

VEGETACIÓN Y ACTIVIDAD HUMANA EN LOS ANDES Y AMAZONÍA DEL PERÚ: UNA PERSPECTIVA BIOCLIMÁTICA

VEGETATION AND HUMAN ACTIVITY IN THE PERUVIAN ANDES AND AMAZONIA: A BIOCLIMATIC VIEWPOINT

*Antonio Galán de Mera, José Campos de la Cruz**, Eliana Linares Perea***, Juan Montoya Quino****, Carlos Trujillo Vera*****, José Alfredo Vicente Orellana******

RESUMEN

El modelo de los Pisos Bioclimáticos relaciona índices climáticos, plantas bio-indicadoras y comunidades vegetales, y por tanto paisajes y usos del territorio. Tomando el Índice de Termicidad (It), intervalos de precipitaciones (P) y plantas bio-indicadoras que constituyen comunidades vegetales, presentamos los pisos bioclimáticos para describir áreas en el Perú que son globalmente significativas en términos de biodiversidad y organización social.

Se han cartografiado seis pisos bioclimáticos a lo largo del Perú: infratropical, termotropical, mesotropical, supratropical, orotropical y criotropical. Estos pisos bioclimáticos son matizados por nueve intervalos de precipitaciones (ultrahiperárido, hiperárido, árido, semiárido, seco, subhúmedo, húmedo, hiperhúmedo y ultrahiperhúmedo), y referenciados en algunos transectos en el norte (Cajamarca y valle del Marañón), centro (valle de Santa Eulalia y Abra Anticona) y en el sur (Atiquipa, Arequipa, complejo volcánico-glaciar Coropuna, cañones del Cotahuasi y Colca) de los Andes peruanos, y también en las vertientes orientales de los Andes y en la Amazonía (valle de San Gabán). Por primera vez se cartografían los pisos bioclimáticos del Perú, relacionándolos con sus comunidades vegetales características y con evidencias antropológicas y arqueológicas sobre el origen de ciertos cultivos y otros usos del territorio.

Palabras clave: Pisos bioclimáticos, bio-indicadores, cultivos, comunidades vegetales, intervalo de precipitaciones, Perú, usos del territorio.

Doctor en Farmacia. Profesor Titular de Botánica. Profesor Honorario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima), de la Universidad Nacional de San Agustín (Arequipa) y de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (Cajamarca). Laboratorio de Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad CEU San Pablo, apartado 67, 28660-Boadilla del Monte, Madrid, España. Autor para correspondencia, email: agalmer@ceu.es.

** Biólogo. Experto en bosques tropicales. Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, apartado 140434, Lima-14, Perú.

*** Bióloga. Especialista en flora y vegetación de la puna. Directora del herbario AQP. Estudios Fitogeográficos del Perú, Sánchez Cerro 219, Manuel Prado, Paucarpata, Arequipa, Perú.

**** Ingeniero Agrónomo. Especialista en flora y vegetación del páramo. Conservador del Herbario Nacional de Cajamarca (CPUN). Profesor de Botánica, Carrera Profesional de Farmacia y Bioquímica, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU), Jr. José Sabogal 913, Cajamarca, Perú.

***** Doctor en Geografía. Profesor Principal del Departamento Académico de Historia, Geografía y Antropología. Facultad de Ciencias Histórico-Sociales, Universidad Nacional de San Agustín, Av. Venezuela s/n, Arequipa, Perú.

***** Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Adjunto de Botánica. Laboratorio de Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad CEU San Pablo, apartado 67, 28660-Boadilla del Monte, Madrid, España.

Recibido: 10/09/16

Aprobado: 12/10/16

Palabras clave: Pisos bioclimáticos, bio-indicadores, cultivos, comunidades vegetales, intervalo de precipitaciones, Perú, usos del territorio.

ABSTRACT

The Bioclimatic Belts model relates climatic indexes, bio-indicator plants and plant communities, and therefore landscapes and uses of the territory. Taking into account the Thermicity Index (It), precipitation intervals (P) and bio-indicator plants that constitute communities, the bioclimatic belts are presented in order to describe areas in Peru that are globally significant in terms of biodiversity and societal concerns.

Six bioclimatic belts have been mapped in Peru: infratropical, thermotropical, mesotropical, supratropical, orotropical and cryrotropical. These bioclimatic belts are shaded by nine precipitation intervals (ultrahyperarid, hyperarid, arid, semiarid, dry, subhumid, humid, hyperhumid and ultrahyperhumid), and referenced in some transects in the Northern (Cajamarca and Marañón valley), Central (Santa Eulalia valley and Anticona Pass), and Southern (Atiquipa, Arequipa, Coropuna volcano-glacier complex, Cotahuasi and Colca Canyons) Peruvian Andean Mountains, and also on the Eastern slopes of the Andes and in Amazonia (San Gabán valley). It is the first time that Peruvian bioclimatic belts are mapped, and are also related to its characteristic plant communities and with anthropologic and archaeological evidences of the origin of some crops and other uses of the territory.

Keywords: Bioclimatic belts, bio-indicators, crops, plant communities, Peru, precipitation intervals, use of the territory.

INTRODUCCIÓN

Durante la realización del proyecto "Mapa de vegetación de Cajamarca. Potencialidad de la vegetación para el uso de plantas medicinales", nos hemos encontrado con el dilema de intentar buscar una solución a ciertos problemas sobre la descripción de la vegetación en el Perú, y por consiguiente, sobre las áreas donde se encuentra un recurso natural tan importante como son las plantas medicinales. Tanto las plantas medicinales, como el resto de la flora de Cajamarca, forman parte de unidades de vegetación que se rigen por ciertas condiciones climáticas que relacionan a Cajamarca con otras partes del país, y que nos van transmitir unas pautas exitosas para el cultivo de plantas medicinales. Por esta razón, en este artículo, queremos ofrecer un adelanto al resultado final del proyecto detallando cómo es la relación entre la vegetación y los paisajes peruanos con el clima y el uso del territorio.

aLa formación del paisaje andino

Los paisajes son una abstracción multidimensional de la naturaleza como resultado de la interacción entre escenarios históricos y su uso actual¹. La Cordillera Andina presenta una gran diversidad de ecosistemas, tanto en sentido altitudinal como latitudinal, relacionados con hitos geológicos originados por la subducción de la placa de Nazca y el levantamiento de los Andes, y por otra parte el uso del territorio por el hombre desde hace unos 10.000 años².

La Cordillera Andina es la más elevada del mundo tras los Himalayas, con la particularidad de estar orientada de Norte a Sur a lo largo de 9000 Km. Se extiende longitudinalmente por la parte occidental de América del Sur, atravesando el territorio peruano con rumbo NorOeste-SurEste, seccionada en franjas paralelas y cortadas por profundos valles longitudinales y por estrechos cañones transversales que desaguan en la vertiente occidental en el Océano Pacífico; la vertiente oriental, por intermedio del río Amazonas es tributaria del Océano Atlántico³. Desde el enfoque geográfico y morfoestructural, la cordillera de los Andes ha sido modelada por la erosión de grandes ríos, formando cadenas montañosas separadas por valles longitudinales e individualmente denominadas Cordillera de la Costa, Cordillera Occidental, Cordillera Oriental, Faja Subandina y la Llanura Amazónica con sus altos estructurales como el Arco de Fitzcarrald, Alto de Contaya, Alto de Iquitos, y la depresión de Ucamara³.

El levantamiento de los Andes comenzó en el Paleoceno con el desarrollo de áreas tropicales secas⁴, incluyendo la subsidencia originada en el norte del Perú que llevó a la formación de la Depresión de Huancabamba (2145 m) donde cambia la orientación de los

Andes hacia el noreste. Posteriormente, en el Eoceno, se perdió la conexión entre América del Sur y la Antártida, aislando la Antártida de las corrientes marítimas cálidas y contribuyendo a la expansión de los glaciares, enfriando el mar, y en consecuencia, originando y fortaleciendo la corriente fría de Humboldt⁵. Aparentemente en esta época se diferenciaron las Asteráceas que hoy se encuentran en todos los tipos de hábitats andinos⁶. Durante el Mioceno, el levantamiento de los Andes parece estar relacionado con el clima seco, promoviendo grandes extensiones de sabanas, y la diferenciación de los elementos florísticos pre-adaptados a la aridez de las vertientes occidentales⁷. Este levantamiento de la Cordillera se vio a la vez envuelto por la compresión causada por el Escudo Brasileño, formando el espacio que hoy ocupan los bosques de la Amazonía^{8,9,10}.

El Mioceno significó la especiación y aparición de una fuerte endemidad en la familia de las Cactáceas y de géneros de xerófitos que la acompañan, como *Acacia*, *Bulnesia*, *Loxopterygium*, *Prosopis*¹¹, *Larrea*¹² o *Bougainvillea*¹³. Estas especies a veces aparecen separados en localidades situadas a ambos flancos de los Andes o en valles interandinos (*Browningia*, *Echinopsis*, *Euphorbia*), formando parte de comunidades vegetales que sugieren un reciente cambio climático¹⁴.

Las montañas andinas mostraron una elevación similar en esta temporada que durante el enfriamiento del Plioceno¹⁵. En este periodo culminó la formación del corredor centroamericano¹⁶, lo que supuso la expansión hacia el norte de la corriente de Humboldt coincidiendo con un periodo hiperárido en el desierto de Atacama¹⁷. La combinación entre el enfriamiento pliocénico y las altitudes alcanzadas por los Andes fue el comienzo de la vegetación del páramo y la

puna, que podemos considerar como los ecosistemas más jóvenes de los Andes tropicales, permitiendo la irradiación de algunos géneros hacia latitudes medias, como *Lupinus*^{7, 18}. De acuerdo con Cuatrecasas¹⁹, las plantas con grandes rosetas (*Protoespeletiinae* y *Puya*) pudieron haberse diferenciado en el Plioceno. Igualmente en esta época se originó una migración de elementos de origen antártico hacia el norte, sobre todo de plantas pulviniformes (*Azorella*) y de pequeños hemicriptófitos arrosados (*Draba*)^{20, 21}.

A lo largo del Pleistoceno se sucedieron periodos cálidos y fríos originando ascensos y descensos de los límites del páramo y la puna, y profundizando en los procesos de aislamiento y diversificación de la flora²². En el Holoceno temprano y medio (10.000-4.000 años antes del presente –AP-) el clima tendió a ser seco y cálido²³, coincidiendo con el inicio de las actividades humanas en los Andes² y la Amazonía²⁴. Estas actividades se pueden resumir en algunos escenarios descubiertos y que pertenecen a diferentes “cinturas” climáticas: (1) En la Amazonía fueron domesticados varios cultivos relacionados con un clima cálido, probablemente entre 10.000 y 7.000 años AP, como los ñames (*Dioscorea* sp.), la maranta (*Maranta arundinacea*), el mate (*Lagenaria siceraria*), la calabaza (*Cucurbita* sp.), el camote (*Ipomoea batatas*) y la mandioca (*Manihot esculenta*)²⁵, y el maíz (*Zea mays*) que fue adaptado 6.000 años AP²⁶; (2) El descubrimiento en el S del Perú (3625 m) de un asentamiento pre-cerámico donde se practicaba la agricultura del maíz hace 4.000 años; (3) El chacchado de la coca (*Erythroxylum novogranatense* var. *truxillense*) comenzó en el norte del Perú hace al menos 8.000 años²⁷; (4) El origen y domesticación de la papa (*Solanum*

tuberosum) procede de las partes altas de los Andes tropicales (3500-4500 m) a principios del Holoceno, pero el comienzo de la dispersión del cultivo parece datar hace unos 2.500 años AP durante la cultura Tiahuanako²⁸.

Modelización científica de los paisajes del Perú

Hasta la actualidad, existen algunas subdivisiones de los paisajes del Perú de acuerdo con características florísticas, climatológicas y ecológicas^{29, 30, 31, 32, 33, 34}; incluso, recientemente, algunos trabajos han estudiado la distribución altitudinal de algunas asociaciones relacionándolas con intervalos de índices climáticos y algunos parámetros^{35, 36, 37}, de acuerdo con los pisos bioclimáticos de Rivas-Martínez³⁸. Además, en otros países de América del Sur, como Bolivia y Chile, se han realizado estudios que relacionan los pisos bioclimáticos con la vegetación^{39, 40}; sin embargo, del Perú solo existen trabajos muy locales, lo que nos ha llevado a publicar esta nueva aproximación que engloba a todo el país.

Por otra parte, numerosos estudios muestran cómo fue utilizado el territorio andino por las culturas prehispánicas, así como los cambios que se sucedieron en el paisaje durante la colonización española^{41, 42, 43}. Una de las contribuciones más importantes para el entendimiento de la etnohistoria económica andina es el modelo del control vertical del uso del territorio de Murra⁴⁴, que consiste en que un grupo étnico utiliza un máximo de pisos ecológicos para asegurar su subsistencia. Dichos pisos ecológicos son utilizados para crear espacios de cultivos o ganadería, a veces en áreas geográficas distantes que coinciden con pisos bioclimáticos. Por tanto, podemos establecer

un paralelismo entre comunidades vegetales, clima y usos del territorio, teniendo en cuenta aspectos geológico-tectónicos y datos históricos para hacer una síntesis de la diversidad de los Andes y la Amazonía.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los pisos bioclimáticos

Para establecer un paralelismo entre el clima, la vegetación y el uso del territorio con carácter predictivo, hemos utilizado la metodología bioclimática de Rivas-Martínez³⁸, con la que podemos establecer cinturones altitudinales y latitudinales de vegetación (pisos bioclimáticos) basadas en el Índice de Termicidad (It) y bio-indicadores (plantas).

El Índice de Termicidad responde a una expresión con diferentes valores de temperatura en grados centígrados (°C):

$$It = (T + M + m) / 10$$

T = Temperatura media anual

M = Temperatura media de las máximas del mes más frío

m = 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.

Los bio-indicadores son plantas y comunidades vegetales que, sin necesidad de datos meteorológicos, nos muestran en qué piso bioclimático nos encontramos.

Por el momento, podemos reconocer a lo largo del Perú seis 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. Podemos distinguir en Perú 9 tipos de intervalos de humedad: 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).

Los pisos bioclimáticos con su intervalo de humedad y comunidades vegetales hacen una secuencia de vegetación desde la base a las cumbres de las montañas, o desde altitudes bajas a zonas elevadas, además correlacionadas con la naturaleza de los suelos y la geomorfología, definiendo una cliserie altitudinal. Las cliseries altitudinales definen las áreas biogeográficas⁴⁵.

Datos meteorológicos y botánicos

Los datos para el cálculo del Índice de Termicidad (It) y de los intervalos de precipitaciones (P) proceden de la red de estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)⁴⁶ (Figura 1). Las estaciones meteorológicas, datos meteorológicos e índices climáticos y la diagnosis bioclimática de cada estación se detallan en la tabla 1.

Las observaciones de campo han sido realizadas entre 1987 y 2015 teniendo en cuenta, para las determinaciones y distribución florísticas, y nomenclatura, la obra "Flora of Peru"⁴⁷ y las principales bases de datos^{48, 49, 50}. Para la descripción de la vegetación a lo largo de los pisos bioclimáticos, hemos elegido cuatro transectos representados en los rectángulos de la figura 1.

La nomenclatura de las asociaciones está basada en el Código Internacional de Nomenclatura Fitosociológica⁵¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los pisos bioclimáticos han sido descritos por otros autores fuera del Perú^{38, 39, 40} aunque nunca se ha establecido un paralelismo con el uso ancestral del territorio. Sin embargo, algunas aproximaciones de tipo antropológico^{44, 52, 53} indican el uso tradicional de un máximo de pisos ecológicos por las culturas pre-incaicas y el propio imperio Inca, pero sin el uso de índices climáticos con un valor predictivo para la vegetación y el uso del territorio. Hasta ahora los pisos bioclimáticos no habían sido publicados a lo largo del Perú.

Con los índices y datos meteorológicos de la tabla 1, las búsquedas de plantas bio-indicadoras en el campo, y la previa descripción de unidades de vegetación según la metodología fitosociológica, hemos dibujado en el mapa de la figura 2 seis pisos bioclimáticos, que con su correspondiente intervalo de precipitación responden a diferentes tipos de vegetación según se indica a continuación con los transectos de la figura 1.

Los pisos bioclimáticos en los Andes del N del Perú. Cajamarca y el valle del Marañón (Figura 1, rectángulo a)

El piso infratropical ($I_t > 610$) se extiende desde Tumbes al sur de la Región Cajamarca donde se introduce en las proximidades de Tembladera ($7^{\circ}15'03''S-79^{\circ}07'58''W$) y Chilete ($7^{\circ}13'27''S-78^{\circ}50'25''W$) hasta unos 1000 m de altitud. Aquí la vegetación se corresponde con un intervalo semiárido y la asociación *Loxopterygium huasanginis*-*Neoraimondietum arequipensis*, que incluye

especies comunes con otros territorios del norte de América del Sur, como *Bursera graveolens*, *Cappari cordis crotonoides*, *Cercidium praecox*, *Espositoa lanata*, *Ipomoea carnea* y *Loxopterygium huasango*. También son frecuentes endemismos peruanos como *Heliotropium ferreyrae*, *Neoraimondia arequipensis* y *Onoseris odorata*. Hacia el este, en las zonas basales del río Marañón, encontramos una vegetación muy diferente, representada por 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 interandino del Marañón y las vertientes andinas occidentales.

El bosque de *Crotono ruiziani*-*Acacietum macracanthae* reemplaza a la asociación *Loxopterygium 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 *Annona 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*⁵⁴.

Los pisos infra- y termotropical juegan un papel muy importante en el asentamiento y dispersión de ciertos cultivos. La "Tupa coca" (*Erythroxylum novogranatense* var. *truxillense*) fue cultivada en el piso

infratropical, al noroeste del Perú hace 8000 años (valle de Nanchoc)²⁷, posiblemente transportada desde el valle del Marañón, como sugería Plowman⁵⁵. El maní, la calabaza y el algodón también fueron cultivados en esta región desde muy antiguo². Una de las actividades más interesantes en el dominio del bosque de *Annona cherimola* y *Acacia macracantha* es la agricultura de la chirimoya desde el Pre-cerámico (4000 años AP), y las culturas Moche (1800-1300 años AP) y Chimú (1000-800 años AP)⁵⁶.

En la Región Cajamarca 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 podemos distinguir algunos arbustos como *Baccharis latifolia*, *Gaultheria bracteata*, *Maytenus verticillata*, *Monactis flaverioides*, *Myrsine pellucida*, *Oreopanax eriocaphalus* y *Rubus praecox*.

Sobre los 3100 m de altitud, *Barnadesia dombeyana*, *Polylepis racemosa* (*Barnadesio 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 *Calamagrostis 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*)^{57,58}.

El uso del territorio en estas áreas más húmedas del norte y centro del Perú es diferente respecto al sur. En el sur el clima es muy seco (p.ej. Arequipa), y el uso de un máximo de pisos ecológicos estuvo muy extendido a través de los archipiélagos de producción de Murra; sin embargo, en el norte y ciertas zonas del centro, el uso del territorio es contiguo y extendido⁵⁹, por lo que el grado de especialización de los pobladores a lo largo de los sucesivos pisos no es muy elevado. La región de Cusco es famosa por sus mercados formados por productos similares que proceden de diferentes comunidades que viven de forma dispersa⁶⁰, cuya actividad se desarrolla entre los pisos supra- y orotropical. Los mercados de Cajamarca conservan un carácter especial relacionado con las plantas medicinales quizás desde la época Moche recolectadas en los pisos meso- y supratropical⁶¹.

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

Los pisos bioclimáticos en los Andes del centro del Perú. Lima, Valle de Santa Eulalia, Abra Anticona (Figura 1, rectángulo b)

En el centro del Perú, el piso infratropical no se presenta, mientras que el termotropical se extiende al oeste por el desierto y las vertientes andinas occidentales.

iCerca de Lima la vegetación más característica del desierto hiperárido es la vegetación efímera de las lomas de la costa que alcanza los 1000 m de altitud, donde podemos distinguir comunidades vegetales sobre suelos arenosos poco estabilizados pertenecientes a la asociación *Tetragonio crystallinae-Nolanetum gayanae*, y comunidades sobre suelos arenosos estabilizados de la asociación *Palauo rhombifoliae-Nolanetum gayanae*.

En las vertientes occidentales andinas, entre los 1000 y 1600 m de los valles de los ríos Chillón, Rimac y Santa Eulalia, *Haageocereo limensis-Neoraimondietum arequipensis* es la asociación más representativa del piso termotropical árido³⁵, donde algunas especies endémicas, como *Weberbauerocereus johnsonii* (= *Haageocereus limensis*), *Mila nealeana*, *Neoraimondia arequipensis* y *Orthopterygium huacui* son bio-indicadores termotropicales. Hacia los 2500 m *Haageocereo limensis-Neoraimondietum arequipensis* es reemplazada por una comunidad mesotropical semiárida muy alterada de *Espositoa melanostele* y *Armatocereus matucanensis*, y por *Barnadesio blakeanae-Ophryosporidetum peruvianum* en el intervalo seco de humedad.

El piso supratropical está representado por las arbustedas de *Aristeguietio discoloris-Baccharidetum latifoliae* y los bosques de *Polylepis racemosa* localizados hacia los 3900 m, casi en el piso orotropical. Esta vegetación seco-subhúmeda contiene plantas ampliamente distribuidas a lo largo de los Andes peruanos, como *Aristeguietia ballii*, *A. discolor*, *Baccharis latifolia*, *Calceolaria cuneiformis*, *Cantua buxifolia*, *Chuquiraga spinosa*, *Clematis peruviana*, *Hesperomeles cuneata*, *Mutisia acuminata*, *Passiflora trifoliata* y *Polylepis racemosa*. Entre ellas, *A.*

ballii, *A. discolor* y *P. trifoliata* son endemismos peruanos.

Sobre los 4000 m los pajonales seco-subhúmedos de la puna indican el piso orotropical, donde sobre todo podemos destacar dos asociaciones, *Festuco dolichophyllae-Calamagrostietum antoniana* y *Orthrosantho occissapungipuyetum raimondii*⁶², donde *Puya raimondii* presenta una fisionomía similar a la de *Espeletia* en Colombia, o a la de *Dendrosenecio* en África. La vegetación hidrófila de las turberas abombadas con *Calamagrostis jamesonii* y *Distichia muscoides* también está muy extendida en el piso orotropical.

Uno de los escenarios más interesantes de los Andes tropicales es el piso criotropical, que se sitúa sobre los 4500 m de altitud, cuya vegetación está relacionada con los glaciares y los procesos criogénicos, y donde destaca el género *Xenophyllum*. Así, en el Abra Anticona (4860 m, 11°35'36"S-76°11'30"W) podemos distinguir la asociación *Xenophyllo ciliolati-Plettkeetum cryptanthae*, sobre gleras y depósitos morrénicos con cantos superficiales⁶³.

Aunque en el centro del Perú, en el piso mesotropical, existen terrazas de agricultura del maíz de la época Wari⁶⁴, los pisos supra- y orotropical son las áreas donde podemos encontrar una mayor concentración de construcciones pre-hispánicas, y un mayor desarrollo de la agricultura y la ganadería. Las arbustedas de la asociación *Aristeguietio discoloris-Baccharidetum latifoliae* se encuentran en los alrededores de estos asentamientos humanos, y algunas de sus especies como *Cantua buxifolia* o *Mutisia acuminata* fueron usadas como elementos ornamentales en el ciclo ritual incaico⁶⁵.

El piso orotropical inferior presenta las condiciones climáticas apropiadas para el crecimiento de la papa desde hace al menos 8000 años, cuyo origen parece estar situado entre el centro del Perú y los alrededores del Lago Titicaca^{28, 66}. En esta última región comenzó a ser cultivada de forma extensiva. Las primeras razas de la papa se desarrollaron al norte del Lago Titicaca, y su diseminación a gran escala aparentemente se inició con la cultura Tiahuanaco, al sur del lago, y posteriormente, hace unos 1500 años, hacia el norte tanto por la costa como por las altitudes. Estos antiguos asentamientos del centro del Perú y del Lago Titicaca parecen estar también relacionados con la domesticación de los camélidos a juzgar por la gran extensión de los pajonales de *Festuca dolichophyllae*-*Calamagrostietum antoniana* y las turberas del piso orotropical superior^{67, 68, 69}.

Los pisos bioclimáticos del Sur del Perú. Atiquipa, Arequipa, el complejo volcánico-glaciar Coropuna, los cañones del Colca y del Cotahuasi (Figura 1, rectángulo c)

En el occidente del sur del Perú, se encuentran las lomas de Atiquipa (333 m, 15°47'36"S-74°21'49"W) donde encontramos los bosques termotropicales secos de la asociación *Caesalpinio spinosae*-*Myrcianthes ferreyrae*, y la vegetación hiperárida efímera de las asociaciones *Hoffmannseggia mirandae*-*Palauetum weberbaueri* y *Nolanetum scaposum-spathulatae*. Sin embargo, en las vertientes andinas occidentales el piso termotropical asciende hasta unos 2100 m con las asociaciones de cactáceas columnares *Weberbauerocereo weberbaueri*-*Browningietum candelaris* y *Weberbauerocereo rauhii*-*Browningietum candelaris*. Todas estas comunidades

vegetales que señalamos contienen alrededor de 80 endemismos, que es el mayor número de especies endémicas del piso termotropical occidental. Por supuesto, componentes de estas asociaciones, como *Hoffmannseggia miranda*, *Myrcianthes ferreyrae*, *Nolana scaposa*, *N. spathulata* y *Palaua weberbaueri* son plantas endémicas, pero además bio-indicadores termotropicales⁷⁰.

El piso termotropical del sur del Perú fue el escenario de las culturas Paracas y Nazca, que usaron las lomas en tiempos de neblinas y lluvias, y las terrazas de los ríos para la agricultura y el pastoreo⁷¹. Aquí se cultivaron plantas procedentes de los pisos infra- y termotropical orientales, como *Capsicum* spp., *Erythroxylum coca* o *Indigofera* (quizás *I. suffruticosa*) para la tinción de tejidos de algodón^{25, 72}, que indican un intercambio de plantas entre los mismos pisos bioclimáticos, pero con diferente intervalo de precipitación, entre ambas vertientes de los Andes⁷³. Igualmente, en el piso termotropical del sur del Perú se cultivaron desde hace más de 8000 años, plantas procedentes del infratropical del norte, como *Arachis*, *Cucurbita* y *Gossypium*²⁷. Este uso intensivo de la costa peruana, llevó a ciertas localidades, como Atiquipa, a ser un enclave de producción de las culturas pre-Inca e Inca para abastecer de ciertos productos a las poblaciones situadas en los pisos meso-, -supra y orotropical^{44, 60, 74}.

En los Andes occidentales de Arequipa, el piso mesotropical se sitúa entre los 2100 y 3100 m de altitud estando muy relacionado con los eventos eruptivos de los complejos volcánicos Chachani, Pichu-Pichu y el volcán Misti. Las asociaciones que se asientan sobre suelos volcánicos pedregosos bajo un intervalo de humedad árido-semiárido son

iWeberbauerocereo weberbaueri-Corryocactetum brevistyli y Weberbauerocereo rauhii-Corryocactetum brevistyli, mientras que sobre los flujos de lodos de origen pleistocénico se asienta la asociación semiárida Balbisio verticillatae-Ambrosietum artemisioides.

Alrededor de los cultivos irrigados de los pueblos las arbustadas con *Baccharis latifolia*, *Cantua buxifolia* y *Dunalia spinosa* (*Dunalia spinosae*-*Baccharidetum latifoliae*) marcan el piso mesotropical superior y supratropical, mientras que la asociación *Diplostephium tacorensis*-*Parastrephietum quadrangulare* se instala en el espacio superior del piso supratropical cuando los intervalos de precipitaciones son de semiárido a seco, caracterizándose por algunos endemismos peruanos, como *Chersodoma arequipensis*, *Diplostephium tacorense*, *Echinopsis huotii* y *Cumulopuntia corotilla*. Además destacamos a *Fabiana stephanii* y *Oreocereus hempelianus*, que se extienden desde la frontera chilena.

Al igual que en el centro y en el norte, en el sur del Perú el piso orotropical está representado por pajonales debidos a los intervalos seco y subhúmedo, entre los 3800 y 4500 m de altitud. El intervalo seco corresponde a *Parastrephio lucidae*-*Festucetum orthophyllae*, mientras que *Parastrephio quadrangulare*-*Festucetum dolichophyllae* prospera en medios subhúmedos en las altitudes del interior de Arequipa, Cusco y Puno. En suelos profundos de los pisos supratropical superior y orotropical inferior se hacen frecuentes los queñuales de *Chuquirago rotundifoliae*-*Polylepidetum rugulosae*. Por otra parte, ciertos elementos de *Parastrephio lucidae*-*Festucetum orthophyllae* alcanzan altitudes superiores a los 4500 m en medios rocosos del piso criotropical, como sucede con los cojines de

*Azorella compacta*⁷⁵.

Los pisos meso- y supratropical son los más importantes para la agricultura, mientras que el orotropical lo es para el pastoreo con la llama y la alpaca⁷¹. En el supratropical, en las arbustadas con *Baccharis latifolia*, la presencia de "tarwi" (*Lupinus mutabilis*) está indicando su cultivo ancestral⁷⁶; sin embargo, en estas zonas con suelos más profundos y frescos, el elemento arquitectónico tradicional son los aterrazamientos en andenes para la agricultura, como ocurre en los cañones del Colca y Cotahuasi⁷⁷. Se sabe que en el cañón de Cotahuasi se cultivó maíz en terrazas hace 4000 años, probablemente aclimatado desde la región húmeda oriental andina⁷⁸. Sin embargo, los andenes fueron utilizados especialmente para la agricultura con Amarantáceas y Quenopodiáceas⁷⁹; pero hacia los 1200-600 años AP, la cultura Wari cambió este uso cultivando extensivamente el maíz como alimento principal de su expansión militar, como hizo posteriormente el Imperio Inca⁸⁰. La cultura Wari también extendió los andenes hacia el piso termotropical; hoy día se suelen encontrar abandonados como consecuencia de cambios climáticos y una escasa irrigación¹⁴.

El piso criotropical en la puna seca-subhúmeda del sur del Perú está caracterizado por comunidades vegetales relacionadas con procesos criogénicos y zonas glaciares, como en los alrededores del complejo volcánico-glaciar Coropuna (6305 m, 15°33'54"S-72°36'93"W). Aquí, la asociación *Nototricho obcuneatae*-*Xenophylletum poposi* se asienta sobre gleras y depósitos morrénicos, mientras que *Nototricho obcuneatae*-*Mniodetum coarctatae* sobre suelos poligonales enriquecidos con cenizas volcánicas⁸¹. A 5600 m de altitud, el Coropuna presenta

la estructura de irrigación más elevada del mundo⁸², construida en la época incaica, quizás relacionada con la agricultura de la papa amarga (*Solanum x ajanhuiri*, *S. x curtilobum* y *S. x juzepczukii*). Estas hibridaciones proceden de hace unos 2400 años para la obtención del chuño⁸³, que es uno de los muy pocos alimentos obtenidos del suelo a más de 4000 m, justo en la intersección entre la agricultura extensiva y el pastoreo con camélidos, en el piso orotropical⁸⁴.

La vegetación de los pisos termo- y mesotropical en la vertiente occidental andina donde se localizan los cañones del Cotahuasi y Colca, está relacionada en parte con la de las vertientes andinas orientales. En el piso termotropical del cañón del Cotahuasi (3535 m de profundidad, 15°12'92"S-72°54'42"W) podemos observar la asociación árida *Neoraimondio arequipensis-Browningietum viridis*, donde *Browningia viridis* es la especie dominante, que también es frecuente en los valles situados al este de las regiones de Apurímac y Ayacucho. El piso mesotropical del cañón del Colca (4160 m de profundidad, 15°38'71"S-71°45'85"W) está representado por la vegetación semiárida de *Armatocereus riomajensis-Euphorbietum apurimacensis*; *Euphorbia apurimacensis* también se encuentra en los valles orientales de Apurímac, Cusco y Puno, además con algunas localidades en las vertientes occidentales del sur de Arequipa. *Echinopsis schoenii* completa la originalidad de esta asociación, pues solo se encuentra en el cañón del Colca y al noreste del estratovolcán Ubinas (Moquegua), siendo un bio-indicador mesotropical⁸⁵.

Los pisos bioclimáticos desde las vertientes andinas orientales a la Amazonía. El valle de

San Gabán (Figura 1, rectángulo d)

Aunque algunos autores^{86, 87, 88} consideran que los bosques húmedos de las laderas andinas orientales pertenecen a la unidad biogeográfica amazónica, los pisos supratropical y mesotropical tienen un carácter andino marcado por los géneros *Alnus*, *Baccharis*, *Barnadesia*, *Berberis*, *Clematis*, *Mutisia*, *Polylepis*, *Puya* y *Rubus*.

En el valle de San Gabán (Puno), el piso supratropical está representado por el bosque húmedo de *Mutisia cochabambensis* y *Polylepis incarum* entre 4000 y 3500 m de altitud, acompañado por *Berberis peruviana*, *Bomarea ovata*, y algunas especies comunes con Bolivia, como *Citharexylum dentatum* y la propia *Mutisia cochabambensis*. Dentro del dinamismo de este bosque podemos destacar el pastizal de *Brachypodium mexicanum* con *Puya ferox*, y la oca silvestre (*Oxalis tuberosa*), que refleja el óptimo supratropical de este cultivo⁶⁰.

El piso termotropical del sur del Perú fue una de las áreas más importantes de explotación de la quina durante el Imperio Inca y la colonización española, donde el poblado de San Gabán (650 m, 13°26'27"S-70°24'18"W) fue uno de los centros cruciales⁸⁹. El piso termotropical, entre 2200 y 650 m de altitud es amazónico, con bosques hiperhúmedo-ultrahiperhúmedos de *Cinchona micrantha*, *Cyathea delgadii* y *Graffenrieda cucullata*, y en depresiones con los suelos húmedos, los pacales de *Guadua sarcocarpa*. Por debajo de los 650 m, en el horizonte superior del piso infratropical, está también presente el bosque con *Cinchona micrantha*, pero *Mauritia flexuosa* (aguaje), *Euterpe precatoria* (chonta) e *Iriartea deltoidea* aparecen como bio-indicadores. El horizonte inferior, bajo los 300 m de altitud, está representado por la geomorfología fluvial de la Amazonía, donde,

ia manera de síntesis, aparte de la vegetación de los caños y lagos⁹⁰, podemos distinguir bosques climatófilos no inundables, y bosques sujetos a un mayor o menor nivel de inundación. En los escenarios climatófilos húmedos-hiperhúmedos infratropicales podemos diferenciar algunos bio-indicadores como *Apeiba membranacea*, *Bertholletia excelsa*, *Caryocar amygdaliforme*, *Chelyocarpus ulei*, *Dipteryx micrantha* y *Piper reticulatum*. La alteración de estos bosques conduce a varillales con un menor valor maderero, donde son frecuentes *Cecropia membranacea* y otras plantas, como *Piper peltatum*, que se desarrollan junto a cultivos cuando el bosque se ha fragmentado. Procedente de estos medios, Plowman⁵⁵ describió *Erythroxylum coca* var. *ipadu* como una raza derivada de cultivos ancestrales de la var. *coca*. A su vez, las comunidades de palmeras son muy significativas en el paisaje de la Amazonía infratropical, donde tal vez los aguajales de *Mauritia flexuosa* son las más representativas.

La zona originaria de cultivos más importante del Perú es la Amazonía, donde fueron cultivados entre 10000 y 7000 años²⁵, los ñames, maranta, ciertas variedades de calabaza, camotes y la mandioca. Los análisis moleculares han ayudado a descifrar el origen, domesticación y dispersión de los cultivos amazónicos, a partir de asentamientos arqueológicos datados desde el final del Pleistoceno hasta principios del Holoceno⁹¹. El resultado es que mientras la castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*), guaraná (*Paullinia cupana*) y cacao blanco (*Theobroma grandiflorum*) tienen un origen infratropical inferior, la mandioca (*Manihot esculenta*), el cacao (*Theobroma cacao*) y la piña (*Ananas comosus*) tienen un origen periférico en los pisos termotropical inferior e infratropical superior. La distribución de la

castaña del Brasil, guaraná y cacao blanco contrasta con las que tienen un origen periférico, indicando una concentración de recursos genéticos en el centro de la Amazonía a lo largo de las márgenes de los ríos con aguas blancas, cuyos suelos presentan lodos enriquecidos de procedencia andina, donde además estuvo concentrada la población pre-hispánica.

En la actualidad, los paisajes de los pisos termotropical inferior e infratropical superior del valle de San Gabán presentan un escenario holocénico, con bosques alterados de *Cinchona micrantha* que contienen cultivos de piña, cacao, mandioca y coca.

CONCLUSIÓN

Los resultados de este trabajo sugieren que el modelo de los Pisos Bioclimáticos nos lleva a una síntesis de las comunidades vegetales dentro de los paisajes peruanos, con sus plantas características y el uso ancestral y actual del territorio. La cartografía de los pisos bioclimáticos es la primera etapa para emprender un mapa de vegetación basado en asociaciones fitosociológicas como unidades esenciales del paisaje.

Los usos ancestrales del territorio se pueden clasificar en cuatro áreas geográficas, considerando los pisos bioclimáticos. En el norte, la coca y los cultivos de chirimoya separan los pisos infratropical y termotropical respectivamente, así como es significativo el uso de plantas medicinales de los pisos mesotropical y supratropical. En el centro del Perú, las arbustadas supratropicales fueron el origen de plantas empleadas en rituales religiosos. Aquí, el piso orotropical de la puna húmeda es muy importante al ser el origen de la papa y de la domesticación de los camélidos. El sur termotropical fue un

importante centro agrícola para las culturas Paracas y Nazca; los pisos mesotropical y supratropical se convirtieron durante la cultura Wari en las áreas más importantes de producción, con grandes extensiones de terrazas agrícolas, mientras que la ganadería con camélidos se extiende a lo largo del piso orotropical, y los glaciares criotropicales fueron usados para la irrigación de los campos. Los pisos termotropical e infratropical orientales en el sur del Perú, con altas precipitaciones, son antiguos centros de producción de frutos como el cacao o la piña.

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este trabajo a los maestros y amigos Ramón Ferreyra, Oscar Tovar, Isidoro Sánchez-Vega, Emma Cerrate y Santos Llatas, que dedicaron su vida al conocimiento y difusión de la naturaleza peruana por el mundo, y que siguen entre nosotros inspirando nuestros trabajos.

Este trabajo ha sido realizado con el apoyo económico de la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo (Madrid, España), la Cátedra de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad CEU San Pablo-Grupo Santander (Madrid, España) y de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (Cajamarca, Perú) (dentro del proyecto "Mapa de vegetación de Cajamarca. Potencialidad de la vegetación para el uso de plantas medicinales"). Nuestro agradecimiento al Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima), a la Facultad de Ciencias Histórico-Sociales de la Universidad Nacional de San Agustín (Arequipa), al herbario de la Universidad Nacional de Cajamarca y a la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (Cajamarca) por las facilidades que nos

brindaron para consultar sus colecciones y bibliotecas. María A. Matarazzo nos apoyó en repetidas ocasiones con su casa, biblioteca e ideas antropológicas durante nuestras estadías en Lima; Julio Pinto hace años que se convirtió en nuestro guía de campo, manejando con la "burrita" por desiertos, cenizas volcánicas y los caminos culebreros de las selvas, y salvando las plantas de los hongos con los "zoquetes".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Linderman MA, An L, Bearer S, He G, Ouyang Z, Liu J. Interactive effects of natural and human disturbances on vegetation dynamics across landscapes. *Ecological Applications*. 2006; 16: 452-463.
2. Dillehay TD, Rossen J, Andres TC, Williams DE. Preceramic Adoption of Peanut, Squash, and Cotton in Northern Peru. *Science* 316. 2007; 1890-1893.
3. León W, Palacios O, Vargas L, Sánchez A. Memoria explicativa del mapa geológico del Perú escala 1: 100.000. Lima: INGEMMET; 2000.
4. Ricardi S, Gaviria MH, Estrada J. La flora del superpáramo venezolano y sus relaciones fitogeográficas a lo largo de los Andes. *Plantula* 1997; 1: 171-187.
5. Livermore R, Nankivell A, Eagles G, Morris P. Paleogene opening of Drake Passage. *Earth Planetary Science Letters* 2005; 236: 459-470.
6. Devoré ML, Stuessy TF. The place and time of origine of the Compositae additional comments on the Calyceraceae and Goodeniaceae. En Hind DJN, Jeffrey C, Pope GV. editores. *Advances in Compositae Systematics*. Kew: The Royal Botanic Garden; 1995. p. 23-40.

7. Graham A. The Andes: A geological overview from a biological perspective. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 2009; 96:371-385.
8. Pires JM, Prance GT. The Amazon Forest: A Natural Heritage to be Preserved. En Prance GT, Elias TS. editores. *Extinction is Forever*. New York: New York Botanic Garden; 1977. p.195-213.
9. Gregory-Wodzicki KM. Uplift history of the Central and Northern Andes: A review. *Bulletin of the Geological Society of America* 2000; 112: 1091-1105.
10. Orme AR. Tectonism, Climate, and Landscape Change. En Veblen TT, Young KR & Orme AR. editores. *The Physical Geography of South America*. New York: Oxford University Press; 2007. p.23-44.
11. Solbrig O. The origin and floristic affinities of the South American temperate desert and semiarid regions. En Goodall D. editor. *Evolution of desert biota*. Austin: University of Texas Press; 1976. p.7-50.
12. Schwarzer C, Cáceres Huamaní F, Cano A, La Torre MI, Weigend M. 400 years for long-distance dispersal and divergence in the northern Atacama desert- Insights from Huaynaputina pumice slopes of Moquegua, Peru. *Journal of Arid Environments* 2010; 74: 1540-1551.
13. Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Nauray Huari W, Vicente Orellana JA, Galán de Mera A. Nuevas adiciones a la flora del Perú, V. *Arnaldia* 2010; 17:99-112.
14. Galán de Mera A, Vicente Orellana JA, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Trujillo Vera C, Villasante Benavides F. Patrones de distribución de las comunidades de Cactáceas en las vertientes occidentales de los Andes peruanos. *Caldasia* 2012; 34: 257-275.
15. Rowley DB, Garzione CN. Stable isotope-based palaeoaltimetry. *Annual Review of Earth Planetary Science* 2007; 35: 463-508.
16. Ibaraki M. Closing of the Central American Seaway and Neogene coastal upwelling along the Pacific coast of South America. *Tectonophysics* 1997; 281:99-104.
17. Luebert F, Gajardo R. Vegetación alto andina de Parinacota (norte de Chile) y una sinopsis de la vegetación de la Puna meridional. *Phytocoenologia* 2005; 35: 79-128.
18. Hughes C, Eastwood R. Island radiation on a continental scale: Exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 2006; 103: 10334-10339.
19. Cuatrecasas J. A systematic study of the subtribe Espeletiinae (Heliantheae, Asteraceae). *Memoirs of the New York Botanical Garden* 2013; 107: 1-689.
20. Cleef AM. Characteristics of neotropical páramo vegetations and its sub-Antartic relations. *Erdwissenschaftliche Forschung*. Wiesbaden 1978; 11:365-390.
21. Cleef AM. La posición fitogeográfica de la flora vascular del páramo neotropical. *Colombia Geografica* 1980; 7:68-86.
22. Hooghiemstra H, Wijninga VM, Cleef AM. The Paleobotanical record of Colombia: Implications for biogeography and biodiversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 2006; 93:297-324.
23. Salaverry Llosa JA. Macro-ecología de los Andes peruanos. Situación actual y dinámica de cambio en los últimos 20000 años. Lima: CONCYTEC-IFEA; 2006.

24. Bush MB, Silman MR, Listopad CMCS. A regional study of Holocene climate change and human occupation in Peruvian Amazonia. *Journal of Biogeography* 2007; 34: 1342-1356.
25. Denevan WM. Pre-European Human Impacts on Tropical Lowland Environments. En Veblen TT, Young KR & Orme AR. editores. *The Physical Geography of South America*. New York: Oxford University Press. 2007. p. 265-278.
26. Bush MB, Piperno DR, Colinvaux PA. A 6000 year history of Amazonian maize cultivation. *Nature* 1989; 340: 303-305.
27. Dillehay TD, Rossen J, Ugent D, Karathanasis A, Vásquez V, Netherly P. Early Holocene coca chewing in northern Peru. *Antiquity* 2010; 84: 939-953.
28. Morales Garzón FJ. Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). *Revista Latinoamericana de la Papa* 2007; 14: 1-9.
29. Weberbauer A. El mundo vegetal de los Andes Peruanos (Estudio fitogeográfico). Lima: Ministerio de Agricultura; 1945.
30. Tosi J. Zonas de Vida Natural en el Perú. Lima: Instituto Inter-Americano de Ciencias Agrícolas de la OEA: Zona Andina, Boletín Técnico n° 5; 1960.
31. Koepcke HW. *Synökologische Studien an der Westseite der peruanischen Anden*. Bonn: Dümmlers; 1961.
32. Hueck K, Seibert P. *Vegetationskarte von Südamerika*. Stuttgart-New York: Gustav Fischer; 1981.
33. Galán de Mera A, Vicente Orellana JA, Lucas García JA, Probanza Lobo A. Phytogeographical sectoring of the Peruvian coast. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1997; 6: 349-367.
34. Kuentz A, Galán de Mera A, Ledru MP, Thouret JC. Phytogeographical data and modern pollen rain of the puna belt in southern Peru (Nevado Coropuna, Western Cordillera). *Journal of Biogeography* 2007; 34: 1762-1776.
35. Galán de Mera A, Baldeón S, Beltrán H, Benavente M, Gómez J. Datos sobre la vegetación del centro del Perú. *Acta Botanica Malacitana* 2004; 29: 89-115.
36. Galán de Mera A, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Vicente Orellana JA. Nuevas observaciones sobre la vegetación del sur del Perú. Del Desierto Pacífico al Altiplano. *Acta Botanica Malacitana* 2009; 34: 107-144.
37. Montesinos DB, Cleef AM, Sýkora KV. Andean shrublands of Moquegua, South Peru: Prepuna plant communities. *Phytocoenologia* 2012; 42: 29-55.
38. Rivas-Martínez S, Sánchez-Mata D, Costa M. North American Boreal and Western temperate Forest Vegetation (Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, II). *Itinera Geobotanica* 1999; 12: 5-316.
39. Navarro G, Maldonado M. Geografía ecológica de Bolivia. *Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Santa Cruz: Fundación Simón I. Patiño; 2005.
40. Luebert F, Pliscoff P. *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria; 2006
41. Sluyter A. Colonialism and landscape in the Americas: Material/conceptual transformations and continuing consequences. *Annals of the Association of American Geographers* 2001; 91: 410-428.

42. Young KR. Andean land use and biodiversity: humanized landscapes in a time of change. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 2009;96:492-507.
43. Galán de Mera A, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Trujillo Vera C & Vicente Orellana JA. Las comunidades vegetales relacionadas con los ambientes humanos en el sur del Perú. *Phytocoenologia* 2012; 41: 265-305.
44. Murra JV. El mundo andino. Población, medio ambiente y economía. Lima: Instituto de Estudios Peruanos; 2009.
45. Rivas-Martínez S. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España, parte I. *Itinera Geobotanica* 2007; 17: 5-436.
46. SENAMHI [internet]. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú; 2016 [Citado el 24 de abril de 2016] Disponible en : <http://www.senamhi.gob.pe>.
47. MacBride JF. *Flora of Peru*. Chicago: Field Museum; 1936-1962.
48. Brako L, Zarucchi JL. *Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú*. St. Louis: Missouri Botanical Garden; 1993.
49. The Plant List [internet]. Kew: Royal Botanic Gardens; 2013 [Citado el 20 de abril de 2016] Disponible en : <http://www.theplantlist.org>.
50. TROPICOS [internet]. St. Louis, EEUU: Tropicos. org; 2016 [Citado el 20 de abril de 2016] Disponible en : <http://www.tropicos.org>.
51. Weber HE, Moravec J, Theurillat JP. International Code of Phytosociological Nomenclature. 3rd edition. *Journal of Vegetation Science* 2000; 11: 739-768.
52. Pulgar Vidal J. *Geografía del Perú*. Lima: Peisa; 1996.
53. Pease F. *Los Incas*. Lima: Universidad Católica; 2009.
54. Galán de Mera A, Sánchez Vega I, Linares Perea E, Campos J, Montoya J, Vicente Orellana JA. A phytosociological analysis and synopsis of the dry woodlands and succulent vegetation of the Peruvian Andes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 2016; 88 (<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150343>).
55. Plowman T. The Ethnobotany of Coca (*Erythroxylum* spp., *Erythroxylaceae*). *Advances in Economic Botany* 1984; 1: 62-111.
56. Bonavia D, Ochoa CM, Tovar Ó, Cerrón Palomino R. Archaeological Evidence of Cherimoya (*Annona cherimolia* Mill.) and Guanabana (*Annona muricata* L.) in Ancient Peru. *Economic Botany* 2004; 58: 509-522.
57. Galán de Mera A, Sánchez Vega I, Linares Perea E. Pisos bioclimáticos y vegetación en la Región de Cajamarca (Perú). *Perspectiva* 2013; 14(16): 119-129.
58. Galán de Mera A, Sánchez Vega I, Montoya Quino J, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Vicente Orellana JA. La vegetación del Norte del Perú: De los bosques a la jalca en Cajamarca. *Acta Botanica Malacitana* 2015; 40: 157-190.
59. Dollfus O. *El reto del espacio andino*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos; 1981.
3. Brush SB. Man's Use of an Andean Ecosystem. *Human Ecology* 1976; 4: 147-166.
60. Bussmann RW, Sharon D. Traditional medicinal plant use in Northern Peru: tracking two thousand years of healing culture. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2006; 2: 47. doi: 10.1186/1746-4269-2-47.

61. Gutte P. Beitrag zur Kenntnis zentralperuanischer Pflanzengesellschaften IV. Die grasreiche Vegetation der alpine Stufe. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig. Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe* 1985; 34: 357-401.
62. Rivas-Martínez S & Tovar Ó. *Vegetatio Andinae*, I. Datos sobre las comunidades vegetales altoandinas de los Andes Centrales del Perú. *Lazaroa* 1982; 4: 167-187.
63. Schreiber KJ. Los Wari en su contexto local: Nasca y Sondondo. *Boletín de Arqueología de la Pontificia Universidad Católica del Perú* 2000; 4: 425-447.
64. Mulvany E. La flor en el ciclo ritual incaico. *Boletín de Arqueología de la Pontificia Universidad Católica del Perú* 2005; 9: 373-386.
65. Popenoe H, King SR, León J, Kalinowski LS. *Lost Crops of the Incas*. Washington: National Academy Press, Washington; 1989.
66. Tapia Núñez ME, Flores Ochoa JA. *Pastoreo y pastizales de los Andes del S del Perú*. Lima: Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria; 1984.
67. Wheeler JC. Patrones prehistóricos de utilización de los camélidos sudamericanos. *Boletín de Arqueología de la Pontificia Universidad Católica del Perú* 1999; 3: 297-305.
68. Webster SS. Una comunidad quechua indígena en la explotación de múltiples zonas ecológicas. En Huerta Reyes R. editor. *Q'Ero, el último ayllu inka*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Instituto Nacional de Cultura; 2005. p. 103-116.
69. Galán de Mera A, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Vicente Orellana JA. Interpretación fitosociológica de la vegetación de las lomas del desierto peruano. *Revista de Biología Tropical* 2011; 59: 809-828.
70. Erickson CL. Prehistoric Landscape Management in the Andean Highlands: Raised Field Agriculture and its Environmental Impact. *Population and Environment* 1992; 13: 285-300.
71. Beresford-Jones DG, Whaley O, Alarcón Ledesma C, Cadwallader L. Two millennia of changes in human ecology: archaeobotanical and invertebrate records from the lower Ica valley, south coast. *Vegetation History and Archaeobotany* 2011; 20: 273-292.
72. Gade DW. *Nature and Culture in the Andes*. Madison: The University of Wisconsin Press; 1999.
73. Canziani Amico J. Las lomas de Atiquipa: Un caso de paisaje cultural en la costa desértica del sur del Perú. En International Council on Monuments and Sites. editor. *World Heritage Cultural Landscapes*. París: UNESCO-ICOMOS Documentation Centre; 2009. p. 169-190.
74. Galán de Mera A, Linares Perea E. *La vegetación de la Región Arequipa (Perú)*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín; 2012.
75. Jacobsen SE, Mujica A. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. En Moraes M, Øllgaard B, Kvist LP, Borchsenius F, Balslev H. editores. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés, La Paz; 2006. p. 458-82.
76. Treacy JM. *Las chacras de Coporaque. Andenería y riego en el valle del Colca*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos; 1994.

77. Perry L, Sandweiss DH, Piperno DR, Rademaker K, Malpass MA. Early maize agriculture and interzonal interaction in southern Peru. *Nature* 2006;440:76-79.
78. Branch NP, Kemp RA, Silva B, Meddens FM, Williams A, Kendall A, Pomacanchi CV. Testing the sustainability and sensibility to climatic change of terrace agricultural systems in the Peruvian Andes: a pilot study. *Journal of Archaeological Science* 2007;34:1-9.
79. Yépez Álvarez WJ, Jennings J. ¿Wari en Arequipa? Análisis de los contextos funerarios de La Real. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín; 2012.
80. Galán de Mera A, Méndez E, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Vicente Orellana JA. Las comunidades vegetales relacionadas con los procesos criogénicos en los Andes peruanos. *Phytocoenologia* 2014; 44: 121-161.
81. Chávez JA. Investigaciones arqueológicas de Alta Montaña en el sur del Perú. *Chungará* 2001;32:283-288.
82. Pickersgill B, Heiser CB. Origins and Distribution of Plants Domesticated in the New World Tropics. En Browman DL. editores. *Advances in Andean Archaeology*. The Hague: Mouton; 1978. p. 133-166.
83. De Haan S, Burgos G, Arcos J, Ccanto R, Scurrah M, Salas E, Bonierbale M. Traditional Processing of Black and White Chuño in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars. *Economic Botany* 2010;64:217-234.
84. Galán de Mera A, Linares Perea E, Campos de la Cruz J, Trujillo Vera C, Villasante Benavides F, Vicente Orellana JA. Novedades sobre la vegetación del Departamento de Arequipa (Perú). *Arnaldoa* 2011; 18: 125-144.
85. Brack Egg A. Ecología de un país complejo. En Dourojeanni MJ .editor. *Gran geografía del Perú*. Barcelona: Manfer-Juan Mejía Baca; 1987. p. 177-319.
86. Morrone JJ. Biogeografía de América Latina y el Caribe. *M&T-Manuales & Tesis de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 2001; 3: 1-148.
87. Schjellerup I, Sørensen MK, Espinoza C, Quipuscoa V, Peña V. *The Forgotten Valleys. Past and Present in the Utilization of Resources in the Ceja de Selva, Peru*. Copenhagen: The National Museum of Denmark, Copenhagen; 2003.
88. Marcoy P. *Viaje por los valles de la quina*. Madrid: Espasa Calpe; 1968.
89. Encarnación F. El bosque y las formaciones vegetales en la llanura amazónica del Perú. *Alma Mater* 1993; 6: 95-114.
90. Clement CR, Cristo-Araújo M, Coppens d'Eeckenbrugge G, Alves Pereira A, Picanço-Rodrigues D. Origin and Domestication of Native Amazonian Crops. *Diversity* 2010;2:72-106.

CORRESPONDENCIA

Autor: Antonio Galán de Mera

Correo: agalmer@ceu.es