

Ciencias genómicas, biodiversidad del suelo y paisaje: interacciones para la sustentabilidad*

Genomic sciences, soil biodiversity and landscape: interactions for sustainability

Fernando Carlos Gómez-Merino^{1§}, J. Cruz García-Albarado, Libia Iris Trejo-Téllez², Arturo Pérez Vázquez³, Hilda Victoria Silva-Rojas² y Joel Velasco-Velasco¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km. 348, Congr. Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. México. (fernandg@colpos.mx; joel42ts@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. México. (tlibia@colpos.mx; hsilva@colpos.mx). ³Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Tepetates, Municipio Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. C. P. 91690. México. [§]Autor para correspondencia: fernandg@colpos.mx.

Resumen

Las subdisciplinas tradicionales de la ciencia del suelo, física, química, biología, taxonomía y mineralogía han contribuido de manera determinante al establecimiento de los principios básicos de esta ciencia y han dado respuesta a numerosas preguntas prácticas. Actualmente han reorientado sus objetos de estudio hacia áreas emergentes, con la finalidad de entender, manejar y aprovechar de una mejor manera la comunidad biológica más compleja del planeta. En particular, la biología del suelo se contempla como el centro de las investigaciones científicas de este siglo, planteando novedosos objetivos y metas en sus investigaciones, soportadas fuertemente por estudios físicos, químicos y taxonómicos. En las ciencias de la vida, la genómica aplicada al estudio de los sistemas vivos en el suelo ha implicado un enorme progreso en el conocimiento de estos ecosistemas. La caracterización de diversos organismos en suelos, y en especial de microorganismos recientemente descubiertos, representan únicamente el inicio de una nueva etapa en el desarrollo de la microbiología molecular de suelos que permita y asegure un manejo sustentable del recurso edáfico. El reto para estas disciplinas es identificar las comunidades de microorganismos y las funciones que éstas desempeñan en sus hábitats que integran los diversos

Abstract

The traditional sub-disciplines of soil science; physics, chemistry, biology, taxonomy and mineralogy have largely contributed to the establishment of the basic principles of this science and have responded numerous practical questions. Currently, they have refocused their objects of study into emerging areas in order to understand, manage and use in a better way the most complex biological community on the planet. In particular, soil biology is seen as the center of scientific research of this century, presenting novel targets and goals in their research, strongly supported by physical, chemical and taxonomic studies. In the life-sciences, genomics are applied to the study of living systems in the soil, doing an enormous progress in the understanding of these ecosystems. The characterization of various organisms in soil, especially newly discovered microorganisms, represent only the beginning of a new stage in the development of molecular soil microbiology to enable and ensure a sustainable management of the soil resource. The challenge for these disciplines is to identify communities of microorganisms and, the roles they play in their habitats that integrate the diverse landscapes on Earth. Genomics and meta-genomics, along with traditional microbiological techniques are much

* Recibido: marzo de 2014
Aceptado: junio de 2014

paisajes sobre la Tierra. Genómica y metagenómica, junto con técnicas microbiológicas tradicionales están contribuyendo en mucho a los avances en el conocimiento de la biodiversidad que existe en el suelo, como base que asegure la sustentabilidad del suelo y del paisaje.

Palabras clave: ciencias de la vida, ciencias ómicas, microbiología molecular, recursos edáficos.

Introducción

La ciencia del suelo comprende estudios de física, química, biología, mineralogía y taxonomía y tiene la finalidad de entender las relaciones suelo-planta como la retención y liberación de nutrientes, contaminantes y agua en el subsistema suelo-planta (Alántar-González *et al.*, 2014). También se relaciona con estudios sobre la diversidad de organismos y procesos en la rizosfera, efectos de las plantas o la rotación de cultivos sobre fauna edáfica, componentes y propiedades del suelo. Asimismo, incluye conocimientos sobre constituyentes minerales y orgánicos del suelo y asociaciones orgánico-minerales, propiedades y procesos físicos, químicos, biológicos y ecológicos del suelo, así como mineralogía, morfología, clasificación y geografía de suelos.

Sus estudios abarcan también uso y manejo del suelo, como mejoramiento de la fertilidad y la calidad, protección, conservación y remediación. Además, las interacciones planta-microorganismo y los avances en biología molecular aplicados a la microbiología del suelo han desarrollado áreas emergentes como la microbiología molecular y la metagenómica en suelos. Los adelantos recientes en la secuenciación de genomas de toda naturaleza, incluyendo los microorganismos del suelo, están permitiendo un conocimiento detallado de la biodiversidad y de las actividades biológicas que se llevan a cabo en estos sistemas, como base que sustenta la riqueza paisajística sobre la faz del planeta. Su conocimiento permite el manejo sustentable de estos recursos.

De acuerdo al National Research Council (2009 y 2010), la biología del suelo se perfila como uno de los detonantes del desarrollo científico del Siglo XXI, por ser éste uno de los ecosistemas más complejos de la biosfera y albergar organismos aun no descubiertos. Nannipieri (2014) sostiene que el suelo constituye un sistema biológico único donde existe una gran diversidad de microorganismos que desempeñan múltiples funciones clave para los

contribuyendo to advances in the understanding of biodiversity that exists in the soil as a base to ensure the sustainability of the soil and landscape.

Keywords: life sciences, molecular microbiology, omics, soil resources.

Introduction

Soil science includes studies in physics, chemistry, biology, mineralogy and taxonomy and aims to understand the relationships of soil-plant as the retention and release of nutrients, contaminants and water in the soil-plant subsystem (Alántar-González *et al.*, 2014). It is also related to studies on the diversity of organisms and processes in the rhizosphere effects of plants or crop rotation on soil fauna, soil components and properties. It also includes insights into mineral and organic soil constituents and organic-mineral associations, properties, and physical, chemical, biological and ecological soil processes and mineralogy, morphology, classification and soil geography.

Also including land-use and management, such as improving fertility and quality, protection, conservation and remediation. In addition, plant-microbe and advances in molecular biology applied to soil microbiology interactions have developed emerging areas such as molecular microbiology and meta-genomics in the soils. Recent advances in genome sequencing of any kind, including soil microorganisms are enabling a detailed knowledge of biodiversity and biological activities carried out in these systems as a basis underlying the scenic beauty on the planet. Their knowledge allows the sustainable management of these resources.

According to the National Research Council (2009 and 2010), soil biology is emerging as one of the triggers of the scientific development of the XXI Century, as this is one of the most complex ecosystems in the biosphere and even undiscovered organisms. Nannipieri (2014) argues that soil is a unique biological system where there is a great diversity of microorganisms that play multiple key functions for ecosystems. Recently, the identification of new genes from uncultivated microorganisms on artificial media has allowed deeper understanding of novel metabolic pathways that are developed in these ecosystems. Other advances are enabling accelerated

ecosistemas. Recientemente, la identificación de genes de nuevos microorganismos no cultivados en medios artificiales ha permitido conocimiento más profundo sobre novedosas rutas metabólicas que se desarrollan en estos ecosistemas. Otros avances que están permitiendo un desarrollo acelerado de la ciencia del suelo son las ciencias ómicas, como la metagenómica, la metatranscriptómica, la metaproteómica, la metabolómica y la ionómica, entre otras. Los nuevos retos para la biología de sistemas es integrar la información que emana de las tecnologías ómicas a fin de explicar de una manera más completa la importancia y aplicabilidad de la biología del suelo en beneficio de la sustentabilidad del paisaje.

Microbiología edáfica y biología molecular

Los organismos que habitan el suelo, y en particular los microorganismos conforman poblaciones muy complejas, y con los avances en biología molecular se han descubierto niveles de diversidad aún más complejos. Dado que en su mayoría los organismos procariontes del suelo no son capaces de crecer en medios de cultivo artificiales (Nogales, 2005), a partir del descubrimiento de marcadores moleculares como los ácidos grasos fosfolípidos (PLFA) y los ácidos nucleicos (DNA y RNA) (Insam, 2001; Kirk *et al.*, 2004) se han logrado progresos importantes en el estudio de estos organismos. La utilización combinada de diferentes técnicas moleculares basadas en la subunidad menor del rRNA ha generado datos importantes sobre diversidad, estructura y dinámica de comunidades microbianas.

Por ejemplo, estudios moleculares del DNA han mostrado que las bibliotecas de clones construidas a partir de suelos pueden estar compuestas casi completamente de miembros únicos de las comunidades microbianas (Zhuo *et al.*, 2002). De hecho, Fierer *et al.* (2007) utilizaron el análisis de secuencias basadas en la subunidad menor del rRNA y metagenómica y reportaron que las comunidades de arqueas y hongos son más regulares y constantes que las comunidades de bacterias. Hacia el interior de los cuatro grupos comparados (hongos, bacterias, arqueas y virus) se observaron pocos traslapes en la taxonomía de los sitios de muestreo, lo que sugiere que estos grupos son muy diversos tanto a nivel local como global. La gran diversidad encontrada es debido a que algunas propiedades cualitativas de la matriz del suelo promueven el desarrollo y mantenimiento de dichas comunidades. La gran mayoría de las comunidades son escasas, y unas pocas son las más abundantes, lo que sugiere que existen interacciones competitivas que determinan sus estructuras (Zhuo *et al.*,

development of soil science are the omics sciences, such as meta-genomics, meta-transcriptomics, meta-proteomics, meta-biologic and ionomics, among others. New challenges for biology of systems is to integrate information emanating from omics technologies to explain the importance and applicability of soil biology to benefit the sustainability of the landscape.

Soil microbiology and molecular biology

Organisms that live in the soil, in particular microorganisms forming complex populations, and with advances in molecular biology have discovered even more complex levels of diversity. Since, most of the prokaryote organisms are not able to grow on artificial media (Nogales, 2005), from the discovery of molecular markers such as phospholipid fatty acids (PLFA) and nucleic acids (DNA and RNA) (Insam, 2001, Kirk *et al.*, 2004) have made significant progress in the study of these organisms. The combined use of different molecular techniques based on small subunit rRNA has generated important data on diversity, structure and dynamics of microbial communities.

For example, DNA molecular studies have shown that, the clone libraries constructed from soils can be comprised almost entirely of only members of the microbial communities (Zhuo *et al.*, 2002). Indeed, Fierer *et al.* (2007) used sequence analysis based on small subunit rRNA and meta-genomics and reported that, the communities of archaea and fungi are more regular and constant. Towards the interior of the four comparison groups (fungi, bacteria, archaea and viruses) few overlaps were observed in the taxonomy of the sampling sites, suggesting that these groups are very diverse both locally and globally. The great diversity is found because some qualitative properties of the soil matrix promote the development and maintenance of these communities. The vast majority of communities are scarce, and few are the most abundant, suggesting competitive interactions that determine their structures (Zhuo *et al.*, 1997), especially in saturated soil, compared to surface soils where there is no dominant competition between communities.

Two of the features that promote this diversity are the stability of soil moisture in deeper layers, and high competition for carbon sources not as abundant as in surface layers. It has also been shown that the diversity of microorganisms increases with decreasing particle size of the soil (Sessitsch *et al.*, 2001; Tiedje *et al.*, 2001). In topsoil exists nearly

1997), sobre todo en suelos saturados, en comparación con suelos superficiales, donde no hay una competencia dominante entre comunidades.

Dos de las características que promueven esta diversidad son la estabilidad de la humedad del suelo en capas más profundas, y la alta competencia por fuentes de carbono no tan abundantes como en capas superficiales. También se ha demostrado que la diversidad de microorganismos aumenta al disminuir el tamaño de las partículas del suelo (Sessitsch *et al.*, 2001; Tiedje *et al.*, 2001). En capas superficiales del suelo existe una distribución casi uniforme de patrones de restricción de rRNA, lo que indica que en estos sitios se mantiene un alto nivel de diversidad microbiana, en los que ningún grupo es dominante. Por otro lado, en los suelos saturados, la diversidad es menor, y se observan mayores niveles de competencia entre comunidades.

Los avances que ha habido en diseño de microarreglos han permitido el análisis de grandes volúmenes de datos para detectar expresión genética bajo condiciones experimentales determinadas o para encontrar la presencia de las secuencias del arreglo en una muestra experimental determinada (Murray *et al.*, 2001; Chang *et al.*, 2008).

Con la secuenciación de genomas microbianos ha sido posible integrar varias bases de datos (Uchiyama *et al.*, 2010). Una de estas bases de datos es la Integrated Microbial Genomes, la cual reporta 10 165 genomas microbianos secuenciados, de los cuales 5 131 corresponden a bacterias, 196 a archaeas, 188 a eucariontes, 1 186 a plásmidos y 2 810 a virus (Cuadro 1), y con el uso de herramientas bioinformáticas y de genómica funcional se está revelando importante información funcional y evolutiva.

uniform pattern distribution rRNA restriction, indicating that these sites have a high level of microbial diversity, with no dominant group. On the other hand, saturated soils have a lower diversity and higher levels of competition between the communities observed.

The advances that have occurred in design micro-arrays have enabled the analysis of large volumes of data to detect gene expression under certain experimental conditions or to find the presence of sequences under a given experimental sample (Murray *et al.*, 2001; Chang *et al.*, 2008).

With the sequencing of microbial genomes has been possible to integrate multiple databases (Uchiyama *et al.*, 2010). One of these databases is the Integrated Microbial Genomes, which reports 10 165 microbial genomes sequenced, of which 5 131 correspond to bacteria, archaea 196, 188 eukaryotes, plasmids 1 186 and 2 810 viruses (Table 1), and the use of bioinformatics tools and functional genomics is revealing important functional and evolutionary information.

Climbing in the complexity of sequencing projects, meta-genomes (genetic material from an environmental sample) of microbial communities derived from complex processes of direct extraction of DNA from microorganisms that inhabit ecosystems and their rescue and file called meta-genomic libraries contain the full genetic capacity of biological systems as the communities composed of many species, easily accessible for other experiments. In Figure 1, the scheme of the construction and use of meta-displayed libraries.

Cuadro 1. Genomas de microorganismos secuenciados o en proceso de secuenciación a inicios de 2014[†].

Table 1. Genomes of sequenced microorganisms or in sequencing process in early 2014[†].

Categoría	Genomas secuenciados	Genomas en proceso de secuenciación	Total
Bacteria	2 097	3 034	5 131
Archaea	153	43	196
Eucariontes	37	151	188
Plásmidos	1 186	0	1 186
Virus	2 810	0	2 810
Fragmentos genómicos	654	0	654
Total	6 937	3 228	10 165

[†]Fuente: Integrated Microbial Genomes (www.img.jgi.gov/cgi-bin/main.cgi).

Escalando en la complejidad de proyectos de secuenciación, los metagenomas (material genético de una muestra ambiental) de las comunidades microbianas derivados de procesos complejos de extracción directa del DNA de

Applications of meta-genomics research not only to understand the molecular processes that generate biodiversity but also recreate in the laboratory test conditions for biotechnological purposes such as soil remediation.

microorganismos que habitan ecosistemas y su rescate y archivo en denominadas genotecas metagenómicas, contienen la capacidad genética integral de sistemas biológicos como las comunidades compuestas por multitud de especies, fácilmente accesible para otras experimentaciones. En la Figura 1 se muestra el esquema general de la construcción y aprovechamiento de metagenotecas.

Las aplicaciones de la metagenómica permiten no sólo comprender los procesos moleculares que generan biodiversidad, sino también el recrearlos en condiciones experimentales en laboratorio con propósitos biotecnológicos como la remediación de suelos.

Las aplicaciones que se están desarrollando y las que se vislumbran son inmensas y los cambios que se avecinan con estos avances colocarán a la investigación científica en una nueva era de desarrollo. Basta decir que con estas tecnologías es posible conocer estructura y función de microorganismos nunca antes descubiertos o que no había sido posible cultivar bajo técnicas de microbiología tradicional. Proyectos genómicos encabezados por Craig Venter (Venter *et al.*, 2004) han descubierto por ejemplo más de 782 nuevos genes de fotoreceptores, cuando antes sólo se conocían 148 (Handelsman, 2004; Seshadri *et al.*, 2007).

Biodiversidad del suelo y sustentabilidad del paisaje

Los recientes adelantos científicos de las ciencias genómicas y el crecimiento en el número de secuencias de genes transcritos, proteínas y otras moléculas depositadas en bases de datos públicas es uno de los mayores soportes que permiten el estudio de la biodiversidad del suelo. Como sustento primario de la vida sobre el planeta, el conocimiento de la diversidad biológica que existe en el sistema suelo representa una base de importancia crucial que a su vez genera variación en los ecosistemas que sobre él se desarrollan y que pueden explicar la riqueza paisajística que existe en la faz de la Tierra.

La biodiversidad se refiere al número y distribución de especies en la biosfera. Las especies que integran la biosfera actualmente son el resultado de procesos de evolución y extinción (Bridgewater, 1988; Cardinale *et al.*, 2012). Los criterios para valorar la biodiversidad se basan en cuantificar los requerimientos ecológicos de las especies a establecer, las características ecológicas locales, las políticas ambientales, y los datos empíricos disponibles.

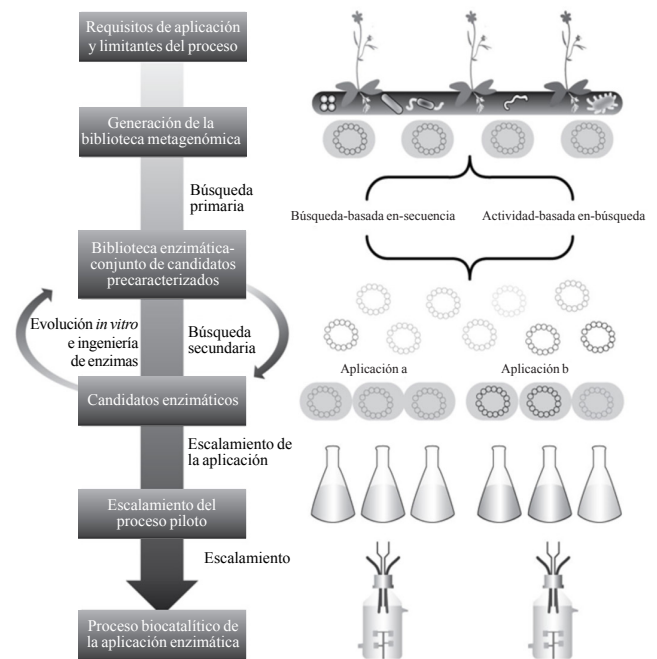


Figura 1. Proceso de construcción y aprovechamiento de metagenotecas de muestras del suelo (modificado de Lorenz *et al.*, 2005).

Figure 1. Construction process and use of meta-libraries of soil samples (modified of Lorenz *et al.*, 2005).

The applications under development and looming are immense and the coming changes to these developments placed to scientific research into a new era. With these technologies we can meet structure and function of organisms ever discovered or had not been possible to grow under traditional microbiology techniques. Genome projects led by Craig Venter (Venter *et al.*, 2004) have found more than 782 new genes in photoreceptors, when previously 148 were known (Handelsman, 2004; Seshadri *et al.*, 2007).

Soil biodiversity and landscape sustainability

Recent scientific advances in genomic science and growth in the number of sequences transcribed genes, proteins and other molecules deposited in public databases is one of the largest carriers that allow the study of soil biodiversity. As the primary sustenance of life on the planet, knowledge of biological diversity in the soil system represents a basis of crucial importance that in turn generates changes in ecosystems over and that may explain the rich landscape that exists on the Earth.

La biodiversidad y el paisaje son elementos estrechamente ligados. Los mayores índices de biodiversidad se presentan cuando los patrones paisajísticos y procesos biológicos son más heterogéneos (Nichols *et al.*, 1998). Por lo tanto, los proyectos de desarrollo paisajístico del futuro deben contemplar el mantenimiento de la máxima heterogeneidad del paisaje, con lo que se puede asegurar la mayor conservación de la biodiversidad.

De acuerdo con Mora *et al.* (2011), la biodiversidad global se integra por más de 1 244 360 de especies clasificadas, y se estima que aún hay 8 750 000 especies más por identificar sobre la Tierra, además de cerca de 2.5 millones de especies en los océanos. Para entender y manejar adecuadamente la biodiversidad, es necesario colocarla en el contexto del paisaje. Desde el punto de vista ambiental, el paisaje es parte del espacio sobre la superficie de la tierra que existe como un sistema complejo, formado por la actividad de las rocas, el agua, el aire, las plantas, los animales y el hombre, y que por su fisonomía forma una entidad reconocible. Por otra parte, el paisaje es concebido como un agrupamiento de ecosistemas, pequeños y grandes, relacionados unos con otros en una jerarquía de espacios que puede ser mejor comprendido a través de indicadores como la biota y el suelo que son capaces de lograr equilibrio ante cambios de flujos energéticos.

En términos más simples, el paisaje es un complejo verde que hospeda diversos elementos bióticos y abióticos, y en el que por ejemplo, los animales dependen de las plantas para alimentarse, y las plantas pueden aprovechar los desechos animales para abastecerse de elementos minerales que les nutren, y los cuales toman principalmente del suelo a través de procesos de descomposición y transformación que llevan a cabo organismos edáficos. La biodiversidad y el paisaje, por lo tanto, se encuentran estrechamente relacionados (Johns, 2004; Waldhardt, 2003). Por su parte, un patrón paisajístico es una porción de este paisaje determinado, como los bordes de veredas o caminos en el campo y la montaña, que se repite de manera constante debido a la naturaleza del espacio e intervienen factores y procesos naturales que lo hace un ente *sui generis*.

Los mayores índices de biodiversidad se presentan cuando los patrones paisajísticos y procesos naturales son más heterogéneos. Por lo tanto, los proyectos de desarrollo de paisaje con comunidades biológicas de gran riqueza deberían

Biodiversity refers to the number and distribution of species in the biosphere. The species of the biosphere are actually the result of processes of evolution and extinction (Bridgewater, 1988, Cardinale *et al.*, 2012). Criteria for assessing biodiversity are based on quantifying the ecological requirements of the species to establish local ecological, environmental policies, and the empirical data available.

Biodiversity and landscape elements are closely linked. The highest rates of biodiversity arise when landscape patterns and biological processes are more heterogeneous (Nichols *et al.*, 1998). Therefore, landscape development projects must consider the future maintenance of high landscape heterogeneity, which can ensure the highest biodiversity conservation.

According to Mora *et al.* (2011), global biodiversity is comprised of over 1 244 360 classified species, and it is estimated that there are 8.75 million still identify more species on Earth, in addition to about 2.5 million species in the oceans. In order to properly understand and manage biodiversity, it is necessary to place it in the context of the landscape. From the environmental point of view, the landscape is part of the space on the surface of the land that exists as a complex system, formed by the activity of rocks, water, air, plants, animals and man, and that its appearance forms a recognizable entity. Moreover, the landscape is conceived as a grouping of ecosystems, big and small, related to each other in a hierarchy of spaces that can be better understood through indicators such as biota and soil are able to achieve balance to changes energy flows.

In simpler terms, the landscape is a green complex that hosts various biotic and abiotic elements, and in which, for example, animals depend on plants for food and plants can use the animal waste to stock mineral elements nourish them, and which take soil mainly through processes of decomposition and transformation conducting soil organisms. Biodiversity and landscape, therefore, are closely related (Waldhardt, 2003; Johns, 2004). The landscape pattern is a portion of this particular landscape as the edges of paths or roads in the countryside and mountains, repeated constantly due to the nature of space and involves factors and natural processes that makes a *sui generis* entity.

considerar el mantenimiento de la máxima heterogeneidad de sus elementos de tal manera que se promueva una riqueza de microorganismos que inicia desde el sueño; esto tendrá como consecuencia el aseguramiento de una mayor conservación de la biodiversidad (Bridgewater, 1988).

La ecología del paisaje incorpora dimensiones tanto conservacionistas como de aprovechamiento de los ecosistemas que permiten crear ambientes sustentables y armoniosos entre el hombre y la naturaleza, y una de las formas de hacerlo es a través de la planificación (Wiens, 2009).

De acuerdo con Brown (2013), la planificación de la diversidad del paisaje es un método que permite proyectar, diseñar y comunicar los beneficios y hábitats de la diversidad biológica que existe en determinados entornos. Este sistema basado en la riqueza del paisaje es de gran ayuda para llevar a cabo proyectos de conservación, restauración, desarrollo habitacional y mejoramiento del paisaje tanto en asentamientos urbanos como rurales. Los proyectos sustentables líderes a nivel internacional, de manera creciente están incorporando elementos de la biodiversidad nativa para el desarrollo del paisajismo. Estos proyectos también consideran minimizar el impacto ambiental sobre todo en su trabajo con el manejo de especies protegidas y entornos naturales sensibles, en estrategias y enfoques holísticos sustentables. Un paisaje sustentable se caracteriza por incluir una mayor diversidad de organismos vivos, incluye flora, fauna y más elementos que interactúan. Esto permite tener comunidades heterogéneas ciertamente, pero también en una relación de estabilidad ecológica.

Un paisaje sustentable es dinámico puesto que la interacción de sus elementos está siempre experimentando cambios (Dunnett y Hitchmough, 2004). Es en aquí donde radica la importancia de sustituir a los paisajes construidos de manera convencional, que normalmente son bajos en biodiversidad y con altos costos debido a la pérdida de recursos (sistema abierto) por paisajes sustentables, los cuales además tienden a reutilizar los recursos como agua, energía, entre otros (sistema cerrado) (Dunnett y Clyden, 2007). Adicionalmente, a través de estas iniciativas es posible hacer la proyección del desarrollo paisajístico, y demostrar un mejoramiento de la ecología local.

Esto es de especial interés en áreas industriales y urbanas abandonadas, las cuales con frecuencia son el foco de atención de grupos conservacionistas o de desarrollo urbano sustentable. Por ello, este nuevo enfoque puede servir como

The highest rates of biodiversity arise when natural processes and landscape patterns are more heterogeneous. Therefore, development projects of landscape with rich biological communities should consider maintaining a high heterogeneity of its elements so that a wealth of microorganisms that started from the dream to be promoted; this will result in greater assurance of biodiversity conservation (Bridgewater, 1988).

Landscape ecology dimensions incorporates both conservation and use of ecosystems that create sustainable and harmonious environment between man and nature, and one of the ways is through planning (Wiens, 2009).

According to Brown (2013), the planning of landscape diversity is a method that allows the planning, design and communicate the benefits and habitats of biological diversity in certain environments. This based on the richness of the landscape system, helpful to carry out projects of conservation, restoration, development and improvement of housing landscape both urban and rural settlements. The leading international sustainable projects are increasingly incorporating elements of native biodiversity for development of landscape. These projects also consider minimizing environmental impact, especially in working with the management of protected species and sensitive natural environments in sustainable strategies and holistic approaches. A sustainable landscape is characterized by including a greater diversity of living organisms, including flora, fauna and interacting elements. This allows heterogeneous communities certainly, but also in a relationship of ecological stability.

A sustainable landscape is dynamic since the interaction of its elements is always undergoing changes (Dunnett and Hitchmough, 2004). It is in here where the importance of replacing the built landscapes conventionally, which are usually low in biodiversity and high costs due to the loss of resources (open system) for sustainable landscapes, which also tend to reuse resources as water, energy, etc. (closed system) (Dunnett and Clyden, 2007). Additionally, through these initiatives can make the projection of landscape development, and demonstrate an improvement in the local ecology.

This is of particular interest in abandoned industrial and urban areas, which are often the focus of conservation groups or sustainable urban development. Therefore, this

una herramienta útil para demostrar de manera cuantitativa los beneficios del crecimiento urbano inteligente y el desarrollo conservador, como medios para aprovechar la biodiversidad local y mejorar su manejo, incrementar los servicios ambientales de los ecosistemas y materializar las visiones conservadoras de las localidades.

Estos esfuerzos abordan múltiples aspectos de la sustentabilidad como el transporte, la energía, el agua, el paisaje, las localidades, la sociedad, la economía local, entre otras, e incluyen mediciones cuantitativas de diversos indicadores de sustentabilidad como la emisión de gases de efecto invernadero, uso de energía y agua, uso de fertilizantes, manejo de residuos, entre muchos otros.

El sistema de planeación y diseño de la biodiversidad del paisaje y los índices de biodiversidad del paisaje son conceptos y enfoques nuevos que permiten abordar temas de la biodiversidad desde un punto de vista de mediciones cuantitativas. Tales mediciones cuantitativas permiten desarrollar estimaciones detalladas, comprensibles y defendibles del desempeño de soluciones de diseño y planeación en términos tanto de beneficios como de costos.

El sistema de medición del índice de biodiversidad del paisaje considera la valoración de numerosos indicadores (hasta 10 o más) de biodiversidad del paisaje. Estos indicadores incluyen la estructura y patrones característicos del paisaje como especies prioritarias, calidad del hábitat, conectividad y área total del hábitat. Las ciencias genómicas pueden determinar y cuantificar la cantidad y diversidad de organismos que habitan en el suelo, pero también en el agua, o en los propios árboles y la rizosfera de las especies que existen o se plantea establecer en proyectos de desarrollo paisajísticos.

Con todo esto, la biodiversidad y el paisaje están interrelacionados a través de los patrones y procesos paisajísticos. La estrategia ideal para mantener la biodiversidad es mantener el paisaje con la mayor variación de sus elementos. Es necesario enfatizar que la sanidad del paisaje es una condición determinante para el mantenimiento de la biodiversidad y viceversa. Los retos del futuro consisten en asegurar que los paisajes existentes se mantengan y mejorar la calidad paisajística por medio de estrategias de conservación y recuperación de la biodiversidad. Para el éxito de esta empresa es necesario trabajar en el mantenimiento de la biodiversidad no solo a nivel de especies individuales, sino a través del manejo holístico del paisaje.

new approach can serve as a useful tool to quantitatively demonstrate the benefits of smart urban growth and conservative development as a means to exploit local biodiversity and improve management, increase environmental ecosystem services and realize the tool conservative views of the localities.

These efforts address multiple aspects of sustainability such as transport, energy, water, scenery, villages, society, the local economy, among others, and include quantitative measurements of various indicators of sustainability as the emission of greenhouse emissions, energy and water use, fertilizer use, waste management, among many others.

Planning and design systems of landscape biodiversity and landscape biodiversity indices are concepts and approaches that tackle biodiversity issues from the point of view of quantitative measurements. Such quantitative measurements allow developing detailed, comprehensible and defensible estimates of performance of design solutions and planning in terms of both benefits and costs.

The measurement system of the landscape biodiversity index considers the assessment of numerous indicators (up to 10 or more) of landscape biodiversity, these indicators include the structure and characteristic patterns of landscape as a priority species, habitat quality, connectivity and total area of habitat. Genomic sciences can identify and quantify the number and diversity of organisms living in the soil, but also in the water, or the trees themselves and the rhizosphere of the species that exist or are planned to establish in landscape development projects.

With all of this, biodiversity and landscape are interrelated through the landscape patterns and processes. The ideal strategy for maintaining biodiversity is to maintain the landscape with the greatest variation of its elements. It should be emphasized that, the health of the landscape is critical to the maintenance of biodiversity condition and vice versa. The challenges ahead are to ensure that existing landscapes maintain and improve landscape quality through strategies of conservation and restoration of biodiversity. For the success of this company is necessary to work on the maintenance of biodiversity not only at the level of individual species, but through holistic landscape management.

En términos de biodiversidad terrestre, el suelo se considera el sistema más complejo, y es a su vez, el sustento de la vida de enriquecer los paisajes. Las ciencias genómicas que permiten el estudio de la biodiversidad de muestras ambientales del suelo, ofrecen herramientas con gran potencial para lograr un mejor entendimiento y manejo del paisaje, pues proporcionan información relacionada no solo con los organismos que allí habitan, sino también qué funciones desempeñan y cuál es su potencial de uso en un contexto sustentable.

Recientemente, Gómez-Merino *et al.* (2013) realizaron un análisis sobre las fortalezas y los desafíos para potenciar innovaciones en el paisaje en México y concluyen que gracias a la megadiversidad con que cuenta el país y a sus recursos genéticos y naturales es posible contribuir al mejoramiento paisajístico. En términos de investigación básica y aplicada, México ha tenido progresos importantes en cuanto a estudios de la biodiversidad, y dispone de importante infraestructura en diversos centros y entidades de investigación. Para generar las transformaciones que se requieren a fin de catapultar el aprovechamiento y manejo sustentable del paisaje, se considera necesario incluir la temática en las agendas de ciencia, tecnología e innovación, con un enfoque de sustentabilidad y responsabilidad social con base científica.

Conclusiones

La ciencia del suelo ha avanzado enormemente gracias a los progresos que ha tenido la biología molecular y en especial las ciencias ómicas y la secuenciación de genomas para conocer y caracterizar este complejo sistema. Esto está permitiendo conocer con mayor velocidad y precisión, los organismos que se desarrollan en determinados ambientes, qué funciones desempeñan y cuál es su uso potencial con fines de promover paisajes con mayor biodiversidad. El reto para asegurar el manejo sustentable del paisaje y conseguir el mayor beneficio de los servicios ambientales radica en aprovechar eficientemente la diversidad biológica del suelo. La biología molecular y las tecnologías ómicas están permitiendo conocer estos recursos edáficos y encontrar la mejor manera de aprovecharlos bajo enfoques de manejo sustentable del paisaje.

In terms of terrestrial biodiversity, soil is considered the most complex system, and in turn, the life support to enrich the landscape. Genomic sciences that allow the study of the biodiversity of soil environmental samples, provide tools with great potential for better understanding and management of the landscape, providing not only information related organisms that live there, but also what features and play what is its potential use in a sustainable context.

Recently, Gómez-Merino *et al.* (2013) conducted an analysis of the strengths and challenges to foster innovation in the landscape in Mexico and conclude that thanks to the mega-diversity with which the country and its genetic and natural resources can contribute to landscape improvement. In terms of basic and applied research, Mexico has made significant progress in studies of biodiversity, and has significant infrastructure in various centres and research institutions. In order to generate the transformations required to catapult the use and sustainable management of the landscape, it is necessary to include the issue on the agendas of science, technology and innovation, with a focus on sustainability and social responsibility with scientific basis.

Conclusions

Soil science has greatly advanced with the progress that has been especially molecular biology and specially omics sciences and genome sequencing to understand and characterize this complex system. It is possible to know with higher speed and accuracy, organisms that develop in certain environments, their function and what are their potential use, looking to promote landscapes with more biodiversity. The challenge to ensure sustainable management of the landscape and get the most benefit from environmental services efficiently take advantage lies in the soil biodiversity. Molecular biology and omics technologies are enabling to know these soil resources and find the best way of using low approaches to sustainable landscape management.

End of the English version



Agradecimiento

Los autores(as) agradecen a los apoyos otorgados por las Líneas Prioritarias de Investigación 4 agronegocios, agroecoturismo y arquitectura del paisaje, y 5 biotecnología microbiana, vegetal y animal del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Literatura citada

- Alcántar-González, G.; Trejo-Téllez, L. I. y Gómez-Merino, F. C. 2014. Nutrición de cultivos. Segunda edición. Editorial Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 443 p.
- Bridgewater, P. B. 1988. Biodiversity and landscape. *Earth Sci. Rev.* 25:486-491.
- Brown, I. 2013. Landscape biodiversity planning and design system. Technical report. AECOM. San Francisco, CA, USA. 25 p.
- Cardinale, B. J.; Duffy, J. E.; Gonzalez, A.; Hooper, D. U.; Perrings, C.; Venail, P.; Narwani, A.; Mace, G. M.; Tilman, D.; Wardle, D. A.; Kinzig, A. P.; Daily, G. C.; Loreau, M.; Grace, J. B.; Larigauderie, A.; Srivastava, D. S. and Naeem S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59-67.
- Chang, H. W.; Sung, Y.; Kim, K. H.; Nam, Y. D.; Roh, S. W.; Kim, M. S.; Jeon, C. O. and Bae, J. W. 2008. Development of microbial genome-probing microarrays using digital multiple displacement amplification of uncultivated microbial single cells. *Environ. Sci. Technol.* 42: 6058-6064.
- Dunnett, N. P. and Clayden, A. 2007. Rain gardens: sustainable management of water in the garden and designed landscape. Timber Press, Portland, Oregon, USA. 332 p.
- Dunnett, N.; and J. Hitchmough. 2004. *The Dynamic Landscape: Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting*. Spon Press, London, U.K.
- Fierer, N.; Breitbart, M.; Nulton J.; Salamon P.; Lozupone, C.; Jones, R.; Robeson, M.; Edwards, R. A.; Felts, B.; Rayhawk, S.; Knight, R.; Rohwer, F. and Jackson, R. B. 2007. Metagenomic and small-subunit rRNA analyses reveal the genetic diversity of bacteria, archaea, fungi, and viruses in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 73:7059-7066.
- Gómez-Merino, F. C.; García-Albarado, J. C.; Trejo-Téllez, L. I.; Morales-Ramos, V.; García-García, C. G. y Pérez Sato, J. A. 2013. Paisaje y turismo rural en México: fortalezas y desafíos para su potenciación. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:1027-1042.
- Handelsman, J. 2004. Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 68:669-685.
- Insam, H. 2001. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. *Geoderma* 100:389-402.
- Johns, A. G. 2004. Biodiversity conservation through landscape ecology: the PARC Approach. (Consulta: 02-02-2014). http://cmsdata.iucn.org/downloads/parc_biodiversity.pdf.
- Kirk, J. L.; Beaudette, L. A.; Hart, M.; Moutoglis, P.; Klironomos, J. N.; Lee, H. and Trevors, J. T. 2004. Methods of studying soil microbial diversity. *J. Microbiol. Meth.* 58:169-188.
- Lorenz, P. and Jurgen, E. 2005. Metagenomics and industrial applications. *Nat. Rev. Microbiol.* 3:510-516.
- Mora, C.; Tittensor, D. P.; Adl, S.; Simpson, A. G. B. and Worm, B. 2011. How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biol* 9(8):127-137.
- Murray, A. E.; Lies, D.; Li, G.; Nealson, K.; Zhou, J. and Tiedje, J. M. 2001. DNA/DNA hybridization to microarrays reveals gene-specific differences between closely related microbial genomes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:9853-9858.
- Nannipieri, P. 2014. Soil as a biological system. *In: Nannipieri, P.; Pietramellara, G. and Renella, G. (Ed.). Caister Academic Press, Firenze, Italy.* 200 p.
- National Research Council. 2009. *A new biology for the 21st Century*. The National Academies Press. Washington, D. C., USA. 112 p.
- National Research Council. 2010. *Toward sustainable agricultural systems in the 21st Century*. The National Academies Press. Washington, D. C., USA. 598 p.
- Nogales, B. 2005. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Ecosistemas* 14:41-51.
- Nichols, W. F.; Keith, K. and Augusti, P. V. 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. II Landscape Perspective. *Conservation Biol.* 12:371-379.
- Seshadri, R.; Kravitz S. A.; Smarr, L.; Gilna, P. and Frazier, M. 2007. Camera: a community resource for metagenomics. *PLoS Biol.* 5:e75.
- Sessitsch, A.; Weilharter, A.; Gerzabeck, M. H.; Kirchmann, H. and Kandeler, E. 2001. Microbial population structure in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:4215-4224.
- Tiedje, J. M.; Cho, C.; Murphy, A.; Treves, D.; Xia, B. and Zhou, J. 2001. Soil teeming with life: new frontiers for soil science. *In: Rees, R. M.; Ball, B. C.; Campbell, C. and Watson, C. A. (Eds.). Sustainable management of soil organic matter*. British Society of Soil Science. CAB International. Wallington, U.K. 393-495 pp.
- Uchiyama, I.; T. Higuchi; and M. Kawai. 2010. MGD update 2010: toward a comprehensive resource for exploring microbial genome diversity. *Nucleic Acids Res.* 38: D361-D365.
- Venter, J. C.; Remington, K.; Heidelberg, J. F.; Halpern, A. L.; Rusch, D.; Eisen, J. A.; Wu, D.; Paulsen, I.; Nelson, K. E.; Nelson, W.; Fouts, D. E.; Levy, S.; Knap, A. H.; Lomas, M. W.; Nealson, K.; White, O.; Peterson, J.; Hoffman, J.; Parsons, R.; Baden-Tillson, H.; Pfannkoch, C.; Rogers, Y.-H. and Smith, H. O. 2004. Environmental genome shotgun sequencing of the Sargasso Sea. *Science* 304:66-74.
- Waldhardt, R. 2003. Biodiversity and landscape - summary, conclusions and perspectives. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98:305-309.
- Wiens, J. A. 2009. Landscape ecology as a foundation for sustainable conservation. *Landscape Ecology* 24:1053-1065
- Zhou, J. Z.; Davey, M. E.; Figueras, J. B.; Rivkina, E.; Gilichinsky, D. and Tiedje, J. M. 1997. Phylogenetic diversity of a bacterial community determined from Siberian tundra soil DNA. *Microbiol.* 143:3913-3919.
- Zhou, J.; Xia B.; Treves, D. S.; Wu, L. Y.; Marsh, T. L.; O'Neill, R. V.; Palumbo, A. V. and Tiedje, J. M. 2002. Spatial and resource factors influencing high microbial diversity in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 68:326-334.