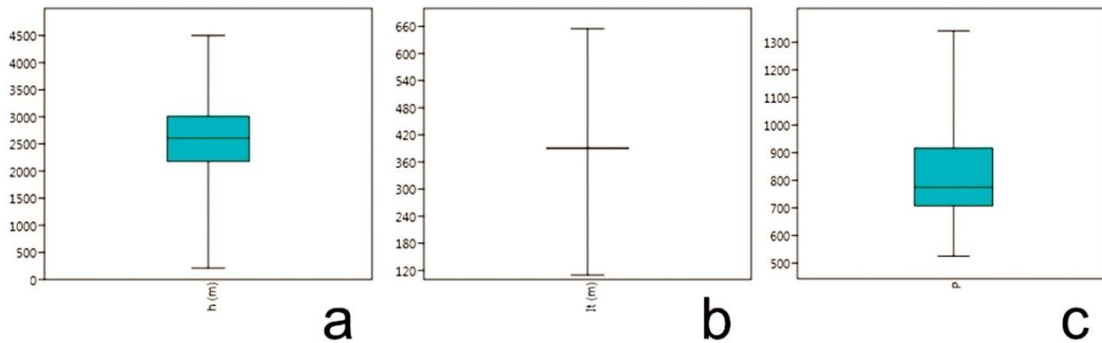


Figura N° 2

Diagramas de cajas (Box plots) con los cuartiles 25-75% y línea media de: a) altitud (h), b) índice de termicidad medio (It (m)), y c) precipitación anual (P)

El MDS de la Figura N° 3, muestra cómo es la distribución de las plantas medicinales en Cajamarca. De izquierda a derecha se suceden los pisos bioclimáticos, desde orotropical a infratropical, y desde la parte inferior de la coordenada 2 a la superior se sitúan las especies que crecen desde un intervalo de precipitaciones seco a húmedo, estableciéndose tres franjas claramente delimitadas. Especies, como (48) *Geranium ruizii*, y (73) *Perezia multiflora* crecen en el intervalo húmedo del piso orotropical; (2) *Achyrocline alata*, (56) *Lobelia tenera* o (106) *Valeriana interrupta* las podemos encontrar en el piso supratropical seco, mientras que (39) *Erodium cicutarium*, (83) *Ranunculus praemorsus* o (107) *Valeriana pilosa* en el supratropical subhúmedo. La mayor parte de las especies corresponden al piso bioclimático mesotropical, como por ejemplo, (19) *Borago officinalis*, (52) *Hypericum silenoides* y (77) *Phyllanthus niruri*, (29) *Clinopodium weberbaueri*,

(88) *Salvia oppositiflora* y (89) *Salvia sagittata* en el intervalo subhúmedo, o (12) *Arracacia elata*, (15) *Baccharis genistelloides* y (50) *Hedyosmum scabrum* en el intervalo húmedo. El piso termotropical también está muy bien representado, con especies como (4) *Acnistus arborescens*, (20) *Brugmansia arborea* y (41) *Erythroxylum novogranatense* var. *truxillense* en el intervalo subhúmedo, y otras como (74) *Persea americana*, (97) *Smallanthus sonchifolius* y (98) *Smilax tomentosa* en el húmedo. Finalmente, el piso infratropical se encuentra en Cajamarca en las zonas basales suroccidentales, las altitudes más bajas de la depresión de Huancabamba, San Ignacio, valles del Marañón y Crisnejas, y en las planicies situadas entre los ríos Chinchipe y Tabaconas. Aquí podemos encontrar especies como (40) *Erythroxylum coca*, (61) *Momordica charantia* y (80) *Piper aduncum*, que tienen su óptimo en el intervalo húmedo de precipitaciones.

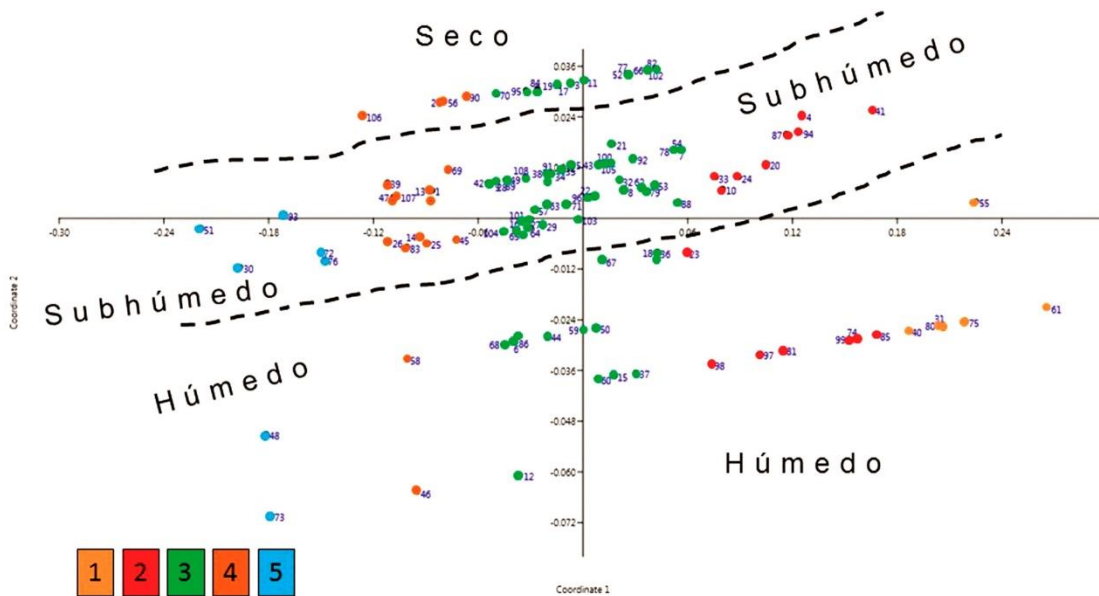


Figura N° 3

MDS (Non-metric multidimensional scaling) mostrando la ordenación de las plantas medicinales de Cajamarca entre pisos bioclimáticos e intervalos de precipitaciones. Los números coinciden con los de las especies de la tabla N°1. Pisos bioclimáticos: 1- infratropical, 2- termotropical, 3- mesotropical, 4- supratropical, y 5- orotropical

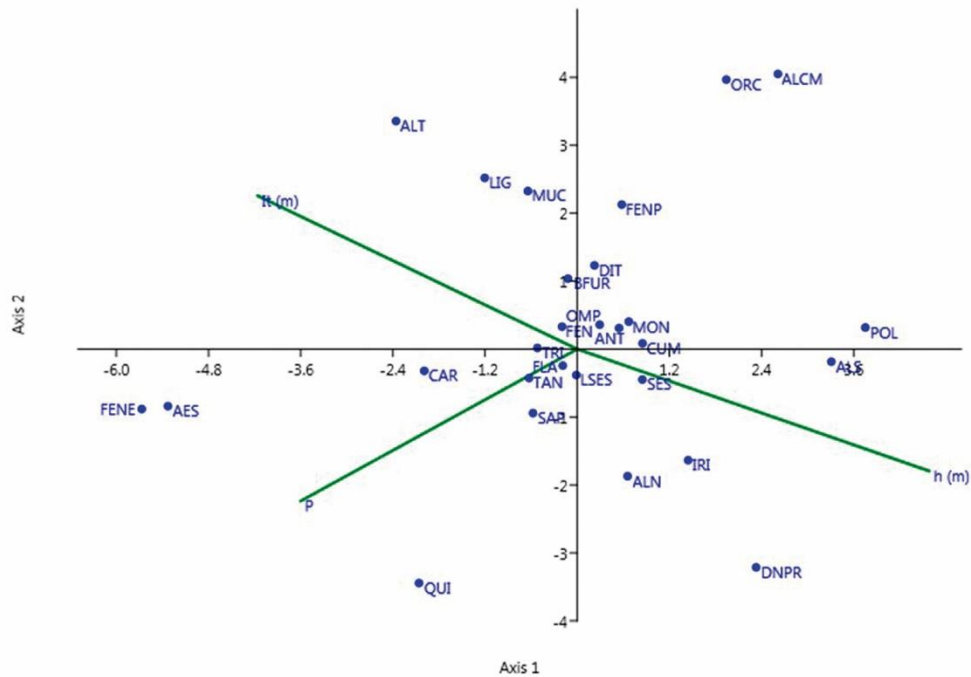
En el CCA de la Figura N° 4, los vectores It y h aparecen opuestos, puesto que a mayor altitud It se va haciendo menor; P se hace más o menos perpendicular a ellos. Los principios activos relacionados con mayores valores de It son los (ALT)-alcaloides tropánicos, (AES)-alcaloides esteroidicos, y (FENE)-derivados de feniletanol, que prefieren los índices de termicidad elevados de los pisos infra- y termotropical. Por el contrario los (DNPR)-derivados nitrogenados de propanol, las (QUI)-quinonas, (CUM)-cumarinas, y los (IRI)-iridoides encuentran su óptimo cuando los It son menores, en el piso supratropical; los (ALS)-alcaloides simples de tipo pirrolizidina tienen, al contrario que los tropánicos, tendencia al piso orotropical. Sin embargo, existe una evidente concentración de principios activos en el piso mesotropical, como son los taninos, flavonoides, fenoles, saponinas o los monoterpenos y sesquiterpenos de los aceites esenciales.

Las precipitaciones también tienen una cierta relevancia en la distribución de principios activos. Los que se encuentran por debajo del eje de abscisas

están asociados a las mayores precipitaciones del intervalo subhúmedo y al húmedo, mientras que los de encima tienen una tendencia a menores precipitaciones, con intervalos desde los valores bajos del subhúmedo, al seco de las (ALCM)-alcamidas y de los (ORC)-orcinoles y floroglucinos.

DISCUSIÓN

Numerosos trabajos han dado a conocer la relación existente entre el clima y otros factores, como la duración del día y la radiación solar o la naturaleza de los suelos, con las plantas medicinales y los principios activos mayoritarios que producen (Hakim *et al.*, 1986; Evans, 2009). Sin embargo, no conocemos estudios sobre América del Sur donde aparezcan sintetizadas las características ecológicas de un territorio con sus plantas medicinales, y mucho menos con sus principios activos, aun cuando sobre todo, las características climáticas a través de índices, pueden tener un carácter predictivo que podemos incluso aplicar a situaciones de cambio climático (Mishra, 2016; Zhao *et al.*, 2018). Los diferentes



e

Figura N° 4

CCA (Análisis canónico de correspondencias) mostrando la ordenación de principios activos frente a la altitud media (h (m)), índice de termicidad medio (It (m)) y precipitaciones anuales (P). Las abreviaturas coinciden con las de la Tabla N°1

estudios para obtener principios activos han partido de una base etnobiológica (Ugent y Ochoa, 2006), aunque muchas veces sin un soporte sistemático donde se profundice en la fitoquímica dentro de una determinada familia, como sugieren Gershenzon y Mabry (1983) o Alguacil *et al.* (2000), ni dentro de algunos géneros, lo que ha llevado a errores de identificación de especies y sus principios activos, como ocurre con ciertos géneros complejos como *Rubus* o *Taraxacum* (Martínez *et al.*, 2015). Sin embargo, todo lo que rodea a cada especie debe estar avalado por determinaciones correctas demostrables con pliegos de herbario de especímenes que crecen en un hábitat concreto (Funk, 2018). Por ello, Balunas y Kinghom (2005) apoyan el descubrimiento de nuevas plantas medicinales y sus principios activos con estudios multidisciplinarios que incluyen desde aspectos biológicos y ecológicos de las plantas hasta fitoquímicos y socio-económicos. Tampoco conocemos hasta ahora ningún criterio ecológico para detectar plantas medicinales en el Perú que permita ofrecer unas pautas de cultivo y conservación, tal

como se pretende en este estudio con índices y pisos bioclimáticos, que son predictivos. Dichos especímenes crecen y producen sus principios activos mayoritarios en determinados hábitats, lo que además, como se pudo demostrar, conlleva a una tendencia en la distribución de dichos principios activos, pues mientras que en el reino biogeográfico Holártico existe una mayor diversidad de compuestos de origen fenólico, en el Neotropical, es donde encontramos a los alcaloides más complejos de origen indólico (Cañada-Cano *et al.*, 2014). Así, en este estudio, también se puede apreciar que las especies con alcaloides tropánicos (Figuras N° 3 y 4), como (40) *Erythroxylum coca*, proceden del piso bioclimático infratropical o termotropical (Clement *et al.*, 2010), mientras que la mayor parte de plantas con compuestos fenólicos y aceites esenciales están concentradas en el piso bioclimático mesotropical, como (34) *Dalea strobilacea* (Benites *et al.*, 2016) o (102) *Tagetes filifolia* (De Feo *et al.*, 1998). De igual forma, los (IRI)-iridoides se deben buscar en lugares con It bajo (Figura N° 4) supratropical, tendentes al

piso bioclimático orotropical (Figura N° 3), lo que coincide con los trabajos de vegetación al incluir al género *Valeriana* como característico de los pajonales de la jalca (Galán de Mera et al., 2015). Esto indica cómo altitudinalmente en el Departamento de Cajamarca, se cumple una distribución similar a la que ocurre entre el reino Holártico, con gran cantidad de compuestos fenólicos y aceites esenciales, y el Neotropical, donde en sus zonas bajas son muy abundantes los alcaloides complejos.

También podemos deducir cómo hay especies cultivadas originadas en la Cuenca Amazónica (Figura N° 3), como por ejemplo (40) *Erythroxylum coca* que es un elemento infratropical húmedo, lo que está de acuerdo con lo expuesto por Clement et al. (2010, 2015) sobre el origen de los cultivos amazónicos. Sin embargo, se sabe que (41) *Erythroxylum novogranatense* var. *truxillense* (“tupa coca”) fue cultivada en el piso termotropical, en el valle de Nancho (Cajamarca) hace 8000 años (Dillehay et al., 2010), pero fue posiblemente transportada desde el valle del Marañón (Plowman, 1984), donde existe un intervalo de precipitaciones subhúmedo. Naturalmente en Nancho necesitó irrigación puesto que aquí el intervalo de precipitaciones es semiárido, lo que además explica que esta variedad fuese la más cultivada en las vertientes occidentales andinas del Perú por adaptación a una menor humedad ambiental, como además demuestran otros hallazgos posteriores en el tiempo, como los de Ica y Arequipa (Piacenza 2005; Yépez-Álvarez y Jennings, 2012). No olvidemos además que esta diferencia bioclimática es paralela a su contenido en principios activos mayoritarios, pues *E. novogranatense* var. *truxillense* produce mayores concentraciones de cocaína que *E. coca* (Plowman, 1984).

Algunas plantas medicinales procedentes de Europa llegaron a formar parte de la farmacopea incaica (Chávez-Velásquez, 1977); tal es el caso de (19) *Borago officinalis* que encontró su óptimo en el piso bioclimático correspondiente adonde crecía en su lugar de origen. Si esta planta en la Península Ibérica crece en un It medio correspondiente al piso mesomediterráneo (Galán de Mera, 1993), en el departamento de Cajamarca tiene un óptimo mesotropical (Figura N° 3), con (ALS)-alcaloides simples (pirrolizidínicos) que se desarrollan en un intervalo de precipitaciones al menos seco (Figura N° 4).

La detección de nuevas plantas medicinales y de principios activos está relacionada con la conservación de territorios con especies, muchas de ellas endémicas, que a veces forman parte de los bosques donde habitan ciertas etnias que las usan en su medicina tradicional (Cunningham, 2001; Luzuriaga-Quichimbo et al., 2018). La distribución de los principios activos además contiene una base genética, puesto que las plantas habitan en pisos bioclimáticos y áreas biogeográficas llevando adosadas determinadas secuencias génicas que originan las enzimas que catalizan las reacciones del metabolismo secundario de las plantas, y que conducen a la presencia de determinados principios activos mayoritarios (Wink, 2003; Zeng et al., 2013; Moore et al., 2014).

CONCLUSIONES

Las plantas medicinales del Departamento de Cajamarca presentan una distribución de acuerdo con el modelo de los pisos bioclimáticos, desde el piso bioclimático infra- al orotropical. La mayor concentración de especies medicinales está en el piso mesotropical, que es donde se encuentra la mayoría de las poblaciones del departamento, aunque también los pisos termotropical y supratropical están muy bien representados. También existe una distribución de principios activos relacionada con los valores de la altitud (h), el índice de termicidad (It) y las precipitaciones (P), con una mayor concentración de compuestos fenólicos y de aceites esenciales en el piso mesotropical; los alcaloides complejos (tropánicos) están presentes en los valores mayores de It, mientras que podemos encontrar alcaloides simples entre los pisos meso- y orotropical, y los iridoides alcanzan los valores menores hacia el piso orotropical. El uso de modelos climáticos con carácter predictivo nos pueden ayudar a encontrar nuevas plantas medicinales y nuevos principios activos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con los fondos del proyecto “Mapa de vegetación de Cajamarca. Potencialidad de la vegetación para el uso de plantas medicinales”, de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (Cajamarca, Perú), y en el marco del convenio de cooperación firmado entre dicha universidad y la Universidad CEU San Pablo (Madrid, España). Nuestro agradecimiento a los evaluadores anónimos que mejoraron

ostensiblemente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Alejandro-Espinosa M, Jaramillo-Fierro X, Ojeda-Riascos S, Malagón-Avilés O, Ramírez-Robles J. 2013. Actividad antioxidante y antihiper glucemiante de la especie medicinal *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br., al sur de Ecuador. **Bol Latinoamer Caribe Plant Med Aromat** 12: 59 - 68.
- Alguacil LF, Galán de Mera A, Gómez J, Llinares F, Morales L, Muñoz-Mingarro MD, Pozuelo JM, Vicente-Orellana JA. 2000. *Tecoma sambucifolia*: anti-inflammatory and antinociceptive activities, and "in vitro" toxicity of extracts of the "huarumo" of Peruvian Incas. **J Ethnopharmacol** 70: 227 - 233.
- Aranda-Ventura J, Villacrés J, Mego R, Delgado H. 2014. Efecto de los extractos de *Geranium ayavacense* W. (Pasuchaca) sobre la glicemia en ratas con diabetes mellitus experimental. **Rev Peru Med Exp Salud Pública** 31: 261 - 266.
- Balunas MJ, Kinghom AD. 2005. Drug discovery from medicinal plants. **Life Sci** 78: 431 - 441.
- Benites J, Moiteiro C, Figueiredo AC, Rijo P, Buc-Calderon P, Bravo F, Gajardo S, Sánchez I, Torres I, Ganoza M. 2016. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of Peruvian *Dalea strobilacea* Barneby. **Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat** 15: 429 - 435.
- Braun-Blanquet J. 1979. **Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. Ed. H Blume, Madrid, España.
- Bruneton J. 2001. **Farmacognosia, Fitoquímica, plantas medicinales**. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- Brush SB. 1976. Man's Use of an Andean Ecosystem. **Hum Ecol** 4: 147 - 166.
- Bussmann RW. 2013. The Globalization of Traditional Medicine in Northern Peru: From Shamanism to Molecules. **Evid Based Complement Alternat Med** 2013: 1 - 46.
- Bussmann RW, Glenn A, Sharon D. 2010. Healing the body and soul: Traditional remedies for "magical" ailments, nervous system and psychosomatic disorders in Northern Peru. **Afr J Pharm Pharmacol** 4: 580 - 629.
- Bussmann RW, Sharon D. 2006. Traditional medicinal plant use in Northern Peru: tracking two thousand years of healing culture. **J Ethnobiol Ethnomed** 2: 47.
- Bussmann RW, Sharon D. 2009. Markets, vendors, collectors: The sustainability of medicinal plant use in Northern Peru. **Mountain Res Dev** 29: 128 - 134.
- Bussmann RW, Sharon D, Ly J. 2008. From garden to market? The cultivation of native and introduced medicinal species in Cajamarca, Peru and implications for habitat conservation. **Ethnobiol Res Appl** 6: 351 - 361.
- Cañada-Cano B, Vicente-Orellana JA, Galán de Mera A. 2014. Filogenia de las angiospermas y fitoquímica. **Perspectiva** 15: 15 - 25.
- Castañeda-Valencia GM, Condori-Peñaloza EM. 2010. **Catálogo y estudio farmacognóstico de plantas medicinales del distrito de Llacanora, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca**. Ed. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Chávez-Velásquez NA. 1977. **La Materia Médica en el Incanato**. Ed. Mejía Baca, Lima, Perú.
- Clement CR, de Cristo-Araújo M, d'Eeckenbrugge GC, Pereira AA, Picanço-Rodrigues D. 2010. Origin and domestication of native Amazonian crops. **Diversity** 2: 72 - 106. doi:10.3390/d2010072
- Clement CR, Denevan WM, Heckenberger MJ, Junqueira AB, Neves EG, Teixeira WG, Woods WI. 2015. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proc Biol Sci** 282: 20150813. doi: 10.1098/rspb.2015.0813
- Cunningham AB. 2001. **Applied Ethnobotany. People, wild plant use and conservation**. Ed. Earthscan, London, UK.
- De Feo V, Della Porta G, Urrunaga-Soria E, Urrunaga-Soria R, Senatore F. 1998. Composition of the essential oil of *Tagetes filifolia* Lag. **Flavour Fragr J** 13: 145 - 147.
- Dillehay TD, Rossen J, Ugent D, Karathanasis A, Vásquez V, Netherly P. 2010. Early Holocene coca chewing in northern Peru. **Antiquity** 84: 939 - 953.
- Evans WC. 2009. **Trease and Evans' Pharmacognosy**. Ed. Saunders, Philadelphia, USA.
- Funk VA. 2018. Collections-based science in the 21st

- Century. **J Syst Evol** 56: 175 - 193.
- Galán de Mera A. 1993. **Flora y vegetación de los términos municipales de Alcalá de los Gazules y Medina Sidonia (Cádiz, España)**. Ed. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Galán de Mera A, Linares Perea E, Montoya Quino J. 2018. **Mapa de vegetación de Cajamarca. Potencialidad de la vegetación para el uso de plantas medicinales**. Ed. UPAGU-Municipalidad Provincial de Cajamarca-Los Andes de Cajamarca-Yanacocha, Cajamarca, Perú.
- Galán de Mera A, Sánchez-Vega I. 2013. **Principios de Botánica Farmacéutica**. Ed. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú.
- Galán de Mera A, Sánchez-Vega I, Linares-Perea E. 2013. Pisos bioclimáticos y vegetación en la Región de Cajamarca (Perú). **Perspectiva** 14: 119 - 129.
- Galán de Mera A, Sánchez-Vega I, Linares-Perea E, Campos J, Montoya J, Vicente-Orellana JA. 2016. A phytosociological analysis and synopsis of the dry woodlands and succulent vegetation of the Peruvian Andes. **An Acad Bras Cienc** 88: 689 - 703.
- Galán de Mera A, Sánchez Vega I, Montoya Quino J, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Vicente Orellana JA. 2015. La vegetación del norte del Perú: De los bosques a la jalca en Cajamarca. **Acta Bot Malacit** 40: 157 - 190.
- Gershenzon J, Mabry TJ. 1983. Secondary metabolites and the higher classification of angiosperms. **Nord J Bot** 3: 5 - 34.
- Gómez Pamo JR. 1907. **Tratado de Materia Farmacéutica Vegetal**. Ed. Nicolás Moya, Madrid, España.
- Gurib-Fakim A. 2006. Medicinal Plants: Tradition of yesterday and drugs of tomorrow. **Mol Aspects Med** 27: 1 - 93.
- Hakim HA, Kheir YME, Mohamed MI. 1986. Effect of the climate on the content of a CBD-rich variant of cannabis. **Fitoterapia** 57: 209 - 241.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Paleontol Electronica** 4: 1 - 9.
- Kawano M, Otsuka M, Umeyama K, Yamazaki M, Shiota T, Satake M, Okuyama E. 2009. Anti-inflammatory and analgesic components from 'hierba santa', a traditional medicine in Peru. **J Nat Med** 63: 147 - 158.
- Legendre P, Legendre L. 2012. **Numerical Ecology**. Ed. Elsevier, Ámsterdam, The Netherland.
- Luzuriaga-Quichimbo CX, Ruiz-Téllez T, Blanco-Salas J, Cerón-Martínez CE. 2018. Scientific validation of the traditional knowledge of Sikta ("*Tabernaemontana sanaho*", Apocynaceae) in the Canelo-Kichwa Amazonian community. **Medit Bot** 39: 183 - 191.
- Martínez M, Poirrier P, Chamy R, Prüfer D, Schulze-Gronover C, Jorquera L, Ruiz G. 2015. *Taraxacum officinale* and related species- An ethnopharmacological review and its potential as a commercial medicinal plant. **J Ethnopharmacol** 169: 244 - 262.
- Meckelmann SW, Jansen C, Riegel DW, Van Zonneveld M, Ríos L, Peña K, Mueller-Seitz E, Petz M. 2015. Phytochemicals in native Peruvian *Capsicum pubescens* (Rocoto). **Eur Food Res Technol** 241: 817 - 825.
- Mishra T. 2016. Climate change and production of secondary metabolites in medicinal plants. A review. **Int J Herb Med** 4: 27 - 30.
- Moore BD, Andrew RL, Kùlheim C, Foley WJ. 2014. Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context. **New Phytol** 201: 733 - 750.
- Murra JV. 2009. **El mundo andino. Población, medio ambiente y economía**. Ed. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, Perú.
- Piacenza L. 2005. Evidencias botánicas en asentamientos Nasca. **Bol Mus Arqueol Antropol (UNMSM)** 5: 3 - 13.
- Plowman T. 1984. The ethnobotany of coca (*Erythroxylum* spp., Erythroxylaceae). **Adv Econ Bot** 1: 62 - 111.
- Revene Z, Bussmann RW, Sharon D. 2008. From Sierra to Coast: Tracing the supply of medicinal plants in Northern Peru- A plant collector's tale. **Ethnob Res Appl** 6: 15 - 22.
- Rivas-Martínez S, Sánchez-Mata D, Costa M. 1999. North American boreal and western temperate forest vegetation (Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, II). **Itinera Geobot** 12: 5 - 316.
- Ruiz Floríndez C. 2012. **Conocimientos tradicionales. Plantas Medicinales de**

- Cajamarca.** Cooperación Alemana al Desarrollo, Lima, Perú.
- Sánchez-Vega I. 2011. **Especies medicinales de Cajamarca I. Contribución Etnobotánica, Morfológica y Taxonómica.** Ed. UPAGU-Lumina copper, Cajamarca, Perú.
- Sánchez-Vega I. 2014. **Plantas medicinales en los páramos de Cajamarca.** In: Cuesta F, Senvik J, Llambí LD, De Bièvre B, Posmer J. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos. Ed. CONDESAN, Lima, Perú.
- Sánchez-Vega I, Sánchez-Rojas A. 2012. **La Diversidad biológica en Cajamarca. Visión étnico-cultural y potencialidades.** Ed. Gobierno Regional, Cajamarca, Perú.
- Schwarz T. 2018. <https://es.climate-data.org/>
- The Plant List. 2013. **The plant list. A working list of all plant species.** [Http://www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org)
- Tropicos. 2018. [Http://www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)
- Ugent D, Ochoa CM. 2006. **La etnobotánica del Perú. Desde la prehistoria al presente.** Ed. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), Lima, Perú.
- Weber HE, Moravec J, Theurillat JP. 2000. International code of phytosociological nomenclature. **J Veg Sci** 11: 739 - 768.
- Weberbauer A. 1905. Plantas útiles del Departamento de Cajamarca, Amazonas y Loreto. **Bol Minist Fomento Lima** 3(4).
- Wink M. 2003. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. **Phytochemistry** 64: 3 - 19.
- Yépez-Álvarez WJ, Jennings J. 2012. **¿Wari en Arequipa? Análisis de los contextos funerarios de La Real.** Ed. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Zeng J, Liu Y, Liu W, Liu X, Liu F, Huang P, Zhu P, Chen J, Shi M, Guo F, Cheng P, Zeng J, Liao Y, Gong J, Zhang H-M, Wang D, Guo A-Y, Xiong X. 2013. Integration of transcriptome, proteome and metabolism data reveals the alkaloids biosynthesis in *Macleaya cordata* and *Macleaya microcarpa*. **PLoS One** 8: e53409.
- Zhao Q, Li R, Gao Y, Yao Q, Guo X, Wang W. 2018. Modeling impacts of climate change on the geographic distribution of medicinal plant *Fritillaria cirrhosa* D. Don. **Plant Biosyst** 152: 349 - 355.