



## Biogeografía agrícola: el análisis espacial de los sistemas agrícolas

### *Agriculture biogeography: the spatial analysis of agricultural systems*

Liliana Katinas<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>División Plantas Vasculares, Museo de La Plata, La Plata, Argentina.

Charla invitada, pronunciada en la ANAV el día 10 de octubre de 2019.

ID Autor: <https://orcid.org/0000-0002-6335-5402>

#### Correspondencia:

Correo electrónico: [katinas@fenym.unlp.edu.ar](mailto:katinas@fenym.unlp.edu.ar)

#### Resumen

El desafío de aumentar la producción de alimentos para sostener el ritmo de la demanda, y al mismo tiempo mantener la integridad ecológica esencial de los sistemas de producción, requiere una acción interdisciplinaria. La Biogeografía agrícola, definida como la aplicación de los principios, teorías y análisis de la Biogeografía a los sistemas agrícolas, genera ideas y métodos de investigación para enfrentar este desafío. La Biogeografía agrícola no solo abarca el problema del uso de la tierra *versus* conservación de la biodiversidad, sino también un cuerpo sustancial de teoría y análisis que involucra temas como: la búsqueda de centros de origen y de centros de domesticación de plantas y animales domesticados; la proyección en mapas de la extensión espacial de las tierras de cultivo; la integración espacial de la silvicultura con otros cultivos y con la producción de ganado; el impacto de los fenómenos climáticos en los cambios en la distribución geográfica de plantas y animales domesticados; la integración del espacio geográfico en las filogenias de vectores o de patógenos de cultivos y ganado y la aplicación de modelado de nicho ecológico a especies cultivadas y sus plagas. En este artículo se describen los distintos espacios (geográfico, filogenético, ecológico y temporal) que son de interés para la investigación agrícola, se presenta una breve introducción a la Biogeografía y a la Biogeografía agrícola, se abordan las tres premisas que justifican la aplicación de la Biogeografía a los sistemas agrícolas, y se ilustra la aplicación de la Biogeografía agrícola mediante ejemplos. Se concluye que la Biogeografía agrícola realiza una contribución importante a la resolución de problemas en los sistemas agrícolas través de una inclusión razonada, coherente y organizada de la dimensión espacial.

**Palabras clave:** sistemas agrícolas, métodos biogeográficos, análisis espacial, sustentabilidad.

#### Abstract

The challenge of increasing food production to keep pace with demand, while maintaining the essential ecological integrity of production systems, requires coordinated interdisciplinary action. Agriculture biogeography, defined as the application of the principles, theories and analysis of Biogeography to agricultural systems, generates ideas and research methods to meet this challenge. Agricultural Biogeography not only covers the problem of land use versus biodiversity conservation, but also a substantial body of theory and analysis that involves topics such as: the search for centers of origin and centers of domestication of domesticated plants and animals; the mapping of the spatial extent of farmland; the spatial integration of forestry with other crops and with livestock production; the impact of climatic events on changes in the geographic distribution of domesticated plants and animals; the integration of the geographic space in the phylogenies of vectors and pathogens of crop and livestock; and the application of ecological niche modeling to cultivated species and their pests. In this article, the different spaces (geographical, phylogenetic, ecological and temporal) that are of interest for agricultural research are described, a brief introduction to Biogeography and Agriculture biogeography are presented, the three premises that justify the application of Biogeography to agricultural systems are addressed, and the application of Agriculture biogeography is illustrated by means of examples. It is concluded that Agriculture biogeography makes an important contribution to problem solving in agricultural systems through a reasoned, coherent, and organized inclusion of the spatial dimension.

**Keywords:** agricultural systems, biogeographical methods, spatial analysis, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

El desafío de aumentar la producción de alimentos para sostener el ritmo de la demanda, y al mismo tiempo mantener la integridad ecológica esencial de los sistemas de producción, requiere una acción interdisciplinaria. Por lo tanto desde hace años, la agricultura está incorporando disciplinas relacionadas con los recursos naturales, las ciencias ambientales y las ciencias de la vida (p. ej., Agroecología).

La Biogeografía, el estudio de la distribución espacial de los seres vivos, ofrece un aporte único porque genera enfoques y métodos de investigación que pueden usarse para resolver este desafío. A través del análisis espacial, la Biogeografía proporciona un marco conceptual y analítico dentro del cual se pueden integrar, relacionar y estructurar los problemas que afectan a los organismos. El análisis espacial trata de modelos formales de organización en un determinado espacio y asume un conocimiento de las distribuciones en ese espacio y de los procesos en el espacio-tiempo que las causan (Gatrell 1983).

La Biogeografía ha estado tradicionalmente enfocada en los sistemas naturales, es decir aquellos elementos y procesos biológicos, geológicos y climáticos interdependientes, propios de la naturaleza. Sin embargo, también tiene la capacidad de aportar métodos y enfoques a los sistemas agrícolas, entendiendo por sistema agrícola aquel que comprende los cultivos, el ganado, los árboles, la acuicultura, la cacería y la recolección, la elaboración y las actividades externas a la finca agrícola (Hall et al. 2001).

En este contexto, Katinas y Crisci (2018) establecieron la Biogeografía agrícola, definida como la aplicación de los principios, teorías y análisis de la Biogeografía a los sistemas agrícolas. El conocimiento biogeográfico juega un papel importante como una nueva forma de mover el foco central de los paisajes naturales a los rurales, sin una connotación negativa. Los biogeógrafos necesitan adquirir una mirada más positiva hacia la agricultura para generar nuevos enfoques que impliquen un uso eficiente del espacio. La agricultura, por otro lado, necesita reconocer las contribuciones de la Biogeografía; una búsqueda rápida en los sitios web de los departamentos de agricultura de las universidades en el mundo muestra que, en general, sus planes de estudio carecen de cursos de Biogeografía.

En este artículo se describen los distintos espacios (geográfico, filogenético, ecológico y temporal) que son de interés para la investigación agrícola, se presenta una breve introducción a la Biogeografía y a la Biogeografía agrícola, se abordan las tres premisas que justifican la aplicación de la Biogeografía a los sistemas agrícolas, y se ilustra la aplicación de la Biogeografía agrícola mediante ejemplos.

## **EL PENSAMIENTO ESPACIAL**

El Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos estableció, en un reporte sobre educación (National Research Council 2006), el valor de incorporar el pensamiento espacial en diversas disciplinas científicas como vehículo para estructurar problemas, encontrar respuestas y expresar soluciones. Usamos el pensamiento espacial para comprender la ubicación (posición) y las dimensiones (como la longitud y el tamaño) de los objetos, y cómo se relacionan los diferentes objetos entre sí. Un ejemplo notable de pensamiento espacial es que, a pesar de la ya existente evidencia química, física y experimental, la estructura del ADN recién pudo comprenderse en su totalidad cuando se estableció el modelo espacial tridimensional de la doble hélice. Otro ejemplo interesante es el hallazgo del Dr. John Snow de las causas de mortalidad por cólera en la Inglaterra del siglo XIX (National Research Council 2006). Mediante un mapa del área, el Dr. Snow relacionó las muertes por esta enfermedad con la ubicación de las bombas de agua de las dos principales compañías del centro Londres, representando lo que llamó "la topografía del brote". Sobre la base de este mapa, Snow recomendó la eliminación de una bomba de agua de una de las compañías, que resultó ser una fuente de agua potable contaminada. El enfoque de Snow ejemplifica el pensamiento espacial pues, después de recopilar los datos, usó mapas para integrar esos datos, a partir de los mapas identificó patrones espaciales (áreas de servicio y tasas diferenciales de mortalidad), correlacionó los dos patrones y estableció una conexión entre ellos. De esta manera pudo establecer una explicación causal de las tasas diferenciales de mortalidad en los distintos sectores de la ciudad.

El pensamiento espacial comienza con el análisis espacial, es decir la capacidad de utilizar el espacio relativo como marco de referencia. El análisis espacial estudia: (1) La distribución de los objetos en el espacio; (2) los procesos mediante los cuales los objetos se mueven en el espacio; y (3) las postdicciones y predicciones, es decir cómo fueron en el pasado y cómo serán esas distribuciones en el futuro (Crisci et al. 2000, 2003). El análisis espacial se emplea no sólo en Geografía y campos relacionados, como es el caso de la Biogeografía, sino también en muchas otras disciplinas, como la Economía, la Ingeniería, las Ciencias ambientales, las Ciencias de la salud, la Astronomía, la Antropología, la Sociología y las Ciencias políticas (Fischer y Getis 2010).

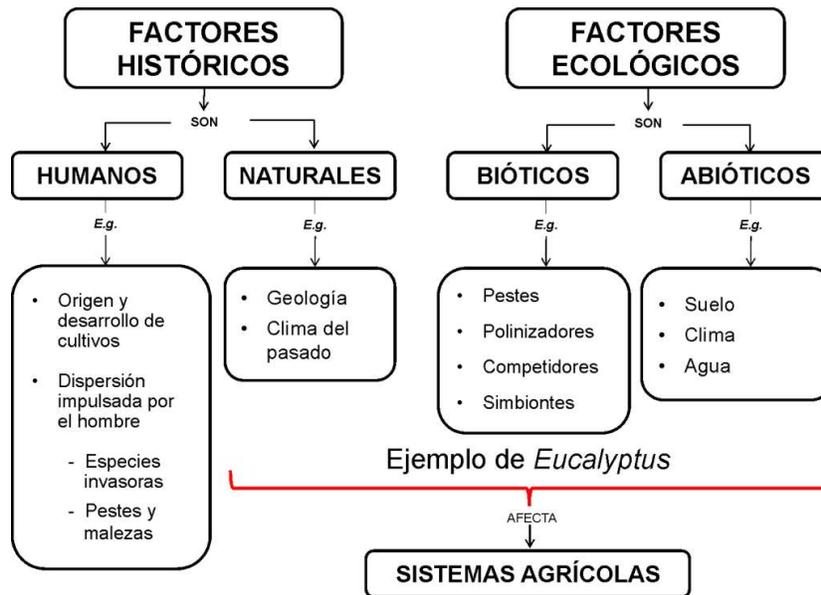
Al definir una relación entre objetos, automáticamente se está definiendo un espacio, y asociado a ese espacio una geometría. Por ello, hay tantos espacios como relaciones entre conjuntos de objetos (Gatrell 1983). Existen numerosos espacios de interés para la investigación agrícola que pueden generarse, analizarse y representarse gráficamente mediante enfoques biogeográficos, tales como: 1) el espacio físico o geográfico (p. ej., los mapas de cultivos); 2) el espacio filogenético, es decir la ubicación espacial de los taxones (órdenes, familias, géneros, especies) en un árbol evolutivo o filogenético (p. ej., lugar de origen de los cultivos y animales de cría e identificación de sus parientes silvestres evidenciado por las

relaciones ancestro-descendientes); 3) el espacio ecológico, la ubicación de los organismos en el espacio ecológico multidimensional (nicho ecológico) y la función que cumplen en el mismo (p. ej., distribución futura de los cultivos mediante modelados); y 4) el espacio temporal o cronológico, la ubicación de los taxones en la escala temporal (p. ej., el tiempo de origen de las especies domesticadas). Históricamente, el espacio geográfico ha sido central para la Biogeografía, pero más recientemente los otros espacios también están jugando papeles importantes.

## **LA BIOGEOGRAFÍA**

La Biogeografía trasciende las disciplinas clásicas e incluye temáticas de la Geología, la Geografía y la Biología. No sorprende por lo tanto, que la Biogeografía signifique cosas diferentes para distintos investigadores, y que tenga muchas 'escuelas' o subdisciplinas. Algunos ejemplos son la Biogeografía de islas, la Biogeografía cladística, la Fitogeografía, la Panbiogeografía y la Filogeografía.

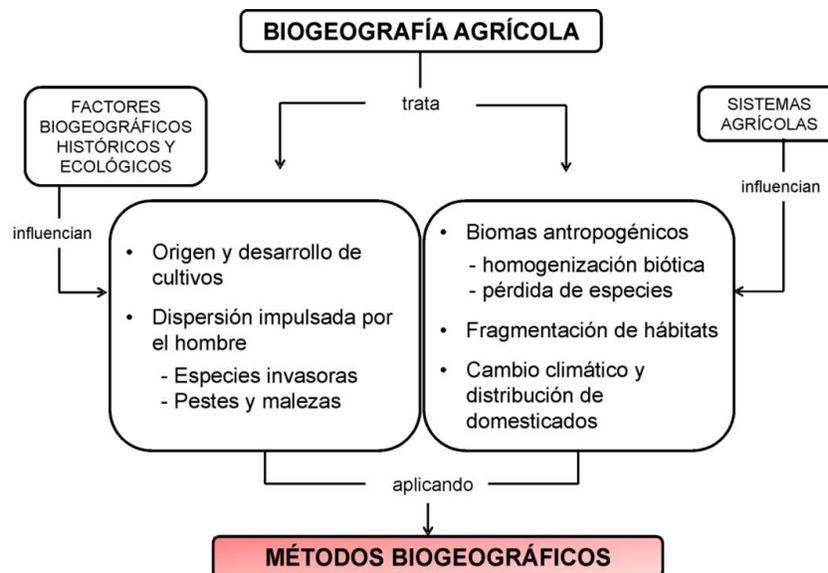
La multiplicidad de subdisciplinas biogeográficas puede, hasta cierto grado, reunirse en dos grandes tradiciones: la Biogeografía ecológica y la Biogeografía histórica. La Biogeografía ecológica estudia cómo los procesos ecológicos (p. ej., factores climáticos, características del suelo, interacción entre especies), que ocurren en cortas escalas de tiempo, actúan sobre los patrones de distribución de los seres vivos. Las explicaciones para la Biogeografía ecológica dependen de causas que actúan en el tiempo presente. Por otro lado, la Biogeografía histórica estudia cómo los procesos históricos (p. ej., evolución de los organismos, tectónica de placas) que suceden en grandes escalas de tiempo, influyen los patrones de distribución. Las explicaciones para la Biogeografía histórica dependen de causas que existieron en el pasado. En general, la distribución de los organismos se debe a la influencia de ambas causas, ecológicas e históricas (Crisci et al. 2000, 2003, 2006). Por ejemplo, muchas especies del género *Eucalyptus* L'Hér. pueden cultivarse y adaptarse perfectamente a zonas de nuestro país, pues encuentran las condiciones ecológicas para ello. Sin embargo, el *Eucalyptus* no crece espontáneamente en Argentina, mientras que Australia posee 700 especies nativas. Esto se debe a que hubo causas históricas (p. ej., extinciones, separación de los continentes) que restringieron su distribución natural exclusivamente al continente australiano. Estos factores históricos y ecológicos afectan también a los sistemas agrícolas (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de conceptos que muestra los factores biogeográficos, ecológicos e históricos, y su relación con los sistemas agrícolas.

## LA BIOGEOGRAFÍA AGRÍCOLA

La Biogeografía Agrícola constituye un puente entre agricultura y Biogeografía que no solo intenta compatibilizar el uso de la tierra con la conservación de la biodiversidad, sino que también comprende un cuerpo sustancial de teoría y análisis que involucra temas no estrictamente relacionados a la conservación, como la búsqueda de los centros de origen de plantas y animales domesticados, la dispersión de pestes y malezas y la influencia del cambio climático en la distribución de los domesticados (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de conceptos que muestra el campo de la Biogeografía agrícola, donde distintos factores interactúan y afectan la distribución de los organismos, tanto nativos como domesticados. Estos cambios en la distribución se analizan con métodos biogeográficos.

Como toda disciplina, la Biogeografía Agrícola puede caracterizarse por el tipo de preguntas que hacen sus practicantes, por ejemplo:

1. ¿Dónde se originaron las plantas y animales domesticados? ¿Cuáles eran sus áreas de distribución? ¿Dónde estaban sus centros de domesticación? ¿Cuáles fueron sus rutas de dispersión? ¿Dónde se pueden encontrar las especies silvestres relacionadas con las plantas y animales domesticados actuales?
2. ¿Cómo modifican las actividades agrícolas actuales a los ecosistemas y a la distribución de los organismos?
3. ¿Qué métodos biogeográficos se pueden aplicar para ayudar a las prácticas agrícolas (p. ej., control de plagas y de malezas)? ¿Qué métodos biogeográficos pueden ayudar a disminuir el impacto de las prácticas agrícolas en el medio ambiente (p. ej., la pérdida de especies silvestres, la fragmentación de hábitats)?
4. ¿Cómo se puede superar la dicotomía agricultura - conservación de la biodiversidad? ¿Qué herramientas biogeográficas se pueden utilizar para integrar la producción agrícola a la conservación y mejora de los recursos?
5. ¿Cuáles son los beneficios de los ambientes rurales fragmentados para la distribución de las especies silvestres?
6. ¿Dónde habitarán los cultivos y animales de cría bajo las futuras restricciones del cambio climático? ¿Cómo cambiará el mapa de distribución de los cultivos con la introducción de nuevas tecnologías (como organismos genéticamente modificados) y cuáles serán las consecuencias para la distribución de especies silvestres?

Los objetivos de la Biogeografía agrícola son proporcionar: a) Una mejor comprensión de los problemas de los sistemas agrícolas centrados en el espacio; b) una herramienta para aplicación de métodos biogeográficos; c) un modo de formular preguntas científicas en relación al concepto de espacio relativo; y d) una herramienta para estructurar temas relacionados con el espacio en los sistemas agrícolas.

## **PREMISAS DE LA BIOGEOGRAFÍA AGRÍCOLA**

Se analizarán tres premisas sobre las cuales se justifica la aplicación de la Biogeografía a los sistemas agrícolas: (1) Los sistemas agrícolas se desarrollan en los mismos tipos de espacio que los sistemas naturales. (2) Con muy pocas excepciones, el foco de la Biogeografía (p. ej., libros, cursos) está fuertemente orientado a los sistemas naturales. (3) El desafío de aumentar la producción de alimentos para sostener el ritmo de la demanda, y al mismo tiempo mantener la integridad ecológica del planeta, requiere del uso eficiente del espacio.

## **Los sistemas agrícolas se desarrollan en los mismos tipos de espacio que los sistemas naturales**

Los tipos de espacio, físico, filogenético, cronológico y ecológico, son también de interés para la investigación agrícola, y pueden generarse, analizarse y representarse gráficamente mediante enfoques biogeográficos. Ejemplos de espacio físico o geográfico son los mapas de cobertura de cultivos (Ramankutty y Foley 1998) y la situación de competencia entre una maleza y un cultivo, donde ambas especies interactúan por la ocupación del mismo espacio físico. La competencia entre especies es utilizada a favor de la agricultura, por ejemplo mediante los cultivos de cobertura (p. ej., avena, centeno, triticale). Estos previenen la emergencia, crecimiento, desarrollo y producción de semillas de las malezas en el terreno que ha quedado libre de la cosecha, mediante la competencia por los recursos ambientales entre el cultivo de cobertura y la maleza.

Existen numerosos ejemplos de representación del espacio filogenético y cronológico en domesticados, evidenciando las relaciones ancestro-descendientes mediante árboles filogenéticos y donde puede datarse la divergencia entre especies mediante fósiles. Cuando se superponen estas filogenias con la distribución geográfica de los taxones, pueden realizarse inferencias en relación al lugar de origen de los mismos. Por ejemplo, se ha postulado tradicionalmente el origen africano del pepino (*Cucumis sativus* L.) y del melón (*Cucumis melo* L.) dado el gran número de especies silvestres que habitan ese continente. Mediante un análisis filogenético molecular, Sebastian et al. (2010) demostraron que en realidad la especie más cercana al melón es *C. picocarpus* F. Muell. de Australia, y que la especie más cercana al pepino es *C. hystrix* Chakrav. del sudeste de Asia. El reloj molecular mostró que el grupo asiático/australiano que incluye al pepino y al melón comprende unas 25 especies que se separaron de sus parientes africanos en el Mioceno, hace aproximadamente unos 12 millones de años. De este modo, los datos sobre las relaciones filogenéticas y geográficas sugieren que los esfuerzos en la búsqueda de especies salvajes cercanas al melón y al pepino deberían concentrarse en Asia y Australia, en lugar de África.

El espacio ecológico tiene un rol muy importante en los sistemas agrícolas, ejemplos de ello son los biomas antropogénicos, las agroecorregiones y los cultivos, y la ganadería integrada. En el primer caso, la reestructuración de los biomas naturales para la agricultura, la ganadería, la silvicultura y otros usos por la actividad humana, ha alterado sustancialmente los patrones globales de composición y abundancia de especies, productividad primaria, hidrología de la superficie terrestre y ciclos biogeoquímicos. Los biomas naturales han sido profundamente modificados y reemplazados por los llamados 'biomas antropogénicos', 'antromas' o 'biomas humanos' (Ellis y Ramankutty 2008), que ocupan la mayor parte de la superficie terrestre. Los biomas antropogénicos constituyen mosaicos heterogéneos y fragmentados, como por ejemplo, áreas urbanas integradas en áreas agrícolas, bosques intercalados con tierras de cultivo y viviendas, y vegetación en uso mezclada con vegetación semi-natural. En un

aspecto más positivo y a modo de revertir los aspectos perjudiciales del uso humano sobre los biomas naturales, las agroecorregiones representan la planificación de los cultivos en las ecorregiones más apropiadas de acuerdo, por ejemplo, al grado de humedad y temperatura de estas unidades ecológicas (p. ej., Mruthyunjaya et al. 2003). Finalmente, otro ejemplo que combina biomas naturales y ecosistemas con los sistemas agrícolas es la integración de especies cultivadas o domesticadas con especies silvestres, que fomenta la superposición de ambos sistemas. La promoción del método del "café de sombra" en el Caribe, México, América Central y norte de América del Sur es un buen ejemplo de cultivos intercalados o integrados. Las plantaciones de café producidas bajo el dosel denso de los árboles de sombra de los bosques naturales sustentan una gran densidad y diversidad de especies. Los programas de certificación de café de sombra ofrecen la oportunidad de vincular los objetivos ambientales y los económicos. Estos cafés sustentables tienen precios superiores que han ayudado a los agricultores certificados a resistir cualquier crisis eventual y a continuar produciendo café (Perfecto et al. 2005). Un caso similar es el manejo de bosque con ganadería integrada, practicado por ejemplo en el bosque xerófilo de Chaco y Santiago del Estero, donde se genera la producción rentable de carne y de productos maderables, de manera compatible con la conservación del bosque nativo.

### **El foco de la Biogeografía está fuertemente orientado a los sistemas naturales**

Los cursos de Biogeografía y los libros que compendian aspectos de la Biogeografía han estado tradicionalmente más orientados a los sistemas naturales que a los agrícolas. Un análisis de los índices de estos textos, muestra que cuando se contemplan las actividades del hombre, se consideran sus efectos negativos en relación a la conservación de la biodiversidad como sobreexplotación de recursos vivientes, pérdida o fragmentación del hábitat, invasión de especies introducidas, cambio del clima mundial, y extinción de especies. No se mencionan las actividades agrícolas desde un punto de vista espacial y no se tienen en cuenta las contribuciones fundamentales que los sistemas agrícolas aportan para el sustento de la vida humana. Sin embargo, debe destacarse que sí existen numerosos trabajos publicados en revistas científicas que aplican la biogeografía a los sistemas agrícolas, como se verá más adelante, pero estos trabajos no están enmarcados en una disciplina.

A pesar de que el foco de la Biogeografía está fuertemente orientado a los sistemas naturales, los sistemas agrícolas enfrentan los mismos desafíos biogeográficos que los sistemas naturales. Ejemplo de ello son las especies invasoras o malezas, los efectos del cambio climático sobre los cultivos (Cline 2007), o el grado en que los factores ecológicos afectan la distribución de los domesticados. Este último caso puede ejemplificarse con el fenómeno del Niño, caracterizado por períodos cálidos y muy húmedos y la Niña, con períodos de clima templado y árido, y su efecto sobre los domesticados terrestres o acuáticos. Los estudios biogeográficos de Siefeld et al. (2010) demostraron que durante El Niño la ictiofauna del norte de

Chile experimenta cambios significativos a causa de la presencia de alrededor de 100 especies de peces invasores que durante periodos normales y/o fríos habitan en latitudes menores. Estos datos son de extrema importancia dado que en la zona norte de Chile se concentra la mayor parte de la producción pesquera pelágica del país.

### **Necesidad del uso eficiente del espacio entre los sistemas naturales y los sistemas agrícolas**

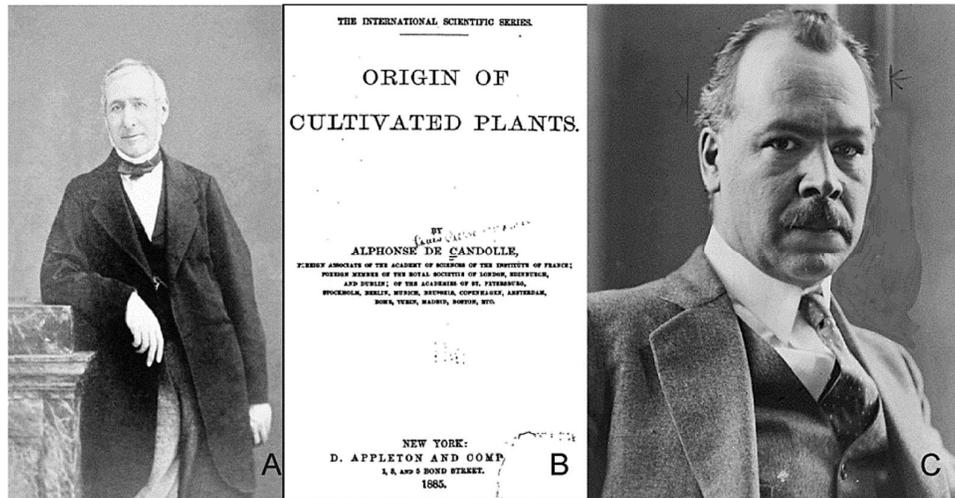
Aumentar la producción de alimentos, fibras y biocombustibles para la población proyectada para el año 2050 y al mismo tiempo mantener la integridad ecológica del planeta, requiere del uso eficiente del espacio entre los sistemas naturales y los sistemas agrícolas. Jason Clay, economista de los Estados Unidos de América vaticinó: 'Para el 2050 habrá entre 2 y 3 billones más de personas sobre la Tierra, consumiendo el doble de lo actual. Cerca del 70 % vivirá en las ciudades. Para el 2050 vamos a necesitar tres planetas Tierra para solventar las demandas de nuestro consumo' (Clay 2011).

Gretchen Daily, ecóloga de la Universidad de Stanford (USA) propuso una manera de enfrentar este desafío mediante el concepto de Biogeografía rural (Daily 1997), relacionado con la idea de sustentabilidad y definido como el estudio de la diversidad, abundancia, conservación y restauración de la biodiversidad en paisajes rurales fragmentados y otros paisajes dominados por el hombre. La Biogeografía rural tiene el objetivo de mejorar la hospitalidad de los sitios de agricultura a la biodiversidad. Se enfatiza la conservación de especies en los paisajes rurales que contienen restos de hábitat nativo en lugar de proteger grandes extensiones de hábitat no perturbado. Considera además el suministro de servicios importantes del ecosistema a los sistemas agrícolas, como por ejemplo el control de plagas, la polinización y la purificación del agua. En síntesis, se pregunta qué medidas prácticas se pueden tomar para mejorar la capacidad de los hábitats rurales para sostener la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, así como las actividades humanas.

Es entonces a partir de estas tres premisas que se fundamenta la Biogeografía agrícola y el uso de los tipos de espacio en los sistemas agrícolas.

### **MÉTODOS DE LA BIOGEOGRAFÍA AGRÍCOLA**

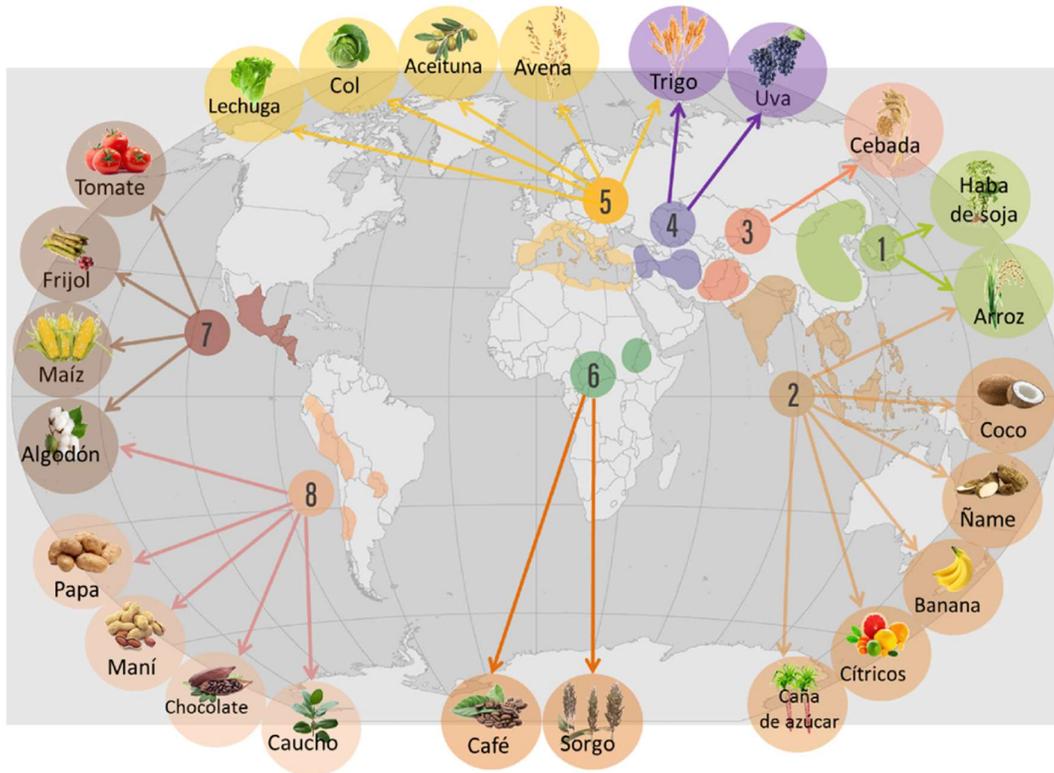
Si se buscaran los posibles precursores de los métodos de la Biogeografía agrícola, serían las obras de Vavilov y de Candolle sobre los centros de origen de los cultivos. El botánico franco-suizo Alphonse Pyramus de Candolle (1806-1893) estudió el origen de las plantas cultivadas y las causas de su distribución geográfica. Su libro *Origen de las plantas cultivadas* (de Candolle 1885) se considera el comienzo de la geografía de los cultivos (Figura 3 A, B).



**Figura 3.** Precursores de la Biogeografía agrícola. **A.** Alphonse Pyramus de Candolle fue un botánico franco-suizo. **B.** Portada del trabajo “Origen de las plantas cultivadas” que publicó de Candolle en 1885. **C.** Nikolai Ivanovitch Vavilov fue un botánico y genetista ruso que estableció los centros de origen de los principales cultivos. Fuente: Wikipedia.

Allí propuso algunos métodos para establecer el lugar de origen de las principales especies cultivadas, como por ejemplo, el descubrimiento de las áreas donde los cultivos crecen en forma silvestre; el hallazgo de restos arqueológicos de cultivos y de referencias sobre los cultivos en documentos históricos; y la filología o el estudio del origen de los nombres vulgares que un cultivo dado recibe.

Por otro lado, el botánico y genetista ruso Nikolai Ivanovitch Vavilov (1887-1943; Figura 3C) desarrolló una amplia visión de la distribución geográfica de la diversidad fenotípica de los cultivos y sus progenitores silvestres. Este conocimiento llevó a Vavilov (1926) a formular su teoría de los centros geográficos de diversidad de cultivos. Vavilov estableció que cada cultivo alimenticio principal debería haberse originado en un punto central desde el cual éste se dispersó exitosamente, y formuló la hipótesis que estos centros de origen (inicialmente cinco luego amplió este número a ocho) eran probablemente donde la diversidad genética de las especies de cultivos era más alta (Figura 4).



**Figura 4.** Centros de origen de los principales cultivos, postulados por Vavilov en 1926. 1: China y Corea. 2: sudeste de Asia. 3: Asia central. 4: Oriente medio. 5: Mediterráneo. 6: Etiopía. 7: México-Guatemala. 8: América del Sur (Perú-Ecuador-Bolivia, Chile, Paraguay-sur de Brasil).

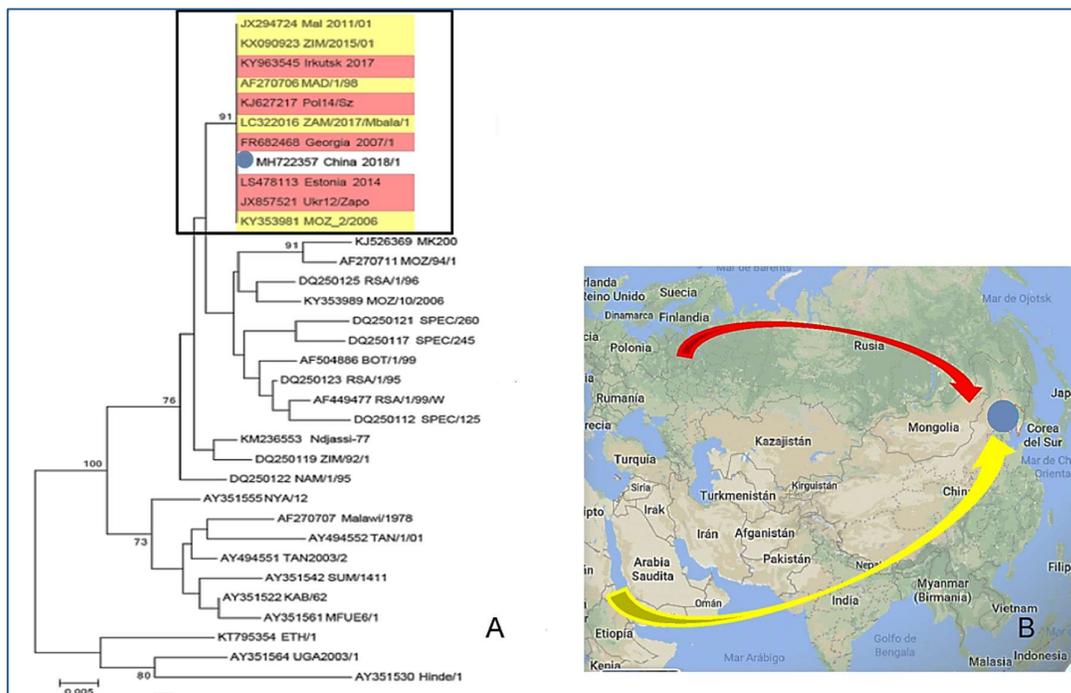
Actualmente, el hallazgo de los centros de origen, de los centros de domesticación y de los centros de diversificación de los cultivos siguen siendo temas de interés. Los estudios moleculares de Morrell y Clegg (2007), basados en diferencias en la frecuencia de haplotipos entre regiones geográficas en múltiples loci en cebada, permitieron inferir al menos dos centros de domesticación de la cebada: uno dentro de la Creciente Fértil, y otro a unos 1500-3000 km hacia el este. La domesticación en el área de la Creciente Fértil contribuyó a la mayoría de la diversidad en los cultivares de cebada europeos y estadounidenses, mientras que la segunda domesticación contribuyó a la mayor parte de la diversidad en la cebada desde Asia Central hasta el Lejano Oriente. En este trabajo entonces, los autores establecieron el espacio geográfico utilizando el espacio filogenético.

La Biogeografía Agrícola actualmente no tiene una técnica única para la recolección de datos y análisis; existe un conjunto de principios, teorías y métodos que se exportan de la Biogeografía a la investigación agrícola para generar una nueva perspectiva sobre algunos de los problemas que afectan a la agricultura. La Biogeografía Agrícola emplea prácticas de Biogeografía acompañadas por métodos de otras disciplinas (p. ej., análisis multivariado, análisis filogenético, teoría de grafos).

Algunos de los enfoques y métodos biogeográficos que se aplican a los sistemas agrícolas son: la reconstrucción de áreas ancestrales (p. ej., Janssens et al. 2016) y de centros de domesticación (p. ej., Levis et al. 2017), la Biogeografía molecular (p. ej., Ge et al. 2018), la Filogeografía (p. ej., Saisho y Purugganan 2007), el análisis de patrones de distribución (p. ej., Pyšek y Richardson 2006), el modelado de nicho ecológico (p. ej., Vitali y Katinas 2015) y climático (p. ej., Morand 2015), la Biogeografía de islas (p. ej., Reperant 2010), la Biogeografía de la conservación (p. ej., de Oliveira et al. 2015), la Biogeografía rural (p. ej., Wolfe et al. 2015), y el Test de predicción taxonómica y biogeográfica (p. ej., Jansky et al. 2006).

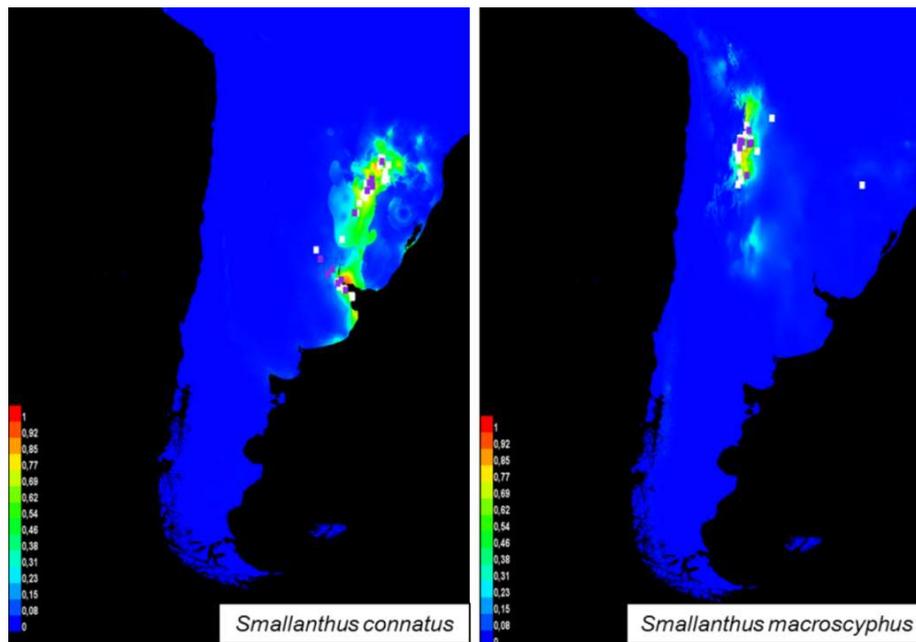
Se comentarán dos de estos métodos: la Biogeografía molecular y el modelado de nicho ecológico y climático.

Los árboles filogenéticos construidos sobre la base de caracteres moleculares (secuencias de ADN o de ARN) son utilizados para establecer suposiciones geográficas. Un ejemplo es el caso del origen y dispersión de vectores de enfermedades como la fiebre porcina africana, donde se establecen los patrones de brotes proyectando sobre mapas los genotipos virales, y agregando como información en los árboles las regiones geográficas donde se lo encuentra. En un brote de la enfermedad ocurrido en Kampala, una ciudad de Uganda, pudo establecerse un movimiento incontrolado de cerdos a Kampala desde ciudades circundantes de Uganda y Kenya (Mwiine et al. 2019) a partir del análisis de la geografía superpuesta en el árbol filogenético. Un caso similar ocurrió en China (Ge et al. 2018), donde se encontró que las fuentes principales del brote de esta enfermedad provenían de cepas del este de Europa y de África (Figura 5).



**Figura 5.** La geografía superpuesta en la filogenia. **A.** Árbol filogenético de las cepas del virus de la fiebre porcina. El recuadro muestra la estrecha relación entre las cepas halladas en China (círculo azul) con las de Europa (en rojo) y África (en amarillo). Modificado de Ge et al. (2018). **B.** El mapa muestra la dispersión de las cepas hacia China.

El modelado de nicho ecológico consiste en la identificación de los requerimientos ambientales básicos de una especie, y la extrapolación de estos requerimientos a otra región geográfica. Para ello se georreferencia la distribución de una especie, se seleccionan capas ambientales digitalizadas (p. ej., datos de temperatura, precipitaciones), se selecciona un algoritmo (GARP, Maxent, Diva-Gis, etc.) que creará un modelo, y finalmente se proyecta el modelo en una región geográfica. El método puede aplicarse para especificar zonas potenciales ecológicamente aptas para cierto cultivos (p. ej., Vitali y Katinas 2015), para establecer zonas potenciales de propagación de la plaga de un cultivo (p. ej., Ganeshaiah et al. 2003; Wang et al. 2010); y para hallar parientes silvestres de cultivos (p. ej., Simon et al. 2011). Vitali y Katinas (2015) llevaron a cabo un estudio biogeográfico de distribución potencial con el fin de analizar los factores ecológicos que afectan a *Smallanthus connatus* (Spreng.) H. Rob. (del este de Argentina) y *S. macroscyphus* (Baker) A. Grau ex A.A. Sáenz (del noroeste de Argentina) (Figura 6).



**Figura 6.** Distribución geográfica potencial resultante de la aplicación del modelado de nicho ecológico en *Smallanthus connatus* y *S. macroscyphus* (Vitali y Katinas 2015). El color rojo, naranja y amarillo indica áreas con una alta probabilidad de ocurrencia de las especies, los tonos verde y azul indican mayor a menor probabilidad de ocurrencia respectivamente, representando el azul las áreas que no son apropiadas ecológicamente para la ocurrencia de las especies. Los puntos en el mapa son lugares de colecta de las especies.

Ambas especies pertenecen al género del yacón (familia Asteraceae) y poseen un importante valor alimenticio y medicinal que, junto con su poca exigencia de crecimiento, constituyen cultivos potenciales para la agricultura familiar. Los resultados indicaron la distribución geográfica potencial de ambas especies, y que

la estacionalidad del clima y las temperaturas promedio anuales son las variables principales que afectan su distribución. La distribución de *Smallanthus macroscyphus* también depende de la estacionalidad de las precipitaciones y la de *S. connatus* de la temperatura en el mes más frío. De modo que estos factores, que limitan la distribución de estas especies, deberían tenerse en cuenta al momento de planificar áreas para su cultivo.

También pueden establecerse escenarios futuros usando modelos climáticos y de cultivos para entender el impacto probable del cambio climático en el sector productivo de distintas regiones. Cline (2007, 2008), por ejemplo, estableció así las pérdidas proyectadas para el año 2080 en la producción agrícola en los distintos países del mundo, bajo la predicción de un aumento de 4,4°C de temperatura y de un 2,9 % de las precipitaciones.

## CONCLUSIONES

Se ha presentado aquí a la Biogeografía agrícola en términos generales, ilustrando a la subdisciplina con un conjunto limitado de temas. Al seleccionar algunos temas sin duda se han relegado otros. En general, las investigaciones en Biogeografía y en agricultura han crecido teóricamente separadas. La Biogeografía todavía se centra en el tradicional efecto antropogénico sobre la naturaleza, y la investigación agrícola no parece reconocer las contribuciones que la Biogeografía ha hecho, está haciendo y puede hacer en la agricultura mediante la generación de ideas y métodos de investigación. La interfaz entre agricultura y Biogeografía es cruzada a menudo en ambas direcciones, un pasaje señalado más por el uso de algunos métodos y enfoques que por cualquier demarcación en el contenido. Sin embargo, a pesar de esto, el grado de interacción directa y colaborativa entre los investigadores de la agricultura y los biogeógrafos ha permanecido sorprendentemente limitado. Se requiere de áreas de investigación emergentes que proporcionen puntos focales para acciones de investigación colaborativa, educación e innovación (Katinas y Ladle 2020).

Proteger la vida silvestre, al tiempo que se alimenta a una creciente población humana, requerirá un enfoque holístico (Erickson 2008, Ingram et al. 2010). Esto plantea el problema que algunos temas siempre serán controvertidos, para algunos deseables, para otros indefendibles. En este sentido, la Biogeografía agrícola tiene la difícil tarea de caminar sobre el filo de la navaja, pero puede realizar una contribución importante a través de una inclusión razonada, coherente y organizada de la dimensión espacial a este problema.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria por la invitación para la conferencia sobre el tema de este artículo y el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), y de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

## **LITERATURA CITADA**

- Clay, J. 2011. Freeze the footprint of food. *Nature* 475, 287-289.
- Cline, W.R. 2007. Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics, Washington D.C., 229 pp.
- Cline, W.R. 2008. Global warming and agriculture. *Finance and Development* 45, 23-27.
- Crisci, J.V., Katinas, L., Posadas, P. 2000. Introducción a la teoría y práctica de la Biogeografía histórica. Sociedad Argentina de Botánica, Buenos Aires, Argentina, 169 pp.
- Crisci, J.V., Katinas, L., Posadas, P. 2003. Historical biogeography: An introduction. Harvard University Press, Boston, MA, 250 pp.
- Crisci, J.V., Sala, O.E., Katinas, L., Posadas, P. 2006. Bridging historical and ecological approaches in biogeography. *Australian Systematic Botany* 19, 1-10.
- Daily, G.C. 1997. Countryside biogeography and the provision of ecosystem services, in: Raven, P.H., Williams, T. (Eds.), *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World*. Committee for the Second Forum on Biodiversity, National Academy of Sciences and National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., pp 104-113.
- de Candolle, A.P. 1885. *Origin of cultivated plants*. International Scientific Series, D. Appleton and Co., New York, 468 pp.
- de Oliveira, G., Lima-Ribeiro, M.S., Terribile, L.C., Dobrovolski, R., de Campos Telles, M.P., Diniz-Filho, J.A.F. 2015. Conservation biogeography of the Cerrado's wild edible plants under climate change: Linking biotic stability with agricultural expansion. *American Journal of Botany* 102, 1-8.
- Ellis, E.C., Ramankutty, N. 2008. Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, 439-447.
- Ericksen, P.J. 2008. What is the vulnerability of a food system to global environmental change? *Ecology and Society* 13, 14.
- Fischer, M.M., Getis, A. (Eds.). 2010. *Handbook of applied spatial analysis: Software tools, methods and applications*. Springer, Berlin and Heidelberg, 811 pp.

- Ganeshiah, K.N., Barve, N., Nath, N., Chandrashekara, K., Swamy, M., Shaanker, R.U. 2003. Predicting the potential geographical distribution of the sugarcane woolly aphid using GARP and DIVA-GIS. *Current Science* 85, 1526-1528.
- Gatrell, A. 1983. *Distance and space: A geographical perspective*. Clarendon Press, Oxford, 195 pp.
- Ge, S. Li, J., Fan, X., Liu, F., Li, L., Wang, Q., Ren, W., Bao, J., Liu, C., Wang, H., Liu, Y., Zhang, Y., Xu, T., Wu, X., Wang, Z. 2018. Molecular characterization of African swine fever virus, China, 2018. *Emerging Infectious Diseases* 24, 2131-2133.
- Hall, M., Dixon, J., Gulliver, A., Gibbon, D. (Eds.). 2001. *Farming systems and poverty: Improving farmers livelihoods in a changing world*. FAO and World Bank, Rome and Washington D.C., 412 pp.
- Ingram, J., Ericksen, P., Liverman, D. 2010. *Food security and global environmental change*. Earthscan Publishers Ltd., Abingdon and New York, 361 pp.
- Jansky, S.H., Simon, R., Spooner, D.M. 2006. A test of taxonomic predictivity: Resistance to white mold in wild relatives of cultivated potato. *Crop Science* 46, 2561-2570.
- Janssens, S.B., Vandelook, F., De Langhe, E., Verstraete, B., Smets, E., Vandenhouwe, I., Swennen, R. 2016. Evolutionary dynamics and biogeography of Musaceae reveal a correlation between the diversification of the banana family and the geological and climatic history of Southeast Asia. *New Phytologist* 210, 1453-1465.
- Katinas, L., Crisci, J.V. 2018. Agriculture biogeography: An emerging discipline in search of a conceptual framework. *Progress in Physical Geography* 42, 513-529.
- Katinas, L., Ladle, R.J. 2020. Redundancy or progress? A response to Driscoll et al. (2019). *Journal of Biogeography* 47, 1843-1845.
- Levis, C., Costa, F.R.C., Bongers, F., et al. 2017. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science* 355(6328), 925-931.
- Morand, S. 2015. Impact of climate change on livestock disease occurrences, in Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L. et al. (Eds.), *Climate change impact on livestock: Adaptation and mitigation*. Springer, India, pp.113-122.
- Morrell, P.L., Clegg, M.T. 2007. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States* 27, 3289-3294.
- Mruthyunjaya, P.S., Saxena, R. 2003. *Agricultural research priorities for South Asia*. Policy Paper No. 20, National Centre for Agricultural Economics and Policy Research (NCAP), Indian Council for Agricultural Research (ICAR), New Delhi, India, 53 pp.

- Mwiine, F.N., Nkamwesiga, J., Ndekezi, C., Ochwo, S. 2019. Molecular characterization of African swine fever viruses from outbreaks in peri-urban Kampala, Uganda. *Advances in Virology* 2019, article ID 1463245, 8 pp.
- National Research Council. 2006. Learning to think spatially. The National Academies Press, Washington D.C., 313 pp.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Mas, A., Soto Pinto, L. 2005. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics* 54, 435-446.
- Pyšek, P., Richardson, D.M. 2006. The biogeography of naturalization in alien plants. *Journal of Biogeography* 33, 2040-2050.
- Ramankutty, N., Foley, J.A. 1998. Characterizing patterns of global land use: An analysis of global cropland data. *Global Biogeochemical Cycles* 12, 667-685.
- Reperant, L.A. 2010. Applying the Theory of Island biogeography to emerging pathogens: Toward predicting the sources of future emerging zoonotic and vector-borne diseases. *Vector Borne Zoonotic Diseases* 10, 105-110.
- Saisho, D., Purugganan, M.D. 2007. Molecular phylogeography of domesticated barley traces expansion of agriculture in the Old World. *Genetics* 177, 1765-1776.
- Sebastian, P., Schaefer, H., Telford, I.R.H., Renner, S.S. 2010. Cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*C. melo*) have numerous wild relatives in Asia and Australia, and the sister species of melon is from Australia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States* 107, 14269-14273.
- Siefeld, W., Laudien, J., Vargas, M., Villegas, M. 2010. El Niño induced changes of the coastal fish fauna off northern Chile and implications for ichthyogeography. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45, 705-722.
- Simon, R.A., Fuentes, F., Spooner, D.M. 2011. Biogeographic implications of the striking discovery of a 4,000 kilometer disjunct population of the wild potato *Solanum morelliforme* in South America. *Systematic Botany* 36, 1062-1067.
- Vavilov, N.I. 1926. Studies on the origin of cultivated plants. *Bulletin of Applied Botany and Plant Breeding* 14, 1-245.
- Vitali, M.S., Katinas, L. 2015. Modelado de distribución de las especies argentinas de *Smallanthus* (Asteraceae), el género del “yacón”: Un cultivo potencial para la agricultura familiar. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 114, 110-121.
- Wang, X.Y., Huang, X.L., Jiang, L.Y., Qiao, G.X. 2010. Predicting potential distribution of chestnut phylloxerid (Hemiptera: Phylloxeridae) based on GARP and Maxent ecological niche models. *Journal of Applied Entomology* 134, 45-54.
- Wolfe, J.D., Stouffer, P.C., Mokross, K., Powell, L.L., Anciães, M.M. 2015. Island vs. Countryside biogeography: An examination of how Amazonian birds respond to forest clearing and fragmentation. *Ecosphere* 6, 1-14.