



Universidad
Católica
de Cuenca

JEFATURA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Convocatoria: Fortalecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Título del proyecto

Estudio de la estructura Espacio–Temporal de redes complejas: La polinización y la dispersión de semillas fundamentales servicios ecosistémicos

Carrera(s): INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA DE SOFTWARE,

Director del Proyecto:

ORLANDO ALVAREZ; 0151483344; INGENIERÍA DE SOFTWARE; UNIDAD ACADÉMICA DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA; MATRIZ

Colaboradores del Proyecto

José Esteban Torracchi Carrasco; 0102001385; Odontología; Unidad de Salud y Bienestar; Matriz.

Jaime Tinto Arandes; 0151799020; Administración; Contabilidad y Auditoría; Unidad Académica de Administración; Matriz.

Vinicio Santillan Rodriguez; 0102248903; CIITT; Matriz.

Edgar Segovia Amador; 0103568234; CIITT; Matriz.

Código de Proyecto: PICODS21-17

Julio de 2022

Versión 4.0

TABLA DE CONTENIDOS

DATOS GENERALES DEL PROYECTO	3
1. TÍTULO	3
2. CARRERAS INVOLUCRADAS – PROGRAMAS DE POSGRADOS	3
INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO	3
3. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DEL PROYECTO	3
4. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA	4
5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS.....	6
ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....	7
6. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES	7
CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS.....	8
7. LABORATORIO DEL CIITT(CENTRO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA) QUE SE ANCLA EL PROYECTO	8
8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL	8
9. SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL	8
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO	8
11. PROGRAMA:.....	8
12. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) QUE IMPULSA EL PROYECTO.....	8
13. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	8
FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.....	8
16. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	9
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	10
17. RESUMEN DEL PROYECTO	10
18. PALARAS CLAVES	10
19. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	10
20. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	11
21. OBJETIVOS	12
22. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
23. MARCO METODOLÓGICO	12
IMPACTO DEL PROYECTO	14
24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO.....	14
25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS	14
26. REQUIERE ALGÚN AVAL ESPECIAL, PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA O DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE U OTRO.	15
27. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA.....	15
28. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
FIRMA DE RESPONSABILIDAD.....	21
ANEXOS	22

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

1. TÍTULO
Estudio de la estructura Espacio–Temporal de redes complejas: La polinización y la dispersión de semillas fundamentales servicios ecosistémicos
2. CARRERAS INVOLUCRADAS – PROGRAMAS DE POSGRADOS
INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA DE SOFTWARE,

INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

3. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DEL PROYECTO	
Función en el proyecto	DIRECTOR DEL PROYECTO
Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión	
ORLANDO ALVAREZ; 0151483344; INGENIERÍA DE SOFTWARE; UNIDAD ACADÉMICA DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA; MATRIZ	
3.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:	
Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil	
Chaos synchronization with coexisting global fields; The European Physical Journal Special Topics; 1951-6401; 1-6; 2021; 10.1140/epjs/s11734-021-00417-1; Q1.	
Chimeras and clusters emerging from robust-chaos dynamics; Complexity; 1099-0526; 1-10; 2021; 10.1155/8503; Q1.	
Leaders and obstacles raise cultural boundaries; Chaos, Solitons & Fractals; 2590-0544; 110565; 2021; 10.1016/j.chaos.2020.110565; Q1.	
Sistemas heterogéneos de mapas caóticos acoplados globalmente; Revista Ingeniería UC; 1316-6832; 286-296; 2019; articulo.oa?id=70762652004; Q3.	
Damping and clustering into crowded environment of catalytic chemical oscillators; Physica A: Statistical Mechanics and its Applications; 3784371; 297-306; 2019; 10.1016/j.physa.2018.11.004; Q1.	
Mesoscopic model for binary fluids; Frontiers of Physics; 2296-424X; 128703; 2017;10.1007/s11467-017-0688-4; Q1.	

3.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

3.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Desarrollo de software didáctico (simulador) para la enseñanza aprendizaje del modelo físico cinemático y dinámico de la

robótica industrial; SENESCYT; N/A; 11/08/2014; 10/08/2014.

Interacciones Globales en Sistemas Complejos; CEDIA, 59.743,29; 18/08/2019; 18/11/220.

Desarrollo y aplicaciones de recursos computacionales en Sociofísica; CEDIA; 47.053,92; 01/01/2022; 31/12/2022.

Estados quiméricos en dinámica neuronal; Yachay Tech; 6.000, 00; 17/09/2021; 16/09/2022.

4. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Función en el proyecto

COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
(UCACUE)

Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

José Esteban Torracchi Carrasco; 0102001385; Odontología; Unidad de Salud y Bienestar; Matriz.

Jaime Tinto Arandes; 0151799020; Administración; Contabilidad y Auditoría; Unidad Académica de Administración; Matriz.

Vinicio Santillan Rodriguez; 0102248903; CIITT; Matriz.

Edgar Segovia Amador; 0103568234; CIITT; Matriz.

4.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

Socio-ecologic metabolism of water in Cuenca, Ecuador: water flows and metabolic rates of paid work and urban and rural homes;

PLOSONE; Aceptado; 2022.

Specialists and generalists fulfil important and complementary functional roles in ecological processes; Functional Ecology; 2021.

Direct and plant-mediated effects of climate on bird diversity in tropical mountains; Ecology and Evolution; 00; 2020; 10.1002/ece3.7014

Similar composition of functional roles in Andean seed-dispersal networks, despite high species and interaction

turnover; Ecology; 101; 7; 2020; 10.1002/ecy.3028

Direct and indirect effects of elevation, climate and vegetation structure on bird communities on a tropical mountain; Acta Oecologica; 102; 103500; 2020; 10.1016/j.actao.2019.103500

Seed - dispersal networks are more specialized in the Neotropics than in the Afrotropics; Global Ecology and Biogeography; 28; 2; 2019; 10.1111/geb.12833

Functional and phylogenetic diversity of bird assemblages are filtered by different biotic factors on tropical mountains; Journal of Biogeography; 46; 2019; 10.1111/jbi.13489

Different responses of taxonomic and functional bird diversity to forest fragmentation across an elevational gradient; Oecologia; 189; 2019; 10.1007/s00442-018-4309-x

Functional responses of avian frugivores to variation in fruit resources between natural and fragmented forests; Functional Ecology; 33; 3; 2019; 10.1111/1365-2435.13255

Direct and indirect effects of plant and frugivore diversity on structural and functional components of fruit removal by birds; Oecologia; 189; 2018; 10.1007/s00442-018-4324-y

Spatio-temporal variation in bird assemblages is associated with fluctuations in temperature and precipitation along a tropical elevational gradient; PLoS ONE; 13; 2018; 10.1371/journal.pone.0196179

Land use change has stronger effects on functional diversity than taxonomic diversity in tropical Andean hummingbirds; Ecology and Evolution; 8; 6; 2018; 10.1002/ece3.3813

Morphological trait matching shapes plant–frugivore networks across the Andes; Ecography; 41; 2018; 10.1111/ecog.03396

Elevation-dependent effects of forest fragmentation on plant-bird interaction networks in the tropical Andes; Ecography; 40; 10.1111/ecog.03247

Fighting Plants Pathogens with Cold-Active Microorganism: Biopesticide Development and Agriculture Intensification in Cold

Climates; Applied Microbiology and Biotechnology; 104; 1; 2020

Impact in Academic Performance according to the forgotten (fuzzy) effects theory; Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica; 39; 5; 2020

Habilidades Sociales y Agresividad en la infancia y adolescencia; Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica; 39; 2; 2020

¿Cómo Plantear las Variables de Investigación?: Operacionalización de las Variables; OACTIVA UC; 4; 1; 2019

Estrategia de Análisis de Datos (Parte 1): Creación de Bases de Datos para Investigaciones en Ciencias de la Salud; OACTIVA UC; 4; 2; 2019

Prevalencia de Enfermedad Periodontal, en escolares de 12 años de la Parroquia Bellavista, Cuenca. OACTIVA UC; 4; 2; 2019

Perfil Epidemiológico de las Patologías Pulpares en Pacientes que Acuden a Centros de Atención Odontológicas en la Ciudad de Cuenca; OACTIVA UC; 4; 3; 2019

Presencia de Quistes de Retención Mucosa a nivel de Senos Maxilares, Cuenca-Ecuador, 2016-2017; OACTIVA UC; 4; 3; 2019

4.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

Ventilación mecánica en recién nacidos, en: Avances, Actualizaciones y Desafíos de la medicina contemporánea; CIDE;

978-9942-759-55-9; 2017; NO

Deforestación en una región montañosa megadiversa en los Andes: dinámica del paisaje en el sur de Ecuador; ECESPA-

Asociación Española de Ecología Terrestre. 978-84-616-3448-4; 2016; SI

Vinicio Santillán; Identificación de zonas de intervención en la cuenca del Río Paute, a partir de una Evaluación Multicriterio sobre

factores: sociales, económico-productivos y ambientales; FONAPA; Instituto Ecuatoriano de Régimen Seccional (IERSE);

Universidad del Azuay; NO

4.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Efectos de los factores bióticos y abióticos en las redes de polinización en los altos Andes Macizo del Cajas; CIITT; 58200; Abril

2021; Abril 2023.

Vinicio Santillán; Proyecto Tipología de ríos; Laboratorio de Limnología; Escuela de Biología, Ecología y Gestión; Decanato

General de Investigaciones; Universidad del Azuay; Mayo 2019; Diciembre 2020

Vinicio Santillán; Proyecto RESPECT: Trait-dependent effects of biotic and abiotic filters on plant regeneration; Senckenberg

Biodiversity and Climate Research Centre, Universidad Goethe Frankfurt; Agosto 2018; Diciembre 2019

Estudio del efecto de la deforestación y de la fragmentación en bosques de montaña dentro de la cuenca del río Zamora, en la

composición y estructura de la diversidad de árboles y briófitos presentes en este tipo de vegetación; Universidad Técnica

Particular de Loja “Proyecto semilla” de la UPM y por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

(AECID) a través de los proyectos A/012436/07 y A/021000/08, proyecto MEC EXTREM CGL20; Enero 2009; Diciembre 2009

5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS

Función en el proyecto

COLABORADORES EXTERNOS

Nombre; Institución
Dr. Marcelino de la Cruz Rot, PhD. Profesor titular Universidad Rey Juan Carlos. Coordinador de la línea de investigación de conservación de recursos naturales. Madrid España. Dra. Eike Lena Neuschulz, PhD. Investigador permanente. Centro de Investigació
5.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:
Título del artículo; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil
5.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.
Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)
5.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:
Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

6. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES	
Función en el proyecto	ESTUDIANTES COLABORADORES EN EL PROYECTO
Nombre; Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o extensión; Práctica Pre profesional o Investigación Formativa.	
Felipe Ormazá; 0105565477; Ingeniería Civil; Cuenca; practicas pre-profesionales y tesis	
Lisseth Calle; 0302140918; Ingeniería Civil; Cuenca; practicas pre-profesionales y tesis	
Pablo Leta; 0107147274; Ingeniería en Software; Cuenca; investigación formativa, practicas pre-profesionales y tesis	
Santiago Portilla; 0150273670; Ingeniería en Software; Cuenca; investigación formativa, practicas pre-profesionales y tesis	
Juan Moscoso; 0106820426; Ingeniería en Software; Cuenca; investigación formativa, practicas pre-profesionales y tesis	
Italo Duy; 0107644924; Ingeniería Ambiental; Cuenca; tesis	
Santiago Sinchi, 0107204323, Ingeniería Ambiental, Cuenca, tesis	

CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS

7. LABORATORIO DEL CIITT(CENTRO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA) QUE SE ANCLA EL PROYECTO								
LABORATORIO DE ANALÍTICA DE DATOS - CIITT, LABORATORIO DE CÁLCULO COMPUTACIONAL MODELADO - CIITT, RED DE OBSERVATORIOS - CIITT,								
8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL								
Para información sobre las líneas de investigación dirigirse al enlace Líneas y Ámbitos de Investigación Institucionales ,								
Desarrollo regional y local sostenible								
9. SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL								
Desarrollo urbano y rural,								
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO								
Código del campo y de la disciplina según UNESCO en el enlace SKOS								
10.1.	Campo	24	10.2.	Disciplina	2413	10.3.	Sub disciplina	241303
11. PROGRAMA:								
(En caso de que el proyecto sea parte de un programa)								
12. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) QUE IMPULSA EL PROYECTO								
15. Vida de ecosistemas terrestres,								
13. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO								
Duración del proyecto en meses					12			
FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO								
14. Monto total del financiamiento UCACUE					\$ 20.000,00			
15. Monto total del financiamiento EXTERNO					\$ 9.600,00			

16. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

La organización, comportamiento y fenómenos emergentes de los sistemas complejos pueden ser estudiados usando redes de interacción entre todos los constituyentes. La disponibilidad de datos ha abierto la puerta a la investigación interdisciplinaria que abarca áreas ambientales, socio-económicas, ciencias básicas y tecnológicas. Esta investigación vincula la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas para el estudio de las interacciones entre plantas y animales, como la polinización y la dispersión de semillas. Conectamos los enfoques estructurales del análisis de redes con los enfoques basados en la función de especies en los ecosistemas, proponiendo un modelo para estudiar diversas interacciones socio-ambientales. El modelo describirá los procesos secuenciales que determinan las respuestas de las especies a filtros ambientales, estructura de redes ecológicas y función de las especies. Específicamente, esta propuesta pretende evaluar el efecto de la estructura de los agroecosistemas de montaña en las redes de polinización en cuatro cuencas altas del Macizo del Cajas, (dos en la vertiente oriental y dos en la occidental), Cuenca Ecuador. Integraremos el análisis de redes ecológicas a partir de evaluaciones comparativas de campo con la estructura de geomorfológica, climática y biológica de cada cuenca hidrográfica, para establecer protocolos de monitoreo a largo plazo de la comunidad planta-polinizador. Finalmente, pretendemos desarrollar un marco de modelado predictivo para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas, que además, sea base para su ampliación a estudios de redes complejas socio-económicas y de informática. El proyecto reunirá investigadores de diversas áreas del conocimiento (biología, ecología, geomática, analítica de datos), y estudiantes.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

17. RESUMEN DEL PROYECTO

La organización, comportamiento y fenómenos emergentes de los sistemas complejos pueden ser estudiados usando redes de interacción entre todos los constituyentes. La disponibilidad de datos ha abierto la puerta a la investigación interdisciplinaria que abarca áreas ambientales, socio-económicas, ciencias básicas y tecnológicas. Esta investigación vincula la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas para el estudio de las interacciones entre plantas y animales, como la polinización y la dispersión de semillas. Conectamos los enfoques estructurales del análisis de redes con los enfoques basados en la función de especies en los ecosistemas, proponiendo un modelo para estudiar diversas interacciones socio-ambientales. El modelo describirá los procesos secuenciales que determinan las respuestas de las especies a filtros ambientales, estructura de redes ecológicas y función de las especies. Específicamente, esta propuesta pretende evaluar el efecto de la estructura de los agro-ecosistemas de montaña en las redes de polinización en cuatro cuencas altas del Macizo del Cajas, (dos en la vertiente oriental y dos en la occidental), Cuenca Ecuador. Integramos el análisis de redes ecológicas a partir de evaluaciones comparativas de campo con la estructura de geomorfológica, climática y biológica de cada cuenca hidrográfica, para establecer protocolos de monitoreo a largo plazo de la comunidad planta-polinizador. Finalmente, pretendemos desarrollar un marco de modelado predictivo para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas, que además, sea base para su ampliación a estudios de redes complejas socio-económicas y de informática. El proyecto reunirá investigadores de diversas áreas del conocimiento (biología, ecología, geomática, analítica de datos), y estudiantes.

18. PALARAS CLAVES

Redes, mutualismo, modelos predictivos, vulnerabilidad, bipartitas.

19. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La gran cantidad de datos disponibles que describen la interacción de millones de componentes en sistemas como Internet o la red de interacción de proteínas son fundamentales para el estudio de sistemas complejos. Esto nos acerca a preguntas fundamentales, que impulsan el conocimiento de su organización y define sus propiedades emergentes (de Solla 1965). Las redes complejas contribuyen a una mejor comprensión de la estructura de los sistemas, reconociendo los principios organizacionales genéricos, y el orden detrás de la diversidad y la aparente aleatoriedad de los diferentes sistemas (Regan 2009). El internet, la red eléctrica, la red de proteínas o la red de sinónimos en un idioma realizan funciones bien definidas, ligadas a principios de selección que forman las estructuras fundamentales de cada sistema (Regan 2009). Formulando un flujo metabólico impulsado por enzimas, tráfico de paquetes en Internet, navegación web, flujo de corriente eléctrica, propagación del COVID19, etc. Así, la actual disponibilidad de información y la capacidad de análisis posibilitan avances en la biología molecular, informática, ecología y ciencias sociales. Facilitando el estudio de una gran cantidad de nodos e interacciones, y develando características de las redes que han permanecido en gran medida desconocidas e inexploradas (Alon 2007). Sin embargo, es fundamental una adecuada toma de datos y su validación, para identificar correctamente las condiciones del sistema y así determinar cómo su estructura afecta su dinámica y viceversa (Regan 2009).

Las redes y la teoría de grafos no son nuevas para las matemáticas, las ciencias sociales o ambientales. Por ejemplo, los ecólogos han dedicado muchos esfuerzos en cuantificar las relaciones mutualistas en sistemas naturales (Palazzi et al. 2019). Las interacciones mutualistas entre plantas y polinizadores o dispersores de semillas, influyen en la estructura, estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas (Kremen et al. 2007), y son fundamentales para medir el efecto del cambio global (Reiss et al. 2009, Díaz et al. 2013). Estas interacciones multispecíficas indican que las especies pueden ser funcionalmente aditivas o redundantes (Winfrey 2013) y diferir en su propensión a la extinción en ciertos escenarios (Suding et al. 2008). Estos enfoques son prometedores para cuantificar la variabilidad en los roles funcionales dentro de las comunidades de polinizadores o dispersores de semillas (Plein et al. 2013, Dehling et al. 2014). Sin embargo, ningún estudio ha probado explícitamente cómo los rasgos funcionales se traducen en diferentes componentes de la de polinización y dispersión de semillas (Schleuning et al. 2015).

20. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Los sistemas complejos muestran características que están fundamentalmente determinadas por su organización y fenómenos emergentes creados por todos los constituyentes que interactúan (Regan 2009). Un sistema complejo como un todo se compone de un ensamblaje de elementos genéricos y conexiones; en otras palabras, parece una red (Hens et al. 2019, Palazzi et al. 2019). El metabolismo de una célula se mantiene mediante una red bioquímica, cuyos nodos son sustratos y enlaces de reacciones químicas (Jeong et al. 2000). Redes igualmente complejas describen sociedades humanas, cuyos nodos son individuos y los enlaces representan interacciones sociales (Wasserman & Faust 1994), la World Wide Web (Albert et al. 1999, Broder et al. 2000), donde los nodos son documentos web conectados por enlaces URL, la literatura científica, cuyos nodos son publicaciones y enlaces citas (Redner 1998, 2004), o lenguaje, formado por palabras unidas por diversas relaciones sintácticas o gramaticales (Dorogovtsev & Mendes 2001, Ferrer et al. 2001, Sigman & Cecchi 2002). La reciente disponibilidad de datos a nivel de sistema sobre la red de interacciones en un gran número de sistemas ha abierto la puerta a la investigación interdisciplinaria en campos donde el comportamiento del sistema como un todo es una cuestión central (Regan 2009).

Las redes biológicas, sociales, tecnológicas y de información se pueden estudiar como gráficos, y su análisis se ha vuelto crucial para comprender las características de estos sistemas (Fortunato 2010). La revolución informática ha proporcionado una gran cantidad de datos y recursos computacionales para procesar y analizar estos datos. El tamaño de las redes que se puede manejar también ha crecido considerablemente, alcanzando millones o incluso miles de millones de vértices (Albert & Barabási 2002, Barrat et al. 2008). La necesidad de tratar con un tamaño tan grande ha producido un cambio profundo en la forma de abordar los gráficos (Mendes & Dorogovtsev 2003; Newman 2003, Boccaletti et al. 2006). Los gráficos que representan sistemas reales no son regulares, son objetos donde el orden convive con el desorden (Fortunato 2010). El grafo desordenado es el grafo aleatorio (Erdős & Rényi, 1959), y la probabilidad de tener una arista entre un par de vértices es igual para todos los pares posibles (Fortunato 2010).

Las interacciones entre especies son la columna vertebral de la biodiversidad (Bascompte & Jordano 2007) y el funcionamiento de los ecosistemas (Loreau 2010). Los ecosistemas son encarnaciones delicadamente equilibradas de comunidades de especies que interactúan (Traveset & Richardson 2014). Las funciones de los ecosistemas son procesos ecológicos que controlan los flujos de energía, nutrientes y materia orgánica a través del medio ambiente (Brown 2004). Se reconoce ampliamente que los servicios de los ecosistemas están estrechamente relacionados con la biodiversidad (Cardinale et al. 2012). Son el conjunto de beneficios que los ecosistemas brindan a la humanidad, lo que indica, que el bienestar humano se vería seriamente afectado por la variación de estos servicios ecosistémicos. Las redes de polinización y dispersión de semillas son servicios ecosistémicos de regulación y de apoyo respectivamente. Los ecosistemas tropicales albergan diversas comunidades de plantas y animales (Groombridge & Jenkins 2002, Brummitt & Lughadha 2003). Una gran proporción de plantas tropicales depende de las interacciones con los animales y viceversa; estas interacciones planta-animal proporcionan importantes contribuciones a la funcionalidad de los ecosistemas tropicales (Jordano 2000). La diversidad y estructura de estas redes de interacción planta-animal pueden variar fuertemente a través de gradientes ambientales (McGill et al. 2006).

Los estudios de polinizadores y dispersores de semillas a lo largo de gradientes ambientales registran un aumento en las funciones con una mayor riqueza de polinizadores (Kremen et al. 2002, Klein et al. 2003, Hoehn et al. 2008) y dispersores de semillas (Pejchar et al. 2008, García y Martínez 2012). Los efectos de muestreo, complementariedad e interacciones interespecíficas explican un desempeño creciente de las funciones de polinización y dispersión de semillas (Schleuning et al. 2015). La complementariedad (partición de nichos o recursos, Hooper et al. 2005) describe el mecanismo por el cual las especies adicionales son complementarias en el uso de recursos en el espacio y el tiempo. Este mecanismo explica las funciones de polinización mejoradas proporcionadas por polinizadores que difieren en la elección de plantas o el momento de la actividad de búsqueda de alimento (Hoehn et al. 2008, Fründ et al. 2013). De manera similar, los dispersores de semillas que difieren en dieta, movimiento y fenología generan una lluvia de semillas rica y espacialmente heterogénea (Jordano et al. 2007, Bueno et al. 2013, Morales et al. 2013). La competencia interespecífica por los recursos florales puede conducir a una mayor fidelidad de los polinizadores por recursos florales específicos, lo que da como resultado un mayor conjunto de semillas y una mayor producción de semillas (Brosi y Briggs 2013).

Los modelos matemáticos de redes mutualistas se pueden utilizar para simplificar la vasta complejidad del mundo real, para describir e investigar formalmente los fenómenos ecológicos y para comprender la propensión de los ecosistemas a volver a su régimen de funcionamiento después de una perturbación (Cardinale et al. 2012). El análisis de redes de interacción mutualistas (Bascompte & Jordano 2013) y los enfoques basados en rasgos funcionales (Mouillot et al. 2013) tienen el potencial de desenredar los efectos a nivel de comunidad, proporcionando una herramienta poderosa para dilucidar las funciones de los ecosistemas desde una perspectiva comunitaria. Las redes de interacción se basan en la frecuencia de eventos de interacción entre pares de especies y permiten la cuantificación de las características a nivel de comunidad (Bascompte & Jordano 2013). Los enfoques basados en rasgos

funcionales consideran los rasgos de las especies (morfológicos, fisiológicos, fenológicos) relevantes para la función del ecosistema (Dehling & Stouffer 2018), lo que nos permite detectar respuestas flexibles de las especies a la variación en el conjunto de rasgos de sus socios en las red (Quitián et al.2019). La combinación de los rasgos funcionales con modelos predictivos y con los factores ambientales brinda una herramienta poderosa para explorar un espacio de parámetros hipotéticos más amplio, y realizar predicciones para resultados futuros basados en las tendencias actuales.

21. OBJETIVOS

Determinar la estructura Espacio–Temporal de redes mutualistas bipartitas de polinización y la dispersión de semillas.

22. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer los patrones a micro, meso y macro escala de las redes de polinización y dispersión de semillas.
2. Evaluar el flujo de información y el estado máximo de compresión de las redes de polinización y dispersión de semillas.
3. Establecer un grupo de investigación (profesores, investigadores, tesis y pasantías de licenciatura) para el desarrollo de estudios de redes complejas, en las áreas ambientales, socio-económicas y de informática.

23. MARCO METODOLÓGICO

Red mutualista bipartita Planta-Frugívoro

El muestreo de red planta-frugívoro se estableció dentro y alrededor del Parque Nacional Podocarpus en la Cordillera Oriental Sur de los Andes entre Loja y Zamora, Ecuador. Muestreamos entre 2014 y 2015 redes de plantas y frugívoros en seis sitios de estudio que cubren tres elevaciones (1000, 2000, 3000 msnm) y dos tipos de hábitat (bosque continuo versus bosque fragmentado para ganadería). Se registró 5467 eventos de interacción planta-frugívoro entre 131 especies de aves y 114 especies de plantas. Se registraron 4010 interacciones a 1000 msnm, 1297 interacciones a 2000 msnm y 160 interacciones a 3000 msnm. Las curvas de acumulación mostraron que el número de especies de plantas y frugívoros que interactuaron fueron registradas con suficiencia, presentando una tendencia de saturación en todos los sitios (Quitián et al. 2018).

Red mutualista bipartita Planta-Polinizador

La red planta-polinizador se estableció dentro y alrededor del Parque Nacional Cajas en cuatro cuencas hídricas altas de la Reserva de Biosfera UNESCO-MAB (Norcay y Angas drenan al Pacífico, y Yanuncay y Tomebamba al Amazonas), a tres elevaciones (3000, 3500, 4000 msnm), cantón Cuenca, Ecuador. Se instalaron 12 transectos de 1km, donde se muestreó tres veces al año para cubrir la estacionalidad climática. Adicionalmente, en cada transecto instalamos tres sets de trampas de insectos, para determinar la estructura y composición de las comunidades de insectos. Las interacciones planta-polinizador se cuantifica registrando la frecuencia de las visitas, y el efecto de especies invasoras. Se colectan los insectos y las muestras de plantas flores para identificar las especies y documentar los rasgos fenotípicos. Esta propuesta pretende financiar un segundo año de toma de datos de campo, replicando la metodología antes explicada, lo que nos permitirá incorporar muestras y datos necesarios para conseguir una muestra mayor y controlar la variación estacional.

El primer año se registró más de 2500 eventos de interacción planta-polinizador entre más de 300 especies de insectos y más de 100 especies de plantas. Se han realizado más de 750 horas de muestreo, 25 horas semanales, 5 horas diarias. Se han registrado al rededor de 27 especies de abejas identificadas morfológicamente, las cuales serán preparadas para su identificación molecular. Adicionalmente, tenemos más 2500 horas/trampa, más de 3000 individuos colectados de insectos por determinar.

Análisis estadísticos

Las redes se pueden analizar utilizando una variedad de índices ecológicos que permiten la caracterización de la comunidad a nivel global y de especies (Dormann et al. 2009), permitiéndonos reconciliar procesos que ocurren en diferentes niveles de organización biológica (Loeuille & Loreau 2005). El uso de un enfoque de red permitirá el cálculo de la frecuencia planta-polinizador y planta-frugívoro, y el grado de especialización fenotípica de cada especie, permitiéndonos evaluar los efectos de las gradientes climáticas (Quitán et al. 2019), y la identificación de especies vulnerables. Se utilizarán estos datos para parametrizar los modelos matemáticos, combinando enfoques para investigar escenarios ecológicos hipotéticos (Cronin et al. 2016). La incorporación de factores bióticos y abióticos nos permitirá generalizar los hallazgos a una escala más amplia y anticipar los efectos de perturbaciones.

Micro escala: Topología

Las especies están representadas por nodos y las interacciones interespecíficas por enlaces. Presentamos un modelo a nivel de especie como tradicionalmente se utilizan en las redes ecológicas (Pimm, 2002). Además, introducimos información de la frecuencia ponderada de interacción, la pertenencia taxonómica y los rasgos altamente relacionados. Usamos predicciones analíticas, simulaciones numéricas y análisis de datos reales para explorar la relación entre los procesos ecológicos que conducen a una dada proporción de interacciones (Barabási y Albert, 1999, Guimarães et al. 2007).

Meso Escala: Módulos

La modularidad (comunidades, compartimentos, módulos, clústeres, Barber 2007, Leicht & Newman 2008), un patrón de mesoescala (Newman 2006), considera la organización de las especies como un conjunto de subgrupos cohesivos, donde las especies dentro del grupo interactúan entre ellas con mayor frecuencia que con las especies pertenecientes a otros grupos. Usamos grafos para describir la dinámica a través de los enlaces y nodos en redes dirigidas y ponderadas que representan las interacciones locales entre las subunidades del sistema. Estas interacciones locales inducen un flujo de información en todo el sistema que caracteriza el comportamiento del sistema completo (Eriksen et al. 2003, Newman & Girvan 2004). Por lo tanto, identificamos los módulos que componen la red generando una descripción detallada y eficiente del flujo de información en la red (Rosvall & Bergstrom 2007).

Macro Escala: Anidamiento

La existencia de organizaciones anidadas en redes ha sido debatida en diferentes contextos (Olsen et al. 2007, Fortuna et al. 2010). Para detectar compartimentos anidados primero optimizaremos la modularidad y calcularemos el nivel de anidamiento exclusivamente para los nodos dentro de las comunidades detectadas. Aunque los módulos detectados a menudo reúnen nodos con grado de heterogeneidad (Karrer & Newman 2011), se requiere una función de aptitud especializada. Por lo tanto, la detección de anidamiento en bloque es un problema computacional difícil donde el uso de algoritmos heurísticos será obligatorio (Palazzi et al. 2019).

Estas técnicas están siendo probadas en las redes planta-frugívoro y con los datos del primer año de las redes planta-polinizador. Lejos de ser un mero ejercicio teórico, la idea es comprender los límites que discriminan la arquitectura de las redes complejas, que ejercen fuertes efectos dinámicos en los procesos, como la abundancia de especies y la estabilidad en la ecología.

IMPACTO DEL PROYECTO

24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

Los beneficios inmediatos serán la elucidación de la estructura de la red de polinización de cuatro cuencas altas del Macizo del Cajas, lo que nos permitirá inferir los impactos de la variación del hábitat y especies invasoras. Proporcionando un recurso para la gestión de esta área de Patrimonio Mundial. Nuestra perspectiva de red de interacción generará conocimiento sobre el sistema de polinización, y ayudará a identificar plantas con flores y sus polinizadores sensibles a la variación ambiental a través del análisis de sus rasgos funcionales. Por lo tanto, este proyecto no solo empleará técnicas novedosas para evaluar el impacto de la pérdida de hábitat y las especies invasoras en las comunidades de plantas con flores y polinizadores, sino también buscará sensibilizar a sobre el problema global de la disminución de los polinizadores.

A mediano plazo, los resultados contribuirán a comprender la complejidad de los ecosistemas de montaña. Estos ecosistemas son particularmente vulnerables a diferentes impulsores del cambio global, y una comprensión más profunda de la estructura y función de sus interacciones ecológicas ayudará a predecir su resiliencia y gestionar su conservación. Los resultados serán de interés para los campos de la ecología de comunidades, la biología de la polinización, diversidad funcional, servicios ecosistémicos, agricultura y agroecología, estudios socio-ambientales y la conservación. Por lo tanto, ampliar nuestra comprensión del efecto de la biodiversidad y sus rasgos funcionales en las interacciones de múltiples especies nos permitirá desarrollar una teoría de red estructural para evaluar las consecuencias del cambio global en el funcionamiento de los ecosistemas de montaña.

Los beneficios a largo plazo incluyen el establecimiento de protocolos metodológicos para el análisis de redes que se pueden ampliar a varias disciplinas de la ciencia, y la formación de un equipo de investigación multidisciplinario. Las interacciones del equipo con otros grupos de investigadores proporcionarán las bases para futuras solicitudes de subvenciones para financiar la expansión del programa.

Finalmente, para monitorear y evaluar el progreso del proyecto, hemos establecido hitos que darán una señal de avance. Capacitaremos a estudiantes en ecología, geomática, redes complejas y estadística. Formalizaremos las relaciones con varios grupos de investigación, para colaborar y desarrollar una comprensión más amplia de los sistemas complejos desde una visión holística que incluye investigadores de áreas ambientales, socio-económicas y tecnológicas. Estos vínculos de cooperación con institutos, universidades y otros organismos permitirán el progreso profesional de los estudiantes comprometidos con nuestro proyecto, mediante pasantías y posgrados.

25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de redes ecológicas representa a las comunidades biológicas como matrices matemáticas que describen los vínculos e interacciones entre las especies, proporcionando un medio para evaluar las interacciones en toda la comunidad y superando las limitaciones de los análisis tradicionales basados en especies específicas, que carecen de la capacidad de abordar la interdependencia entre especies. Produciremos varios entregables para una amplia audiencia, de profesionales científicos hasta gobiernos locales y grupos comunitarios, incluidos artículos en revistas científicas, conferencias, artículos de medios populares y publicaciones locales. Las conferencias y publicaciones en revistas serán indicativas de nuestro impacto de investigación científica (citas, descargas, lecturas), lo que permitirá monitorear el impacto en la comunidad a corto, mediano y largo plazo.

Objetivo 1. Establecer los patrones a micro, meso y macro escala de las redes de polinización y dispersión de semillas.

Hito: Construir matrices de interacción para evaluar las interacciones mutualistas. Información se enviará a repositorios de

acceso abierto, como el Fondo de Información sobre Biodiversidad Global (GBIF).

Entregable: Matrices, bases de datos y estudiantes capacitados.

Objetivo 2. Evaluar el flujo de información y el estado máximo de compresión de las redes de polinización y dispersión de semillas.

Hito: Construir índices específicos a nivel de red y especie. Identificación de interrupciones de la red (especies pérdidas o rangos de rasgos fenotípicos especializados).

Entregable: Desarrollo de este enfoque metodológico y ramificaciones ecológicas, estudiantes capacitados.

Objetivo 3. Establecer un grupo de investigación (profesores, investigadores, tesis y pasantes de licenciatura) para el desarrollo de estudios de redes complejas, en las áreas ambientales, socio-económicas y de informática.

Hito: Establecer protocolos claros para un programa de investigación y seguimiento a largo plazo..

Entregable: Matrices, bases de datos y estudiantes capacitados. Presentación en congresos nacionales e internacionales y publicación en revistas especializadas.

26. REQUIERE ALGÚN AVAL ESPECIAL, PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA O DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE U OTRO.

SI

Justificación: Necesitamos coleccionar insectos y muestras de plantas para su clasificación taxonómica.

27. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA

Nuestro proyecto combina el estudio de redes ecológicas en ecosistemas andinos y el modelado matemático. El equipo multidisciplinario de estudiantes e investigadores científicos presenta habilidades colectivas complementarias. Por lo tanto, el amplio conjunto de habilidades complementarias de nuestro equipo de investigación permite que este proyecto sea viable, asegurando que los hallazgos se difundirán ampliamente y de manera oportuna al público en general y la comunidad científica. La amplia experiencia del equipo en biología, ecología, sistemas complejos, cálculo computacional, análisis de datos y estadística nos permitirá manejar y tratar los datos y muestras obtenidas de manera eficiente y ética, aprovechando al máximo los datos de campo y laboratorio. Por lo tanto, la experiencia colectiva de nuestro equipo garantizará la consecución de los objetivos de la investigación, y la amplia difusión de los resultados. Adicionalmente, esta investigación cuenta con el permiso de investigación y colección de muestras biológicas del MAE, el permiso de investigación del Parque Nacional Cajas y los permisos de comunidades y propietarios; y las muestras botánicas están depositadas en el Herbario Azuay, mientras que las muestras de insectos están depositadas provisionalmente en el laboratorio de macroinvertebrados del CIIT.

28. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albert R, Jeong H, Barabási A-L. 1999. Diameter of the World-Wide Web. *Nature* 401:130–131.

Albert R, Barabási A-L. 2000. Topology of evolving networks: local events and universality. *Phys Rev Lett* 85:5234.

Alon U. 2007. Network motifs: theory and experimental approaches. *Nat Rev Genet* 8:450–461.

Bascompte, J. et al. 2003. The nested assembly of plant animal mutualistic networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 100, 9383–9387.

Bascompte, J. and Jordano, P. 2007. Plant–animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 38: 567–593.

Bascompte, J. and Jordano, P. 2013. *Mutualistic networks. Monographs in population biology.* – Princeton Univ. Press.

Barabasi, A.-L. & R. Albert, 1999, *Science* 286, 509.

Barber, M. J. 2007. Modularity and community detection in bipartite networks. *Phys. Rev. E* 76(6), 066102.

Barrat A, Barthélemy M, Pastor-Satorras R, Vespignani A. 2008. The architecture of complex weighted networks. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:3747–3752.

Blondel, V. D., J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, 2008, *J. Stat. Mech.* P10008.

Bueno, R. S. et al. 2013. Functional redundancy and complementarities of seed dispersal by the last Neotropical megafrugivores. *PLoS One* 8: e56252

Broder A, Kumar R, Maghoul F, Raghavan P, Rajalopagan S, Stata R, Tomkins A, Wiener J. 2000. Graph structure in the web. *Comput Netw* 33:309–320.

Brosi, B. J. and Briggs, H. M. 2013. Single pollinator species losses reduce floral fidelity and plant reproductive function. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 110: 13044–13048.

Brummitt, N. & Lughadha, E.N. 2003. Biodiversity: where’s hot and where’s not. *Conservation Biology*, 17, 1442 – 1448.

Cardinale BJ et al. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. 486: 59–67.

Cronin AL et al. 2016. Strategies of offspring investment and dispersal in a spatially structured environment: a theoretical study using ants. *BMC Ecol.* 16: 1–14.

de Solla Price DJ. 1976. A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes. *J Am Soc Inform Sci* 27:292–306.

Dehling, D. M. et al. 2014. Functional relationships beyond species richness patterns: trait matching in plant–bird mutualisms across scales. – *Global Ecol. Biogeogr.* 23: 1085–1093.

Dehling, D. M., & Stouffer, D. B. 2018. Bringing the Eltonian niche into functional diversity. *Oikos*, 127, 1711–1723.

Díaz S et al. 2013. Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecol. Evol.* 3: 2958–2975.

- Dormann CF et al. 2009. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *Open Ecol. J.* 2: 7–24.
- Dorogovtsev SN, Mendes JFF. 2001. Language as an evolving word web. *Proc R Soc London B* 268:2603–2606.
- Erdős P, Rényi A. 1959. On random graphs I. *Publ Math (Debrecen)* 6:290–297.
- Eriksen KA, Simonsen I, Maslov S, Sneppen K. 2003. Modularity and extreme edges of the Internet. *Phys. Rev. Lett.* 90, 148701.
- Ferrer i Cancho R, Solé RV. 2001. The small-world of human language. *Proc R Soc London B* 268:2261–2266.
- Fortunato, S. 2010. Community Detection in Graphs, *Physics Reports* (486:3-5), pp. 75-174.
- Fründ, J. et al. 2013. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. – *Ecology* 94: 2042 – 2054.
- García, D. & Martínez, D. 2012. Species richness matters for the quality of ecosystem services: a test using seed dispersal by frugivorous birds. – *Proc. R. Soc. B* 279: 3106–3113.
- Guimaraes, et al. 2007. Análisis documental de contenido de textos narrativos: bases epistemológicas y perspectivas metodológicas. In: Francisco Javier García Marco (Org.). *Avances y perspectivas en sistemas de información y documentación en entorno digital*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, p. 93-100.
- Groombridge, B., & M. Jenkins. 2002. *World atlas of biodiversity: earth's living resources in the 21st century*. University of California Press, Berkeley, California.
- Hens et al. 2019. Spatiotemporal signal propagation in complex networks. *Nature Physics* 15: 403–412
- Hoehn, P. et al. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. – *Proc. R. Soc. B* 275: 2283–2291.
- Hoehn, P. et al. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. – *Proc. R. Soc. B* 275: 2283–2291.
- Hooper, D. U. et al. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.* 75: 3 – 35.
- Jeong, H., Tombor, B., Albert, R., Oltvai, Z. N. & Barabási, A.-L. 2000. The large-scale organization of metabolic networks. *Nature* 407, 651–654.
- Jordano P. 2000. Fruits and frugivory. In *Seeds: The Ecology of Regeneration in Natural Plant Communities*, ed. M Fenner, pp. 125–66. Wallingford, UK: Commonwealth Agric. Bur. Intl.

- Jordano, P. et al. 2007. Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. – Proc. Natl Acad. Sci. USA 104: 3278 – 3282.
- Karrer B, Newman ME. 2011 Stochastic blockmodels and community structure in networks. Phys. Rev. E 83, 016107.
- Klein, A.-M. et al. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. – Proc. R. Soc. B 270: 955–961.
- Kremen, C. et al. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. – Proc. Natl Acad. Sci. USA 99: 16812 – 16816.
- Leicht, E. A., & M. E. J. Newman, 2008, Phys. Rev. Lett. 100(11), 118703.
- Loeuille N & Loreau M. 2005. Evolutionary emergence of size-structured food webs. PNAS 102: 5761–5766.
- Loreau, M. 2010. Linking biodiversity and ecosystems: towards a unifying ecological theory. – Phil. Trans. R. Soc. B 365: 49–60.
- Mariani MS, Ren ZM, Bascompte J, Tessone CJ. 2019. Nestedness in complex networks: observation, emergence, and implications. Phys. Rep. 813, 1–90.
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. Trends in Ecology & Evolution 21, 178–185.
- Morales, J. M. et al. 2013. Frugivore behavioural details matter for seed dispersal: a multi-species model for Cantabrian thrushes and trees. PLoS One 8: e65216.
- Mouillot, D., et al. 2013. A functional approach reveals community responses to disturbances. Trends Ecol. Evol. 28, 167-177
- Newman MEJ. 2003. Mixing patterns in networks. Phys Rev E 67:026126.
- Newman ME, Girvan M. 2004 Finding and evaluating community structure in networks. Phys. Rev. E 69, 026113.
- Newman ME. 2006 Modularity and community structure in networks. Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 8577–8582.
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y. L. & Jordano, P. 2007. The modularity of pollination networks. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104, 19891–19896.

Palazzi M, Borge-Holthoefer J, Tessone C, Solé-Ribalta A. Macro-and mesoscale pattern interdependencies in complex networks. *Journal of the Royal Society Interface* 2019; 16(159): 20190553.

Pejchar, L. et al. 2008. Birds as agents of seed dispersal in a human-dominated landscape in southern Costa Rica. – *Biol. Conserv.* 141: 536 – 544.

Plein, M. et al. 2013. Constant properties of plant–frugivore networks despite fluctuations in fruit and bird communities in space and time. – *Ecology* 94: 1296–1306.

Quitán M et al. 2018. Elevation-dependent effects of forest fragmentation on plant-bird interaction networks in the tropical Andes. *Ecography* 41: 1497–1506.

Quitán, M., Santillán, V., Espinosa, C. I., Homeier, J., Böhning-Gaese, K., Schleuning, M., & Neuschulz, E. L. 2019. Direct and indirect effects of plant and frugivore diversity on structural and functional components of fruit removal by birds. *Oecologia*, 189, 435–445.

Ramos-Jiliberto, R., Valdovinos, F. S., Moisset de Espanes, P. & Flores, J. D. (2012). Topological plasticity increases robustness of mutualistic networks. *Journal of Animal Ecology* 81, 896–90

Redner S. 1998. How popular is your paper? An empirical study of the citation distribution. *Euro Phys J B* 4:131–135.

Redner S. 2004. Citation statistics from more than a century of *Physical Review*. arXiv:physics/0407137v2.

Regan, M. A., Richardson, J. H., 2009. Planning and implementing field operational tests of intelligent transport systems: a checklist derived from the EC FESTA project. *Intelligent Transport Systems, IET*, 3(2), pp. 168-184.

Reiss, H., G. Hoarau, M. Dickey-Collas, and W. J. Wolff. 2009. Genetic population structure of marine fish: mismatch between biological and fisheries management units. *Fish and Fisheries* 10:361–395.

Rosvall, M., and C. T. Bergstrom, 2007, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104, 7327.

Schleuning, M., et al. 2015. Predicting ecosystem functions from biodiversity and mutualistic networks: an extension of trait-based concepts to plant–animal interactions. *Ecography*, 38: 380–392.

Sigman M, Cecchi GA. 2002. Global organization of the Word-net lexicon. *Proc Natl Acad Sci USA* 99(3):1742–1747.

Suding, K. N. et al. 2008. Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Glob. Change Biol.* 14, 1125–1140.

Traveset A, Richardson DM. 2014. Mutualistic interactions and biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 45: 89–113.

Wasserman S, Faust K. 1994. Social Network Analysis. Cambridge University Press, Cambridge

Winfree, R. 2013. Global change, biodiversity, and ecosystem services: What can we learn from studies of pollination? Basic Appl. Ecol. 14, 453-460.

FIRMA DE RESPONSABILIDAD



**DIRECTOR DEL PROYECTO: PICODS21-17
ORLANDO ALVAREZ; 0151483344; INGENIERÍA
DE SOFTWARE; UNIDAD ACADÉMICA DE
INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN, E INNOVACIÓN
TECNOLÓGICA; MATRIZ**



**Ing. Javier Cabrera Mejía, PhD.
JEFE DE INVESTIGACIÓN E
INNOVACIÓN**

ANEXOS

Planilla de anexos del Proyecto

```
[{"title":"","comment":"","size":"178.217","name":"Anexos_redes.xlsx","filename":"fu_6nce9fciwr237vc","ext":"xlsx"}]
```

Número de Archivos: **1**

Documento de contraparte firmado (Solo en caso de financiamiento externo)

```
[{"title":"Bio-Bridge","comment":"Financiamiento externo en proceso","size":"182.044","name":"Bio-Bridge.pdf","filename":"fu_t67aqfkxp7d2jd","ext":"pdf"}]
```

Número de archivos: **1**

Documentación adicional

```
[{"title":"Grupo de Investigaci\u00f3n","comment":"Activo","size":"247.992","name":"UC-20210518-OficioAcreditacionCOD%20GI-EyBI.pdf","filename":"fu_267bmhu4fzxkesg","ext":"pdf"}]
```

Número de archivos: **1**

Fecha de la versión generada: 2022-05-18 18:09:56