

TRABAJO FIN DE GRADO. GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS
POBLACIONES DE AGAVES INVASORAS EN LA
LLANURA COSTERA EÓLICA DEL PARQUE
NATURAL DE CABO DE GATA-NÍJAR

MARÍA TRINIDAD TORRES GARCÍA



TUTORES: María Jacoba Salinas Bonillo y Javier Cabello Piñar

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES

CURSO 2012/2013

Análisis de los patrones de distribución espacial de las poblaciones de agaves invasoras en la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar

Resumen:

A finales de los años 50, dos especies de *Agave*, el sisal (*A. sisalana*) y el henequén (*A. fourcroydes*) fueron introducidas en el ecosistema de la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar para su uso textil. El patrón uniforme inicial del cultivo ha derivado en un visible patrón agregado a través de un proceso de invasión biológica, que ha mostrado especial intensidad sobre los sustratos arenosos próximos al litoral. Creemos que este patrón puede estar regido por el crecimiento clonal de las especies y la interacción entre ellas y con respecto a *Ziziphus lotus*, una especie que domina un hábitat prioritario propio de este ecosistema. Mediante el análisis estadístico del patrón espacial de agaves analizamos la el proceso de densificación de las poblaciones de estas especies y su relación con las interacciones interespecíficas más relevantes del nuevo ecosistema que se ha formando.

Indice

1. Antecedentes bibliográficos.
 - 1.1. Las invasiones biológicas: un nuevo reto para la gestión.
 - 1.2. Sisal y henequén: dos especies exóticas naturalizadas en la llanura litoral del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar.
 - 1.3. Acciones de gestión desarrolladas para el control de sisal y henequén.
2. Objetivos e hipótesis de trabajo.
3. Material y Métodos.
 - 3.1. Área de estudio.
 - 3.2. Características y estructura del ecosistema nativo de la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar.
 - 3.3. Características de las especies invasoras.
 - 3.4. Evaluación de los cambios en la estructura del ecosistema nativo.
 - 3.5. Análisis de los patrones espaciales de las poblaciones de sisal y henequén.
 - 3.5.1. Métodos de análisis: la función K de Ripley y la función L(r).
 - 3.5.2. Determinación del tamaño del agregado: función de correlación par (g(r))
 - 3.6. Parcela de muestreo y caracterización de la cohortes de edad de sisal y henequén
4. Resultados.
 - 4.1. Cambios en la estructura de la comunidad y densidad de las poblaciones de sisal y henequén.
 - 4.2. Niveles y patrones de agregación de las poblaciones de sisal y henequén.
5. Discusión.
 - 5.1. Impacto de la densificación de las poblaciones de agave sobre la estructura de la comunidad del ecosistema nativo.
 - 5.2. Patrones espaciales de sisal y henequén.
 - 5.3. Interacción de las dos especies de *Agave*.
 - 5.4. Interacción de las especies de *Agave* con *Z. lotus*.
6. Conclusiones.
7. Anexos
 - Anexo I. Patrones espaciales de *Agave fourcroydes*.
 - a. Patrón espacial del conjunto de la población.
 - b. Patrón espacial de las cohortes de *A. fourcroydes*.
 - Anexo II. Patrones espaciales de *Agave sisalana*.
 - a. Patrón espacial del conjunto de la población.
 - b. Patrón espacial de las cohortes de *A. sisalana*.
 - Anexo III. Interacción de las dos especies de *Agave* entre sí.
 - a. Todos los individuos.
 - b. Por cohortes.
 - Anexo IV. Interacción de las dos especies de *Agave* con *Ziziphus lotus*.
 - a. Interacción del conjunto de *A. fourcroydes* con *Z. lotus*.
 - b. Interacción de las cohortes de *A. fourcroydes* con *Z. lotus*.
 - c. Interacción del conjunto de *A. sisalana* con *Z. lotus*.
 - d. Interacción de las cohortes de *A. sisalana* con *Z. lotus*.
8. Bibliografía.

1. Antecedentes bibliográficos

1.1. Las invasiones biológicas: un nuevo reto para la gestión

Las invasiones biológicas (de plantas, animales, hongos o microorganismos) son uno de los impulsores directos de cambio global, causando graves impactos en la composición y funcionamiento de los ecosistemas, así como importantes pérdidas económicas y problemas en salud humana. Se definen como el proceso de introducción, establecimiento y expansión de especies exóticas, es decir, que proceden de áreas geográficas distintas (Vilà *et al.*, 2008). Se denominan especies invasoras a aquellas especies exóticas naturalizadas en un área que se expanden rápidamente lejos del foco de introducción (Vilà *et al.*, 2008). No todas las especies exóticas introducidas se comportan como invasoras, sino que se observan una serie de atributos comunes en estas (Tabla 1, para especies vegetales), que actúan en combinación con otros factores del hábitat, cuya interacción desencadenará o no la invasión (Sanz *et al.*, 2004). La UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2000) señala que las invasiones biológicas junto con la destrucción del hábitat son, actualmente, los factores más influyentes en la extinción de especies a nivel mundial. Incluso, se cree que la interacción de los efectos debidos al aumento de las concentraciones de CO₂ atmosférico, temperaturas más cálidas, mayor deposición de nitrógeno, alteración de los regímenes de perturbación e incremento de la fragmentación de hábitats podrían facilitar futuras invasiones (Vilà *et al.*, 2006).

Históricamente, el proceso de dispersión de las especies ha estado ligado al desarrollo de las sociedades humanas. Uno de los principales acontecimientos que provocaron el aumento de las invasiones biológicas tuvo lugar en 1492, con el descubrimiento de América y el incremento de los viajes trasatlánticos. En los últimos 200 años también se ha observado otro gran impulso en las invasiones promovido por la mejora técnica del transporte, el aumento de la rapidez y frecuencia de los viajes, la ampliación de las rutas, el incremento del volumen de mercancías transportadas y del turismo (DAISIE, 2009).

Ningún ecosistema está exento del peligro de sufrir una invasión (Zilletti y Capdevila, 2012). La entrada de una invasora en un ellos puede provocar cambios sustanciales en su composición específica, lo que podría generar alteraciones de las redes tróficas y mutualistas, de la dinámica hidrológica y de la distribución de nutrientes. En raros casos, sobre todo cuando la invasora es altamente competitiva, los impactos son tan graves que provocan la extinción de toda la comunidad (Lockwood *et al.*, 2007). Lo más frecuente es que sólo algunas especies se vean afectadas por la invasión, disminuyendo en número de individuos, al verse alterada su eficacia por el impacto directo o indirecto que genere la invasora (Davis, 2009). El impacto causado por las invasoras no solo afecta al medio natural sino que puede tener consecuencias sobre la economía, la sociedad y la salud humana (Andreu y Vilà, 2007) (Tabla 2).

Como ejemplo de impacto económico se puede citar el caso del picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*), plaga que fue detectada por primera vez en palmeras de la península Ibérica (Almuñecar, Granada) en 1994 (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web>). En Canarias se encontraron en 2005 en palmeras alóctonas y autóctonas (*Phoenix canariensis*). Esto ha hecho disminuir significativamente la exportación de palmeras españolas (Samarín, 2008). También, la introducción de especies de mosquitos en nuevas regiones puede afectar a la salud humana,

como ocurre con el mosquito tigre (*Aedes albopictus*). En 2007 se estableció en el sur de Europa donde numerosas personas se vieron infectadas por una enfermedad viral de origen tropical (Davis, 2009). Y finalmente, toda una sociedad puede verse alterada por la introducción de una nueva especie, como ocurre en el lago Victoria. La perca del Nilo (*Lates niloticus*) fue introducida en la década de los 50 en este gran ecosistema acuático, el lago más grande de África y perteneciente a tres países (Kenia, Uganda y Tanzania). Como se muestra en el documental “La pesadilla de Darwin” (Sauper, 2004), la mayor parte de la población limítrofe subsistía de la pesca tradicional en el lago pero la introducción de la perca supuso la creación de industrias monopolistas pesqueras explotadas, en su mayoría, por empresas extranjeras. Esta industria ha creado un gueto de la zona trayendo prostitución, delincuencia, drogas, enfermedades y, en general, pobreza alrededor del Lago Victoria.

Tabla 1. Atributos comunes habitualmente presentes en las plantas invasoras (Sanz et al., 2004).

Atributos de las plantas autóctonas invasoras	
1.	Mecanismos de dispersión de diásporas
2.	Estrategias reproductivas alternativas (combinación reproducción sexual y asexual)
3.	Producción de sustancias con efectos alelopáticos sobre la flora acompañante
4.	Semillas longevas, con capacidad para formar bancos persistentes en el suelo
5.	Alta valencia ecológica, con capacidad para habitar en un amplio rango de condiciones ambientales
6.	Rutas metabólicas alternativas (C4, CAM) en el caso de invasiones de zonas áridas
7.	Rápido crecimiento
8.	Escasez de enemigos naturales
9.	Capacidad de sobrevivir ante condiciones adversas
10.	Afinidades climáticas entre la zona de origen de la especie y la región invadida
11.	Bajo contenido de ADN nuclear. Asociado con la capacidad invasora en espacios bióticos vacíos (Rejmanek, 1995).

Tabla 2. Consecuencias de las invasiones (Zillett y Capdevila, 2012).

Consecuencias ecológicas	
Impacto sobre los individuos	Alteraciones de los patrones comportamentales Reducción de la tasa de reproducción
Impacto genético	Alteración del flujo genético Hibridación, etc.
Impacto sobre la dinámica de poblaciones	Cambios en la abundancia, estimación y distribución Extinciones
Impacto sobre las comunidades	Reducción de la biodiversidad Alteración de las estructuras de las comunidades
Impacto sobre los ecosistemas	Creación de un régimen de perturbación Cambios del medio físico
Consecuencias económicas	
Directas	Pérdida económica (agricultura, servicios, etc.) Costes comerciales
Indirectas	Costes de planes de control Pérdida de valores naturales
Consecuencias sanitarias	
Transmisión de enfermedades y parásitos para la fauna, flora y para los humanos.	

Erradicar especies invasoras y restaurar comunidades invadidas suele fracasar, sobre todo en ambientes áridos, y actuar a la escala adecuada para conseguir resultados a menudo es demasiado costoso (Davies y Johnson, 2011). Según la Estrategia Europea sobre Especies Invasoras (UE, 2008), el coste estimado de los daños provocados y de las medidas de control necesarias asciende, como mínimo, a 12.000 millones de Euros al año. Por ello, la

gestión de las especies invasoras supone un nuevo reto a la hora de vislumbrar el futuro comportamiento de los ecosistemas ligados a la actividad humana.

1.2. Sisal y henequén: dos especies exóticas naturalizadas en la llanura eólica costera del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar

Como recoge la prensa de la época, entre 1956 y 1958 se plantaron en Almería individuos de sisal (*Agave sisalana* Perr.) y henequén (*Agave fourcroydes* Lem.)(Fig. 1) con el fin de poner en valor las tierras más improductivas y así obtener fibras de estas especies (ABC, 4-4-1956 y 19-7-1956). En Almería, y al margen del SEMZASE (Servicio de Explotación y Mejora de Zonas Áridas del Sudeste Español), existía el Servicio de Fibras Duras que dependía de la Jefatura Agronómica y que sembró casi 3 millones de plantas de henequén en 1280 hectáreas en el hoy Parque Natural Cabo de Gata-Níjar y en las inmediaciones de El Toyo (Navarro, 2005). Estos cultivos no tuvieron el éxito esperado y fueron abandonados. Es en este momento cuando los agaves dejan de estar controlados por el hombre y comienza a verse su comportamiento invasor.

La explotación de estas especies se remonta a la época prehispánica cuando los mayas los domesticaron para la extracción de fibras. Mientras que el henequén es originario del Yucatán (México) y tiene como ancestro a *A. angustifolia*, el sisal proviene de Chiapas (México) y es el resultado de la hibridación de *A. angustifolia* y *A. kewensis* (Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, 2011).

Los mayores cultivos de *A. fourcroydes* para la obtención de fibras se desarrollaron durante el siglo XIX en Kanasín (Yucatán), desde donde se exportaban a Norteamérica (Osborne y Singh, 1980). El estado de Kansas fue uno de los mayores productores de cereal entre finales del siglo XIX y principios del XX y, por tanto, necesitaba una gran cantidad de cordaje para su empaquetado que procedía de las plantaciones mejicanas de agaves (Evans, 2001). Otros países como Nueva Zelanda o Tanzania también exportaban fibras de henequén a Estados Unidos, aunque con mayores costes, lo que muestra la expansión global de este tipo de cultivo a principios del siglo pasado (Evans, 2001). Actualmente se cultiva en duros suelos calcáreos del norte de Yucatán y en Cuba (González *et al.*, 2003). El sisal también ha sido cultivado en otras partes del mundo como África y Brasil, incluso con mayor intensidad que en el propio México (Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, 2011). En 1893, 62 individuos fueron introducidos en Tanzania procedentes de Florida siendo el origen de la industria del sisal en el Este de África (Hartemink, 1995).

Las agaves fueron introducidas en España en el siglo XVI procedentes de Centroamérica (Vilà, 2008). Se utilizaban en la industria textil para la obtención de fibras, aunque su principal uso en España ha sido el ornamental (Vilà, 2008). Aunque no están incluidas en la lista de especies invasoras de Andalucía (Dana *et al.*, 2005), muchos expertos las valoran como tales (Andreu y Vilà, 2007; Badano y Pugnaire, 2004; Guillot *et al.*, 2008). En estudios realizados en México se ha constatado que *A. sisalana* presenta un carácter invasor más acusado que *A. fourcroydes* (Guillot *et al.*, 2008).



Figura 1. Cultivos de henequén (*A. fourcroydes*) en el Cabo de Gata en 1957.

Actualmente estas especies ocupan extensas zonas de la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar comportándose como especies invasoras invasoras (Badano y Pugnaire, 2004). Esta área está ocupada fundamentalmente por el azufaifar, un hábitat de interés comunitario presidido por el arbusto *Ziziphus lotus* (L.) Lam., considerado de carácter prioritario para su conservación por la Directiva europea 92/43 (Directiva Hábitat). Esta catalogación se debe al alto riesgo de desaparición que el azufaifar muestra en su área de distribución natural, debido a la presión urbanística y la agricultura intensiva bajo plástico.

1.3. Acciones de gestión desarrolladas para el control de sisal y henequén

Para el caso del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar en Andalucía, la Consejería de Medio Ambiente llevó a cabo en la década de los 90, erradicaciones experimentales de agaves en dos parcelas piloto, utilizando maquinaria y mano de obra. Este proyecto no se extendió al resto del ecosistema, debido al excesivo gasto que suponía la eliminación de las agaves.

En la Comunidad Valenciana, coinciden en que la mejor forma de eliminación de las especies de *Agave* es de forma manual o mecánica (Guillot *et al.*, 2008). Sin embargo, Ewel (1986) señala que centrarse sólo en erradicar o controlar la especie invasora en un programa de gestión es como tratar de curar los síntomas, dado que las invasiones son principalmente el resultado de presiones continuadas sobre el medio. Bajo este punto de vista, las especies invasoras deben ser gestionadas más eficazmente mediante la difícil tarea de manipular la evolución del ecosistema. Una forma de reducir la presión de invasión en un ecosistema sería, por ejemplo, alterar las características de cualquier especie, nativa o exótica. En este contexto de trabajo, conocer qué factores determinan el éxito de la expansión de *A. sisalana* y *A. fourcroydes* en la llanura litoral es esencial para poder llevar a cabo acciones encaminadas a controlar la invasión y evitar eventuales daños sobre el azufaifar un hábitat protegido.

2. Objetivos e hipótesis de trabajo

Las especies de *Agave* presentan un comportamiento invasor en las arenas litorales del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, mientras que no lo muestran en suelos calizos

(Badano y Pugnaire, 2004). De acuerdo con estos autores, los sustratos arenosos podrían suponer un factor que ha disparado el comportamiento invasor de estas especies, lo que puede representar una amenaza para el ecosistema nativo, particularmente sobre los hábitat de azufaiar y matorrales dunares, ambos muy deteriorados por la extracción de arenas en décadas anteriores (Ferre y Senciales, 2001). El objetivo general de este trabajo es contribuir a conocer la dinámica de las poblaciones de *A. sisalana* y *A. fourcroydes* en las arenas de la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar.

Desde el punto de vista de la reproducción, *A. sisalana* y *A. fourcroydes* son especies monocárpicas, lo que significa que florecen una sola vez a lo largo de su ciclo vital. Además al tratarse de híbridos estériles, el proceso de reproducción no da lugar a semillas viables (Guillot *et al.*, 2008). Ambas características sugieren que la propagación de estas especies en el ecosistema nativo podría estar mermada, sin embargo, ambas especies presentan dos mecanismos de multiplicación vegetativa muy eficaces. Su reproducción a través de rizomas mediante brotes que crecen a partir de meristemos en la base del tallo, y a través de “bulbillos” que se desarrollan a partir de los meristemos florales, dan lugar a numerosos individuos clonales (González *et al.*, 2003) que están produciendo un aumento de la densidad de la población de agaves, lo que sin duda debe afectar a la estructura y funcionamiento del ecosistema nativo.

De acuerdo con nuestras observaciones de campo, el crecimiento clonal y la interacción con *Z. lotus* parecen ser los factores clave para entender la dinámica de las poblaciones del sisal y el henequén. Considerando que la estructura espacial de una especie es el resultado de su propia dinámica y de las interacciones interespecíficas que establece (Ledo *et al.*, 2011), basamos nuestra aproximación en el análisis de los patrones espaciales de los individuos de *Agave*. De esta forma para atender a las hipótesis planteadas, nos formulamos los siguientes objetivos específicos: (1) analizar el patrón de distribución espacial de las poblaciones de *A. sisalana* y *A. fourcroydes*, tanto a nivel del conjunto de la población como para sus diferentes cohortes (estructura de edades) y (2) determinar si existe agregación espacial de los individuos de las dos especies de agaves entre sí, y con respecto a *Z. lotus*. A partir de los resultados obtenidos, discutimos sobre si dichos patrones de agregación están relacionados con procesos de facilitación o competencia, o si por el contrario no son el resultado de la interacción entre especies.

3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

El estudio se ha desarrollado en la llanura costera eólica del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Figura 2), una zona de arenas litorales con un matorral presidido por matorrales dunares y formaciones arbustivas de *Ziziphus lotus* (36°49'45.06"N, 2°17'15.89"W). Desde el punto de vista geográfica, la zona se puede enmarcar en la depresión que forman Sierra Alhamilla al Norte, Sierra de Gádor al Oeste, la Serrata y Sierra de Gata al Este y el Mar Mediterráneo al Sur. Más concretamente, esta zona se encuentra delimitada por la rambla de Amoladeras al Oeste y la rambla Morales al Este (Fig. 2).

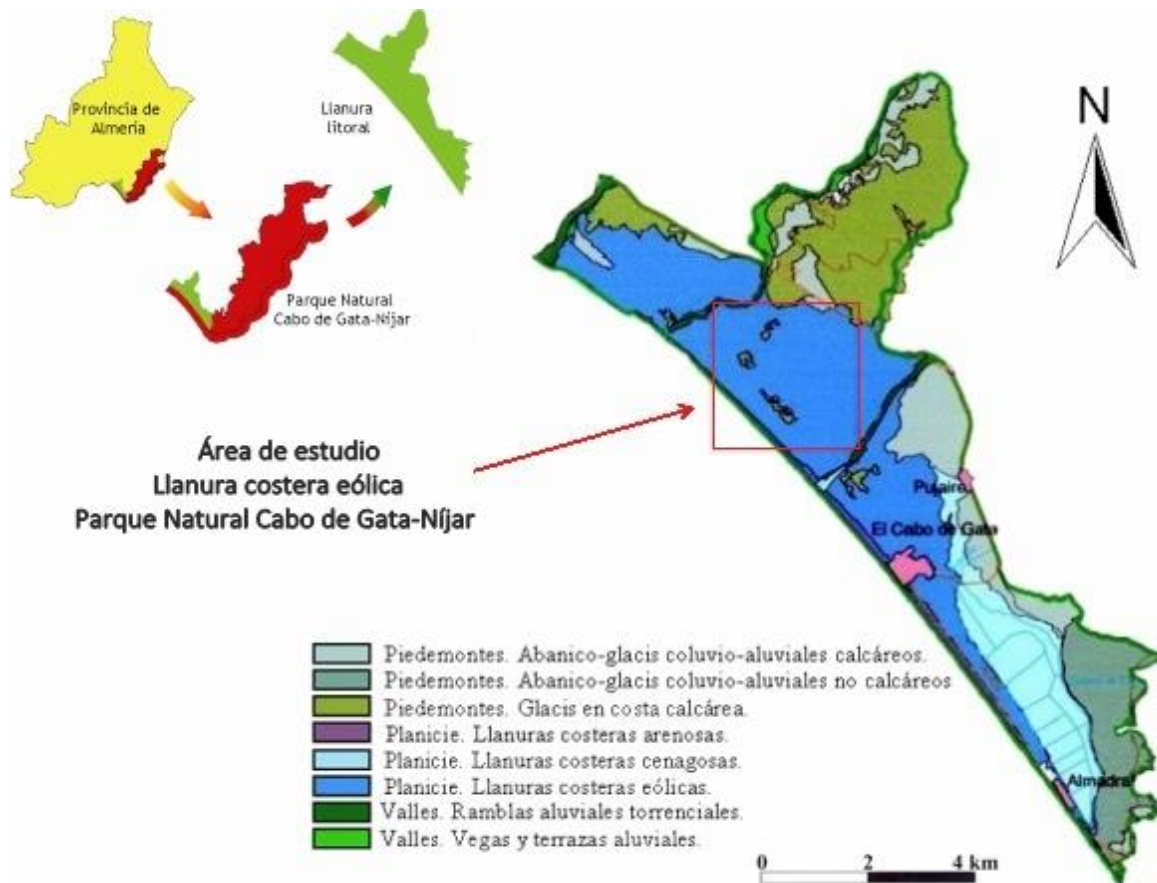


Figura 2. Localización del área de estudio dentro del Parque Natural del Cabo de Gata-Níjar (Almería).

El clima es Mediterráneo semiárido, caracterizado por la escasez de lluvias durante todo el año, a la que se suma la ausencia de precipitaciones en la época estival. El Cabo de Gata presenta la pluviometría anual más baja de la Península Ibérica con unos 150 mm (Capel, 1990). Esto se debe a la situación de protección orográfica que tiene este espacio respecto a los mecanismos meteorológicos capaces de generar precipitaciones, tanto las Cordilleras Béticas que frenan la entrada de frentes procedentes del Atlántico como las Sierras de Gata y Cabrera con los del Este (Viciano, 2001). La temperatura media anual muestra valores uniformes y altos oscilando entre 17°C y 21°C. Debido a la cercanía al mar, la humedad relativa media anual ronda el 70%. Este dato tiene repercusiones ecológicas puesto que las constantes condensaciones de estratos bajos, neblinas, junto a la presencia de condensaciones ocultas (rocíos), palián en parte la escasez pluviométrica (Capel, 1990).

El área de estudio se encuentra sobre una llanura neógena y cuaternaria formada por la superposición de sedimentos post-orogénicos de los glaciares y abanicos aluviales producidos por la erosión de Sierra Alhamilla y la importante actividad deposicional de las ramblas de Amoladeras y Morales durante el Cuaternario (Viciano, 2001). Además, esta zona presenta un depósito marino de 200.000 años de antigüedad compuesto por varias terrazas correspondientes a seis antiguos niveles marinos que constituyen la secuencia más completa con *Strombus bubonius* que se conoce en la zona mediterránea (Sánchez-Martos *et al.*, 2001; Viciano, 2001). Todo el área está afectada por numerosos accidentes neotectónicos, a través de una amplia red de fallas que se disponen en paralelo y perpendicular a la línea de costa,

determinando una configuración escalonada con fuertes inflexiones y la morfología actual de la costa (Viciano, 2001).

Los suelos dominantes son Arenosoles háplicos del tipo A-C, como los que se encuentran entre Torregarcía y la Rambla de las Amoladeras (Tirado, 2009 e Ibarra *et al.*, 2001). Sin embargo, en la zona de estudio los Arenosoles no presentan el mismo perfil, sino el de la figura 3 (Ibarra *et al.*, 2001), compuesto por 5 horizontes. El horizonte superficial A, caracterizado por presentar una mayor acumulación de materia orgánica, es de textura arenosa y con una estructura débil al igual que el horizonte AB. El horizonte C también es arenoso pero en este caso no presenta estructura alguna. El horizonte 2C es de textura arenosa franca y una estructura masiva y dura que conduce al último horizonte 3Cmk de estructura masiva (Ibarra *et al.*, 2001). Destaca la ausencia de pedregosidad (Ibarra *et al.*, 2001) y la baja capacidad de retención de agua que presenta debido a su textura arenosa, por lo que son suelos muy secos (Tirado, 2009). El viento es el principal agente erosivo al que se suma el agua cuando se producen lluvias torrenciales (Ibarra *et al.*, 2001).

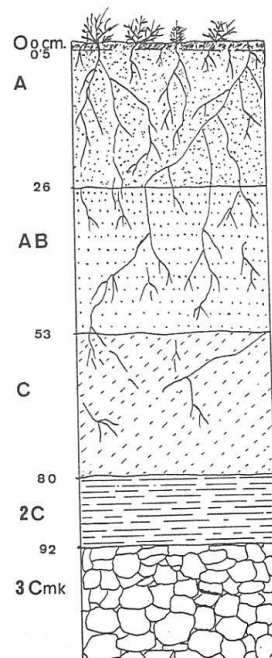


Figura 3. Arenosol Háplico de una duna de Torregarcía (Ibarra *et al.*, 2001)

3.2. Características y estructura del ecosistema nativo de la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar

El paisaje está dominado por sistemas dunares sobre suelos arcillosos y duras capas calcáreas del Pleistoceno superior (MAGNA1981, Figura 2). Las variaciones del nivel del mar ocurridas en la costa a lo largo de esta época han dado origen a varias fases de formación de dunas. Las dunas más antiguas están cementadas y las más recientes pueden ser semimóviles, estar fijadas por la vegetación, o móviles (Villalobos, 2006). Estas dunas han ido disminuyendo en extensión hasta llegar casi a desaparecer, como consecuencia de la extracción de arenas en los años 70 y 80 para los cultivos de invernadero (Ferre y Senciales

2001). En la actualidad solo quedan restos de dunas en las proximidades de rambla Morales. El conjunto del área corresponde a un mosaico de tipos de vegetación o hábitats distribuidos de acuerdo a la cercanía al mar, la movilidad de las arenas, el afloramiento de la costra cuaternaria, y la proximidad a la capa freática. Así, los tipos y zonas de vegetación nativos son:

Hábitat 1. Desde la línea de costa hasta donde llegan los restos orgánicos arrojados por el oleaje, donde dominan especies pioneras nitrohalófilas, con diferentes adaptaciones morfo-fisiológicas para compensar el estrés que estos ambientes imponen (*Salsola kali* L. o *Cakile maritima* Scop. en suelos más o menos arenosos, o *Glaucium flavum* Crantz. en el caso de sustratos cascajosos).

Hábitat 2. Comprende la zona de dunas embrionarias, con una menor pero aún marcada influencia del hálito marino; los suelos son inestables, lo que hace que abunden especies perennes con biotipo rastrero y crecimiento vegetativo; muchas de ellas, al igual que en la siguiente banda, crecen rápidamente en vertical para evitar ser enterradas por el viento. Está dominado por *Elymus farctus* (Viv.) Melderis entre otras.

Hábitat 3. Constituido por los frentes dunares más activos. Estos frentes debían presentar gran movilidad, pero actualmente muestran una cierta estabilidad dada la escasez de arena, especialmente en las pequeñas depresiones interdunares. Este hábitat está dominado por el barrón (*Ammophila arenaria* (L.) Link).

Hábitat 4. Corresponde a los matorrales de las dunas semifijas colonizadas por caméfitos canescentes, como *Helichrysum stoechas*, *Ononis ramosissima* Desf. y *Teucrium dunense* Sennen.

Hábitat 5. Corresponde al área de dunas completamente estabilizadas entre las que afloran los materiales neógenos de la costra cuaternaria sobre la que se asientan las arenas. Este hábitat está colonizado por las comunidades de azufaifar constituyen formaciones densas dominadas por *Ziziphus lotus* (el 14% y el 46% del total de la cobertura arbustiva), distribuidas en el paisaje de forma gregaria (Tirado, 2009), y bajo las que es frecuente que se acumule arena y restos vegetales, dando lugar a unas formaciones muy particulares conocidas como nebkhas (Figura 4.) (Tirado, 2009).

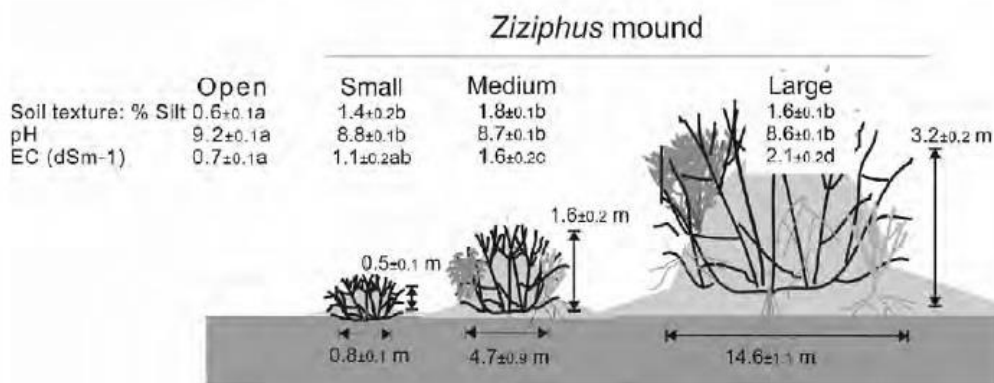


Fig. 4. Estructura de la comunidades, acumulación de sustrato arenoso (nebkhas), y gradientes edáficos en los azufaifares de la llanura litoral del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Tirado, 2009).

Este matorral constituye una de las escasas comunidades vegetales del semiárido ibérico con un estrato arborescente (Tirado, 2009). En él, las especies vegetales se distribuyen en estratos heterogéneos. El estrato arborescente (de unos 3-4 metros de altura) se encuentra dominado por *Z. lotus*, seguido de varios estratos de arbustos de tamaño medio (1-2 metros de altura) y pequeño (< 1 metro de altura), y de algunas herbáceas y arbustos que desarrollan su dosel vegetal en la estación más húmeda (Tirado, 2009). Entre dichas especies destacan *Asparagus albus* L., *Salsola oppositifolia* Desf., *Ballota hirsuta* Benth., *Whitania frutescens* (L.) Pauquy y *Lycium intricatum* Boiss. (Tirado, 2003). Además, en los claros entre las macollas de azufaifo, aparecen *Thymlaea hirsuta* (L.) Endl., *Launaea arborescens* (Batt.) Murb., *Thymus hyemalis* Lange., *Teucrium* spp. L., *Ononis natrix* L. o *Carlina corymbosa* L.

Z. lotus, nativo del sureste Ibérico, Sicilia y Norte de África, actúa como “facilitador” para otras especies vegetales. Está considerado un “ingeniero del ecosistema”, pues crea “islas de fertilidad”, donde genera un microclima que favorece el desarrollo de otras especies vegetales y animales, reteniendo un gran volumen de arena y enriqueciendo el suelo en nutrientes (Tirado y Pugnaire, 2003). Además, es una especie freatófita, extendiendo su sistema radicular en profundidad (en Marruecos se han extraído de 1 cm de diámetro y 60 m de profundidad) hasta alcanzar las aguas subterráneas y tiene la capacidad de soportar un alto estrés ambiental (Tirado, 2009).

Hábitat 6. Corresponde a los tipos de vegetación hidrohálfila que se desarrolla en el sector oriental, como consecuencia de que el nivel freático está más próximo a la superficie en esta área. Las especies predominantes aquí son los tarajes (*Tamarix canariensis* Willd. y *Tamarix boveana* Bunge), e incluso en las depresiones intradunares especies de los géneros *Limonium* Mill., *Juncus* L. y *Suaeda* Scop.

3.3. Características de las especies invasoras

Los cultivos de sisal (*A. sisalana*) y henquén (*A. fourcroydes*) pertenecientes al género *Agave* L. (*Agavaceae*), se instalaron en la transición entre el azufaifar (hábitat 5) y los matorrales dunares (hábitat 4). *A. sisalana*, es una planta de 1.5-2 metros de altura y hojas de 9-12 dm x 9-12 cm de anchura, de color verde-azulado y con una espina apical cilíndrica y delgada de color negro (Franck, 2012 y Guillot *et al.*, 2008). *A. fourcroydes* también es de color verde-azulado pero con espina apical robusta y de color negro-rojizo (Franck, 2012). A diferencia de *A. sisalana*, presenta espinas laterales de 4 mm de longitud y 3 mm de anchura, orientadas hacia el ápice (Guillot *et al.*, 2008). Sin embargo, la característica de los márgenes foliares puede no ser infalible en la diferenciación entre estas dos especies ya que hay variedades de *A. sisalana* que presentan espinas en el márgenes de las hojas (*A. sisalana* var. *armata*) y variedades de *A. fourcroydes* que pueden tenerlo liso (*A. fourcroydes* var. *espiculata*) (Franck, 2012). Para la correcta diferenciación debemos observar la espina apical.

A. sisalana y *A. fourcroydes* son pentaploides (Franck, 2012) y se caracterizan por presentar un metabolismo fotosintético tipo CAM propio de plantas crasas de climas áridos (Vilà, 2008) con apertura nocturna de los estomas (Badano y Pugnaire, 2004). Esto les permite resistir largos periodos de sequía, ser muy eficientes en el uso del agua y tolerar ciertos niveles de salinidad (Vilà, 2008). Su sistema radicular es superficial, lo cual facilita la absorción de agua de lluvia y rocío (García, 2007).

3.4. Evaluación de los cambios en la estructura del ecosistema nativo

Para evaluar los cambios en la estructura que la comunidad invadida muestra con respecto al ecosistema original, estimamos la composición específica, frecuencia, cobertura y densidad de las especies leñosas, mediante el método *line intercept* (Canfield, 1941), especialmente indicado para matorrales semiáridos (Coulloudon *et al.*, 1999). Este método consiste en disponer una cinta métrica a lo largo del suelo y medir la longitud de cada una de las especies que son interceptadas en la misma. Para ello se realizaron, dentro de la parcela, 10 transectos dispuestos al azar de 10 m de longitud cada uno, donde se midió la intercepción de las especies leñosas (Fig. 5). Dado que los individuos más grandes tienen mayor probabilidad de interceptar la línea del transecto, la densidad y la frecuencia están sobreestimadas en las especies más grandes. Para corregir esto se midió para cada planta la máxima anchura perpendicular a la cinta métrica (Fig. 6).

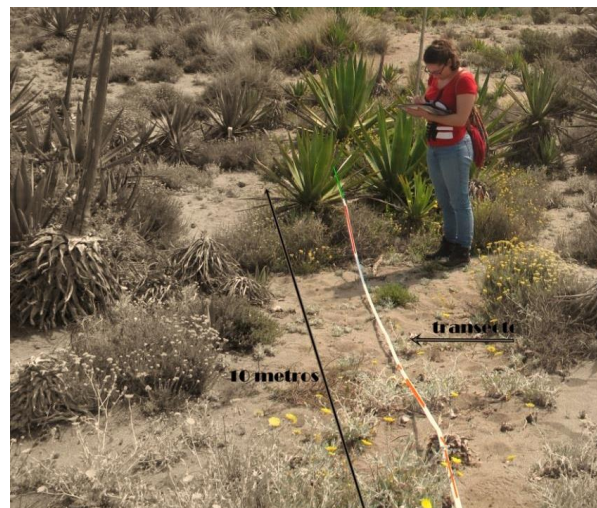


Fig. 5. Método *line intercept*. Cada trazo de color sobre el transecto corresponde con una especie distinta.

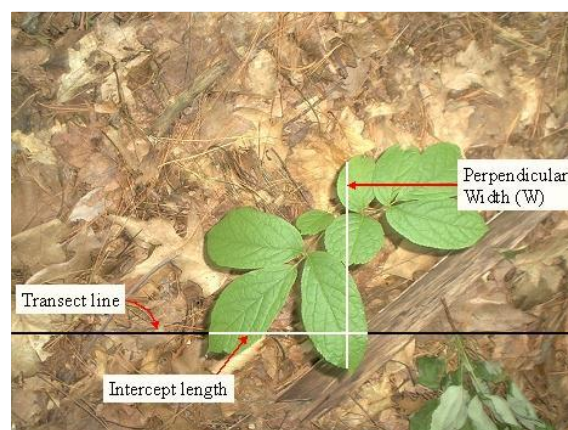


Fig. 6. Esquema de medición del método *line intercept*.

Se ha calculado la frecuencia, cobertura y composición aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Frecuencia} = \frac{\sum 1/W}{n^{\circ} \text{ individuos de una sp.}} \times n^{\circ} \text{ transectos con 1 o más individuos de la especie}$$

donde $1/W$ es el término que corrige la mayor probabilidad de intercepción de los individuos más grandes. W es la máxima anchura perpendicular al transecto de los individuos.

$$\text{Cobertura} = \frac{\text{longitud total interceptada por una especie}}{\text{longitud total de todos los transectos}} \times 100$$

$$\text{Composición} = \frac{\text{cobertura vegetal total}}{\text{cobertura de la especie}}$$

Los resultados obtenidos nos permitieron evaluar los cambios en la estructura del ecosistema invadido frente al no invadido.

3.5. Análisis de los patrones espaciales de las poblaciones de sisal y henequén

Bajo el nombre genérico de análisis espacial se engloba a un conjunto de técnicas encaminadas a analizar cuantitativamente datos espacialmente explícitos (Legendre y Fortin, 1989). En ecología, éste tipo de análisis se usa para estudiar las distribuciones espaciales de organismos, factores abióticos e interacciones ecológicas, ya que estas distribuciones juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas. Si bien el análisis de éstas distribuciones, en sí mismo, no permite determinar qué proceso las determina, proporciona valiosa información sobre dicho proceso, y es un paso importante para sugerir hipótesis concretas sobre cómo funcionan los ecosistemas y diseñar experimentos encaminados a evaluarlos (Maestre y Escudero, 2008).

3.5.1. Métodos de análisis: la función K de Ripley y la función L(r)

La distribución espacial de los individuos vegetales en un hábitat es fruto de la interacción de factores abióticos, bióticos y, actualmente, antropogénicos (Molles, 2006). A gran escala, los individuos de una población se disponen en grupos mientras que a pequeña escala se pueden distribuir en tres tipos de patrones: aleatorios, uniformes o en grupos. En un patrón aleatorio los individuos tienen la misma probabilidad de encontrarse en cualquier lugar en una zona. Si los individuos están uniformemente espaciados es uniforme y si tienen mayor probabilidad de encontrarse en unas zonas que en otras es agrupado (Molles, 2006). Con objeto de identificar el tipo de patrón espacial (aleatorio, uniforme o agregado) que muestran los individuos de las poblaciones de agave estudiadas se realizó un análisis a pequeña escala.

El registro de la posición espacial de los individuos de agave mediante sus coordenadas geográficas (x e y) representa uno de los principales tipos de información que pueden ser asumidos por las pruebas estadísticas de análisis espacial. Este tipo de datos en forma de puntos se caracterizan por dos propiedades intrínsecas, las de primer orden que se basan en la estimación del número de eventos por unidad de área (intensidad o densidad) y las de segundo orden, encargada de describir las relaciones (intensidad o repulsión) entre los pares de puntos. El análisis y la descripción de patrones de puntos se basa en estudiar las propiedades de segundo orden con un conjunto variado de herramientas, como la función K e

Ripley y su versión normalizada $L(r)$. Ambas funciones representan estadísticos descriptivos para el desvío de la distribución de un conjunto de puntos con respecto a una distribución espacial homogénea.

El patrón es la característica de una serie de puntos que describe la localización de estos puntos en términos de la distancia relativa de cada punto con los demás (Upton y Fingleton, 1985). Un aspecto central para la comprensión de la estadística espacial es la noción de patrón aleatorio. Un patrón aleatorio implica que cualquier región del plano tiene la misma probabilidad de contener un punto, definición equivalente a la distribución de Poisson (Cressie, 1993). En general, la suposición de que el patrón de puntos presenta una distribución aleatoria («complete spatial randomness», CSR) será la hipótesis nula para los análisis, mientras que las hipótesis alternativas son la distribución contagiosa o en agregados, y la sobredispersa o regular.

Una característica que distingue a estos métodos de otros, es que resumen la dependencia espacial (agrupamiento de la entidad) en un rango de distancias y a múltiples escalas. De esta forma la Función K de Ripley ilustra cómo cambia el agrupamiento espacial cuando cambia el tamaño de la vecindad. La K de Ripley, $K(r)$, es por tanto, el estimador de propiedades de segundo orden que evalúa a todas las escalas, tantas como diferentes radios (r) consideremos (Figura 7). Esta función se define como $K(r) = \frac{N(r)}{\lambda}$ siendo λ la intensidad del patrón y $N(r)$, el número medio de puntos vecinos dentro de un círculo de radio r alrededor del cualquier punto típico del patrón. Se estima $N(r)$ a partir de la media del número de vecinos de cada punto del patrón: $N(r) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N k_{ij}$ donde N es el número de puntos del patrón, y k_{ij} la función indicadora que toma valor 1 si la distancia entre los puntos i y j es menor que r y 0, si esta es mayor. Para interpretar los resultados, la función K observada se compara con la función K teórica de un proceso de puntos de referencia. Normalmente dicho patrón de referencia es el de Poisson.

Para una mejor interpretación de los patrones de agrupamiento, utilizamos la función $L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}}$. En el caso de un patrón de Poisson, $L(r) = r$ y por tanto podemos determinar si $L(r) - r = 0$ que la hipótesis es nula. Si $L(r) - r > 0$, indica agregación, mientras que si $L(r) - r < 0$ presenta uniformidad a la escala r considerada, rechazando la hipótesis nula (De la Cruz, 2008).

El estudio de la estructura espacial de una población de una especie es un análisis univariado. Sin embargo, cuando se pretenden relacionar dos tipos de eventos, como por ejemplo, los individuos maduros con respecto a los juveniles, o los individuos de dos especies, se utiliza entonces un análisis bivariado. En este caso, para determinar la existencia o no de agrupación, empleamos la función K cruzada (también conocida como K bivariada o K-cross): $\lambda_j K_{ij}(r)$, donde $K_{ij}(r)$ es la función K cruzada y λ_j es la intensidad del patrón del tipo "j". La función proporciona el número medio de puntos del tipo "j" dentro de un radio r alrededor de cualquier punto de tipo "i" (De la Cruz, 2008). También se representa con una función derivada, L bivariada en este caso.

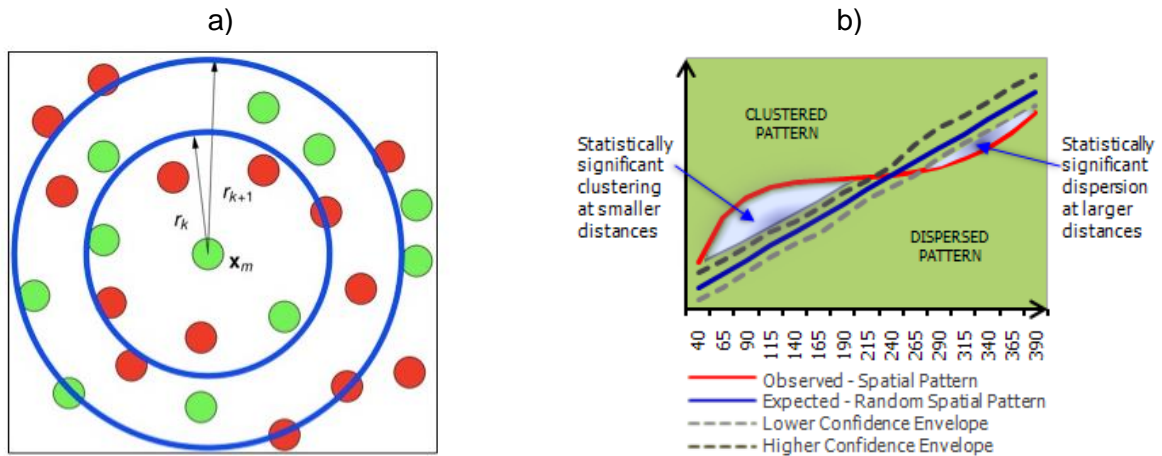


Figura 7. a) La función K de Ripley puede analizar los patrones de puntos a múltiples distancias (como las representadas por los círculos azules); b) Interpretación de los resultados de aplicar una K de Ripley, el eje vertical es el valor de la función K, mientras que el eje horizontal es el radio del círculo. Cuando el valor K observado es mayor que el valor K esperado para una distancia particular, la distribución es más agrupada que una distribución aleatoria en esa distancia (escala de análisis). Cuando el valor K observado es menor que el valor K esperado, la distribución es más dispersa que una distribución aleatoria en esa distancia.

La significación estadística de una medida observada se evalúa a partir de la asunción de que el estadístico empleado usa una distribución de referencia. Así, cuando la distribución es conocida, y puede ser derivada analíticamente, lo habitual es usar test paramétricos. Sin embargo, cuando esto no es posible se utilizan procedimiento de aleatoriedad (randomización) para generar la distribución de referencia de los datos observados. De esta forma, en los análisis espaciales empleados, los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula vienen determinados a partir del test de Monte Carlo, que consiste en la simulación de un elevado número de patrones de Poisson, 1000 en nuestro caso, con la misma densidad y área de igual tamaño y forma que la del patrón observado (De la cruz, 2008).

3.5.2. Determinación del tamaño del agregado: la función de correlación par (g(r))

Se ha utilizado la función de correlación par, g(r), para establecer el tamaño del agregado o mancha típica cuando proceda. G(r) está relacionada con la función K de tal forma que $g(r) = \frac{K'(r)}{2\pi r}$, siendo K'(r) la derivada de K(r). El valor teórico de la función de correlación par en un patrón CSR (de Poisson) es 1 (g(r)= 1) para todas las distancias r. Valores de g(r) > 1 indican que las distancias entre puntos de valor alrededor de r son más frecuentes de lo que serían en un proceso CSR. Cuando g(r) tiene un solo pico, el tamaño medio de los agregados puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de g(r) cae hasta 1 (De la Cruz, 2008). Los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula se han determinado con el test Monte Carlo (De la cruz, 2008).

Todos análisis estadísticos realizados se hicieron con el paquete estadístico spatstat de la herramienta estadística R (RStudio 3.0.0).

3.6. Parcela de muestreo y caracterización de la cohortes de edad de sisal y henequén

Para el estudio se delimitó una parcela de 30 m x 30 m en la que se georreferenciaron las agaves, *Z. lotus* y arbustos de tamaño medio, usando un GPS submétrico (Leica Geosystems GS20). También se tomaron los datos de altura y diámetro de los individuos de *Agave* para clasificarlos por edades.

Para el caso de *Z. lotus*, su gran extensión supuso un impedimento a la hora de obtener un número significativo de puntos. Por ello, se escogieron posteriormente 11 puntos al azar del interior de los tres azufaifos y 85 puntos del perímetro de estos que corresponden con los vértices del polígono resultante del dibujo de su superficie.

Las agaves fueron clasificadas de acuerdo con Badano y Pugnaire (2004) en cinco categorías en función del tamaño, asumiendo que, en general, tamaño y edad se encuentran asociados: a) maduros (individuos vivos con tallo floral), b) preadultos (individuos no reproductivos con altura superior a 100 cm), c) juveniles (individuos entre 100 y 50 cm de altura), d) plántulas establecidas (entre 50 y 20 cm) y brotes (menores de 20 cm).

4. Resultados

4.1. Cambios en la estructura de la comunidad y densidad de las poblaciones de sisal y henequén

Mientras que en la comunidad original la especie dominante es *Z. lotus* con una cobertura del 14% (Tirado, 2003) para el caso de los azufaifares, y *Helichrysum stoechas* y *Teucrium dunense* en los matorrales dunares, en los transectos desarrollados en la zona invadida domina *A. sisalana* con un porcentaje del 13.4%. De esta forma, las especies dominantes fueron *A. sisalana*, *Helychrysum stoechas* y *Z. lotus*. Para el caso las agaves, se encontraron 1769 individuos, de los cuales 1413 correspondieron al sisal (*A. sisalana*) y 356 al henequén (*A. fourcroydes*) (Figura 8). En los transectos se encontraron además 15 especies y 2 fuera de los mismos (tabla 3). Entre ellas destacan *Andryala ragusina* L., *Ammophila arenaria*, *Cyperus capitatus* Vand., *Cuscuta epithimum* subsp. *kotschy* L., *Helychrysum stoechas*, *Lobularia marítima* (L.) Desv. y *Rubia peregrina* L. Con este muestreo registramos el 88% del total de especies leñosas presentes en la comunidad, cifra que consideramos suficientemente representativa de la riqueza de la misma en la zona de estudio.

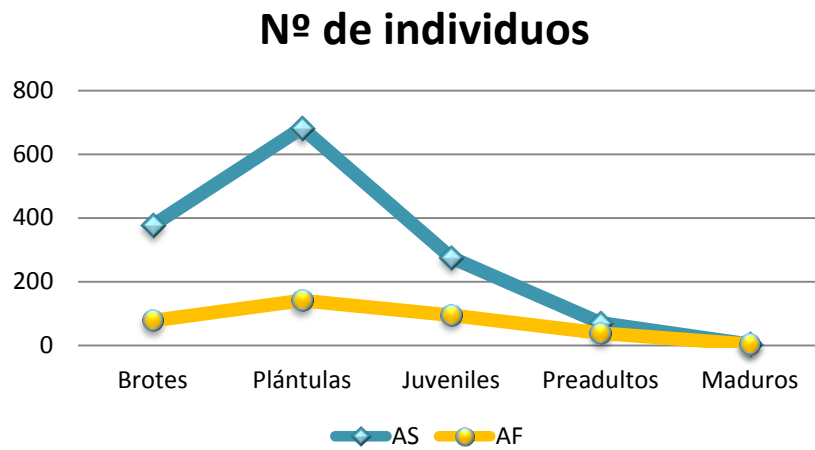


Fig. 8. Número de individuos por estadio y especie de Agave (AS: sisal, *A. sisalana*; AF: henequén, *A. fourcroydes*).

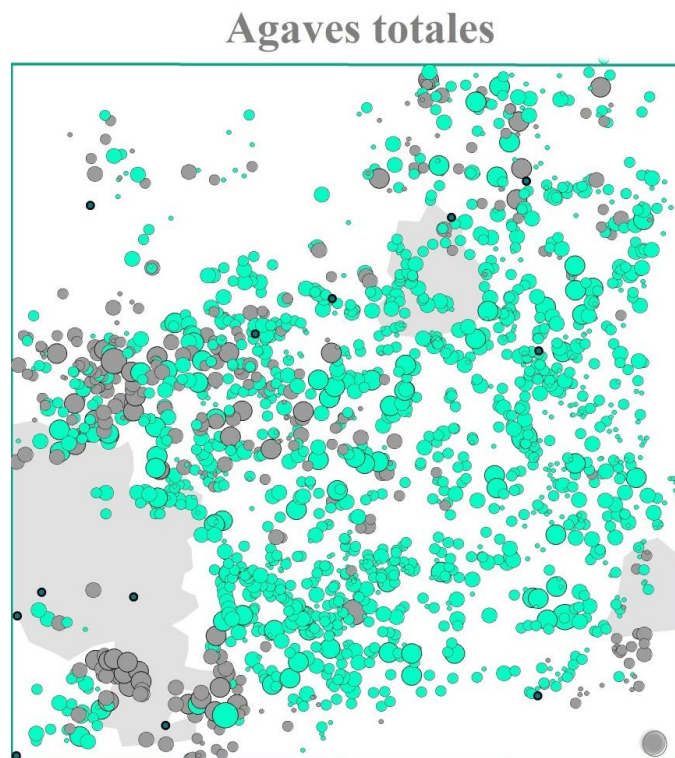


Fig.9. Distribución de *Ziziphus lotus* y *Agave* spp. junto con *Lycium intricatum*, *Asparagus horridus* y *Salsola oppositifolia* en una parcela de 30x30m² en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. Diferenciamos entre *A. sisalana* (verde) y *A. fourcroydes* (gris) y con tamaños distintos en función de la edad. Las manchas grises representan la extensión de *Z. lotus* y los puntos negros las otras especies.

Tabla 3. Composición, densidad y frecuencia de las especies presentes en la zona de estudio.

COBERTURA TOTAL(media ± error): 56,1 ± 7,7 %

Especies	% Cobertura			% Composición			Densidad (nº individuos/m ²)			Densidad relativa (% individuos/superficie)			Frecuencia (nº transectos con la especie)	Frecuencia relativa (% transectos con la especie)
	Media	DE	Error	Media	DE	Error	Media	DE	Error	Media	DE	Error		
<i>Agave sisalana</i>	13,4	10,2	3,2	24,2	15,3	4,8	12,9	12,9	4,1	5,6	6,5	2,1	0,2	2,2
<i>Helichrysum stoechas</i>	13,1	9,8	3,1	28,4	25,4	8,0	52,2	67,8	21,4	20,9	21,8	6,9	0,8	8,8
<i>Ziziphus lotus</i>	8,1	12,1	3,8	10,1	14,3	4,5	1,0	2,1	0,7	0,9	2,6	0,8	0,05	0,5
<i>Salsola oppositifolia</i>	4,8	15,1	4,8	5,6	17,8	5,6	2,8	8,8	2,8	3,4	10,8	3,4	0,3	2,9
<i>Rubia peregrina</i>	4,7	3,7	1,2	7,9	6,2	2,0	74,2	89,4	28,3	24,6	18,2	5,8	1,7	17,8
<i>Agave fourcroydes</i>	4,4	7,2	2,3	6,5	11,2	3,5	1,1	1,9	0,6	0,9	1,4	0,4	0,1	0,7
<i>Andryala ragusina</i>	4,0	5,1	1,6	9,5	15,4	4,9	39,0	35,3	11,2	16,6	19,3	6,1	0,8	8,8
<i>Thymelaea hirsuta</i>	2,0	2,4	0,8	4,7	6,5	2,0	2,3	4,0	1,3	1,2	2,2	0,7	0,1	1,1
<i>Launaea arborescens</i>	1,1	3,3	1,0	1,9	5,5	1,7	2,0	6,3	2,0	1,2	3,6	1,2	0,2	2,1
<i>Ononis natrix</i>	0,4	0,7	0,2	1,2	2,0	0,6	27,5	53,8	17,0	8,8	15,9	5,0	1,4	14,4
<i>Cyperus capitatus</i>	0,3	0,5	0,2	0,6	0,8	0,3	53,8	125,5	39,7	8,8	13,4	4,2	1,8	18,7
<i>Teucrium dunense</i>	0,3	0,9	0,3	0,3	1,1	0,3	0,3	1,1	0,3	0,4	1,3	0,4	0,03	0,4
<i>Lobularia maritima</i>	0,2	0,4	0,1	0,4	0,8	0,2	30,6	68,4	21,6	6,4	8,8	2,8	2,0	21,3
<i>Ammophila arenaria</i>	0,1	0,4	0,1	0,3	1,0	0,3	0,1	0,3	0,1	0,02	0,07	0,02	0,01	0,1
<i>Cuscuta epithymum subsp. kotschyi</i>	0,1	0,3	0,1	0,1	0,4	0,1	0,2	0,8	0,2	0,3	0,9	0,3	0,02	0,2

Especies presentes en la parcela y no encontradas en los transectos: *Asparagus horridus* y *Lycium intricatum*

4.2. Niveles y patrones de agregación de las poblaciones de sisal y henequén

En el análisis de la estructura de las poblaciones de forma independiente, las dos especies de agave mostraron diferentes niveles de agregación en todas las cohortes, siendo el radio de agregación en general más pequeño en el henequén (*A. fourcroydes*) que en el sisal (*A. sisalana*) (Tabla 4). Una diferencia importante es que mientras que en el henequén este radio aumentó con respecto a la edad de la cohorte, en el sisal, el radio se mantuvo prácticamente constante. Además, en el caso del sisal, los preadultos dejaron de mostrar agregación.

En los análisis bivariados en los que se muestra la relación entre las dos especies de agave, y de éstas con el azufaifo, los resultados también fueron diferentes para las dos especies (Tabla 4). En el caso de la relación entre el henequén y el sisal, solo se exploraron los patrones y agregados de las cohortes de brotes y plántulas. En estos caso también, los tamaños de los agregados fueron un poco más pequeños para los individuos de henequén frente a sisal (7 metros frente a 8.5).

Para el caso de la agregación de las agaves frente al azufaifo (Tabla 4), todas las cohortes del henequén mostraron agregación, mientras que sólo las etapas adultas (juveniles y preadultos) de sisal parecen estar agregados junto a los azufaifos, aunque el radio de agregación es bastante grande.

La representación de todos los patrones observados en la parcela de estudio junto con las gráficas obtenidas de la aplicación de los distintos métodos estadísticos se muestran en los anexos.

Tabla 4. Patrón de distribución de las agaves tanto de forma univariada como bivariada (agaves en torno a otra especie o en torno al resto de individuos de su propia especie) según estadios y de forma general. Las cifras muestran el tamaño medio de agregado en metros cuando muestran un patrón de distribución agregado. Los valores entre paréntesis representan agregación puntual en ese caso, predominando otro tipo de patrón (U: uniforme o AL: aleatorio)

Cohortes de edad	Estructura de una población (Análisis univariados)		Relación de dos tipos de eventos diferentes (Análisis bivariados)					
	AF	AS	AF-AF	AF-AS	AS-AS	AS-AF	AF-ZIZ	AS-ZIZ
	Radio (m) del agregado y patrón de distribución							
Brotes	4	7.5	7	AL	8.5	AL	6.5	U (8)
Plántulas	5	8.5	7	8.5	8.5	8.5	6	AL (8.5)
Juveniles	6	8					7	8
Preadultos	6.5	AL (3)					6.7	8.5
GENERAL	6.5	8.5		8.5		8.5	7	8.5

5. Discusión

5.1. Impacto de la densificación de las poblaciones de agave sobre la estructura de la comunidad del ecosistema nativo

Agave sisalana y *Helichrysum stoechas* dominan en la comunidad invadida, siendo *Z. lotus* la tercera especie en orden de importancia. De las dos especies de *Agave*, *A. sisalana* presenta mayor porcentaje de cobertura y mayor número de individuos que *A. fourcroydes*. Estos datos probablemente indican el hecho de que se plantaron más individuos de *A. sisalana*, lo que ya apuntaban los datos del Servicio de Explotación y Mejora de las Zonas Áridas del Sureste Español (SEMSAZE, 1956) y la prensa de la época (ABC, 4-4-1956 y 19-7-1956). No obstante, Guillot *et al.* (2008) señala que *A. sisalana* posee un mayor carácter invasor que *A. fourcroydes* por lo que es posible que estos resultados muestren esta cualidad.

Esta estructura refleja la relevancia del sisal y del henequén en el proceso de invasión, lo que sin duda debe influir en el funcionamiento del ecosistema, ya que se trata de especies que por su metabolismo (CAM) y adaptaciones (gran contenido hídrico), alteran el ciclo del carbono y del agua con respecto al ecosistema nativo. Además, su estructura en matorral de baja altura que dispone de numerosas apéndices pinchudos da lugar a una fisionomía que no es óptima para las aves estepáricas que habitualmente poblaron el ecosistema (e.g. alondra ricotí). Por otro lado, tanto en el sisal como en el henequén, el estadio dominante en cuanto al número de individuos es el de plántulas, disminuyendo progresivamente hacia los estadios de mayor edad. La elevada reproducción de agaves frente a la de *Z. lotus* (en la que no se ha evidenciado reclutamiento) genera un desequilibrio que debe tener consecuencias en la comunidad invadida, dado que el azufaifo es la especie directriz en gran parte de la misma (Tirado, 2009).

5.2. Patrones espaciales del sisal y del henequén

Aunque en general, *A. sisalana* y *A. fourcroydes* presentan un modelo espacial agregado entre sus individuos, el comportamiento observado es ligeramente distinto. Los sisales se agregan más cuando son brotes, plántulas o juveniles, descendiendo este comportamiento con la edad. Estos patrones espaciales están estrechamente relacionados con la forma de multiplicación vegetativa de las agaves. Por una parte, los brotes procedentes del rizoma están ligados a la planta madre a través del mismo, el cual va extendiéndose subterráneamente (González *et al.*, 2003). El aumento del tamaño del agregado en estadios tempranos puede ser el resultado de esta expansión, que se hace más pronunciada al ser arenas el sustrato sobre el cual se desarrollan. Ya Badano y Pugnaire (2004) demostraron que la capacidad invasora de estas especies se ve intensificada en sustratos arenosos, probablemente porque se favorezca la producción y la supervivencia de los propágulos. Por otra parte, las plántulas procedentes del escape, o bien caen en las inmediaciones de la planta madre (si el escape se mantiene erguido), o bien crecen juntas a pocos metros de la misma (si el escape cae). El patrón aleatorio del estadio preadulto de *A. sisalana* evidencia la independencia de estos individuos respecto al rizoma de la planta madre.

5.3. Interacción entre las dos especies de *Agave*

En general, se observa una agregación por parte de ambas especies en torno a la otra, siendo el tamaño del agregado relativamente grande (8.5 metros). Sin embargo, si estudiamos los estadios más jóvenes (brotes y plántulas) donde suponemos que la dependencia para con otros individuos debe estar más marcada al relacionarla con su éxito en la supervivencia, podemos ver distintos comportamientos.

Los brotes, tanto para *A. fourcroydes* como para *A. sisalana*, se agregan entre los individuos de la misma especie pero no con los individuos de la otra, es decir, que los brotes de *A. fourcroydes* solo se encuentran alrededor de otros individuos de *A. fourcroydes*; y lo mismo con *A. sisalana*. En el caso de las plántulas, el comportamiento es similar para ambas especies y a esta edad no hay distinción entre ellas, de tal forma que las plántulas se agregan indistintamente con las de su especie y con las de la otra.

La agrupación de los brotes con su misma especie confirma el éxito de la multiplicación vegetativa de las agaves y su cerco de acción, mucho más restringido y excluyente cuanto más jóvenes sean los individuos. Conforme estos crecen, la supervivencia de unos y la mortalidad de otros supone el desdibujamiento del patrón de agregación y el intercalado de individuos de la otra especie, constatando la agregación de los individuos independientemente de la especie de *Agave*. Esta agregación interespecífica podría señalar algún tipo de facilitación entre las dos especies, de manera que la invasión estuviera potenciada en parte por un efecto sinérgico entre las mismas.

5.4. Interacción de las especies de *Agave* con *Ziziphus lotus*

Tanto *A. fourcroydes* como *A. sisalana* se agregan en torno a *Z. lotus*, estando este comportamiento más generalizado para la primera (que se agrega indistintamente de la escala, Figura 27), mientras que la segunda lo hace sólo a ciertas distancias (aproximadamente a partir de 7.7 metros, figura 32). Si diferenciamos los estadios de ambas especies observamos que para *A. fourcroydes* la agregación en torno a *Z. lotus* tiene lugar en todas las edades y a todas escalas, permaneciendo el tamaño del agregado prácticamente constante (oscila entre 6 y 7 metros según el estadio). Este resultado apoya la teoría de Tirado y Pugnaire (2003) de que *Z. lotus* actúa como facilitador para otras especies, en este caso repercutiendo en la supervivencia de *A. fourcroydes* y con ello en su potencial invasor. No ocurre lo mismo para *A. sisalana* ya que solo se agrega a *Z. lotus* en determinados estadios de forma clara (juveniles y preadultos). Sin embargo, todos los estadios siguen un patrón de agregación en el primer metro en torno a *Z. lotus*. Después del primer metro, para brotes y plántulas, se torna a un patrón al azar e incluso uniforme para los primeros.

Los patrones identificados sugieren que *Z. lotus* facilita en menor medida la supervivencia de *A. sisalana*. El patrón uniforme de los estadios tempranos en torno al azufaifo que ha podido permanecer del patrón original de plantación, se transforma a un patrón agrupado con la edad, reflejando que el éxito de la supervivencia de esta especie en los estadios tempranos se debe más bien a la facilitación de las agaves que a la del propio azufaifo, mientras que no ocurre lo mismo en las etapas adultas.

6. Conclusiones

Cuando una especie se introduce en un ecosistema dado y se desarrolla de tal forma de la que no existen precedentes, deriva un nuevo ecosistema (Hobbs *et al.*, 2006). Estos tipos de ecosistemas están ligados al impacto que las actividades humanas han alcanzado en el siglo XXI, y representan nuevas combinaciones entre especies que pueden ocasionar cambios en el funcionamiento de los ecosistemas. Para el caso de la llanura costera eólica del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, los cultivos de sisal y henequén, procedentes de otro bioma, se están transformando en poblaciones naturalizadas en las áreas de arenas. La interacción de estas especies con las especies nativas están originando un nuevo ecosistema cuya gestión debe considerar el impacto que estas especies pueden ocasionar sobre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema nativo. No obstante, dada la dificultad que su erradicación encierra, el conocimiento de la dinámica poblacional de estas especies pueden ayudarnos a entender el proceso de creación del nuevo ecosistema, y establecer medidas de gestión con respecto a él. En particular los resultados obtenidos nos permiten concluir lo siguiente:

1. Los patrones espaciales de *A. fourcroydes* y *A. sisalana* están regidos principalmente por la estructura de edades de sus poblaciones.
2. La estructura de edades a su vez viene determinada en gran medida por el tipo de multiplicación vegetativa de ambas especies (producción de brotes del rizoma y de “bulbillos” del escapo).
3. Parece existir una cierta facilitación entre las dos especies de agaves conforme aumenta la edad de los individuos.
4. *Z. lotus* actúa como especie facilitadora para la invasión de ambas especies, si bien, esto se evidencia en todos los estadios de *A. fourcroydes* y sólo en los estadios más maduros (juveniles y preadultos) de *A. sisalana*.
5. El comportamiento invasor de *A. sisalana* parece ser mayor que el de *A. fourcroydes*.

7. Anexos

Anexo I. Patrones espaciales de *Agave fourcroydes*

a. Patrón espacial del conjunto de la población

De forma general y sin hacer distinciones de edad, los individuos de *A. fourcroydes* forman agregados de 6.5 metros de diámetro.

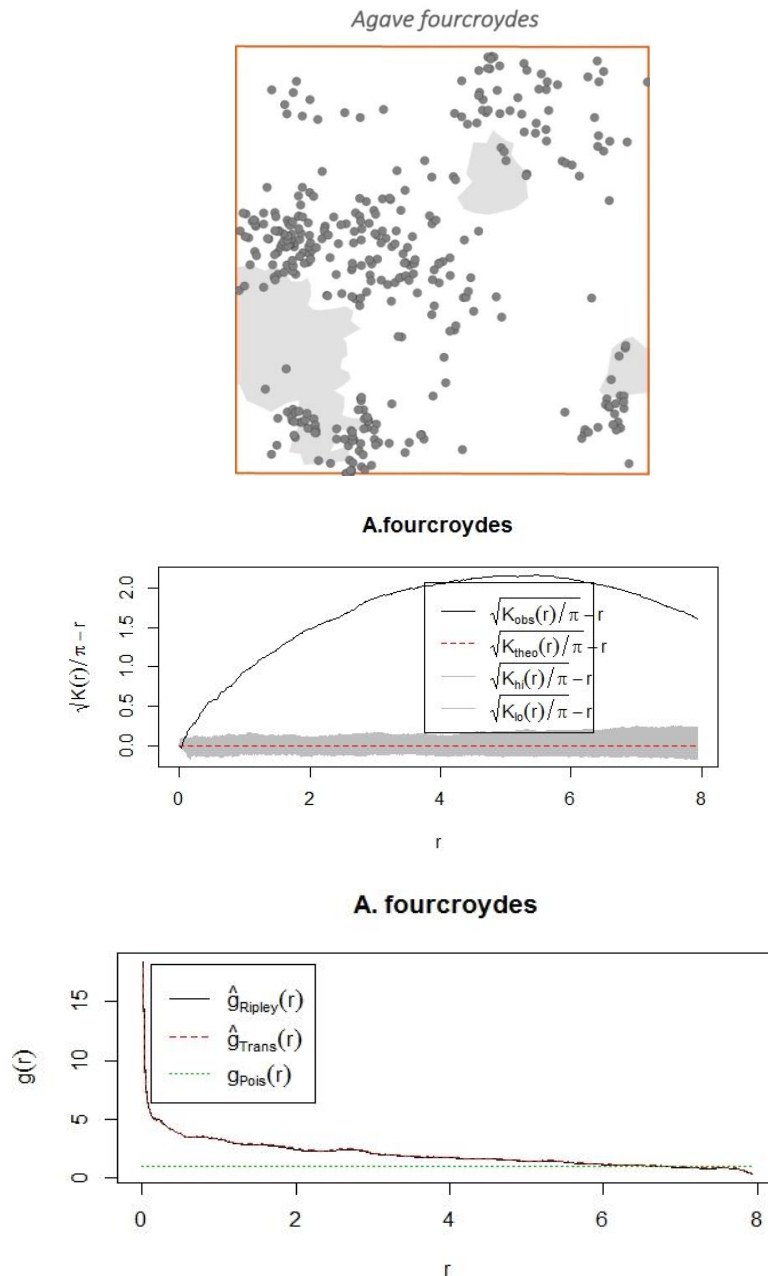


Fig.10. Arriba: Representación espacial de todos los individuos de *Agave fourcroydes* (puntos) y las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de *A. fourcroydes*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

b. Patrón espacial de las cohortes de *A. fourcroydes*

Los brotes de *A. fourcroydes* forman agregados de 4 metros.

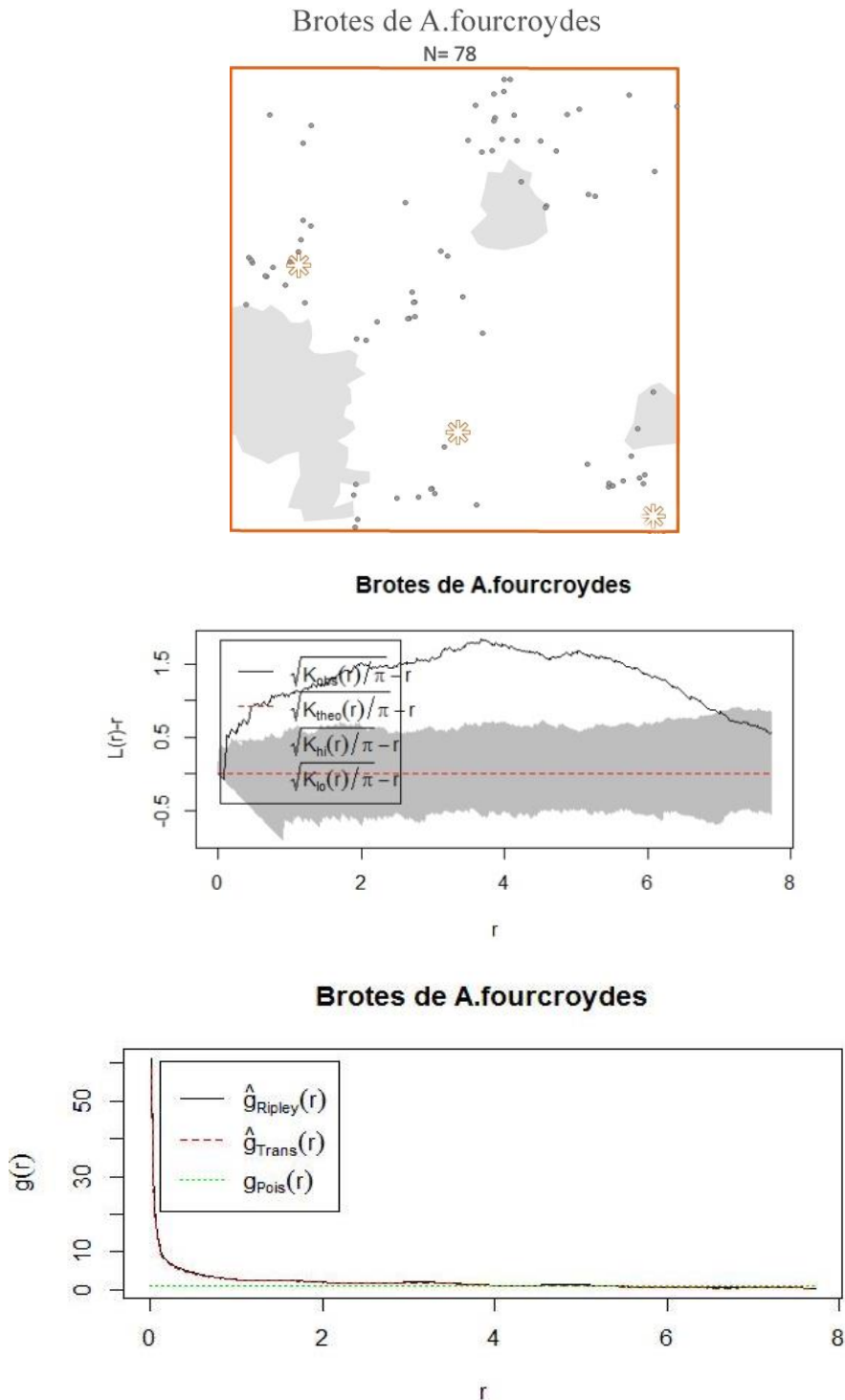


Fig. 11. Arriba: Representación espacial de los brotes de *Agave fourcroydes* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. fourcroydes*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Las plántulas de *A. fourcroydes* se agrupan formando agregados de 5 metros.

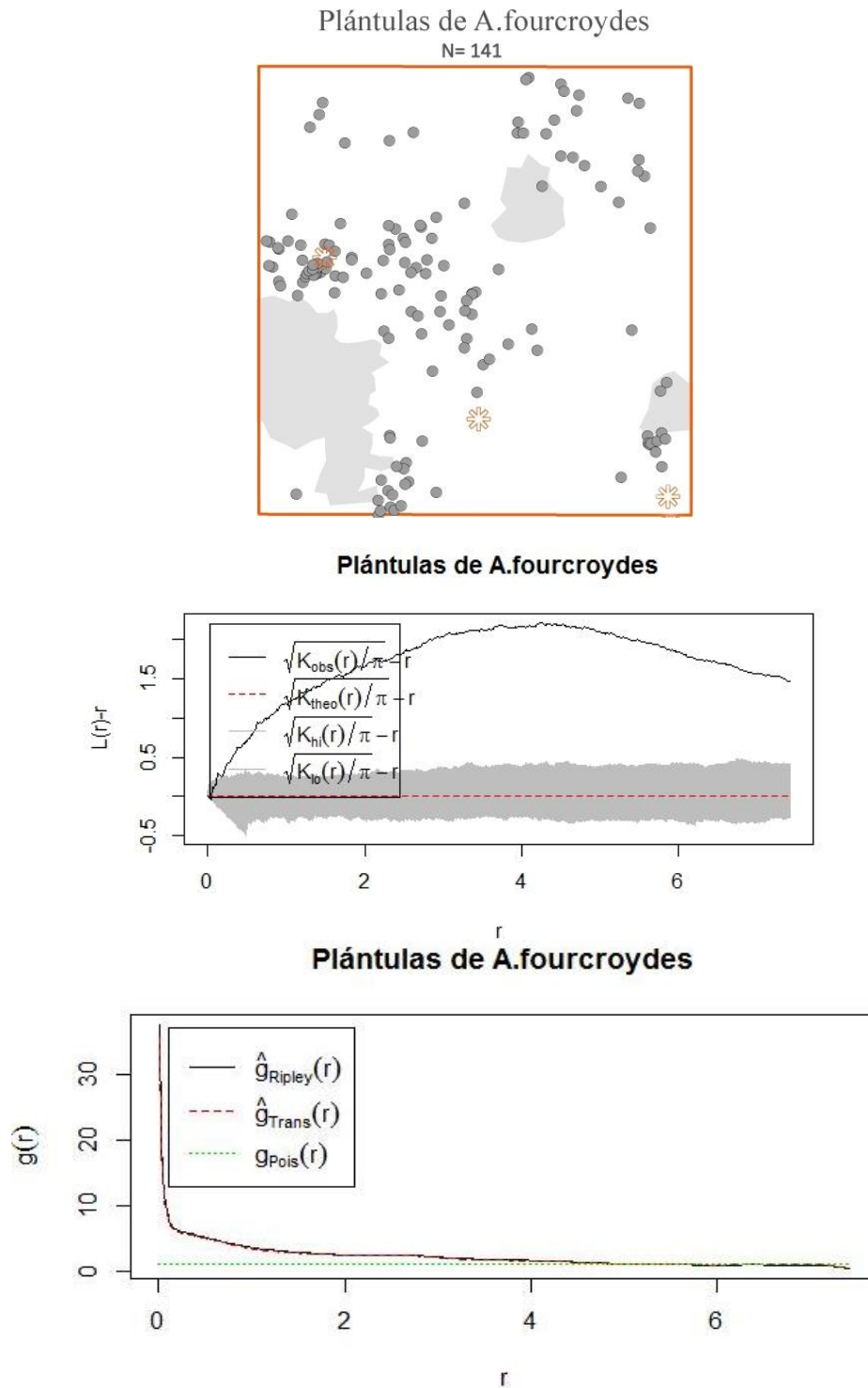


Fig. 12. Arriba: Representación espacial de las plántulas de *Agave fourcroydes* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. fourcroydes*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los individuos juveniles de *A. fourcroydes* forman agregados con un tamaño de 5.5 metros

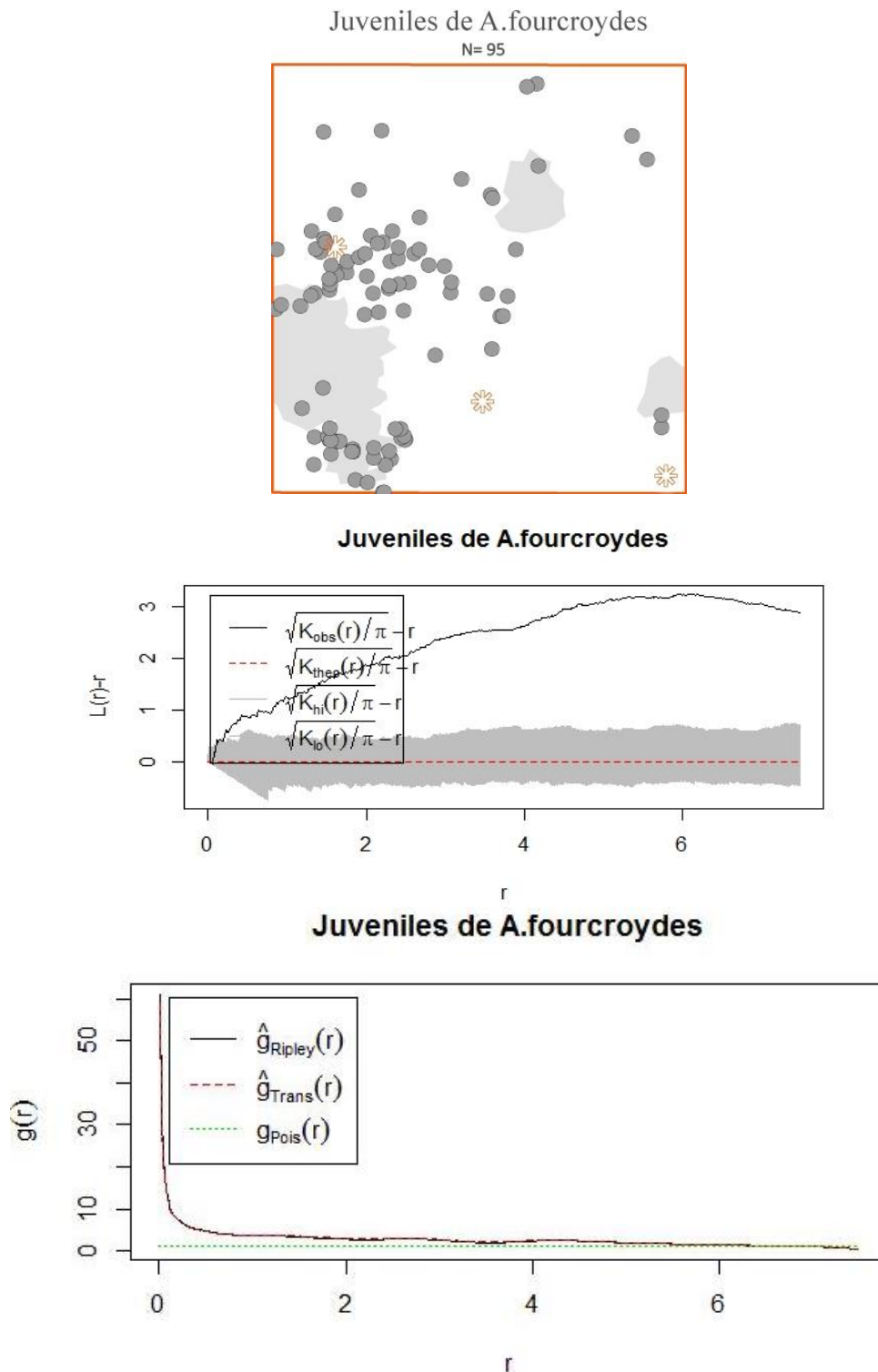


Fig. 13. Arriba: Representación espacial de los juveniles de *Agave fourcroydes* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los juveniles de *A. fourcroydes*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los preadultos de *A. fourcroydes* también forman agregados con un tamaño de 6 metros.

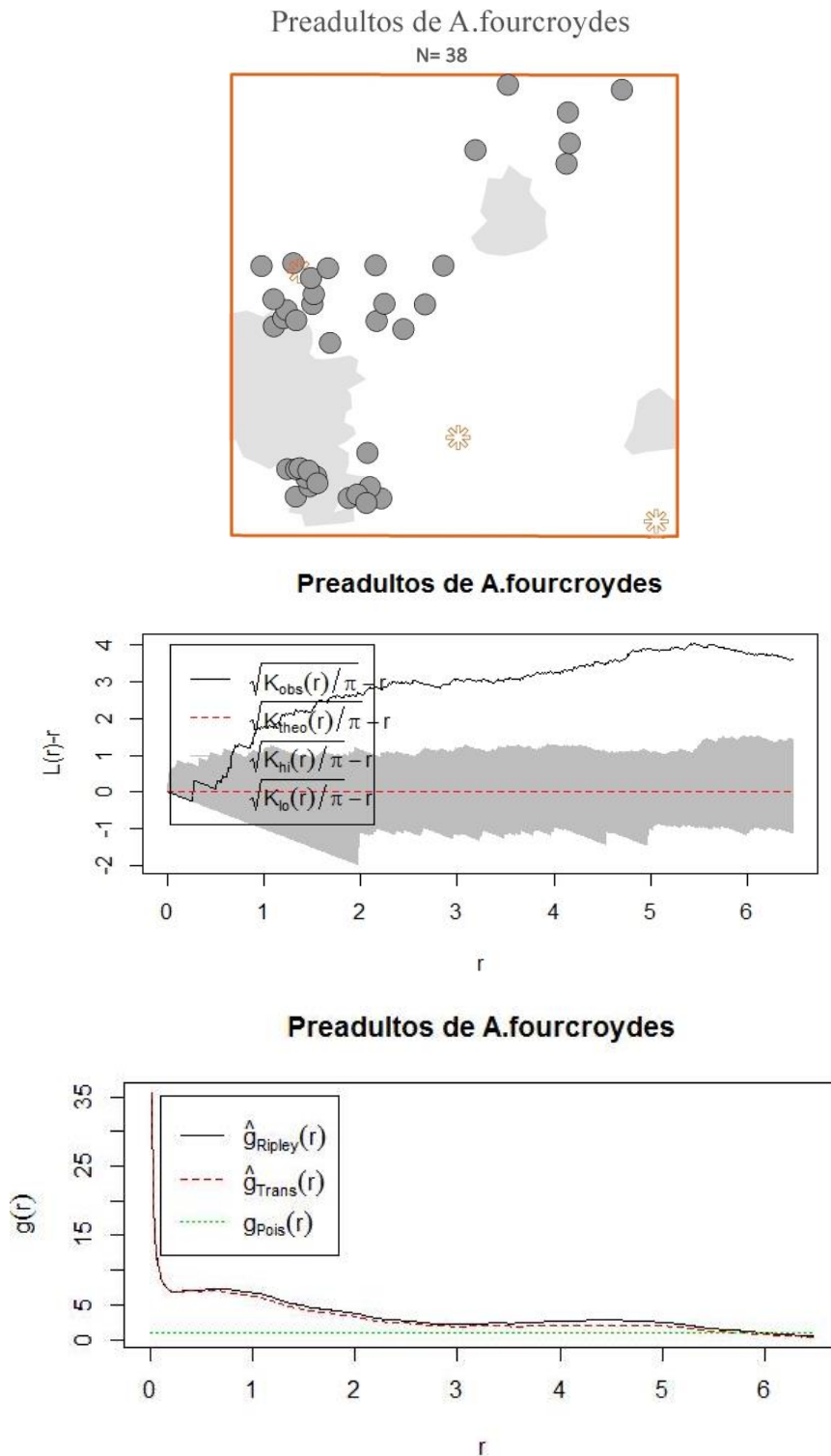


Fig. 14. Arriba: Representación espacial de los preadultos de *Agave fourcroydes* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los preadultos de *A. fourcroydes*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Anexo II. Patrones espaciales de *Agave sisalana*

a. Patrón espacial del conjunto de la población

En general, los individuos de *A. sisalana* forman agregados de 8.5 metros de diámetro.

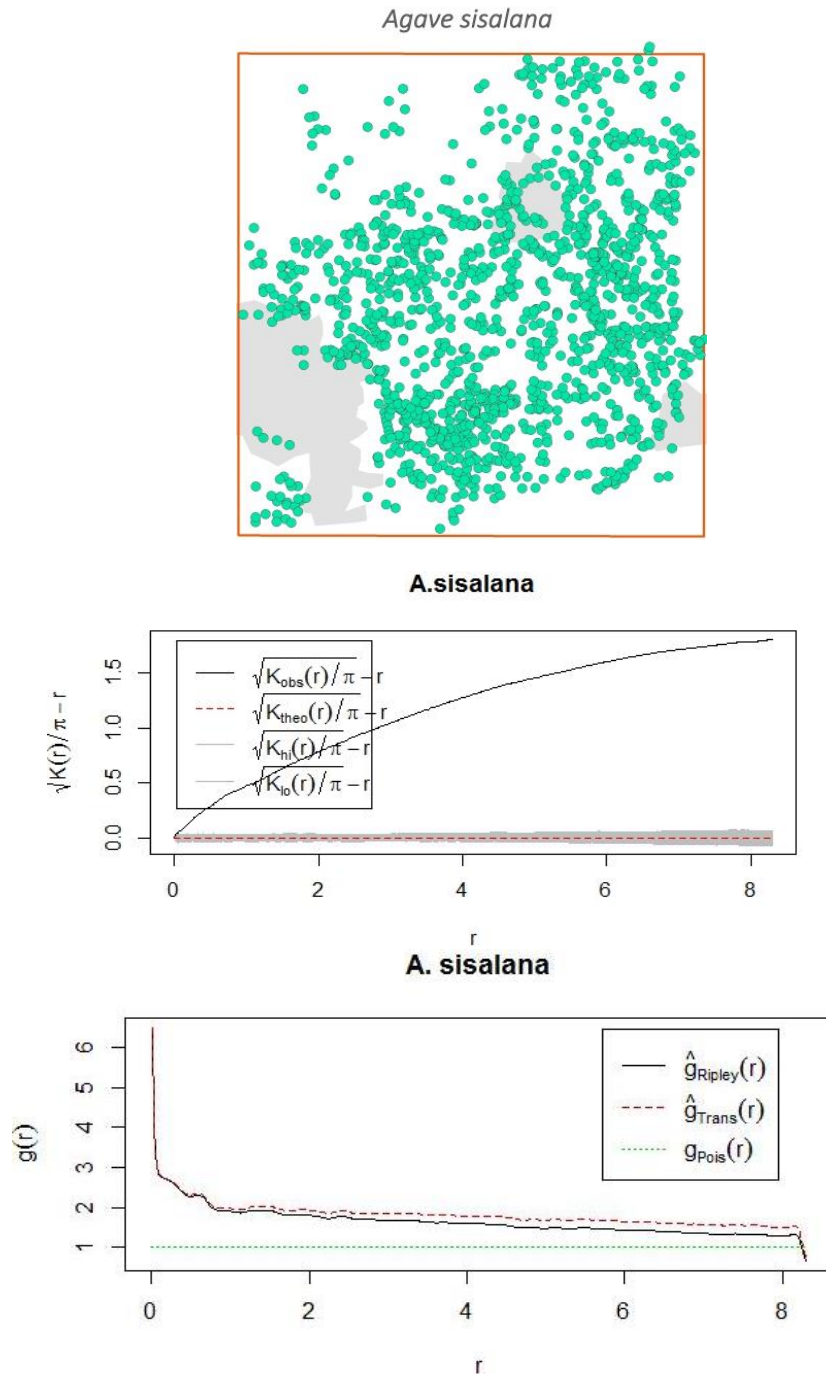


Fig. 15. Arriba: Representación espacial de todos los individuos de *Agave sisalana* (puntos) y las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de *A. sisalana*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

b. Patrón espacial de las cohortes de A. sisalana

Los brotes de *A. sisalana* forman agregados con un tamaño de 7 metros.

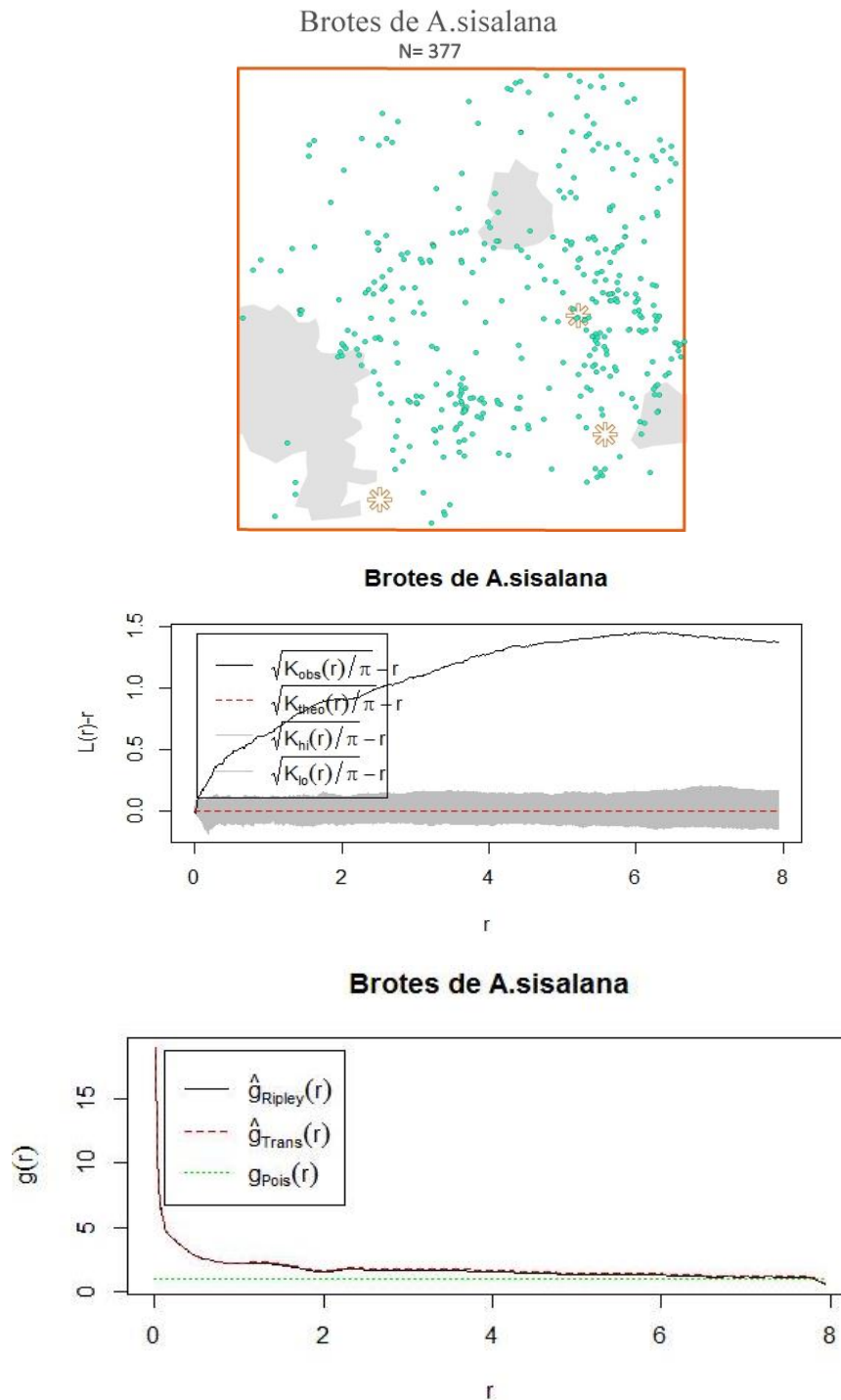


Fig. 16. Arriba: Representación espacial de los brotes de *Agave sisalana* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. sisalana*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Las plántulas de *A. sisalana* se agrupan formando agregados de 8.5 metros de diámetro.

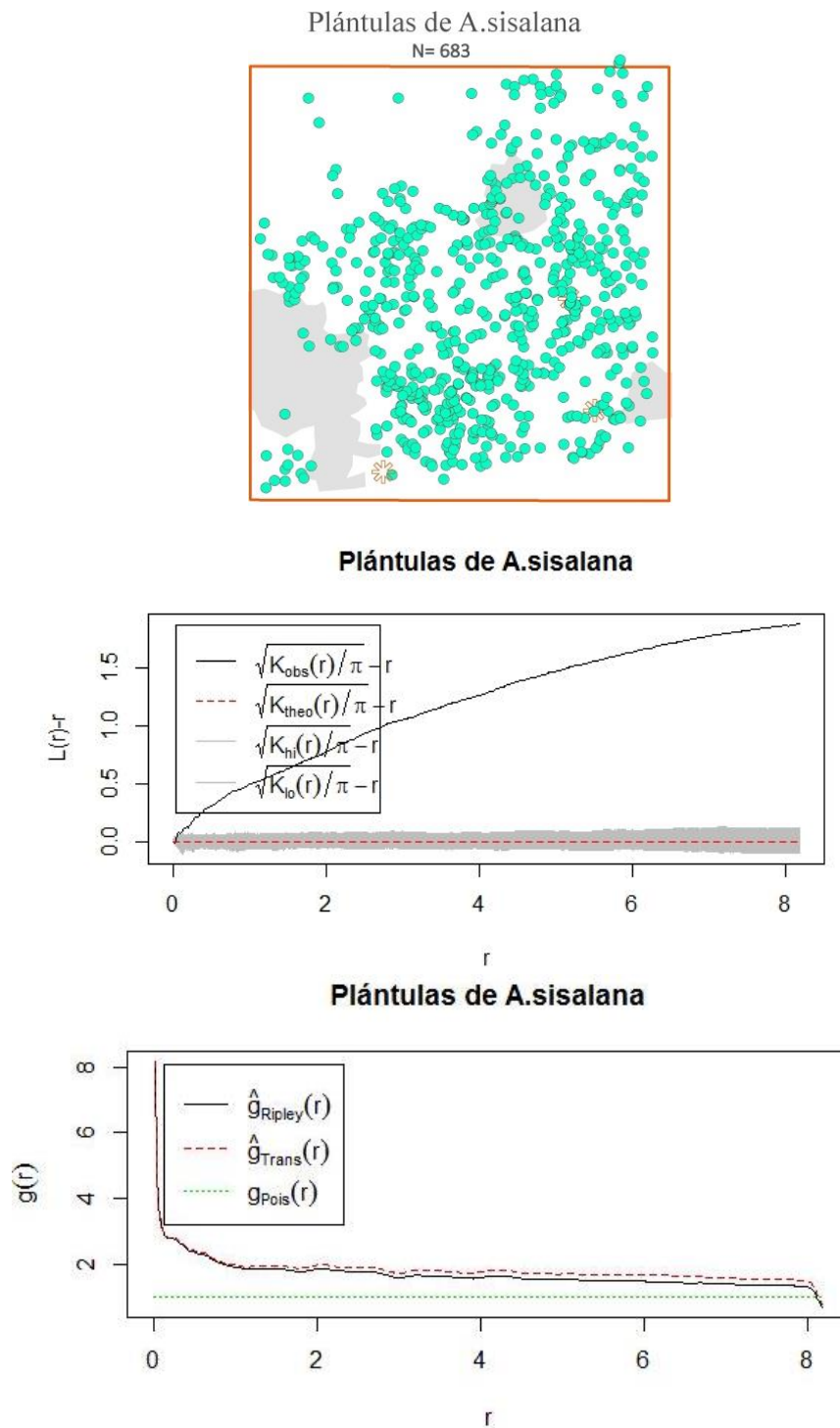


Fig. 17. Arriba: Representación espacial de las plántulas de *Agave sisalana* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. sisalana*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los individuos juveniles de *A. sisalana* forman agregados de 8 metros.

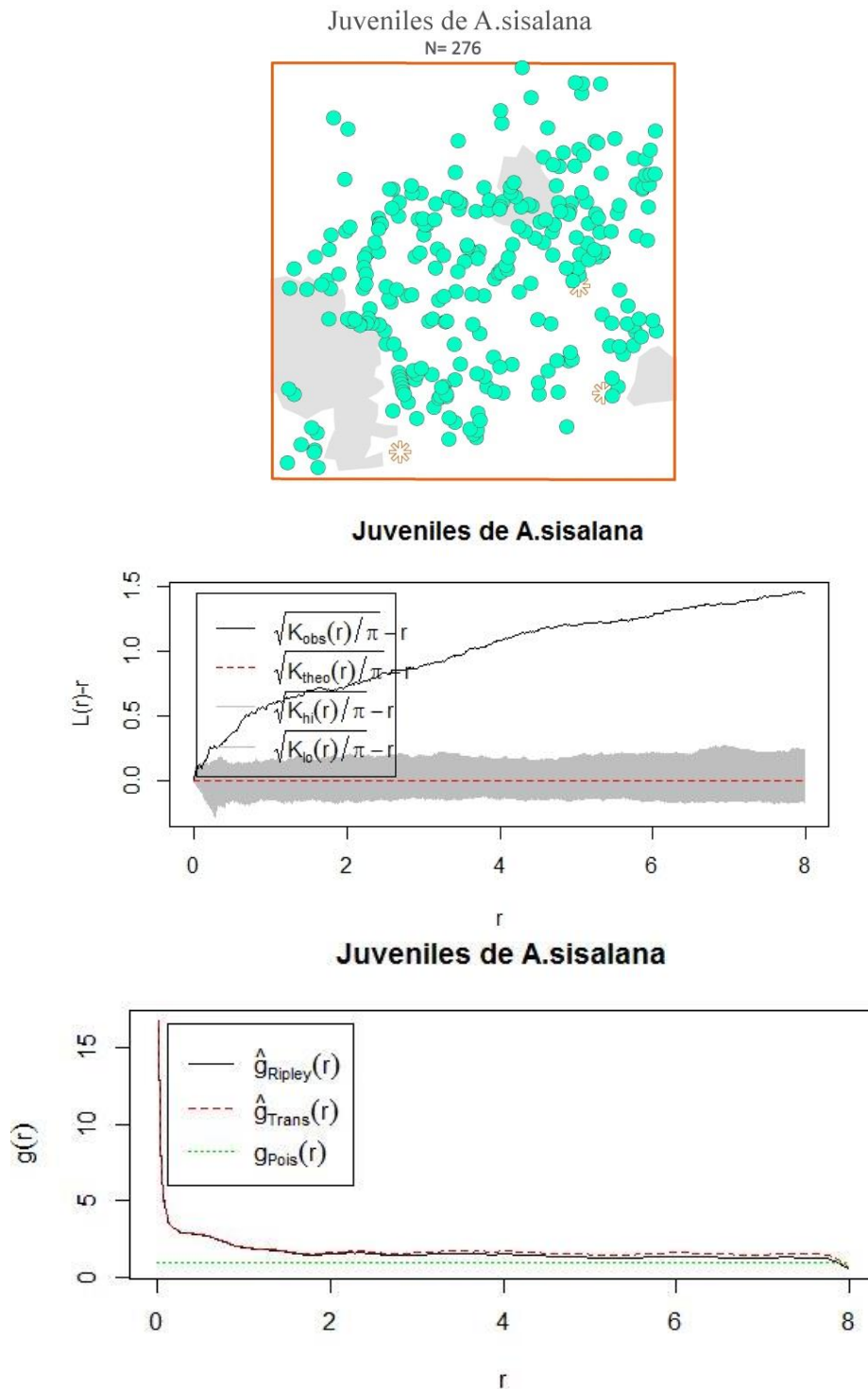


Fig. 18. Arriba: Representación espacial de los juveniles de *Agave sisalana* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los juveniles de *A. sisalana*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los preadultos de *A. sisalana* se agregan con un tamaño medio de 3 metros.

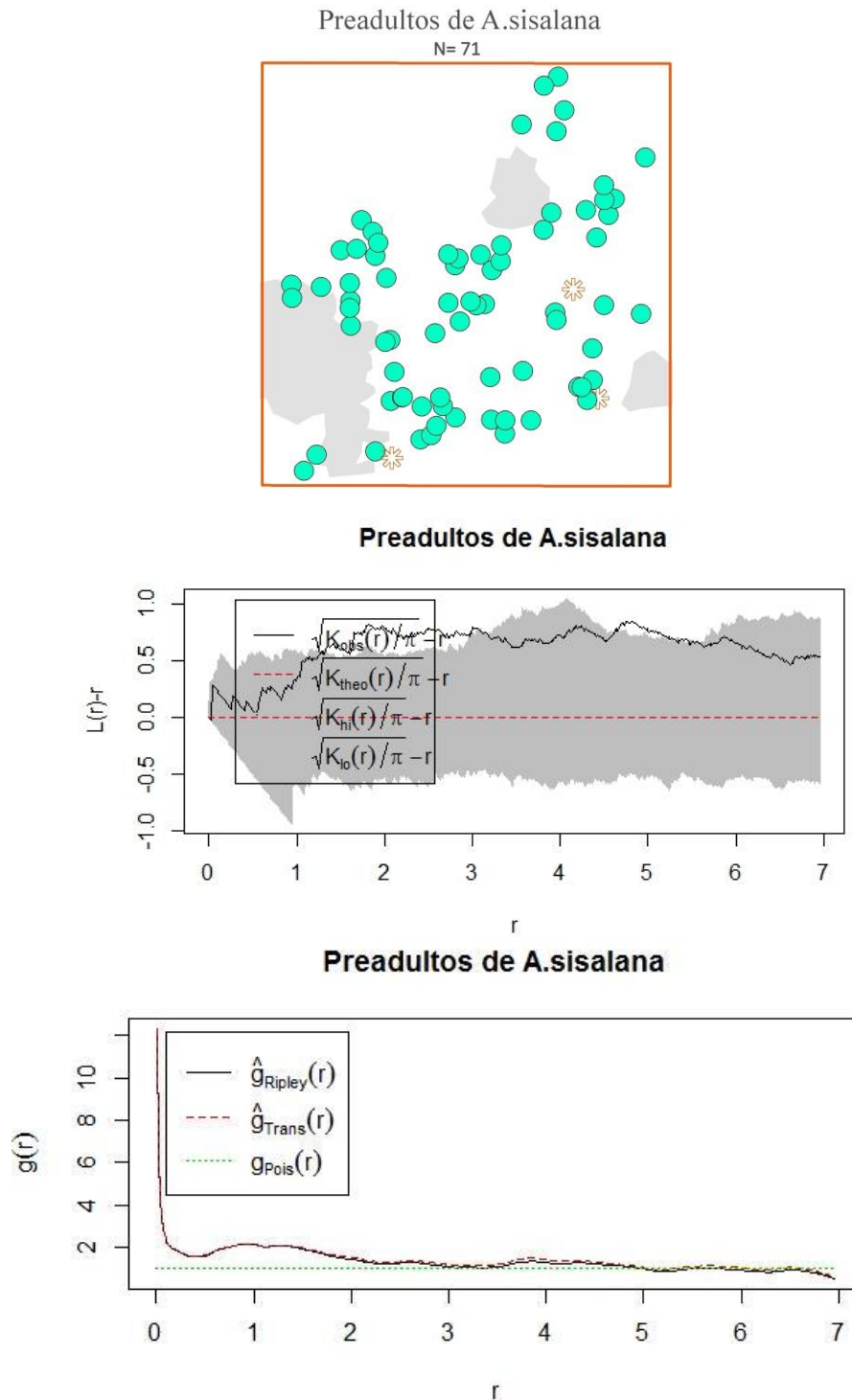


Fig. 19. Arriba: Representación espacial de los preadultos de *Agave sisalana* (puntos) con respecto a los individuos maduros de la misma especie (asteriscos) y a las manchas de *Z. lotus*. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los preadultos de *A. sisalana*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Anexo III. Interacción de las dos especies de *Agave* entre sí.

a. Todos los individuos

En general, los individuos de una especie de *Agave* se agrupan en torno formándose agregados de 8.5 metros para ambos casos.

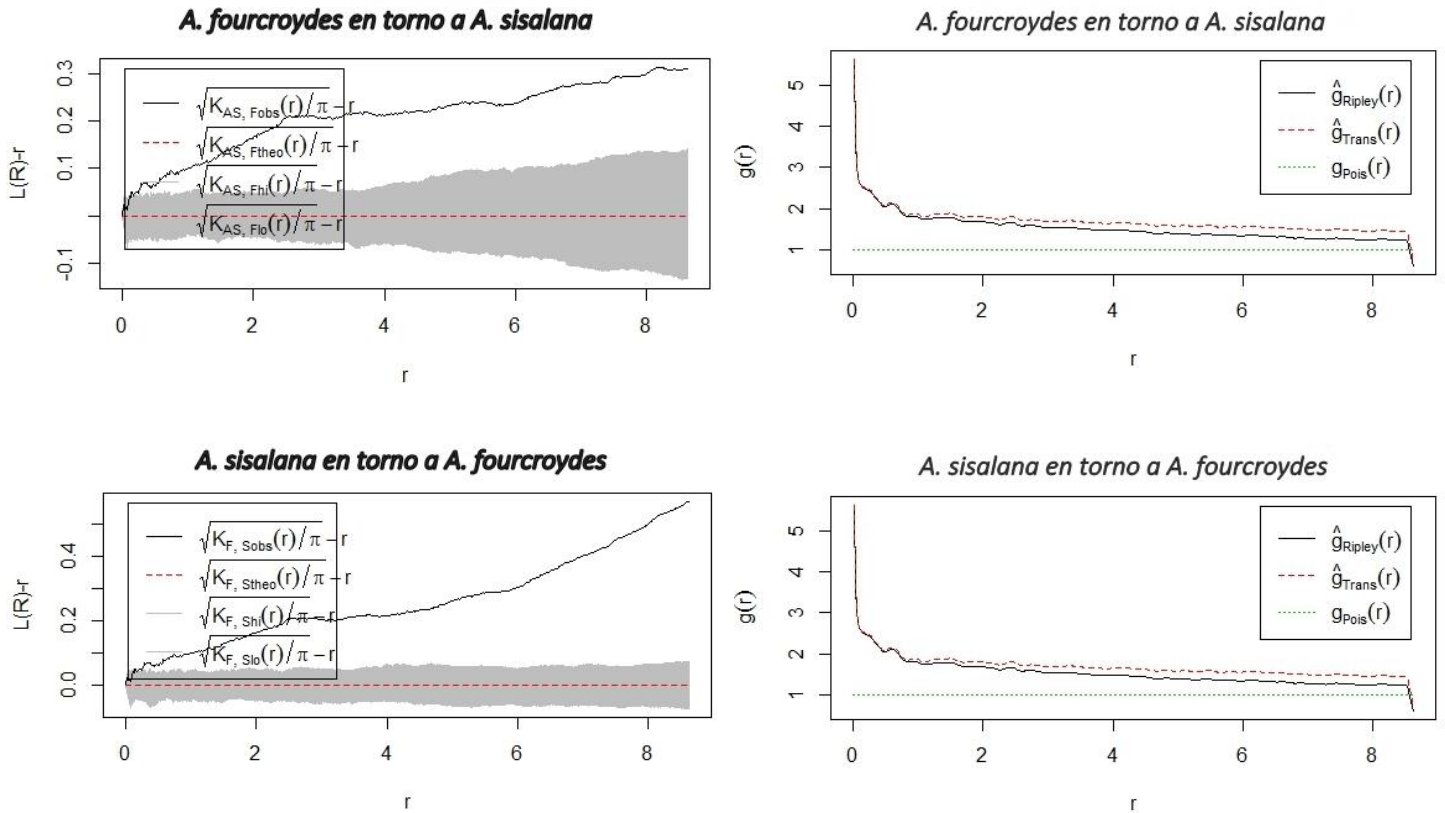


Fig. 20. Izquierda: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los individuos de *A. sisalana* y *A. fourcroydes* en torno a la otra especie, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Derecha:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

b. Por cohortes

Los brotes de *A. fourcroydes* se agrupan en torno al resto de individuos de la misma especie formando agregados de 7 metros. Sin embargo, dichos brotes no se agregan en torno a los individuos de *A. sisalana*.

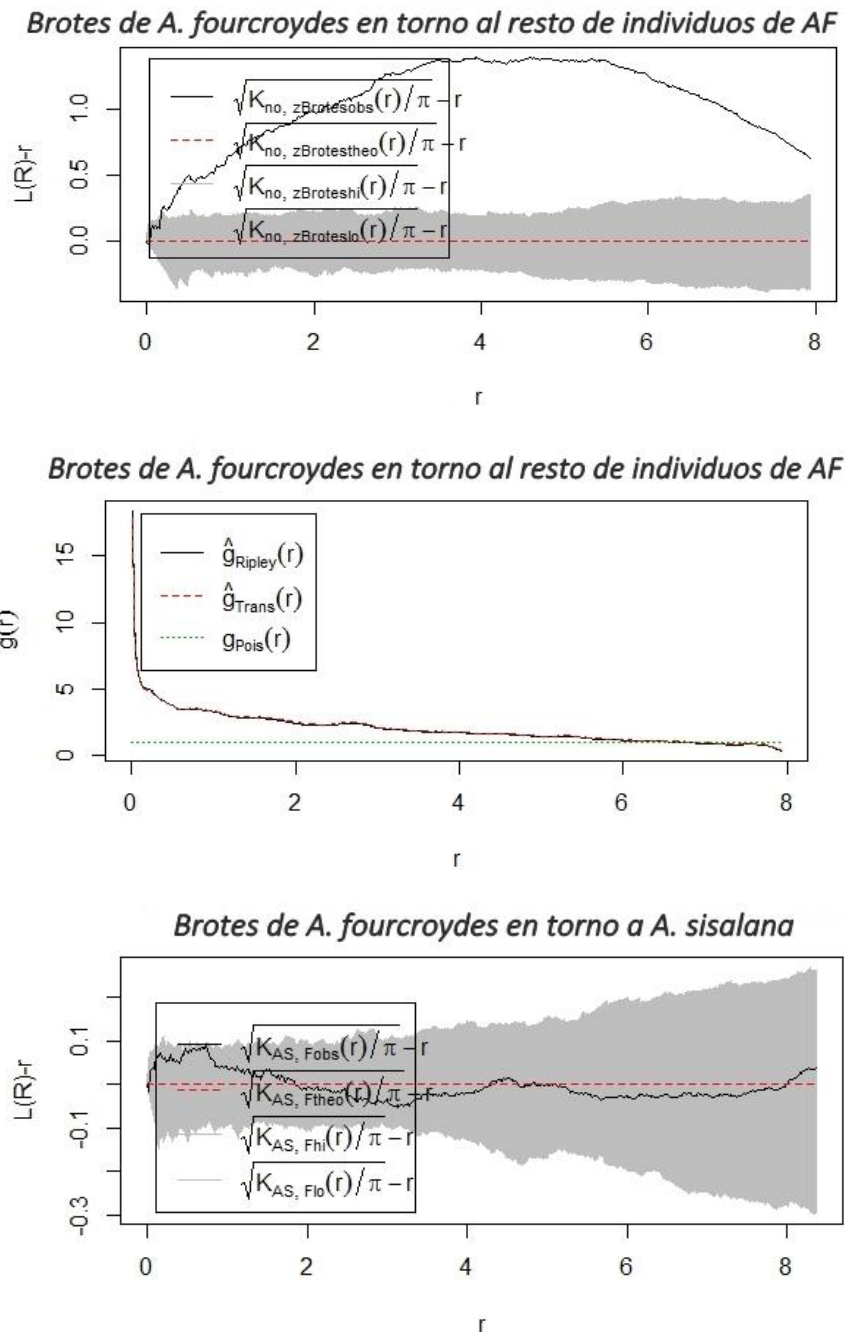


Fig. 21. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. fourcroydes* en torno al resto de individuos de la misma especie, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Centro:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección. **Abajo:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. fourcroydes* en torno a *A. sisalana*.

Los brotes de *A. sisalana* forman agregados de 8.5 metros en torno al resto de individuos de la misma especie pero no se agregan en torno a los de *A. fourcroydes*. En este último caso, el patrón es al azar al comienzo derivándose a uniforme conforme aumenta la escala.

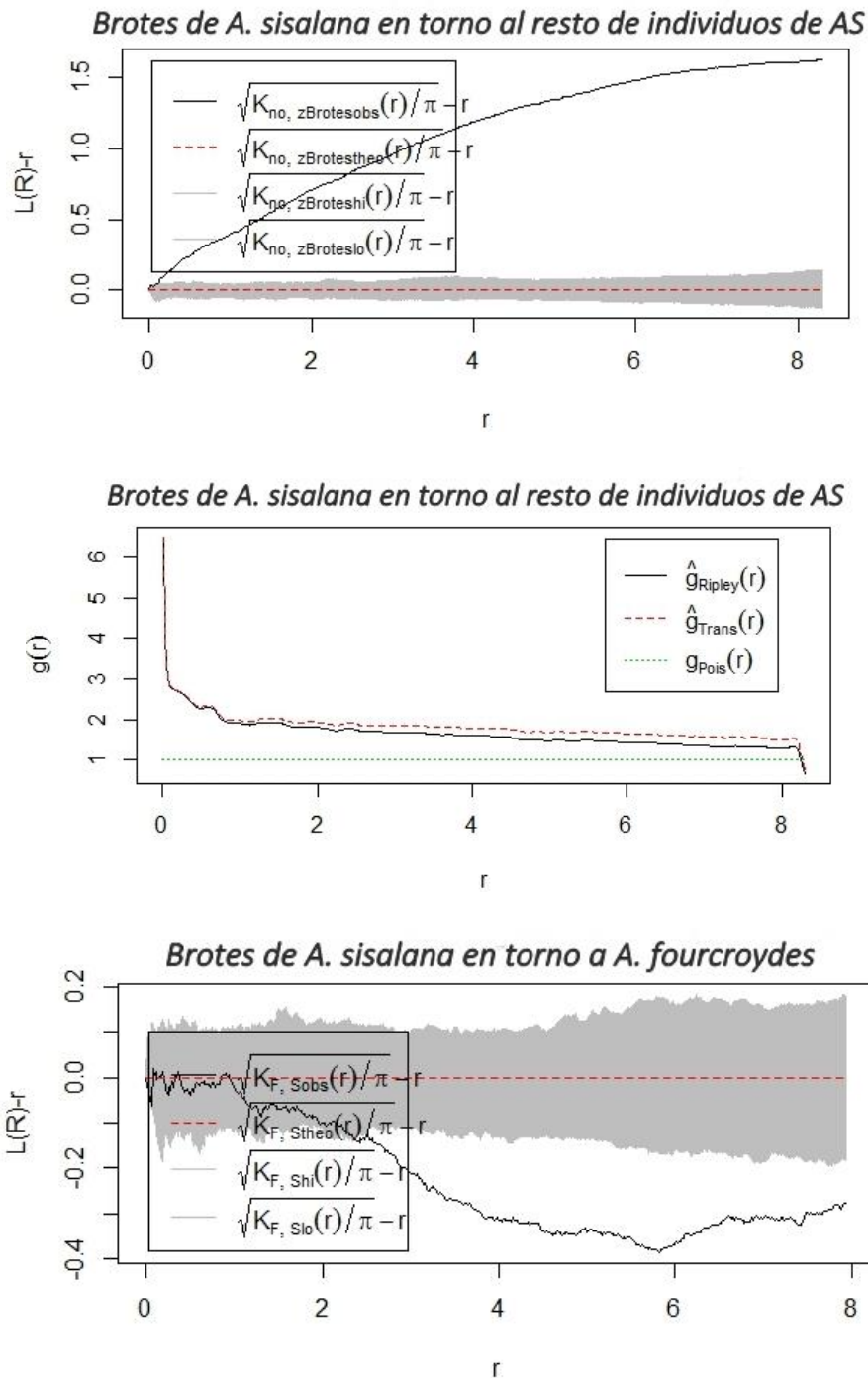


Fig. 22. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. sisalana* en torno al resto de individuos de la misma especie, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Centro:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección. **Abajo:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. sisalana* en torno a *A. fourcroydes*.

Las plántulas de *A. fourcroydes* forman agregados de 7 metros de diámetro en torno al resto de individuos de *A. fourcroydes*.

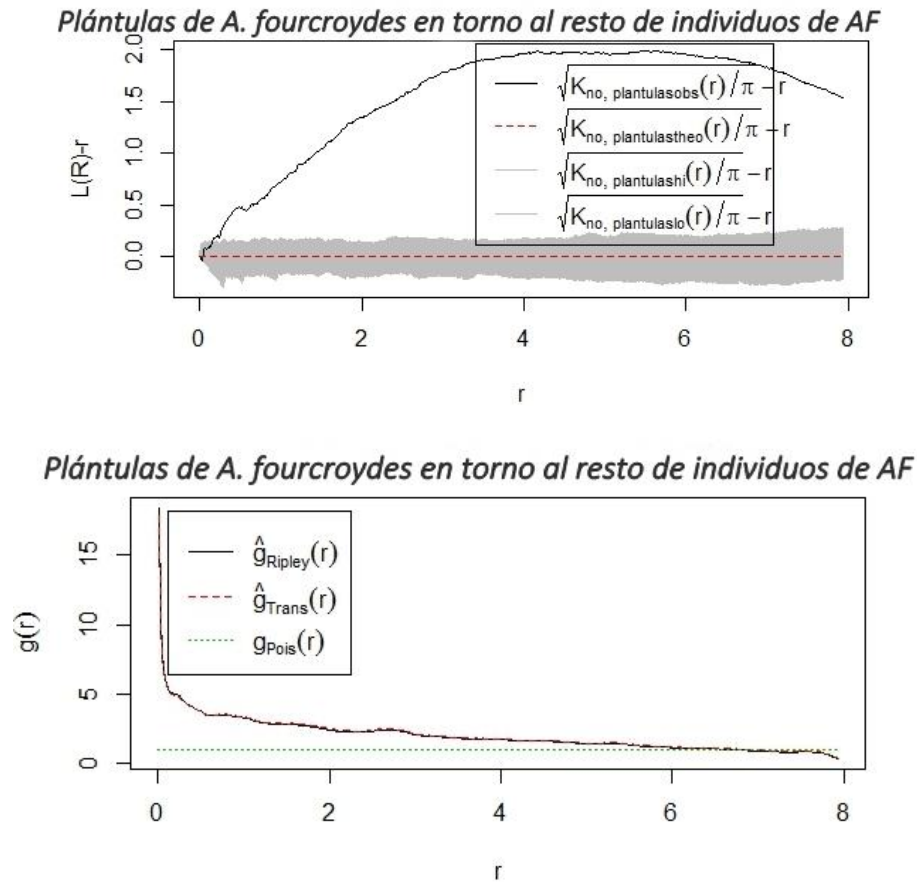


Fig. 23. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. fourcroydes* en torno al resto de individuos de la misma especie, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Las plántulas de *A. fourcroydes* también se agrupan en torno a los individuos de *A. sisalana* formándose un agregado de 8.5 metros.

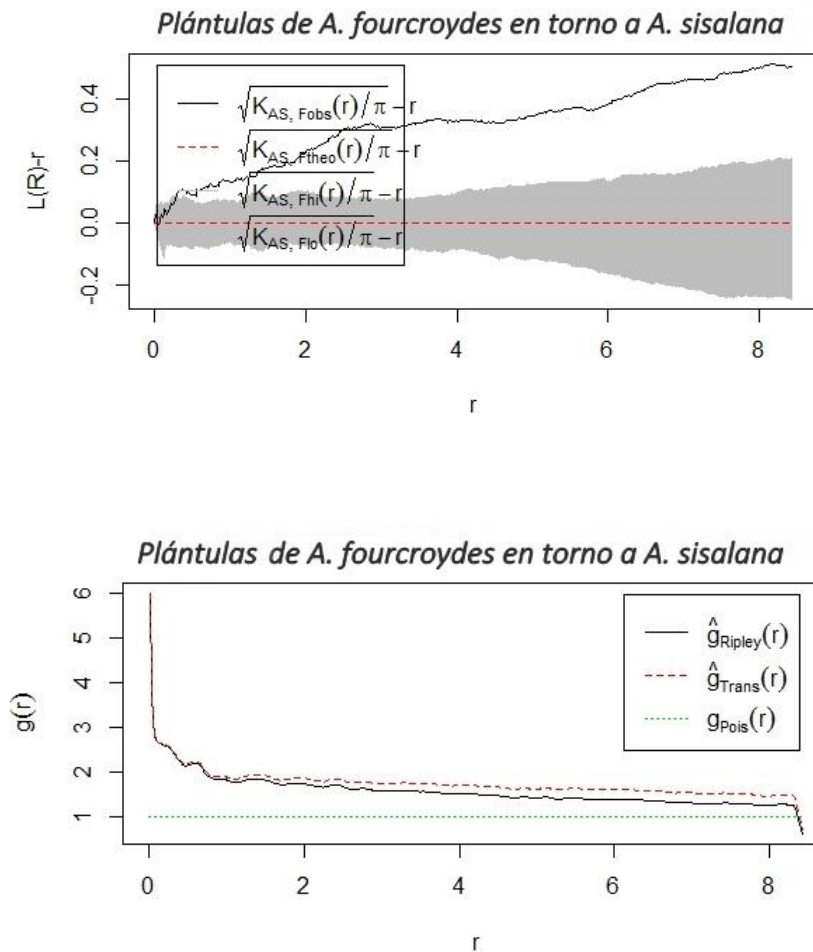


Fig. 24. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. fourcroydes* en torno a *A. sisalana*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Las plántulas de *A. sisalana* tienden a agruparse en torno al resto de individuos de su misma especie formando agregados de 8.5 metros.

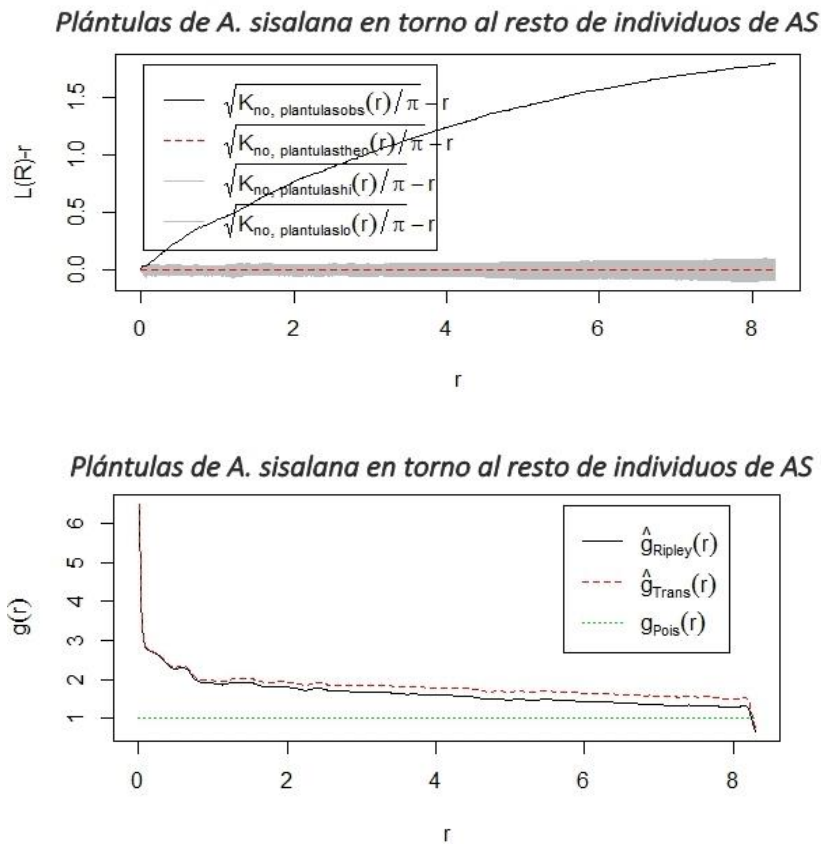


Fig. 25. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. sisalana* en torno al resto de individuos de la misma especie, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Lo mismo ocurre con las plántulas de *A. sisalana* en torno a los individuos de *A. fourcroydes*. Se agrupan formando agregados de 8.5 metros.

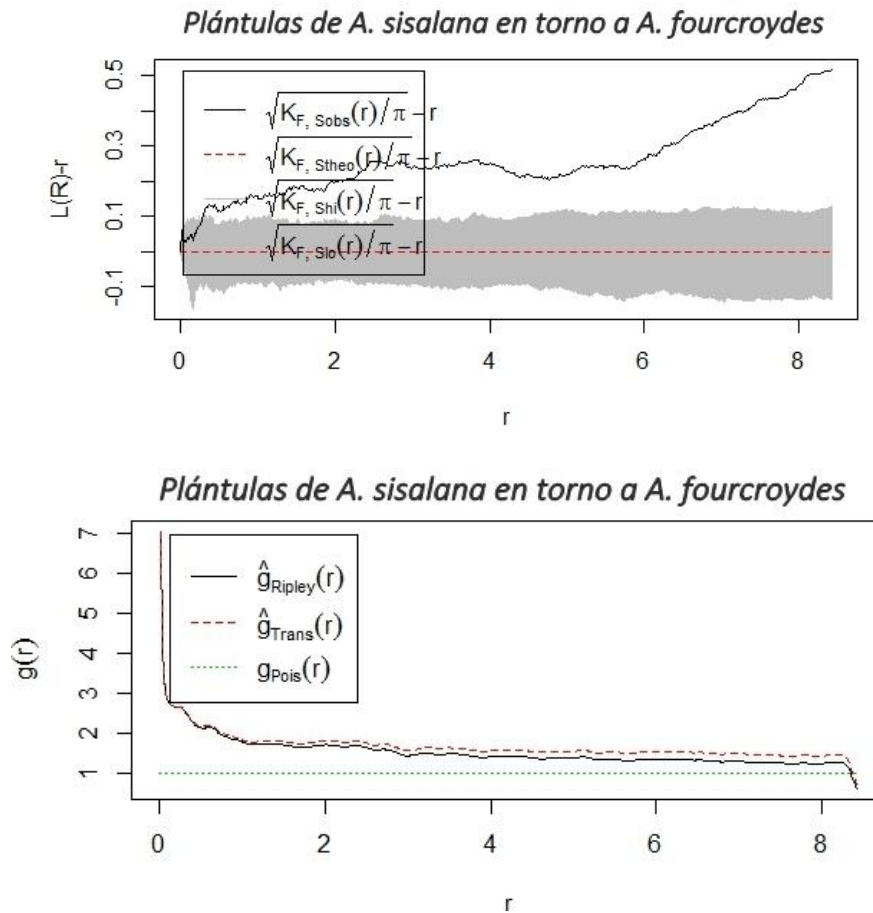


Fig. 26. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. sisalana* en torno a *A. fourcroydes*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ biviariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Anexo IV. Interacción de las especies de *Agave* con *Ziziphus*.

a. Interacción del conjunto *Agave fourcroydes* con *Ziziphus lotus*.

En general, *A. fourcroydes* se agrega en torno a *Z. lotus* formándose un tamaño de agregado de 7 metros.

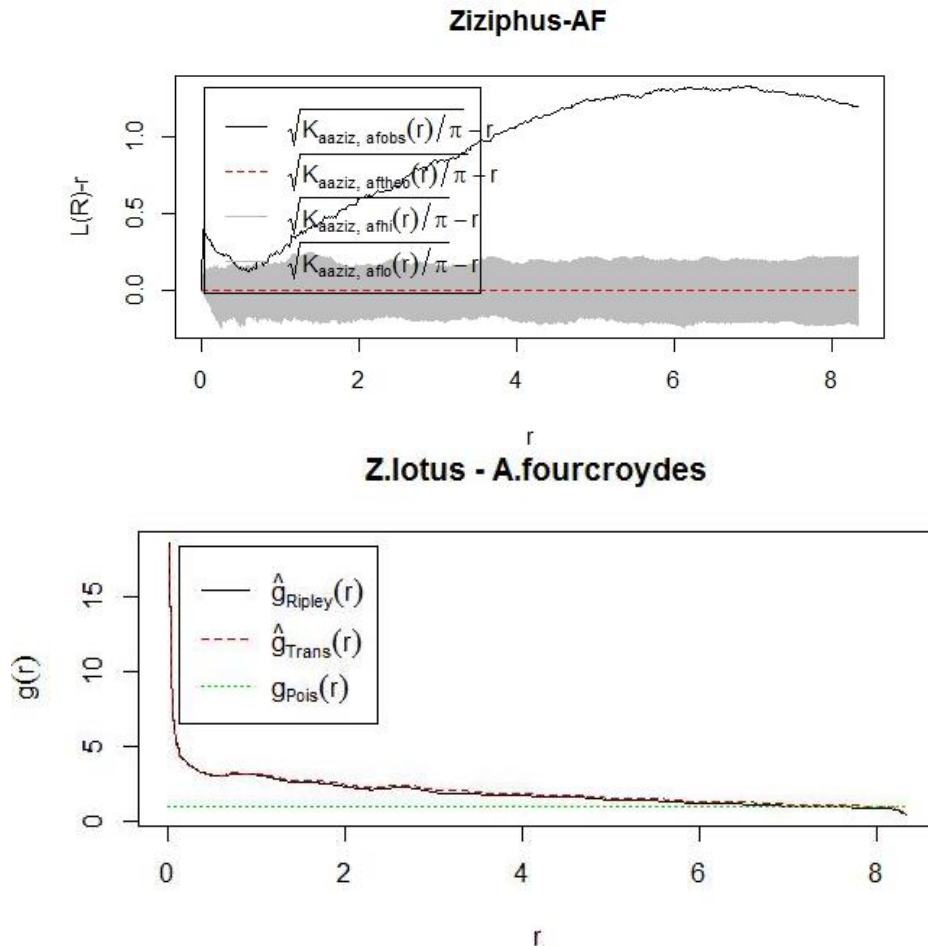


Fig. 27. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de *A. fourcroydes* en torno a *Z. lotus*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

b. Interacción de las cohortes de *Agave fourcroydes* con *Ziziphus lotus*.

Los brotes de *A. fourcroydes* también se agregan entorno a *Z. lotus*. El tamaño de agregado que se deriva de ello es de 6.5 metros.

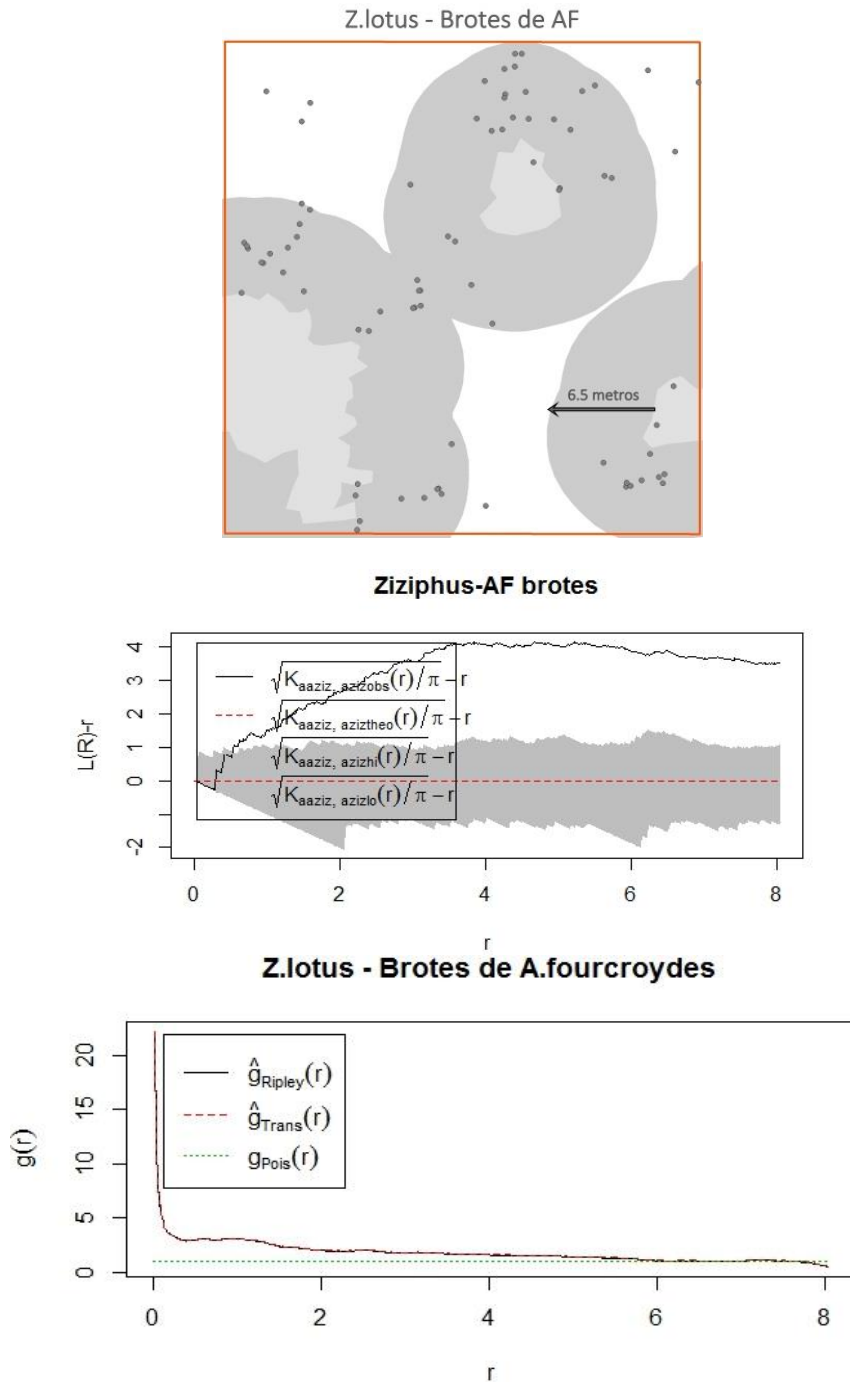


Fig. 28. Arriba: Representación espacial de los brotes de *Agave fourcroydes* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. fourcroydes* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivariada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Las plántulas de *A. fourcroydes* forman agregados de 6 metros en torno a *Z. lotus*.

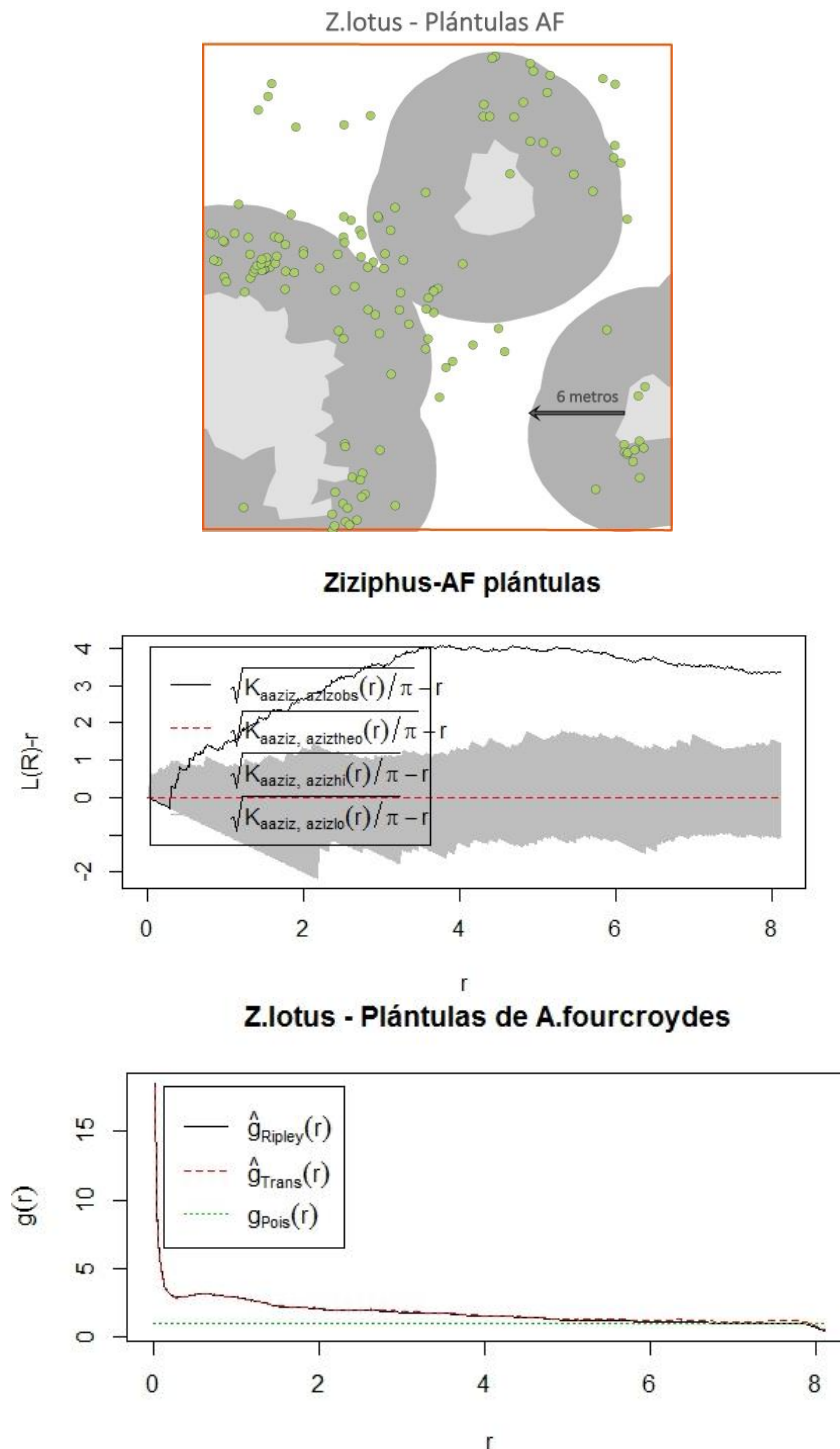


Fig. 29. Arriba: Representación espacial de las plántulas de *Agave fourcroydes* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. fourcroydes* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivariada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los individuos juveniles de *A. fourcroydes* se agrupan en torno a *Z. lotus* formando agregados de 7 metros.

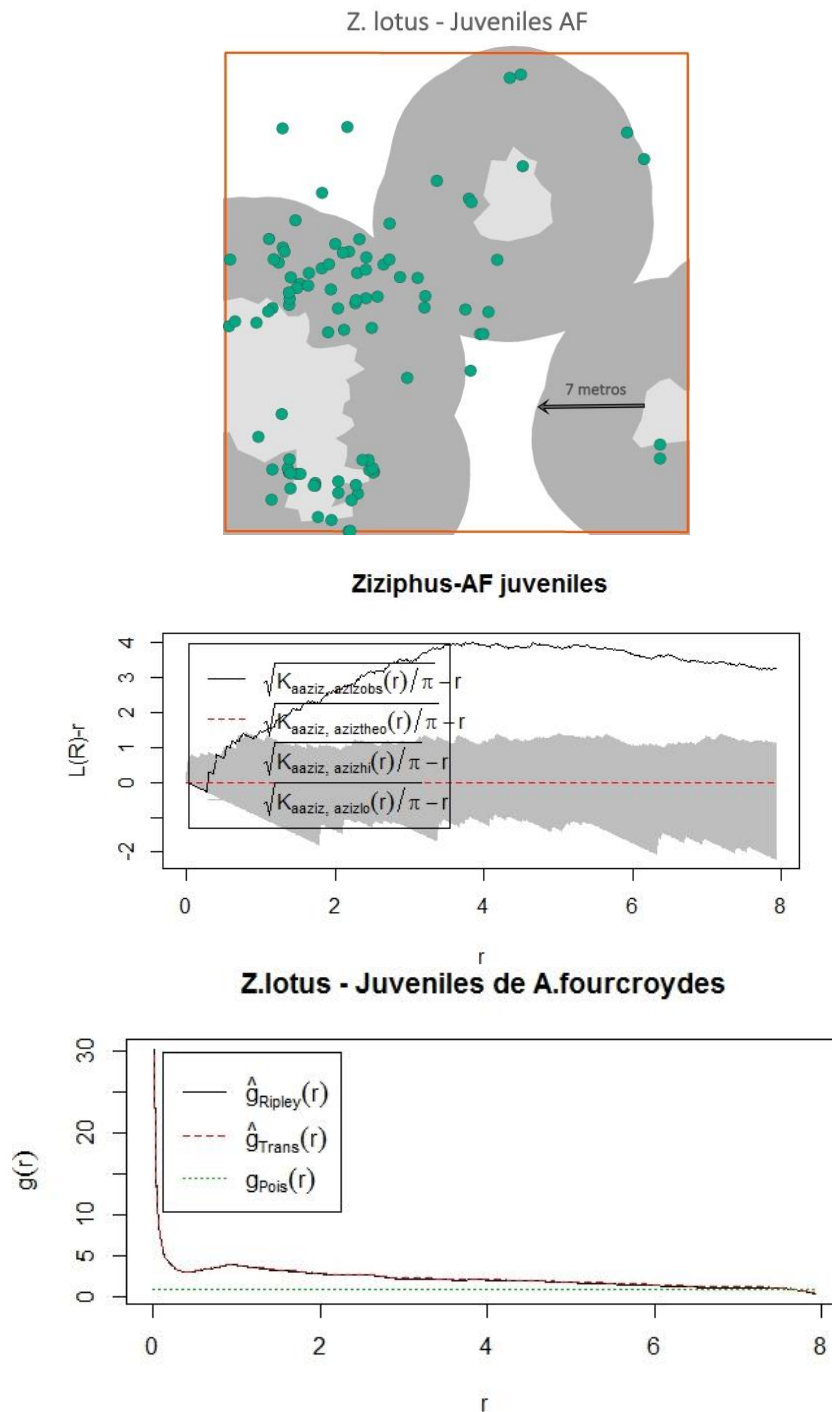


Fig. 30. Arriba: Representación espacial de los juveniles de *Agave fourcroydes* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los juveniles de *A. fourcroydes* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivariada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los preadultos de *A. fourcroydes* forman agregados de 6.5 metros en torno a *Z. lotus*.

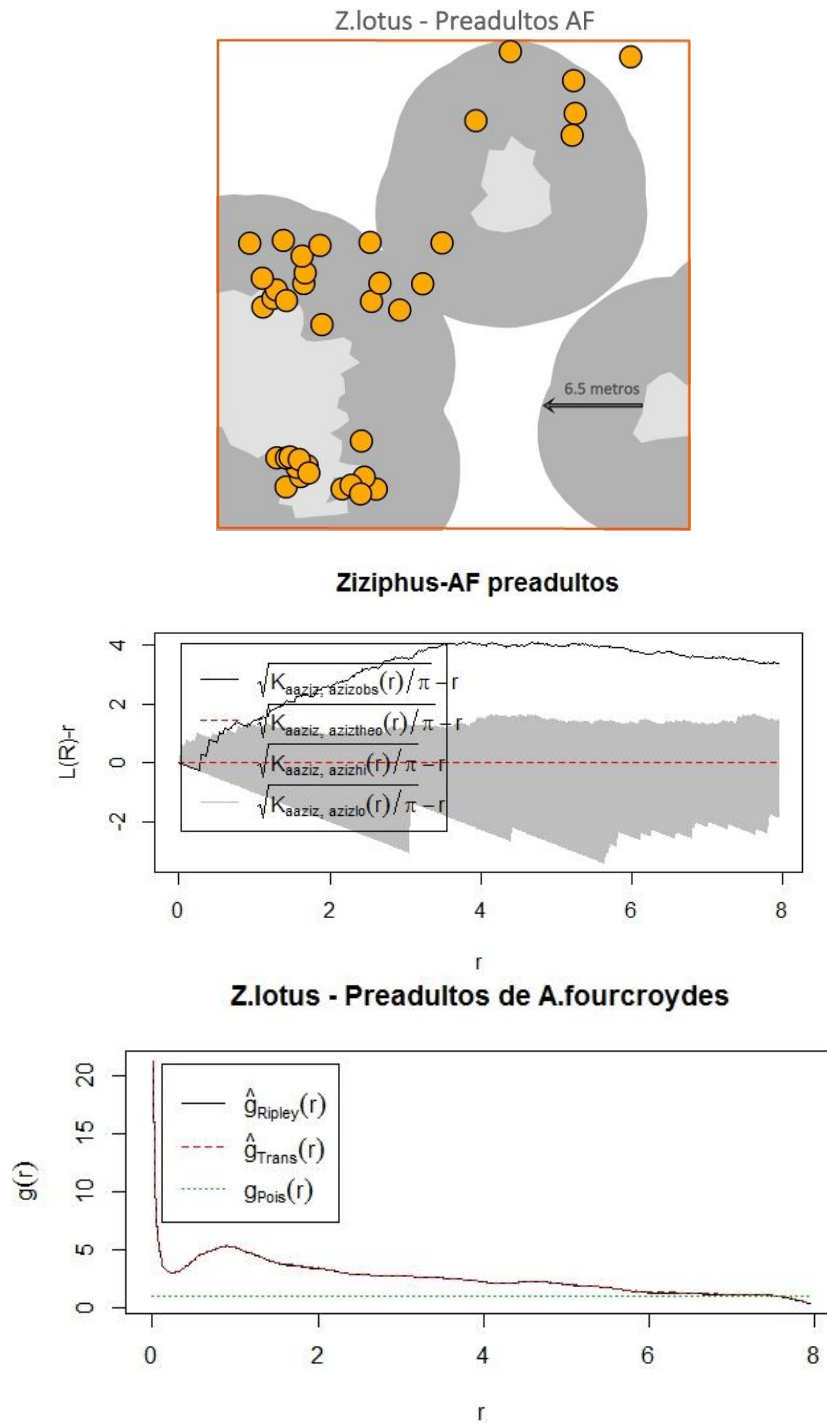


Fig. 31. Arriba: Representación espacial de los preadultos de *Agave fourcroydes* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los preadultos de *A. fourcroydes* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ biviada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

c. Interacción del conjunto *Agave sisalana* con *Ziziphus lotus*.

En general, los individuos de *A. sisalana* se agrupan en torno a *Z. lotus* formando agregados de 8.5 metros

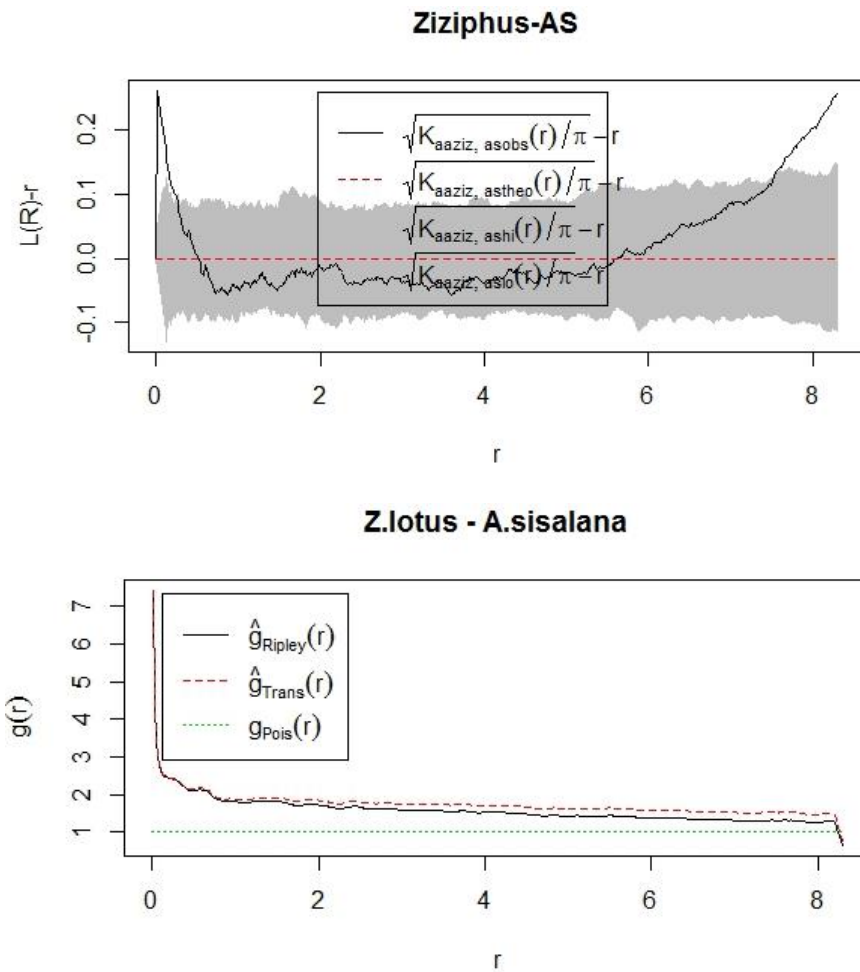


Fig. 32. Arriba: Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de *Agave sisalana* en torno a *Ziziphus lotus*, función $L(r)$. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** tamaño medio del agregado según la función $g(r)$ bivariada. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

d. Interacción de las cohortes de *Agave sisalana* con *Ziziphus lotus*.

Los brotes de *A. sisalana* presentan, en general, un patrón uniforme en torno a *Z. lotus*. A escalas concretas, aparece cierta agrupación que nos da un tamaño medio de agregado de 8 metros.

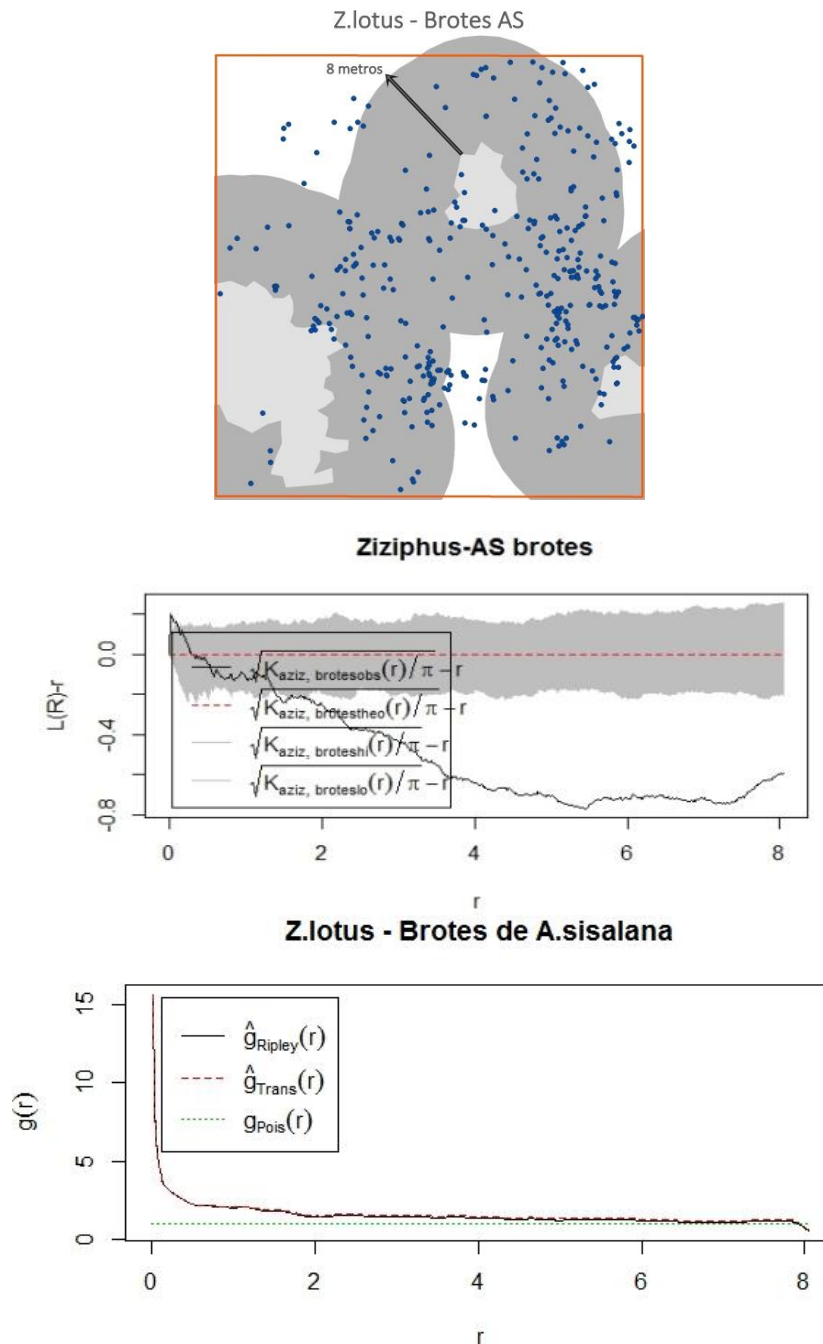


Fig. 33. Arriba: Representación espacial de los brotes de *Agave sisalana* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los brotes de *A. sisalana* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivariada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Algo similar ocurre para las plántulas. En este caso, el patrón espacial es al azar en torno a *Z. lotus* de forma general salvo en algunos puntos donde aparece agrupación con un tamaño de agregado de 8.5 metros.

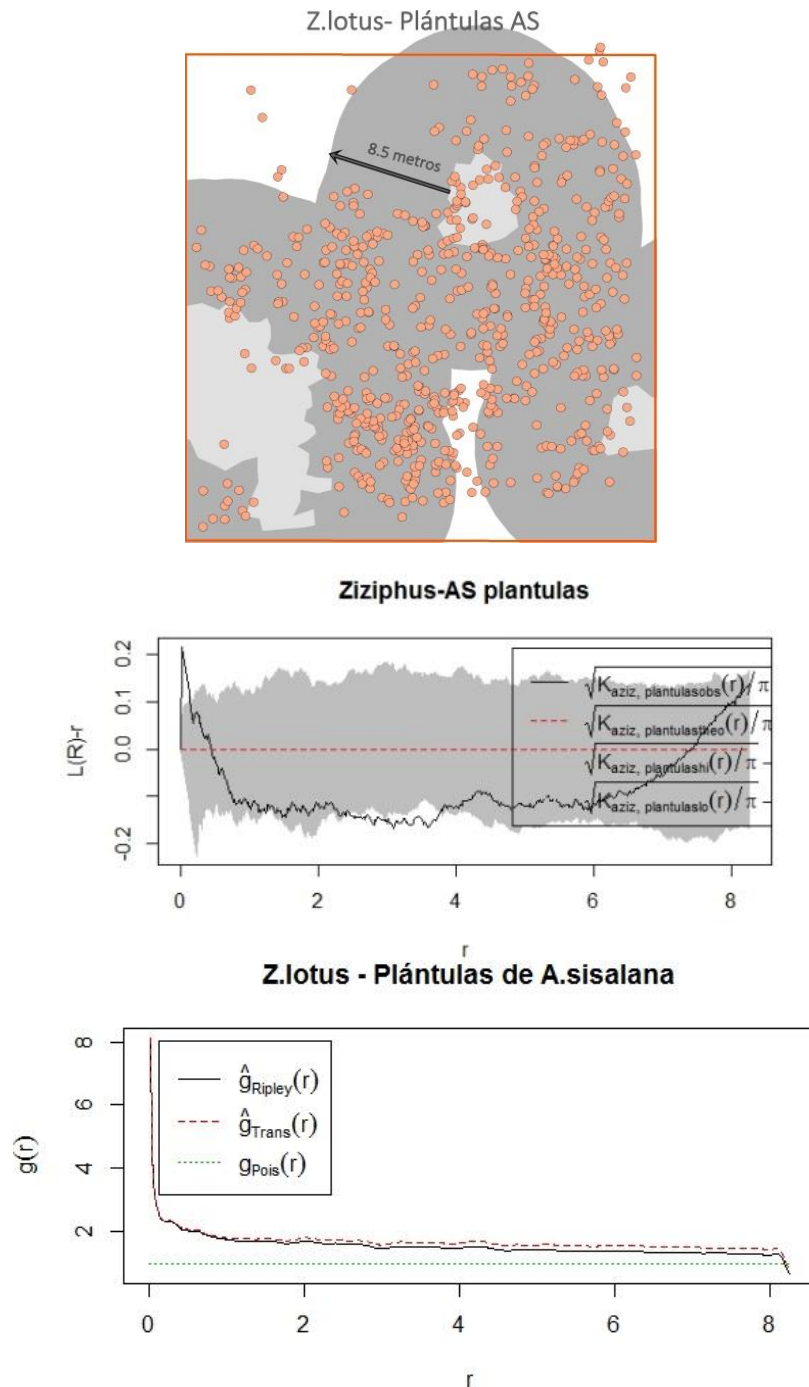


Fig. 34. Arriba: Representación espacial de las plántulas de *Agave sisalana* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de las plántulas de *A. sisalana* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivariada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Los individuos juveniles de *A. sisalana* presentan un patrón agregado en torno a *Z. lotus* con un tamaño medio de 8 metros.

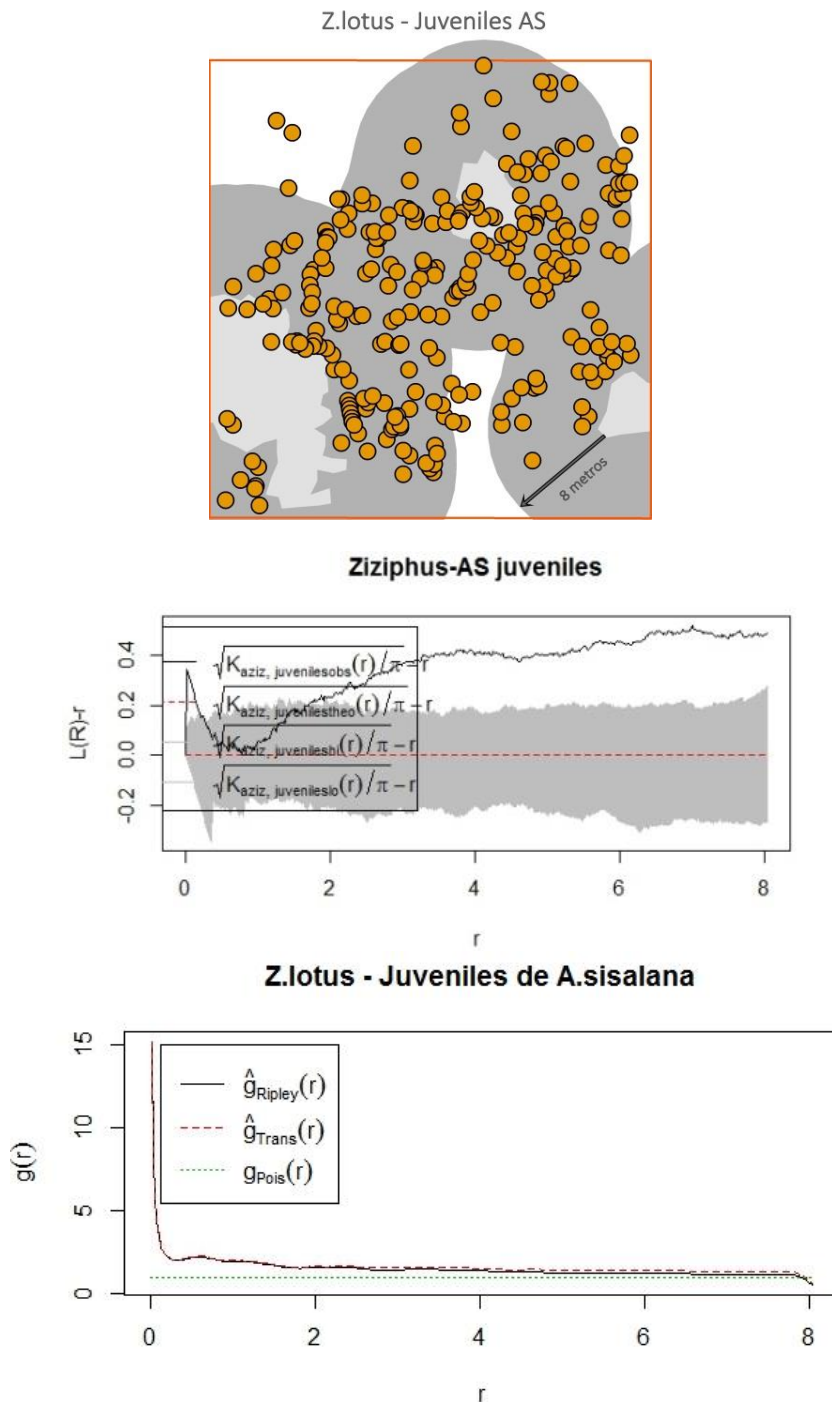


Fig. 35. Arriba: Representación espacial de los juveniles de *Agave sisalana* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los juveniles de *A. sisalana* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivarida. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

Finalmente, los preadultos de *A. sisalana* también se agrupan en torno a *Z. lotus* aunque en este caso el tamaño medio del agregado es menor, 6.5 metros.

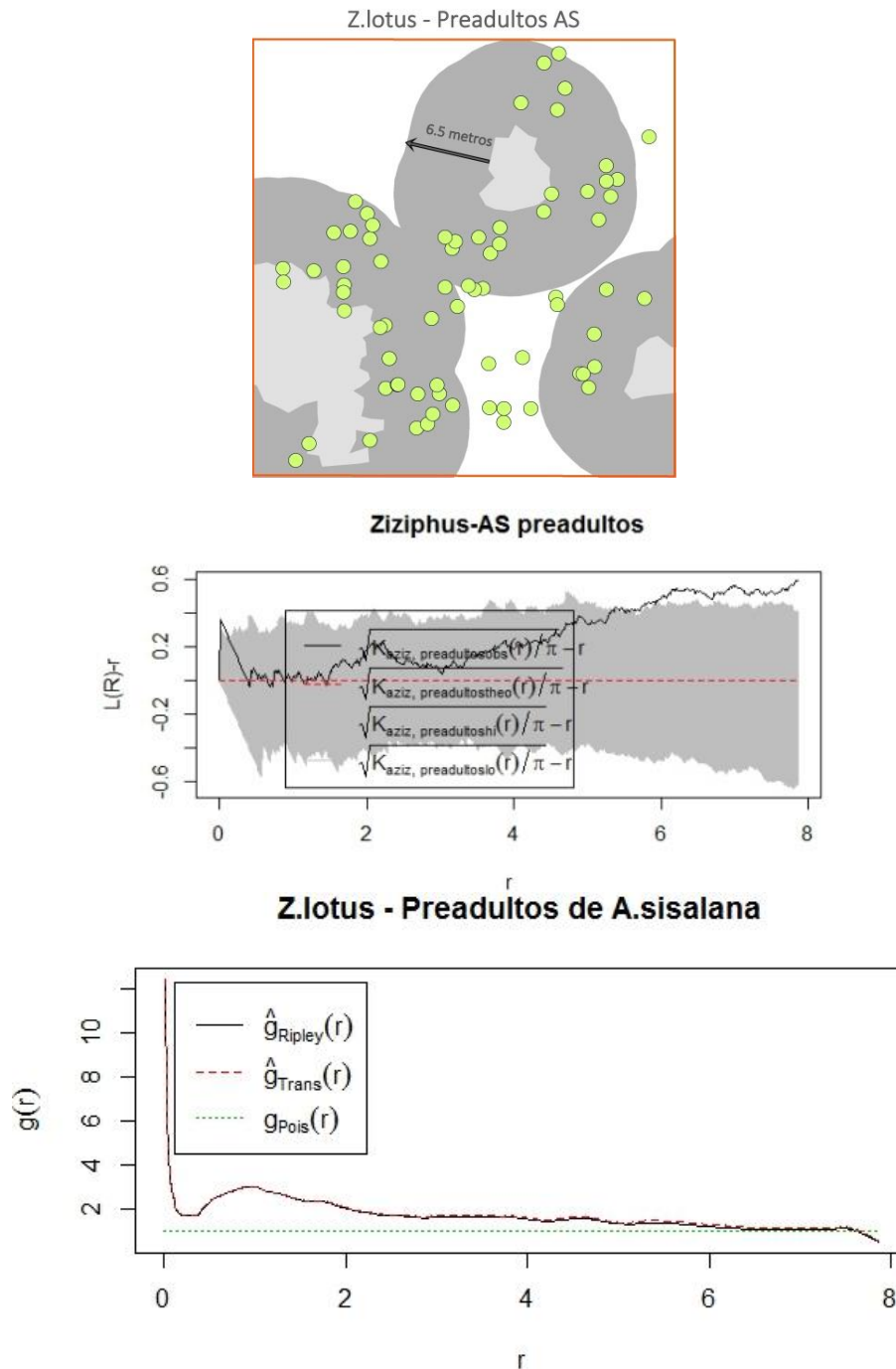


Fig. 36. Arriba: Representación espacial de los preadultos de *Agave sisalana* (puntos) en torno a *Ziziphus lotus* (manchas gris claro). Las manchas oscuras representan el tamaño medio del agregado. **Centro:** Análisis espacial de segundo orden del patrón de distribución de los preadultos de *A. sisalana* con respecto a *Z. lotus*, función $L(r)$ bivariada. Si $L(r)-r = 0$ el patrón es al azar; si $L(r)-r > 0$ es agregado y si $L(r)-r < 0$ es uniforme a la escala r considerada. La franja gris representa los valores críticos que delimitan el intervalo de hipótesis nula para 1000 repeticiones. **Abajo:** Tamaño medio del agregado según la función $g(r)$. El valor puede estimarse a partir de la escala para la que el valor de la función cae hasta 1 (línea verde punteada). La línea negra representa el valor de $g(r)$ teórico y la roja punteada una corrección.

8. Bibliografía

- Andreu J. y Vilà M. 2007. Análisis de la gestión de las plantas exóticas en los espacios naturales españoles. *Ecosistemas*. 2007/3.
- Badano E. y Pugnaire F. 2004. Invasions of *Agave* species (*Agavaceae*) in south-east Spain: invader demographic parameters and impacts on native species. *Diversity and Distributions* 10: 493-500.
- Canfield R.H. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *J. Forestry* 39:388-394.
- Capel J.J. 1990. Climatología de Almería. Cuadernos Monográficos 7. Instituto de Estudios Almerienses, Almería, Spain.
- Coulloudon B., Eshelman K., Gianola J., Habich N., Hughes L., Johnson C., Pellant M., Podborny P., Rasmussen A., Robles B., Shaver P., Spehar J., y Willoughby J. 1999. Pages 31-130 in *Sampling Vegetation Attributes*.
- Cressie N. 1993. *Statistics for Spatial Data*, revised ed. Wiley, New York.
- De la Cruz Rot M. 2008. Métodos para analizar datos puntuales. P. 75-127. En: Maestre Gil F.T., Escudero Alcántara A. y Bonet A. (Ed.). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Madrid.
- Denver, CO: USDI-BLM Interagency Technical Reference 1734-4. Daniele L., Vallejos A., Sola F., Corbella M. y Pulido-Bosch A. 2011. Hydrogeochemical processes in the vicinity of a desalination plant (Cabo de Gata, SE Spain). *Desalination* 277: 338-347.
- DAISIE. 2009. *Handbook of alien species in Europe*. Springer, Dordrecht.
- Dana E., Sanz-Elorza M., Vivas S. y Sobrino E. 2005. *Especies vegetales invasoras en Andalucía*. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Davies K.W. y Johnson D.D. 2011. Are We “Missing the Boat” on Preventing the Spread of Invasive Plants in Rangelands? *Invasive Plant Science and Management* 4:166–171.
- Davis M A. 2009. *Invasion biology*. Oxford University Press. Oxford.
- Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. 2011. *Monografía del Henequén y Sisal*. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial.
- Ewel J.J. 1986. Invasibility lessons from South Florida. In HA Mooney and JA Drake, ed. *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii*, pp. 214–230. *Ecological Studies* 58, Springer-Verlag.
- Evans S. 2001. From Kanasín to Kansas: Mexican Sisal, Binder Twine, and the State Penitentiary Twine Factory, 1890–1940.
- Ferre Bueno E. y Senciales González J.M. 2001. *Investigaciones biogeográficas en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería)*. Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones.
- Franck A.R. 2012. Guide to *Agave*, *Cinnamomum*, *Corymbia*, *Eucalyptus*, *Pandanus*, and *Sansevieria* in the flora of Florida. *Phytoneuron* 2012-102: 1–23.
- García García J.P., Sánchez Caparós A., Castillo E., Marín I., Padilla A. y Rosso J.I. 2003. Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en la zona de Cabo de Gata. Juan Antonio López-Geta J.A., Gómez J.D., De la Orden J.A., Ramos G. y Rodríguez L. *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*, p. 413-422. IGME. Madrid.
- García Mendoza A. 2007. Los agaves de México. *Ciencias* 87, p. 14-23.
- González G., Alemán S. e Infante D. 2003. Asexual genetic variability in *Agave fourcroydes* II: selection among individuals in a clonally propagated population. *Plant Science* 165 595/601.
- Guillot Ortiz D., Van der Meer P., Laguna Lumbreras E. y Roselló Picornell J. 2008. El género *Agave* L. en la flora alóctona valenciana. *Monografías de la revista Bouteloua*, nº 3, 94 pp. Jolube Consultor y Editor Ambiental. Jolube.es y FloraMontiberica.org.
- Hartemink A.E. 1995. Soil fertility decline under sisal cultivation in Tanzania. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. Technical paper nº 28.
- Hobbs R.J., Arico S., Aronson J., Bridgewater P., Cramer V.A., Epstein P.R., Ewel J.J., Klink C.A., Lugo A.E., Norton D., Ojima D., Richardson D.m., Sanderson E.W., Valladares F., Vilà M., Zamora R. y Zobel M. 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography* 15, 1–7.

- Ibarra Benlloch P., Carcía de Celis A., Fidalgo Hijano C., Gil Fernández A., Melón Arias M.C., Ruiz Flaño P., Yanes Luque A., Senciales González J.M. y Ferre Bueno E. 2001. Aproximación a los suelos de Cabo de Gata. En: Ferre Bueno E. y Senciales González J.M. (Coord). Investigaciones biogeográficas en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería). Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones.
- Ledo A., Condés S., Montes F. 2011. Intertype mark correlation function: A new tool for the analysis of species interactions. *Ecological Modelling* 222, 580–587.
- Legendre P. y Fortin M.J. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80, 107–138.
- Lockwood J.L., Hoopes M.F. y Marchetti M.P. 2007. *Invasion ecology*. Blackwell Publishing, Malden. EEUU.
- Maestre Gil F.T. y Escudero Alcántara A. 2008. Introducción. P 1-32. En: Maestre Gil F.T., Escudero Alcántara A. y Bonet A. (Ed.). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Madrid.
- Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja Cabo de Gata 1059, 23-44. Instituto geológico y minero de España. 1981.
- Navarro Pérez L.C. 2005. Una experiencia frustrada de desarrollo agrario. El Servicio de Explotación y Mejora de Zonas Áridas del Sudeste Español (SEMZASE). II Congreso Internacional Historia de la Transición en España: Los inicios del proceso democratizador. Universidad de Almería.
- Osborne J. y Singh D. 1980. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America, Hybridization of Crop Plants.
- Samarín C. 2008. Caso 11: el picudo rojo de las palmeras de Canarias. En: Vilá M., Valladares F., Traveset A., Santamaría L., Castro P. 2008. *Invasiones biológicas*, p 187-190.
- Sánchez Martos F., Calaforra Chordi J.M. y Alonso-Blanco J.M. 2001. Encuadre geológico de la provincia de Almería. *Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas*. Pag 15-28.
- Sanz Elorza M., Dana Sánchez E. D y Sobrino Vesperinas E. 2004. *Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 378 p.
- Sauper H. 2004. *La pesadilla de Darwin*. Francia. (Documental).
- Sola F., Daniele L., Vallejos A y Sánchez-Martos F. 2008. Integración de datos litológicos, hidrogeológicos y geofísicos para el estudio del acuífero detrítico costero de Cabo de Gata (Almería, SE España). *Geo-Temas* 10: 829-832.
- Sola F., Daniele L., Sánchez Martos F., Vallejos A., Urizar R y Pulido Bosch A. 2007. Influencia de la desaladora de Rambla Morales (Almería) sobre las características hidrogeológicas del acuífero del que se abastece. En: *Los acuíferos costeros: retos y soluciones*. I: 997-1004.
- Tirado R. 2009. 5220 Matorrales arborescentes con *Ziziphus*. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Tirado R. 2003. Positive interactions between plants in semi-arid communities: mechanisms and consequences. PhD thesis, University of Seville, Spain
- Tirado R. y Pugnaire F. 2003. Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. *Oecologia* 136: 296-301.
- UE. 2008. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. *Hacia una estrategia de la UE sobre especies invasoras*.
- UICN. 2000. IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. UICN. Suiza.
- Upton G.J.G. y Fingleton B. 1985. *Spatial data analysis by example*. Vol. 1: Point pattern and quantitative data. Wiley, Chichester, UK.
- Valle F. 2004. Coord. *Datos botánicos aplicados a la gestión del medio natural andaluz II: series de vegetación*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Viciano Martínez-Lage A. 2001. *Erosión Costera en Almería 1957-1995*. Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería.
- Vilà M., Valladares F., Traveset A., Santamaría L y Castro P. 2008. *Invasiones biológicas*. Consejo superior de investigaciones científicas.

Villalobos Megía M. (ed) 2003. *Geología del entorno árido almeriense. Guía didáctica de campo*.
Consejería de Medio Ambiente-Ministerio de Medio Ambiente (ACUSUR).

Otros

Directiva 92/43/CEE del consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DO L 206 de 22.7.1992, p. 7).

“A Almería se le está conduciendo la prosperidad”. ABC 19-07-1956, p.20.

“El cultivo de agaves representa una nueva riqueza para la provincia de Almería”. ABC 4-04-1956, p. 32.

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web>