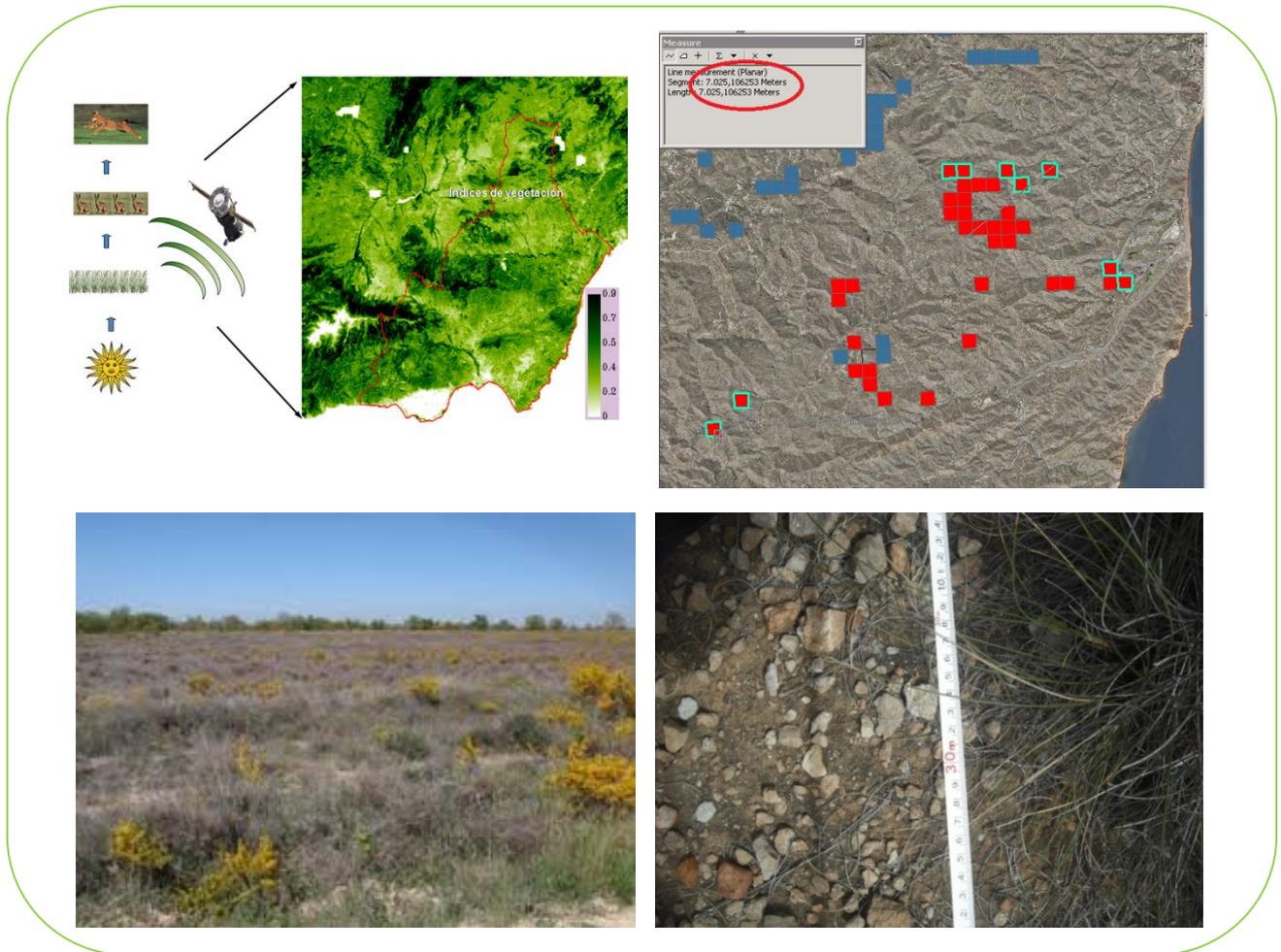


PROYECTO AMBIENTAL

Diseño de muestreo para medir efectos de los cambios en la diversidad de especies sobre el servicio ecosistémico de captura de carbono en matorrales mediterráneos



TRABAJO FIN DE CARRERA

Beatriz Pérez Cazorla

Licenciatura en Ciencias Ambientales



Trabajo Fin de Carrera de la Licenciatura en Ciencias Ambientales

Curso 2013/2014

Realizado por:

Pérez Cazorla, Beatriz

Tutorizado por:

Alcaraz Segura, Domingo

Peñas de Giles, Julio

Dpto. de Botánica. Universidad de Granada

**DISEÑO DE MUESTREO PARA MEDIR EFECTOS DE LOS CAMBIOS EN LA
DIVERSIDAD DE ESPECIES SOBRE EL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE
CAPTURA DE CARBONO EN MATORRALES MEDITERRÁNEOS**

ÍNDICE:

1.	Resumen.....	4
2.	Introducción.....	5
	2.1. Objetivos e hipótesis guía.....	10
3.	Material y Métodos.....	11
	3.1. Área de estudio.....	11
	3.2. Bases de datos utilizadas para las variables implicadas en el estudio.....	12
	3.3. Muestreo de campo de diversidad de plantas perennes.....	15
	3.4. Análisis de la relación entre productividad, clima, litología y diversidad...17	
4.	Resultados y discusión.....	18
	4.1. Diseño propuesto para el muestreo.....	18
	4.2. Validación longitud del transecto.....	24
	4.3. Relación PPN/diversidad para distintos climas y litologías.....	27
	4.4. Implicaciones para la gestión.....	27
5.	Bibliografía.....	29
6.	ANEXOS	
	6.1. ANEXO I.....	38
	6.2. ANEXO II.....	48

DISEÑO DE MUESTREO PARA MEDIR EFECTOS DE LOS CAMBIOS EN LA DIVERSIDAD DE ESPECIES SOBRE EL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CAPTURA DE CARBONO EN MATORRALES MEDITERRÁNEOS

1. Resumen

La captura y almacenamiento de carbono en las plantas y el suelo está considerada como uno de los principales servicios ecosistémicos intermedios del que dependen muchos otros. La tasa de provisión de este servicio viene determinada por la producción primaria del ecosistema, que a su vez depende de las condiciones climáticas, el tipo de suelo y la biodiversidad de plantas. Trabajos recientes han mostrado cómo la diversidad composicional y funcional de plantas tienen un efecto positivo sobre el almacenamiento de carbono y la producción primaria. Así, los bosques con mayor diversidad de árboles de la Península Ibérica, especialmente con mayor diversidad funcional, presentan mayor producción primaria y biomasa de la que cabría esperar por sus condiciones climáticas. Sin embargo, estos efectos todavía están poco estudiados en matorrales mediterráneos. Debido a la gran extensión que ocupan los matorrales (formación vegetal dominante en la Región Mediterránea) y a que éstos sean especialmente vulnerables al cambio global, es necesario estudiar cómo afectarían las potenciales variaciones en la biodiversidad de los matorrales a las funciones y servicios ecosistémicos que proporcionan.

Este Trabajo Fin de Carrera (TFC) ha abierto una nueva línea de investigación del Dpto. de Botánica de la Universidad de Granada en la que pretendemos analizar la relación entre la producción primaria y la diversidad funcional y composicional de plantas a lo largo de gradientes climáticos y edáficos en matorrales mediterráneos del SE ibérico. En particular, este TFC se ha centrado en sentar las bases de un diseño del muestreo completo que permita evaluar y seguir en el tiempo la hipótesis que guía esta investigación H_0 : *Los matorrales con mayor diversidad (funcional y composicional) tienen mayor producción primaria de lo esperado por el control climático y litológico.*

Para ello, por un lado se estima la producción primaria mediante imágenes de satélite del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) capturadas por el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y, por otro lado, se estima la diversidad composicional y funcional

de plantas a partir de muestreos de campo y bases de datos sobre caracteres funcionales. El diseño del muestreo resultante permite aislar el efecto directo sobre la producción primaria que tiene la diversidad de plantas, del que tienen otros factores como el clima, la litología, o el suelo. En cada combinación de tipo de litología (esquistos, calizas y filitas) y tipo de clima (árido-cálido, árido-frío, húmedo-cálido, húmedo-frío, y mésico), se seleccionaron un mínimo de cinco píxeles que cumplieran estos requisitos: 1) dominados por matorral (>85%), 2) relieve homogéneo, 3) sin uso humano ni cambios de uso del suelo recientes, 4) sin árboles, 5) sin grandes diferencias (<10%) en estacionalidad del EVI respecto al resto de su tipo de litología y clima, 6) separados de otros píxeles muestreados más de 6 km para evitar la autocorrelación espacial. En cada píxel seleccionado se realizaron cuatro muestreos sistemáticos de puntos de intercepción en línea y se obtuvieron los índices de diversidad funcional y composicional de plantas vasculares perennes. Para el análisis de la relación entre productividad, clima, litología y diversidad, se utilizará un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM). La productividad se modelizará como variable respuesta a partir de las variables explicativas de precipitación, temperatura, litología, estacionalidad y las distintas medidas de diversidad composicional y funcional de especies.

2. Introducción

La captura y almacenamiento de carbono en las plantas y el suelo está considerada como uno de los principales servicios ecosistémicos intermedios del que dependen muchos otros como la regulación del clima (Conti y Díaz 2013), la producción de forraje o madera (Irisarri *et al.* 2013), etc. Existen diferencias en la capacidad de captura de carbono entre distintos tipos de vegetación y condiciones climáticas. En climas mediterráneos, la producción primaria está limitada fundamentalmente por la sequía de verano y, en menor medida, por el frío de invierno (Nemani *et al.* 2001) y por la biodiversidad que albergan (Davis y Richardson 2011). Por ejemplo, Ruíz-Benito *et al.* (2014) han mostrado recientemente cómo los bosques con mayor diversidad de árboles de la Península Ibérica, especialmente con mayor diversidad funcional, presentan mayor productividad y biomasa de la que cabría esperar por sus condiciones climáticas. La comprensión de las relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas es importante para la gestión sostenible (Cong *et al.* 2014). De los estudios realizados hasta ahora, se deduce que la productividad aumenta con la riqueza de especies (Cardinale *et al.* 2012). Este patrón se atribuye a la facilitación y/o uso de los recursos complementarios entre las especies (Hooper *et al.* 2005) o un efecto de la selección

debido a una mayor posibilidad de inclusión de una especie sumamente productiva (Huston 1997). Estos estudios muestran efectos positivos de la diversidad de plantas en la productividad y la captura de carbono del suelo [(Formara y Tilman, 2008); experimento de Jena (Steinbeiss *et al.* 2008)]. Otros además han demostrado que la relación productividad-diversidad se fortalece con el tiempo (Cardinale *et al.* 2007; Van Ruijven & Berendse 2009; Allan *et al.* 2011; Reich *et al.* 2012).

La diversidad funcional afecta a la acumulación C en la planta y las acciones del suelo conducen a la presencia de efectos que dan lugar a diferentes valores de rasgo funcionales sobre la dinámica del C. La coexistencia de plantas con diferencias de valores en los rasgos funcionales debería conducir a un mayor empleo de los recursos por la comunidad y con ello a una mayor producción de biomasa y un valor más alto de entrada de C en el suelo. Los estudios empíricos que muestran esta conexión entre la composición funcional y el almacenamiento de carbono en ecosistemas naturales son todavía muy raros (Conti y Díaz, 2013).

La mayoría de los estudios de las relaciones entre biodiversidad y producción primaria han utilizado la riqueza de especies como una medida de la diversidad (Maestre *et al.*, 2012). Sin embargo, se ha demostrado que la diversidad funcional conecta mejor los mecanismos subyacentes de los efectos de la biodiversidad en el funcionamiento ecosistémico (Hooper *et al.* 2005). Tradicionalmente, la descripción de la vegetación se ha basado en características estructurales y composicionales (como la fisionomía, especies dominantes o la composición florística) (Mueller Dombois y Ellenberg 1974; Stephenson 1990), pero omitiendo la componente funcional del ecosistema. El estudio del funcionamiento de los ecosistemas complementa claramente a los estudios tradicionales (Milchunas y Lauenroth 1995; Wiegand *et al.* 2004). Los enfoques basados en atributos funcionales son una vía prometedora para desentrañar los mecanismos subyacentes de los efectos de la diversidad sobre la productividad (Mokany *et al.* 2008; Paquette y Messier, 2011; Roscher *et al.* 2012).

El monitoreo de la funcionalidad ecosistémica nos sirve para evaluar los procesos ecológicos como las ganancias de carbono o la evapotranspiración, y permite una medición directa de servicios ecosistémicos (Daily 1997). Los atributos funcionales de los ecosistemas pueden ser monitoreados fácilmente y con frecuencia a través de la teledetección (Paruelo *et al.* 2001). Herramienta muy útil para el seguimiento de la dinámica de la vegetación y las respuestas de los ecosistemas a los cambios ambientales (Alcaraz-Segura *et al.*, 2009).

En la actualidad, la teledetección proporciona métodos adecuados para producir una caracterización espacialmente continua del funcionamiento de vegetación a escala regional (Xiao y Moody 2004; Alcaraz-Segura *et al.* 2006). Ambos análisis teóricos y empíricos apoyan la relación entre los índices espectrales derivados de imágenes de satélite y los atributos funcionales, tales como la producción primaria (Petturelli *et al.* 2005), el indicador más integrador y esencial del funcionamiento de los ecosistemas (McNaughton *et al.* 1989; Virginia y Wall, 2001).

El más utilizado de estos índices es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que se calcula a partir de la reflectancia en el rojo y longitudes de onda del infrarrojo cercano ($[(NIR-R) / (NIR+ R)]$; Tucker y Sellers 1986) (Fig. 1). El NDVI se puede utilizar para estimar la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (fAPAR) (Fig. 2) (Myneni y Williams 1994), el control principal de la producción primaria (Monteith 1972) (Fig. 3). La dinámica temporal del NDVI proporciona información crítica sobre la fenología de la superficie terrestre y la estacionalidad de la vegetación, de gran importancia para determinar las diferentes estrategias de captura de carbono (Mooney *et al.* 1977; Orshan 1989).

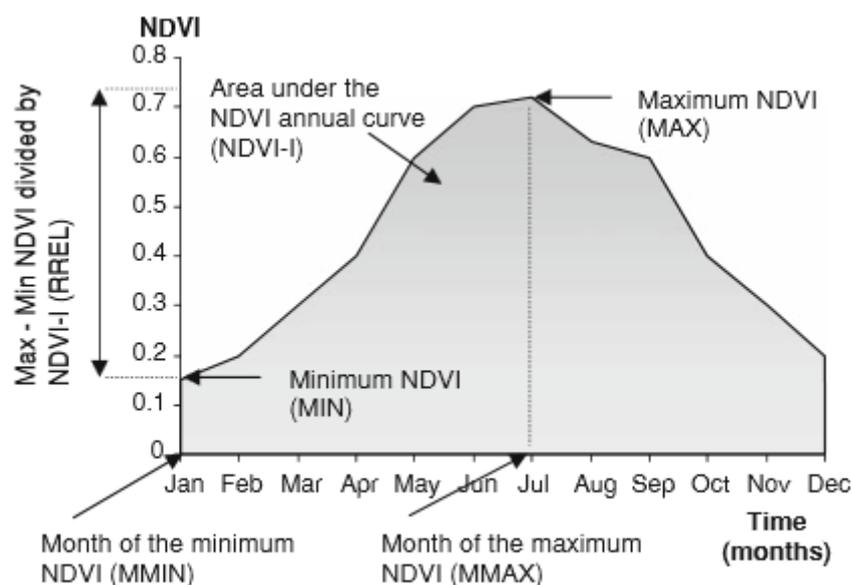


Fig. 1: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) empleados en la caracterización funcional de los tipos de vegetación de la península Ibérica. Alcaraz-Segura *et al.* 2009.

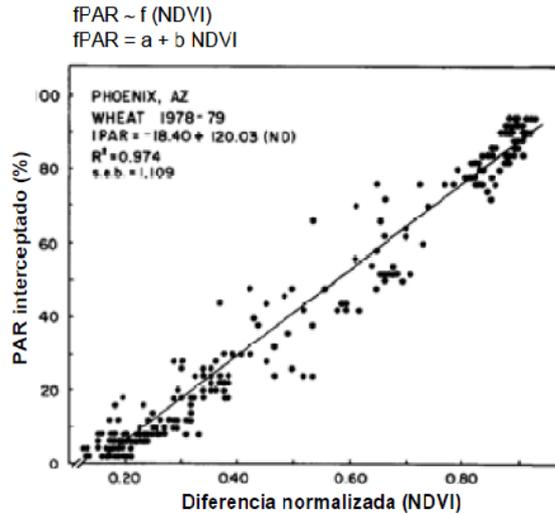


Fig. 2: Relación entre el NDVI y la fracción de radiación interceptada por la vegetación. Hatfield et al., 1984

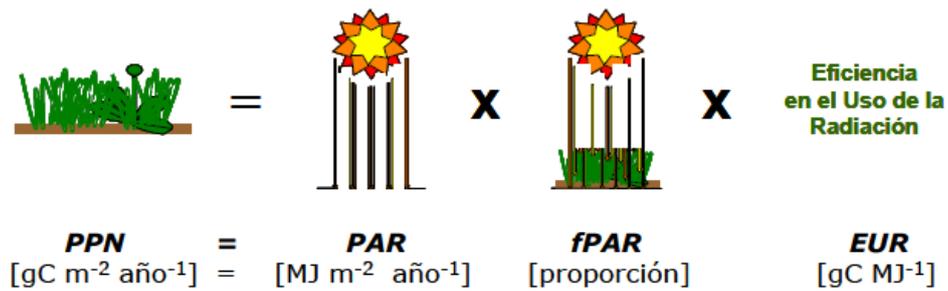


Fig. 3: Modelo de Monteith. Monteith 1972

El índice EVI (Huete 1999), con igual significado biológico (Glenn *et al.* 2008) al NDVI, pero cuyo cálculo incluye también la reflectancia en las longitudes de onda del azul (además del rojo y el infrarrojo cercano), supone una mejora sobre el NDVI, ya que considera el efecto de la atmósfera y la señal radiométrica bajo la cobertura vegetal (Liu y Huete 1995). En áreas con baja cobertura vegetal como el SE Ibérico, el índice EVI da valores algo menores que el NDVI (Fig. 4), debido a la consideración en su fórmula de la reflectancia en las longitudes del onda del azul. No obstante, en estos casos el EVI proporciona una medida más precisa del funcionamiento de los ecosistemas (Evrendilek y Gulbeyaz 2008).

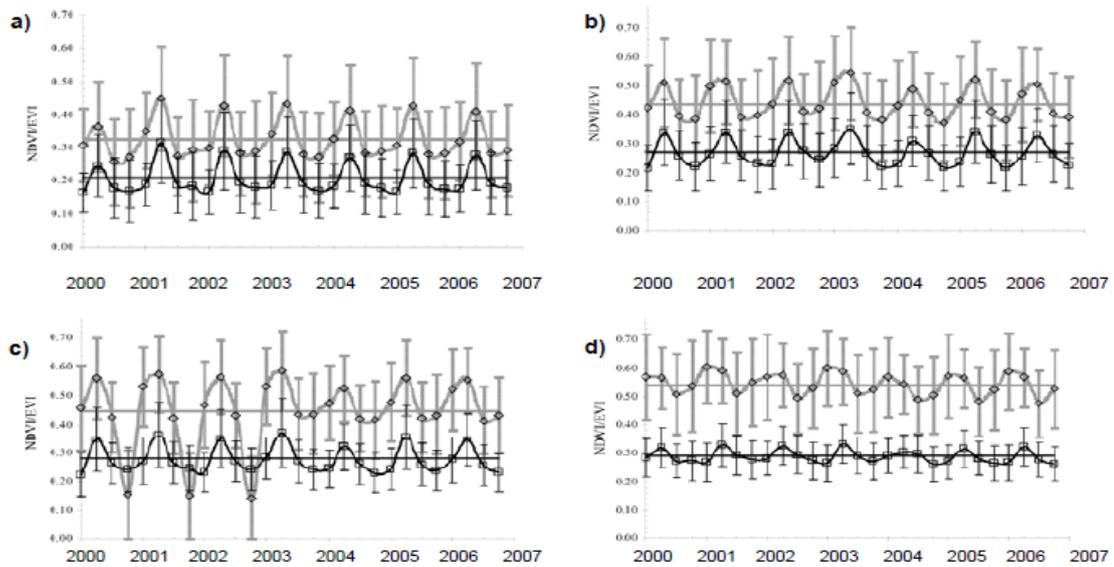


Fig. 4: Series temporales de NDVI (línea gris) y EVI (línea negra) obtenidas del satélite MODIS para el periodo 2000 – 2007 en ecosistemas terrestres naturales de Turquía. El orden recurrente de estaciones a lo largo del año (eje x) es de: invierno, primavera, verano y otoño respectivamente. Las barras de error representan la desviación estándar alrededor de la media (NDVI en gris y EVI en negro respectivamente). a) Vegetación dispersa o suelo desnudo (mediterráneo); b) Herbazales mediterráneas; c) Matorrales/arbustadas mediterráneas; d) Bosque mediterráneo. Evrendileky y Gulbeyaz, 2008.

En climas mediterráneos, la producción primaria está limitada fundamentalmente por la sequía de verano y, en menor medida, por el frío de invierno (Nemani *et al.* 2001) y por la biodiversidad que albergan (Davis y Richardson 2011). Estudios sobre vegetación y clima muestran una relación positiva entre la disponibilidad de agua y el incremento en el almacenamiento de carbono (Woomer *et al.* 2004; Dauber *et al.* 2008; Cifuentes Jara 2008). Por lo que los controles climáticos (temperatura y precipitación) son factores fundamentales a tener en cuenta en el estudio. Además, las comunidades no dependen exclusivamente de los parámetros climáticos y bioclimáticos que varían con la altitud, sino también de otros aspectos, como los relacionados con el suelo (Peñas *et al.* 1995).

Numerosos estudios relacionan el funcionamiento de los ecosistemas con las variables climáticas (Jobbagy *et al.* 2002) y meteorológicas (Burke *et al.* 1991, Paruelo *et al.* 1999), los factores edáficos (Baldocchi *et al.* 2004), la topografía (Ramírez *et al.* 2006) o los usos del suelo (Bradford *et al.* 2006). Todas estas variables control interactúan de forma compleja en el espacio y en el tiempo (Pearson y Dawson 2003). Por ejemplo, la variación espacial de la PPN a nivel continental se asocia a la precipitación media anual (Lauenroth *et al.* 1978, McNaughton *et al.* 1993), mientras que a escalas más locales (por ejemplo, en el Parque Nacional Sierra

Nevada) esa variación se vincula a cambios altitudinales, como variable integradora de los cambios en precipitación y temperatura.

En cualquier caso, existe una fracción de la variación en el funcionamiento ecosistémico que estaría relacionada con las características bióticas del ecosistema (Webb *et al.* 1983, Huxman *et al.* 2004).

La Región del Mediterránea es reconocida como un punto caliente de biodiversidad a nivel mundial (Fig. 5) (Medail y Quezel 1999, Myers *et al.* 2000; Cañadas *et al.* 2013), especialmente vulnerable al cambio climático; a la pérdida y fragmentación de hábitats, y al aumento de la frecuencia de incendios (Sala *et al.* 2000; Schröter *et al.* 2005; Pausas *et al.* 2008). Como consecuencia, las potenciales pérdidas de biodiversidad podrían ser particularmente grandes, con los consiguientes efectos negativos en las funciones ecosistémicas y los servicios relacionados (Lindner *et al.* 2010).



Fig. 5: Puntos calientes de biodiversidad de la Cuenca Mediterránea (zonas en negro). Medail y Quezel, 1999.

2.1. Objetivos e hipótesis guía

El objetivo principal de este trabajo es presentar el diseño de un muestreo experimental que permita analizar la relación entre la diversidad de especies y el servicio ecosistémico de captura de carbono en matorrales mediterráneos. Trabajos recientes en bosques mediterráneos han mostrado cómo la diversidad de especies y la diversidad funcional tienen un efecto positivo sobre el almacenamiento de carbono y la productividad de los árboles (Ruíz-Benito *et al.* 2014), si bien estos efectos en matorrales están todavía poco estudiados (Conti y Díaz, 2013). La hipótesis que guiará el estudio y en función de la cual se diseñará el mismo será la de evaluar si existe un efecto positivo de la diversidad de plantas perennes y la diversidad funcional sobre la productividad en matorrales mediterráneos. También se comprobará si una

mayor diversidad de especies se relaciona positivamente con las reservas de carbono y nitrógeno del suelo sin leguminosas.

Una mayor captura de carbono asociada a una mayor biodiversidad se traduciría en una mayor provisión y calidad de servicios ecosistémicos y, por tanto, en un mayor bienestar humano. La importancia en el conocimiento de la relación entre biodiversidad y captura de carbono como servicio ecosistémico es fundamental para guiar las acciones de conservación y contrarrestar los efectos de la pérdida de especies en el funcionamiento de los ecosistemas.

3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

El área de estudio es el Sureste Ibérico (provincias de Almería y Granada) y el marco de muestreo son grandes parches de matorral homogéneo distribuidos a lo largo de un gradiente de precipitación y temperatura contrastantes (precipitación media anual entre 150 y 850 mm; temperatura media anual entre 6 y 22°C; lo que equivale a termotipos desde el termomediterráneo hasta el oromediterráneo; y ombrotipos desde el semiárido hasta el húmedo (Rivas -Martínez, 1996)).

La historia evolutiva del SE Ibérico, junto con el patrón de variación climática mediterránea, la complejidad topográfica, la diversidad de paisajes y ecosistemas, y el uso antrópico tradicional dan lugar a una gran variedad de tipos de vegetación que albergan una alta diversidad de especies. Se han catalogado 3724 taxones de plantas vasculares con alta proporción de endemismos regionales y locales (Blanca *et al.* 2009), siendo este uno de los motivos de su clasificación como *hotspot* (Cañadas *et al.* 2013).

Los suelos son muy variados dependiendo del material original. Nos situamos en la provincia Bética y en la Murciano-Almeriense, en las Cordilleras Béticas, donde podemos encontrar las denominadas zonas externas (subbéticas) e internas (Complejo Nevado-Filábride y Alpujarride). Según la zona de muestreo que elijamos encontraremos distintas litologías y tipos de suelo.

3.2. Bases de datos utilizadas para las variables implicadas en el estudio

Mapas de Índice de Vegetación Mejorado

Como indicador de la producción primaria se empleó el Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Los índices globales de vegetación MODIS están diseñados para proporcionar comparaciones espaciales y temporales de las condiciones de la vegetación. Elaborado a partir del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite Terra, con un periodo 2001-2013 (producto MOD13Q1).

Los datos globales de MOD13Q1 tienen una resolución temporal de 16 días (23 imágenes por año) y una resolución espacial de 231x231 m (Dionisio *et al.* 2012; Cabello *et al.* 2012), incluyendo la corrección geométrica y atmosférica. El producto MOD13Q1 está compuesto por 12 bandas que tienen las siguientes características como se muestra en la *Tabla 1*.

Banda	Science Data Sets (HDF Layers)(12)	UNITS	BIT TYPE	FILL	VALID RANGE	MULTIPLY BY SCALE FACTOR
1	250m 16 days NDVI	NDVI	16-bit signed integer	-3000	-2000, 10000	0,0001
2	250m 16 days EVI	EVI	16-bit signed integer	-3000	-2000, 10000	0,0001
3	250m 16 days VI Quality detailed QA	Bits	16-bit signed integer	65535	0,65534	NA
4	250m 16 days red reflectance (Band 1)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0,10000	0,0001
5	250m 16 days NIR reflectance (Band 2)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0,10000	0,0001
6	250m 16 days blue reflectance (Band 3)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0,10000	0,0001
7	250m 16 days MIR reflectance (Band 7)	Reflectance	16-bit signed integer	-1000	0,10000	0,0001
8	250m 16 days view zenith angle	Degree	16-bit signed integer	-1000	-9000, 9000	0,01
9	250m 16 days sun zenith angle	Degree	16-bit signed integer	-1000	-9000, 9000	0,01
10	250m 16 days relative azimuth angle	Degree	16-bit signed integer	-1000	-3600, 3600	0,1
11	250m 16 days composite day of the year	Julian day of year	16-bit signed integer	-1	1,366	NA
12	250m 16 days pixel reliability summary QA	Rank	16-bit signed integer	-1	0,3	NA

Tabla 1: Bandas de las imágenes MODIS MOD13Q1. Fuente USGS

De las dos bandas con índices de vegetación del producto MOD13Q1 (NDVI y EVI), la banda empleada en este estudio como estimador de la producción primaria ha sido la 2, del Índice de Vegetación EVI, debido a que se ve menos afectada por el efecto del suelo desnudo (Huete 1999).

Se utilizó la información de “Evaluación de la Calidad” para filtrar los datos de baja calidad de las imágenes de satélite, sometiéndolas a un proceso de purificación que eliminó los píxeles afectados por un alto contenido de aerosoles, nubes, nieve, sombras y agua (siguiendo la experiencia Dionisio *et al.*, 2012).

Los atributos descriptivos del funcionamiento del ecosistema que calculamos son:

La media anual de EVI (EVI_mean), estimador de la producción primaria; EVI estacional (o intra-anual, RREL) un indicador de la estacionalidad de la actividad fotosintética, es decir, un descriptor de la variación de las ganancias de carbono entre estaciones (Paruelo y Lauenroth 1995) equivalente al coeficiente de variación (desviación estándar dividida por la media) (EVI_sCV) (Alcaraz-Segura *et al.* 2006); los valores máximos de EVI (MAX) y mínimos (MIN), valores máximo y mínimo indicadores de la capacidad fotosintética.

Estos atributos son utilizados en numerosas ocasiones y tienen claros significados biológicos (Pettorelli *et al.* 2005.; Alcaraz-Segura *et al.* 2009a).

Mapas de variables climáticas

Para caracterizar el patrón espacial de las variables climáticas, (mapas de precipitación y temperatura) se emplearon datos de resolución espacial 200x200 m del Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (Ninyerola *et al.* 2005) Estos mapas fueron calculados mediante un modelo matemático estadístico implementado en SIG que genera una cartografía continua a partir de los datos discretos de las estaciones meteorológicas para el periodo 1970-2000. El conjunto de mapas digitales contiene la temperatura media del aire (mínima, media y máxima), precipitación y radiación solar para toda la Península Ibérica con una resolución temporal mensual y anual. En este estudio empleamos la precipitación media anual y la temperatura media anual.

Mapa de vegetación

Para identificar zonas píxeles MODIS de 250 x 250 m de matorral homogéneo empleamos el “Mapa de vegetación de Andalucía a escala de detalle 1:10.000” (Consejería de Medio Ambiente, 2009).

Este mapa se realizó entre 1996 y 2006 mediante reconocimiento por fotointerpretación de unidades de vegetación homogéneas entre sí, con la posterior verificación y asignación de información sobre composición florística a cada una de dichas unidades, mediante trabajo de campo. En la metodología para su elaboración se partió de ortofotografías aéreas en blanco y negro e infrarrojo y numerosas visitas al campo realizadas por los equipos de trabajo de las Universidades y empresas especializadas.

Esta base de datos consta de una parte gráfica (mapas) y una parte alfanumérica (bases de datos), ambas relacionadas entre sí. La parte gráfica está constituida, por un lado, de un continuo de polígonos, allá donde haya vegetación natural, que delimitan superficies del terreno homogéneas en cuanto a la estructura de la vegetación y a composición florística, y por otro, de puntos que llevan asociados información sobre muestreos de vegetación (inventarios, transectos, cuadros de herbáceas o notas de campo). La parte alfanumérica recoge parámetros bioclimáticos, usos y coberturas del suelo, potencialidad de la vegetación, comunidades vegetales, especies dominantes, etc. En este estudio nos centramos en aquellos polígonos dominados por formaciones vegetales de matorral que no tenían presencia de árboles (ver detalles en el apartado de Diseño del Muestreo).

Mapas de litología

Para identificar los píxeles de litología homogénea se usó el “Mapa litológico de Andalucía escala 1:100.000” (Consejería de Medio Ambiente, 2009), desarrollado en base al Mapa Geológico Minero 1:400.000, ajustado con imágenes de satélite, y revisado con la cartografía geológica nacional de la serie MAGNA a escala 1:50.000. Este mapa que identifica las unidades litológicas de acuerdo con las características físicas y químicas intrínsecas de las rocas. Se distinguen 41 unidades litológicas agrupadas según su génesis en volcánicas, plutónicas, metamórficas y sedimentarias. Las unidades litológicas consideradas en este estudio fueron veinte en total, quedándonos finalmente con las tres más dominantes: esquistos, calizas, filitas... (ver detalles en el apartado de Diseño del Muestreo).

Ortoimágenes

Para garantizar que los píxeles MODIS de 150 m seleccionados eran de matorral homogéneo y no estaban afectados por cambios de uso de suelo posteriores a la fecha de finalización del mapa de vegetación ni por infraestructuras, se emplearon ortoimágenes de alta resolución espacial:

- Ortofoto Digital a Color de Andalucía para el año 2008-2009 a 0,5m de resolución.
- Ortoimágenes disponibles en Google Earthen marzo de 2014. Google Earth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas satélite (e.g. Quickbird), fotografía aérea, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por ordenador.

Base de datos *Plant traits*

Para determinar la diversidad funcional de las plantas muestreadas utilizamos la Flora Vasculare de Andalucía Oriental (Blanca *et al.* 2009) y la base de datos TRY (*Plant Trait Database*, <http://www.try-db.org/TryWeb/Home.php>). La base de datos TRY contiene información sobre biodiversidad funcional de plantas a escala mundial, donde existen datos publicados y no publicados sobre características funcionales de las plantas, así como una amplia gama de información metodológica y ambiental auxiliar (Kattge *et al.* 2011).

Desde 2007 que se inicia, ha conseguido tres millones de registros para 750 rasgos diferentes, de 1 millón de individuos, pertenecientes a 69.000 especies de plantas. La mitad de los datos son geo-referenciados, posee una cobertura global de más de 8.000 sitios de medición.

3.3. Muestreo de campo de diversidad de plantas perennes

Diversidad composicional

En cada píxel seleccionado se realizaron cuatro muestreos sistemáticos de puntos de intercepción en línea. El punto de intercepción es un método utilizado para determinar la estructura y composición de una formación vegetal especialmente indicado para matorrales. Está basado en la posibilidad de registrar las plantas presentes o ausentes sobre un punto del suelo a lo largo de una línea (Mateucci y Colma, 1982) (*Fig. 6*).

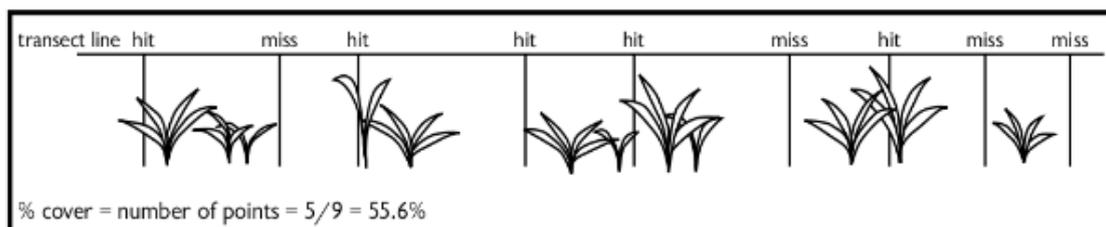


Fig. 6: Ejemplo ilustrativo de muestreo de puntos de intersección en línea. Mateucci y Colma, 1982.

El objetivo es registrar los individuos de cada especie a lo largo del recorrido establecido, obteniendo parámetros como cobertura y frecuencia de las especies, que caracterizan la diversidad composicional del píxel seleccionado. A partir de estos parámetros calculamos la riqueza y diversidad de especies. En este caso aplicamos el índice de Shannon (Shannon y Weaver, 1949) para el cálculo de diversidad (Fig.7).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Fig. 7: Fórmula Índice de Shannon

- S – número de especies (riqueza de especies)
- p_i – proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): $\frac{n_i}{N}$
- n_i – número de individuos de la especie i
- N – número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia proporcional).

Las coordenadas de inicio y fin de los transectos han sido calculadas a partir del centro del píxel seleccionado con SIG. Comienzan a 25 metros del centroide del píxel hacia las cuatro direcciones cardinales(N, S, E, W). Se ensayaron transectos de 50 metros a intervalos de intersección de 0,5 metros. Para garantizarnos que la longitud del muestreo era suficiente para capturar la diversidad de especies del píxel, realizamos una curva de acumulación de especies. De esta manera comprobamos la efectividad del muestreo, observando si se estabiliza la diversidad de especies para los transectos realizados así como para la totalidad del

píxel. (ver apartado de Resultados Esperados). En total se muestrearon 100 puntos de intercepción por transecto, y 400 por píxel.

Diversidad funcional

Para asignar caracteres funcionales y estructurales a cada una de las especies muestreadas se utilizó la base de datos de *Plant Traits* (Kattge *et al.* 2011). Con esto se estimaron índices de diversidad funcional para cada muestreo y para cada píxel.

3.4. Análisis de la relación entre productividad, clima, litología y diversidad

Para el análisis de la relación entre productividad, clima, litología y diversidad, utilizaremos un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM). Extensión para el modelo lineal generalizado en el que el predictor lineal contiene efectos aleatorios , además de los efectos fijos habituales . Estos efectos aleatorios por lo general van a tener una distribución normal.

La productividad se modelizará como variable respuesta a partir de las variables explicativas de precipitación, temperatura, litología, estacionalidad y las distintas medidas de diversidad composicional y funcional de especies. Se utilizararán técnicas estadísticas Bayesianas (Alcaraz-Segura *et al.* 2013) para escoger el modelo más sencillo que explique la mayor cantidad de varianza en la variable respuesta.

4. Resultados y discusión

4.1. Diseño propuesto para el muestreo

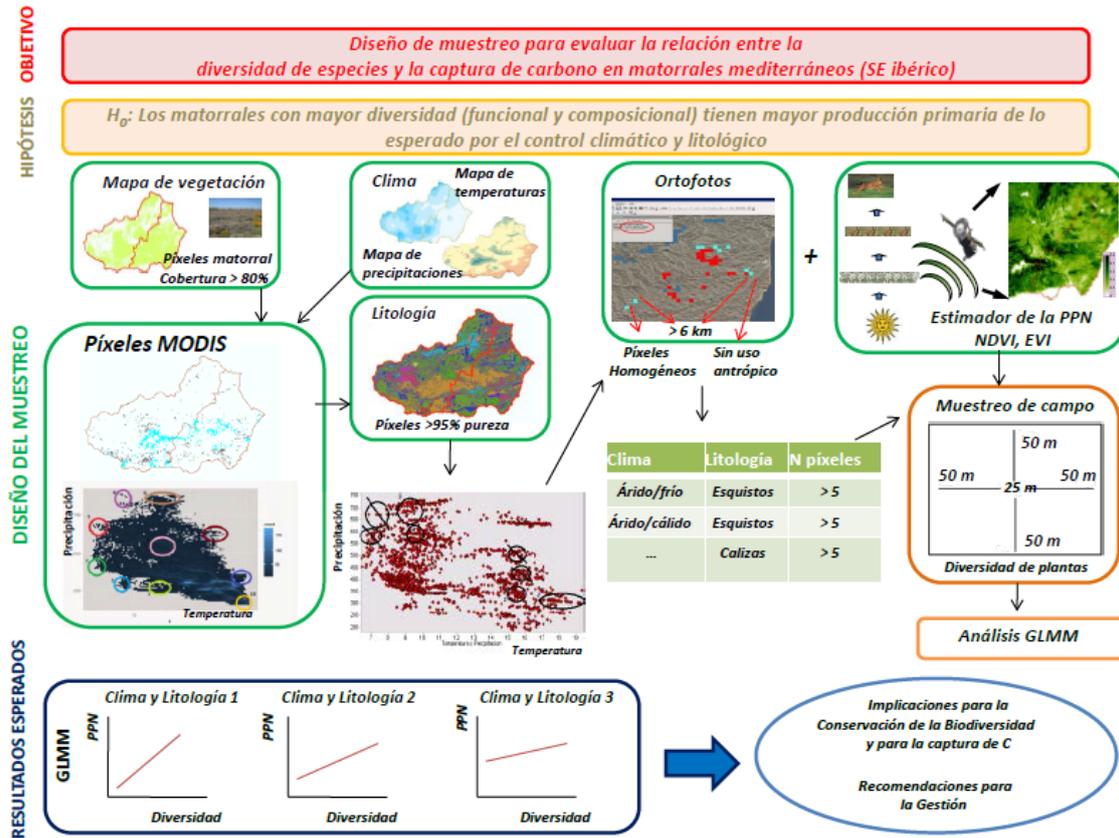


Fig. 8: Flujo de trabajo del diseño de muestreo para evaluar la relación entre la diversidad de especies y la captura de carbono en matorrales mediterráneos (SE Ibérico).

Se seleccionaron píxeles MODIS (231x231m aproximadamente) candidatos para muestrear mediante Sistemas de Información Geográfica, interesándonos aquellos dominados por matorral homogéneo a lo largo del gradiente cruzado de precipitación y temperatura para distintos tipos de litología en el SE ibérico (Anexo I y II).

Los píxeles de matorral homogéneo se extrajeron del “Mapa de Vegetación de Andalucía a escala 1:10.000” (Consejería de Medio Ambiente, 2009). Hemos considerado “homogéneo”, el matorral denso con una pureza y/o cobertura >80%, (código SQL adjunto, Anexo I) (Fig.8), de esta manera simplificamos la heterogeneidad de categorías referentes a matorral en el mapa (Tabla 2). Se calculó el número de píxeles por categorías de matorral en la base de datos, para distintas purezas, escogiendo matorral denso con > 80% de pureza, para el que obtuvimos 5183 píxeles (Tabla 2).

<i>Tabla nº de píxeles MODIS coberturas/ tipos de vegetación</i>	Pct. 95	Pct. 80	Pct. 70
Scrubland dense [Tipo 1]	1460	5183	8043
Scrubland sparse [Tipo 2]	-	7	11
Scrubland supersparse [Tipo 3]	-	-	-
Grassland (espartal) dense [Tipo 4]	1349	4434	6384
Mix (matorral y espartal) [Tipo 5]	16333	40476	54492

Tabla 2: Número de píxeles MODIS para las coberturas de los tipos de matorral del "Mapa de Vegetación de Andalucía a escala 1:10.000" (Consejería de Medio Ambiente, 2009).

Un criterio añadido que han cumplido los píxeles es que se encuentren en zonas de litología homogénea. Para ello se seleccionaron píxeles con un mismo tipo de litología, obtenidos a partir del "Mapa Litológico de Andalucía 1:100.000" (Consejería de Medio Ambiente, 2009) con una pureza del >95% para cada litología (código SQL adjunto, *Anexo I*) (Fig. 8). Obteniendo mayor número de píxeles para esquistos (1893), seguidos de calizas (1238) y filitas (425) (Tabla 3).

LITOLOGÍA	Nº PÍXELES pureza >95%
Arcillas	45
Arenas silíceas	3
Arenas	117
Brechoides	4
Calizas	1238
Conglomerados	328
Cuarcitas	142
Esquistos	1893
Filitas	425
Grauwacas	12
Limos	19
Lutitas	2
Margas	57
Mármoles	341
Otras metamórficas no calcáreas	42
Otras sedimentarias no consolidadas	2
Plutónicas ultrabásicas	2
Volcánicas ácidas	8
Volcánicas básicas	2
Yesíferas	20

Tabla 3: Número de píxeles MODIS que cumplen 80% cobertura de matorral y >95% de pureza litológica

Los mapas de precipitación y temperatura se han obtenido de Ninyerola *et al.* (2005). A partir de estos píxeles candidatos, se escogió un subconjunto para muestrear la diversidad de plantas en campo de forma que quede cubierto todo el gradiente cruzado de precipitación y temperatura del área de estudio. Se realizaron histogramas de estas dos variables por separado (Figs. 9 y 10) y conjuntamente (Figs. 8 y 11) y se escogió zonas a lo largo de todo el rango de temperaturas para alta, media y baja precipitación y viceversa, zonas a lo largo de todo el rango de precipitaciones para alta, media y baja temperatura. Dentro de cada combinación de precipitación y temperatura homogénea preseleccionada (círculos en la Fig.10) (Fig. 8), considerando homogénea aquella zona donde los píxeles tengan una diferencia menor al 10% entre sus valores extremos para ambas variables.

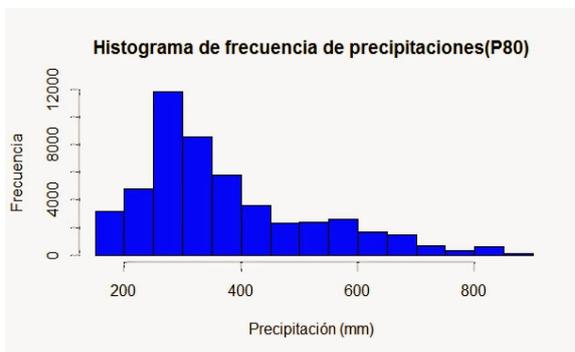


Fig. 9: Histograma de precipitaciones

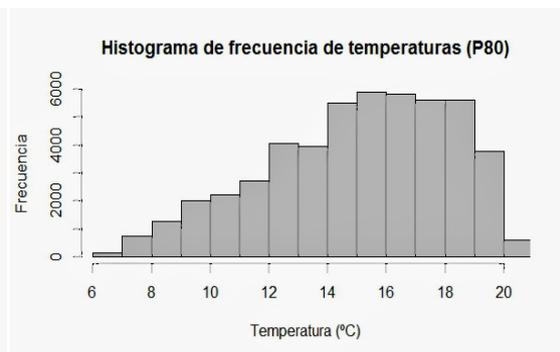


Fig. 10: Histograma de temperaturas

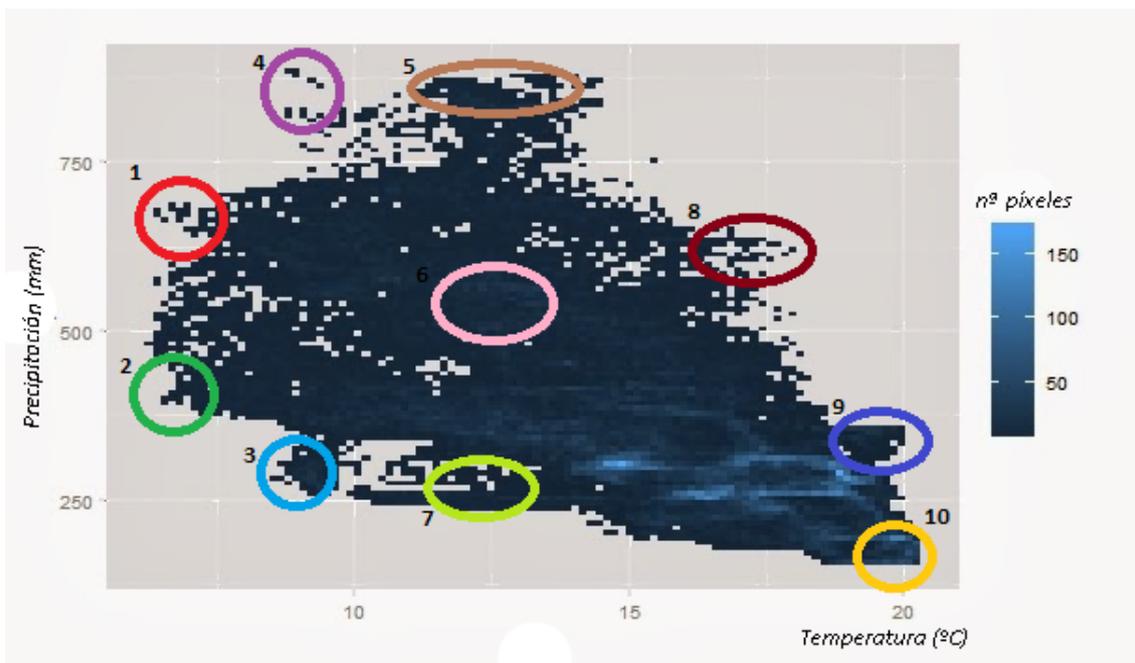


Fig. 11: Histograma de frecuencias de número de píxeles a lo largo del gradiente cruzado de precipitación (eje y, mm) y temperatura (eje x, °C). La barra de colores indica el número de píxeles presentes en cada combinación cruzada. Los círculos muestran las combinaciones donde se realizarán los muestreos de diversidad de plantas en campo.

A partir de los datos obtenidos de EVI (Huete 1999) se escogieron aquellos píxeles (en un mismo rango climático) que ofrecieron un mayor contraste en productividad y estacionalidad siguiendo las indicaciones de Alcaraz-Segura *et al.* (2009)(Fig. 8). Para homogeneizar los valores de EVI (Huete 1999) en una misma zona climática, descartamos aquellos píxeles con diferencias entre sus extremos mayores al 10%.

Se realizaron análisis de los píxeles con el mosaico de ortoimágenes Landsat-TM, año 2007, la Ortofoto Digital Color de Andalucía 2008-2009 (Consejería de Medio Ambiente 2009) (Fig. 12), y Google Earth, febrero 2014. (Fig. 8).

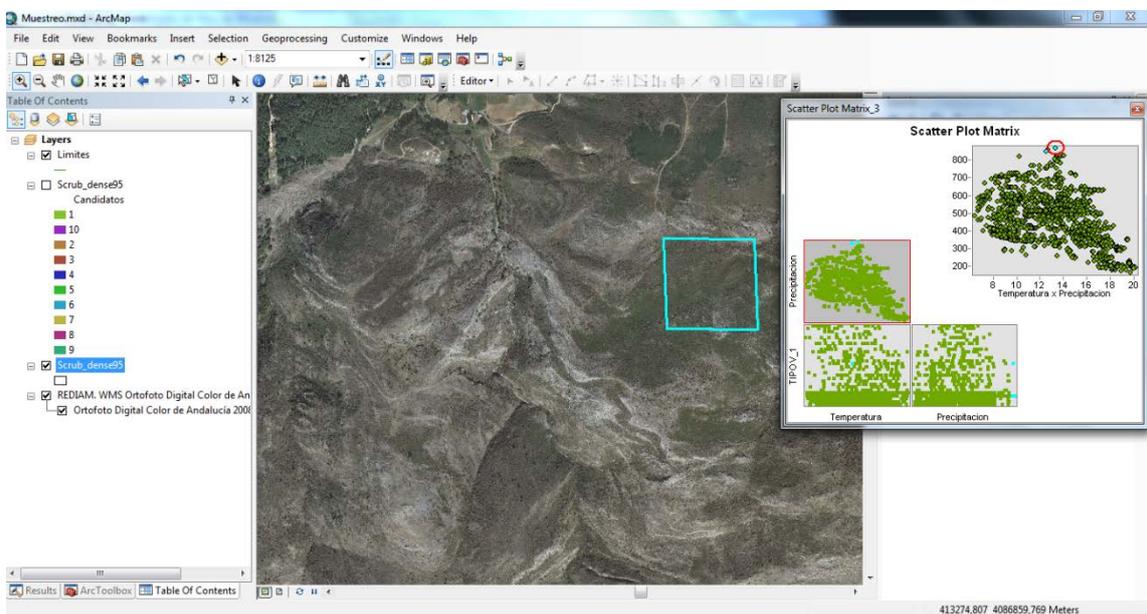


Fig. 12: Análisis de píxeles con la Ortofoto Digital Color de Andalucía 2008-2009 (Consejería de Medios Ambiente, 2009).

Los píxeles a muestrear tendrían la máxima homogeneidad topográfica, descartando por tanto los de topografías abruptas, vaguadas, etc.

Del total de píxeles encontrados en cada combinación de clima homogéneo, sólo se seleccionaron aquellos que guardaban una distancia mayor a 6 km (Fig. 8). Esta distancia mínima se eligió porque es aquella a partir de la cual la autocorrelación espacial del EVI medio anual cae por debajo de 0,5 según Liras *et al.* (2008)(Fig. 13). Forzando a que los píxeles guarden una distancia mínima de 6 km se consigue que cada píxel ofrezca una muestra independiente estadísticamente, ya que las observaciones cercanas en el espacio tienden a ser más parecidas entre sí de lo esperado por azar (Fortin *et al.* 2002).

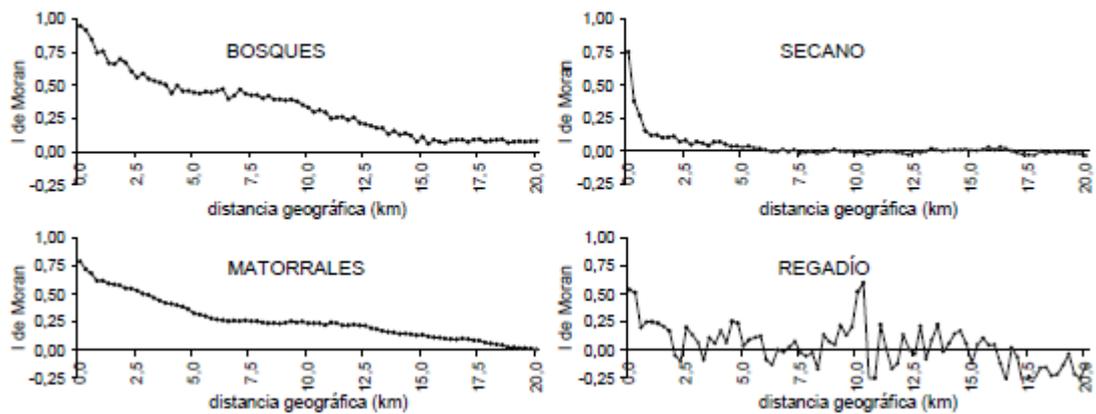


Fig. 13 : Ejemplo de valores de autocorrelación espacial por distancias geográficas (correlogramas de la I de Moran, los puntos sólidos en el correlograma indican valor significativo ($p < 0.05$) para la I de Moran, y los valores de I de Moran positivos indican autocorrelación espacial positiva) para el valor de NDVI-I, un indicador de las ganancias de C por parte de los ecosistemas, calculado para las diferentes coberturas/ usos del suelo sobre el área de estudio, a partir de las imágenes de satélite MODIS de tamaño de grano 250x250 m (Liras et.al 2008).

Finalmente se seleccionaron un mínimo de cinco píxeles en cada combinación climática que presentaron todas las variables homogéneas. Esto se realizó para distintas litologías (ej: esquistos, calizas, filitas...), es decir, un mínimo de cinco muestreos en un mismo rango climático para una litología, repetido en distintos rangos climáticos y en al menos tres litologías diferentes (Fig. 8).

Ejemplo para esquistos (Figs. 14 y 15):

Clima:

Térmico (15°C)- Seco (321-344mm) = Zona 1

Muy térmico (17-19 °C) – Semiárido (270-315mm) = Zona 2

Frío (8,5-10 °C) – Húmedo (630-720mm)= Zona 3

Frío (8,8-10 °C) – Subhúmedo (550-630mm) = Zona 4

Idem. para calizas y filitas.

Resumen criterios de los píxeles MODIS seleccionados para muestreo
1. Homogeneidad del matorral (Matorral denso (Scrub_dense) > 80%)
2. Homogeneidad litológica (DESUNIDAD >95%)
3. A lo largo de un gradiente de precipitación y temperatura. Rango homogéneo de las variables con variación menor al 10%.
4. Mayor contraste entre productividad (EVI-media) y estacionalidad (SV). Rango homogéneo de productividad con variación del 10%.
5. Análisis de ortofotografías del terreno: topografía homogénea y distancia > 6 kilómetros entre píxeles.

Tabla 4: Criterios que han de cumplir los píxeles MODIS seleccionados para muestreo de campo

(Ver resumen criterios de selección y ejemplo práctico en Anexo I)

4.2. Validación longitud del transecto

Tras realizar el muestreo de campo obtenemos la riqueza y diversidad de especies para cada transecto y para el píxel MODIS en su totalidad (Fig. 7). Con estos datos, comprobamos si la longitud del transecto que hemos seleccionado es correcta. Esto quiere decir que, una vez realizada la relación riqueza de especies/área, la curva ha de estabilizarse. De lo contrario el transecto de puntos de intercepción en línea no será válido. También comprobamos si se podría reducir el esfuerzo de muestreo, es decir, recoger datos cada metro en lugar de cada 0,5 m (Fig. 16, 17 y 18).

En el primer gráfico realizado (Fig. 16) encontramos una riqueza de 15 sp. Este transecto tuvo 200 puntos de muestreo (una intercepción cada metro).

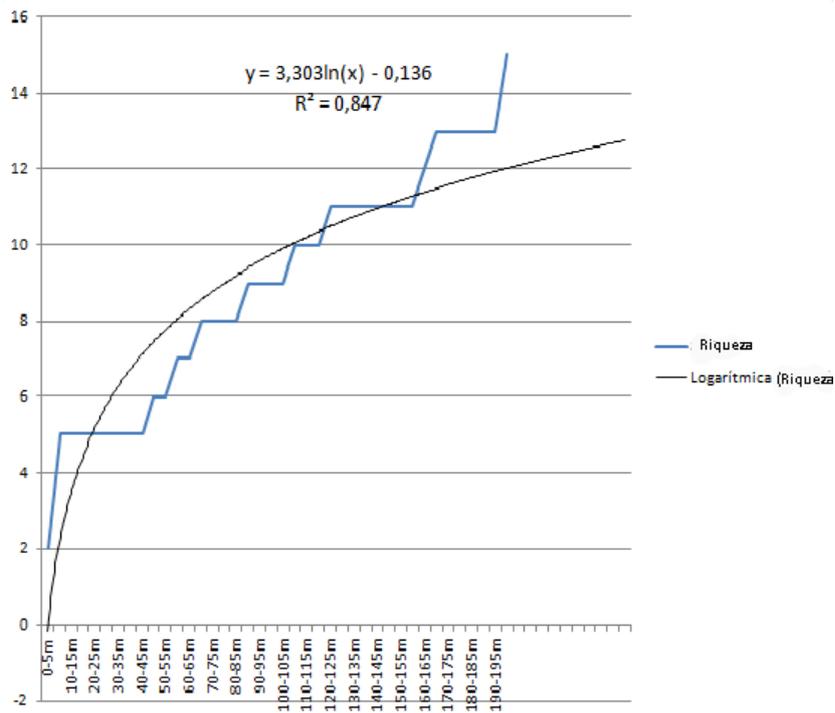


Fig. 16: Curva total de acumulación de especies para un píxel con puntos de intercepción cada metro. Riqueza total 15 especies.

Comparamos la Fig. 16 con la Fig. 17, que corresponde a la riqueza acumulada en el píxel para muestreo de intercepción en línea cada 0,5 metros. En 200 m de longitud, 400 puntos de intercepción.

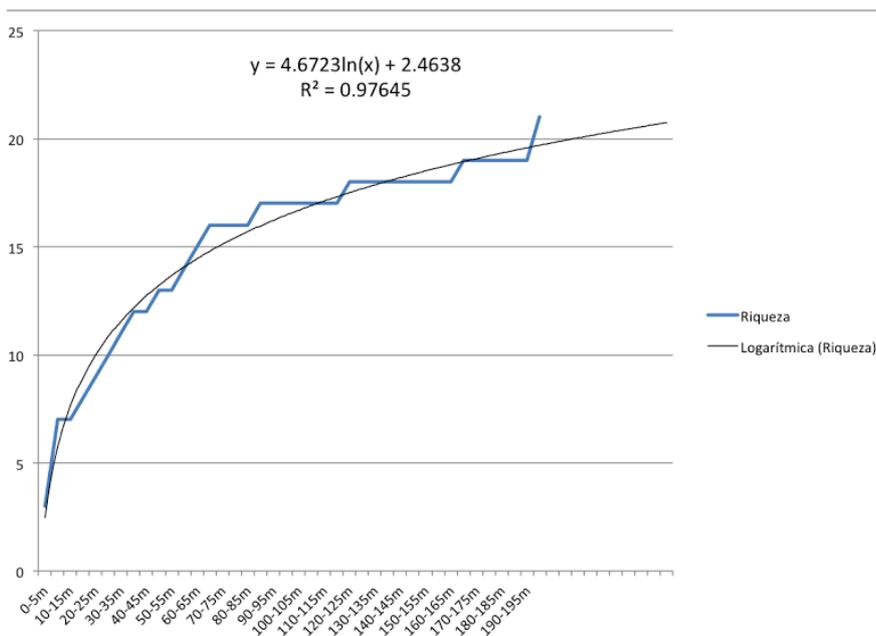


Fig. 17: Curva de acumulación de especies total. Riqueza = 17 sp.

Para tener en cuenta el mismo esfuerzo de muestreo, en la *Fig. 17* nos fijamos en las intercepciones realizadas hasta los 100 m en lugar de 200, (para tener también 200 puntos de muestreo, en lugar de 400), ahí vemos que la riqueza total es de 17.

Observamos que:

-Sería conveniente muestrear cada 0,5 m en lugar de cada metro, ya que la riqueza que encontramos a igual esfuerzo de muestreo es mayor (aunque no varía significativamente la diferencia en nuestros datos).

-Las curvas de acumulación no se estabilizan, por lo que necesitaríamos mayor longitud de transecto.

Por otra parte hemos calculado el Índice de Shannon.

Para ello hemos obtenido las coberturas de cada sp. (de ahí obtuvimos la frecuencia de sp. respecto a otras (p_i)), y aplicamos la fórmula para calcular el índice, *Fig. 18*. Ahí vemos que en este caso para ser representativos en cuanto a biodiversidad bastaría una longitud de 10m.

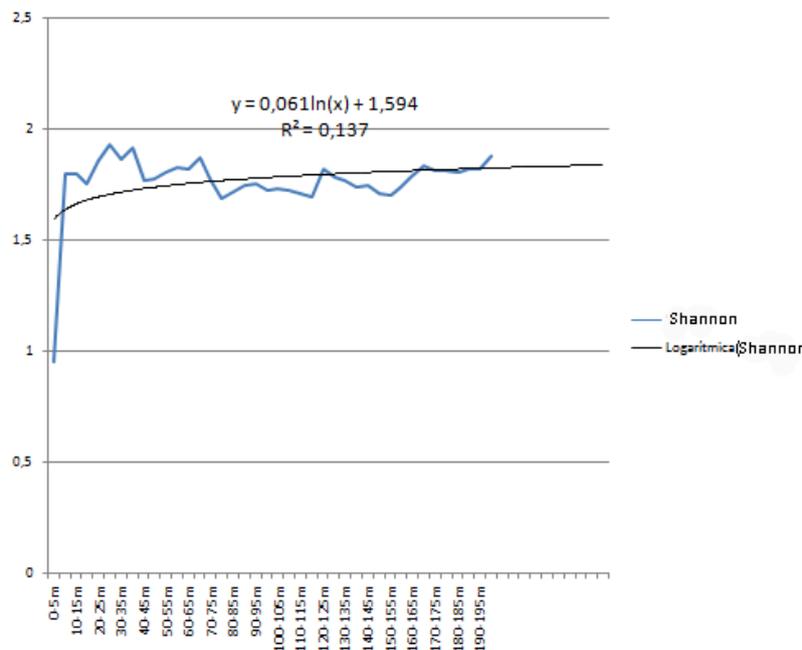


Fig. 18: Índice de Shannon para el total del píxel

(Ver galería de imágenes del proceso de selección de píxeles y del muestreo, Anexo II)

4.3. Relación PPN/diversidad para diferentes climas y litologías

La diversidad funcional y composicional de especies y el tipo de suelo tendrá un efecto positivo en la captura de carbono o productividad primaria en matorrales.

Si mantenemos todas las variables homogéneas (precipitación, temperatura, litología y estacionalidad) podremos observar las variaciones de productividad en función de la diversidad de especies.

Se analizaron distintos píxeles para cada clima y litologías predominantes (esquistos, calizas y filitas). Cabe esperar que tras el análisis de climas y litologías, obtengamos distintas curvas de productividad y diversidad en función de estas variables. Pudiendo darse las siguientes situaciones (Figs. 8 y 19):

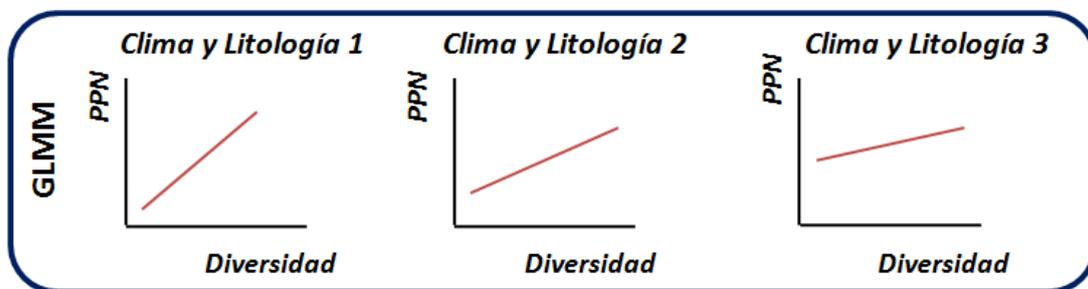


Fig. 19: Gráficos de la relación entre PPN (eje y) y Diversidad (eje x) esperadas para cada tipo de clima y litología.

Para el clima y litología 1, la relación entre diversidad y productividad primaria será positiva (Figs. 8 y 19). Esto significa que la existencia de una mayor diversidad de especies de matorral producirá una mayor captura de carbono (o productividad). La diversidad funcional y composicional tiene un papel más importante sobre la productividad primaria en este caso.

En el clima y litología 2, vemos que esta relación será algo menor (Figs. 8 y 19). Y en la tercera situación, para el clima y litología 3, (Figs. 8 y 19) la relación será casi nula, es decir, no existe una interacción significativa entre diversidad y captura de carbono.

4.4. Implicaciones para la gestión

Como resultados para la gestión este análisis permite contribuir a la toma de decisiones, recomendar en qué tipo de clima y litología es más necesario conservar la biodiversidad para tener mayor secuestro de carbono.

Una mayor captura de carbono asociada a una mayor biodiversidad se traduciría en una mayor provisión y calidad de servicios ecosistémicos y, por tanto, en un mayor bienestar humano. La importancia en el conocimiento de la relación entre biodiversidad y captura de carbono como servicio ecosistémico es fundamental para guiar las acciones de conservación y contrarrestar los efectos de la pérdida de especies en el funcionamiento de los ecosistemas.

5. **Bibliografía**

- Alcaraz-Segura D., Paruelo J., Cabello J. (2006) Identification of current ecosystem functional types in the Iberian Peninsula. *Global Ecology and Biogeography*, **15**, 200-212.
- Alcaraz-Segura D., Paruelo J.M., Cabello J. (2009) Baseline characterization of major Iberian vegetation types based on the NDVI dynamics. *Plant Ecology*, **202**, 13-29.
- Alcaraz-Segura D., Paruelo J.M., Epstein H.E., Cabello J. (2013) Environmental and Human Controls of Ecosystem Functional Diversity in Temperate South America. *Remote Sensing*, **5**, 127-154
- Allan E., Weisser W., Weigelt A., Roscher C., Fischer M., Hillebrand H. (2011) More diverse plant communities have higher functioning over time due to turnover in complementary dominant species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 17034–17039.
- Baldocchi D. D., Xu L., Kiang N. (2004) How plant functional-type, weather, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy fluxes of an oak-grass savanna and an annual grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* **123**, 13-39.
- Blanca G., Cabezudo B., Cueto M., Fernández López C., Morales Torres C. (2009) *Flora Vascular de Andalucía Oriental*, 4 vols. *Consejería de Medio Ambiente*, Junta de Andalucía, Sevilla.
- Boenisch G., Kattge J., Plant Trait Database (2012) <http://www.try-db.org/TryWeb/Home.php>.
- Bradford J. B., Lauenroth W. K., Burke I. C., Paruelo J. M. (2006) The influence of climate, soils, weather, and land use on primary production and biomass seasonality in the US Great Plains. *Ecosystems*, **9**, 934-950.
- Burke I. C., Kittel T. G. F., Lauenroth W. K., Snook P., Yonker C. M., Parton W. J. (1991) Regional analysis of the Central Great Plains. *BioScience*, **41**, 685-692.
- Cabello J., Alcaraz-Segura D., Ferrero R., Castro A., Liras E. (2012) The role of vegetation and lithology in the spatial and inter-annual response of EVI to climate in drylands of Southeastern Spain. *Journal of Arid Environments*. **79**, 76-83.
- Cabello J., Fernández N., Alcaraz-Segura D., Oyonarte C., Piñeiro G., Altesor A., Delibes M., Paruelo J.M. (2012) The Ecosystem Functioning Dimension in Conservation: insights from remote sensing. *Biodiversity and Conservation*, **21**, 3287-3305.

- Cañadas E.M., Fenu G., Peñas J., Lorite J., Mattana E., Bacchetta G. (2014) Hotspots within hotspots: Endemic plant richness, environmental drivers, and implications for conservation. *Biological Conservation*, **170**, 282-291.
- Cardinale B.J., Duffy J.E., Gonzalez A., Hooper D.U., Perrings C., Venail, P. et al. (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, **486**, 59–67.
- Cardinale B.J., Wright J.P., Cadotte M.W., Carroll I.T., Hector A., Srivastava D.S., Loreau M., Weis J.J. (2007) Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **104**, 18123–18128.
- Cavanaugh K. C., Gosnell J. S., Davis S. L., Ahumada J., Boundja P., Clark D. B., Mugerwa B., Jansen P. A., O'Brien T. G., Rovero F., Sheil D., Vasquez R., Andelman S. (2014) Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and functional dominance on a global scale. *Global Ecology and Biogeography* **23**, 563–573.
- Cong W. F., Ruijven J. V., Mommer L., De Deyn G.B., Berendse F., Hoffland E. (2014) Plant species richness promotes soil carbon and nitrogen stocks in grasslands without legumes. *Journal of Ecology*.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE (2009): Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM.
- Conti G., Díaz S. (2013) Plant functional diversity and carbon storage – an empirical test in semi-arid forest ecosystems. *Journal of Ecology*. **101**, 18-28.
- Daily G.C. (1997) Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Services supplied by major biomes. *Island Press*, **3**.
- Dauber J., Jones B. M., Stout C. J. (2008) The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. *GCB Bioenergy*, **2**, 289-309.
- Davis G. W., Richardson D. M. (2011) Springer Berlin Heidelberg.
- Dionisio M.A., Alcaraz-Segura D., Cabello J. (2012) Satellite-Based Monitoring of Ecosystem Functioning in Protected Areas: Recent Trends in the Oak Forests (*Quercus pyrenaica* Willd.) of Sierra Nevada (Spain). *International Perspectives on Global Environmental Change*, 355-37.
- Evrendilek F. y Gulbeyaz O. (2008) Deriving vegetation dynamics of natural terrestrial ecosystems from MODIS NDVI/EVI data over Turkey. *Sensors*, **8**, 5270-5302.
- Fornara D.A., Tilman D. (2008) Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, **96**, 314– 322.
- Fortin M. J., M. R. T. Dale M. R. T., ver Hoef J. (2002) Spatial analysis in ecology. *Encyclopedia of Environmetrics*, **4**, 2051-2058.

- Glenn E. P., Huete A. R., Nagler P. L., Nelson S. G. (2008) Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, **8**, 2136-2160.
- Gratani L., Varone L., Ricotta C., Catoni R. (2013) Mediterranean shrublands carbon sequestration: environmental and economic benefits. *Mitig Adapt Strateg. Glob Change*. **18**, 1167–1182.
- Hanan N., Prince, S. Begue, A. (1995). Estimation of absorbed photosynthetically active radiation and vegetation net production efficiency using satellite data. *Agricultural and forest meteorology*, **76**, 259-276.
- Hatfield J. L., Asrar G., Kanemasu E. T. (1984) Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*, **14**, 65-75.
- Hooper D.U., Chapin F.S., Ewel J.J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H., Lodge D.M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A.J., Vandermeer J., Wardle, D.A. (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, **75**, 3–35.
- Huete A., Justice C., Leeuwen W. (1999) MODIS vegetation index (MOD13). Algorithm theoretical basis document ATBD13.
- Huete A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., van Leeuwen, W. (1997) A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, **59**, 440-451,
- Hurlbert A. H., Stegen J. C. (2014) When should species richness be energy limited, and how would we know? *Ecology letters*. **17**, 401-413.
- Huston M.A. (1997) Hidden treatments in ecological experiments: re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia*, **110**, 449–460.
- Huxman T. E., Snyder K. A., Tissue D., Leffler A. J., Ogle K., Pockman W. T., Sandquist D. R., Potts D. L., Schwinning S. (2004) Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia*, **141**, 254-268.
- Jobbagy E. G., Sala O. E., Paruelo J. M. (2002) Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: A remote sensing approach. *Ecology*, **83**, 307-319.
- Kattge, J. *et al.* (2011) TRY-a global database of plant traits. *Global Change Biology*, **17**, 2905-2935.

- Lauenroth W. K., Dodd J. L., Sims P. L. (1978) The effects of water- and nitrogen-induced stresses on plant community structure in a semiarid grassland. *Oecologia*, **36**,211-222.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstrom M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, **259**, 698–709.
- Liras E., Cabello J., Alcaraz-Segura D., Paruelo J. M. (2008) Patrones espaciales del funcionamiento de los ecosistemas: efectos del cambio en la cobertura y el uso del suelo. 849. En Maestre F. T., Escudero A., Bonet A., Ed. *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Dykinson S.L. Madrid.
- Liu H. Q., Huete A. (1995) Feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **33**, 457-465.
- Maestre F.T., Castillo-Monroy A.P., Bowker M.A., Ochoa-Hueso R. (2012) Species richness effects on ecosystem multifunctionality depend on evenness, composition and spatial pattern. *Journal of Ecology*, **100**, 317-330.
- Matteucci S., Colma D.A. (1982) *Metodología para el estudio de la vegetación*. 168 p. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- McNaughton S.J., Oesterheld M., Frank D.A., Williams K.J. (1989) Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature*, **341**:142–144.
- Medail F., Quezel P. (1999) Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, **13**, 1510-1513.
- Michunas D.G., Lauenroth W.K. (1995) Inertia in plant community structure: State changes after cessation of nutrient-enrichment stress. *Ecological Applications*, **5**, 452-458.
- Mokany K., Ash J., Roxburgh S. (2008) Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. *Journal of Ecology*, **96**, 884–893.
- Monteith J. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, **9**, 747-766.

- Mooney H.A., Kummerow J., Johnons W., Parsons D.J., Keeley S., Hoffmann A., Hays R.I., Giliberto J., Chu C. (1977) The producers-their resources and adaptive responses. Convergent evolution in Chile and California. *Mediterranean climate ecosystems*, 85–143.
- Mueller D. D., Ellenberg H. (1974) Aims and Methods of Vegetation Ecology.
- Ninyerola M., Pons X., Roure J. M. (2005) *Atlas Climático digital de la Península Ibérica: metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*.
- Orshan G. (1989) Plant pheno-morphological studies in Mediterranean type ecosystems.
- Paquette A., Messier C. (2011) The effect of biodiversity on ree productivity: from temperate to boreal forests. *Global Ecology and Biogeography*, **20**, 170–180.
- Paruelo J.M., Epstein, H.E., Lauenroth W.K., Burke, I.C. (1997) ANPP estimates from NDVI for the central grassland region of the United States. *Ecology*, **78**, 953-958.
- Paruelo J. M., Lauenroth W. K. (1995) Regional patterns of normalized difference vegetation index in North American shrublands and grasslands. *Ecology*, **76**, 1888-1898.
- Paruelo J. M., Lauenroth W. K., Burke I. C., y Sala O. E. (1999) Grassland precipitation-use efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems*, **2**, 64-68.
- Paruelo J.M., Jobbagy E.G., Sala O.E. (2001) Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. *Ecosystems*, **4**, 683–698.
- Pausas J. G., Anselm Rodrigo J.L., Vallejo R.(2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *International Journal of Wildland Fire* **17** , 713–723
- Pearson R. G., Dawson T. P. (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, **12**, 361-371.
- Peñas J., Cabello J., Oyonarte C., Mota J.F. (1995) Variación altitudinal y diversidad vegetal en matorrales: Sierra de los Filabres (Almería, España). *Acta Botánica Malacitana*, **20**, 133-142
- Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.M., Tucker, C.J., Stenseth N.C. (2005) Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, **20**, 503-510.
- Ramírez J. M., Rey P. J., Alcántara J. M., Sánchez-Lafuente A. M.(2006) Altitude and woody cover control recruitment of *Helleborus foetidus* in a Mediterranean mountain area. *Ecography*, **29**, 375-384.

- Reich P.B., Tilman D., Isbell F., Mueller K., Hobbie S.E., Flynn D.F.B., Eisenhauer, N. (2012) Impacts of biodiversity loss escalate through time as redundancy fades. *Science*, **336**, 589–592.
- Rivas Martínez S. (1996) *Geobotánica y Climatología. Discurso investidura Dr. 'honoris causa.'* 98 p Universidad de Granada. Serv. Publ. Universidad de Granada. Granada.
- Roscher C., Schumacher J., Gubsch M.N., Lipowsky A., Weigelt A., Buchmann N., Schmid B., Schulze, E.D. (2012) Using plant functional traits to explain diversity–productivity relationships. *PLOS ONE*, **7**, e36760.
- Ruiz-Benito P., Gómez-Aparicio L., Paquette A., Messier C., Kattge J., Zavala M. A. (2013) Diversity increases carbon storage and tree productivity in Spanish forests. *Global Ecology and Biogeography* **23**, 311-322.
- Sala O.E., Chapin III F.S., Armesto J.J., Berlow R., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M., Wall D.H. (2000) Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* **287**, 1770-1774
- Schöter D. *et al.* (2005) Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science*, **310**, 1333-1337.
- Schröter D. *et al.* (2005) Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, **310**, 1333–1337.
- Shannon C., Weaver W. (1949) *The mathematical theory of communication.* 117 p., University of Illinois Press. Urbana.
- Steinbeiss S., Bessler H., Engels C., Temperton V.M., Buchmann N., Roscher C., Kreuziger Y., Baade J., Habekost M., Gleixner G. (2008) Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. *Global Change Biology*, **14**, 2937–2949.
- Stephenson N. L. (1990) Climatic Control of Vegetation Distribution: The role of the water balance. *American Naturalist*. **135**, 649-670.7
- Tucker C.J., Sellers P.J. (1986) Satellite remote-sensing of primary production. *Int J Remote Sens*, **7**, 1395–1416.
- Van Ruijven J., Berendse F. (2009) Long-term persistence of a positive plant diversity–productivity relationship in the absence of legumes. *Oikos*, **118**, 101–106.
- Virginia R.A., Wall D.H. (2001) Principles of ecosystem function. Encyclopedia of biodiversity. *Academic Press*, 345–352.

- Webb W. L., Lauenroth W. K., Szarek S. R., Kinerson R. S. (1983) Primary production and abiotic controls in forests, grasslands, and desert ecosystems in the United States. *Ecology*, **64**, 134-151.
- Woomer P.L, Tieszen L.L, Tappan G., Touré A., Sall M. (2004) Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments*, **59**, 625-642
- Xiao J., Moody A. (2004) Photosynthetic activity of US biomes: responses to the spatial variability and seasonality of precipitation and temperature. *Glob Chang Biol.* ,**10**, 437–451.

ANEXOS

I Y II

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO I.....38

1. Resumen de los criterios para la selección de píxeles modis con SIG.....38
2. Ejemplo práctico de la selección de píxeles.....38
 - Pasos para obtener los píxeles puros de un tipo de matorral
 - Para obtener píxeles puros de un tipo de litología y seleccionar zonas posibles zonas de muestreo a lo largo del gradiente climático y EVI
3. Códigos SQL.....46
 - Recetas para seleccionar los distintos píxeles de tipos de vegetación en ArcGIS (select by attributes)
 - Selección de litología a lo largo del gradiente climático, rango homogéneo en extremos de las variables del 10%

ANEXO II

GALERÍA DE IMÁGENES DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE ZONAS DE MUESTREO.....48

1. Visualizamos tipos de matorral.....48
2. Selección de matorral denso.....49
3. Histogramas de precipitación y temperatura.....51
4. Posibles zonas para muestreo en función del gradiente climático.....53
5. . Análisis de la litología para los diferentes píxeles
6. Posibles zonas para muestreo en función del gradiente climático y la litología.....53
 - Ubicación de las distintas zona de muestreo
7. Análisis mediante ortofotos.....54
 - Primera zona seleccionada
8. Muestreo de campo de diversidad de plantas perennes.....57
 - Curva de acumulación de especies

ANEXO I

1. RESUMEN DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PÍXELES MODIS CON SIG

Los criterios que han de cumplir los píxeles MODIS seleccionados para muestreo han sido:

- Homogeneidad del matorral (Matorral denso (Scrub_dense) > 80%)
- Homogeneidad litológica (DESUNIDAD >95%)
- A lo largo de un gradiente de precipitación y temperatura. Rango homogéneo de las variables con variación menor al 10%.
- Mayor contraste entre productividad (EVI-media) y estacionalidad (SV). Rango homogéneo de productividad con variación del 10%.
- Análisis de ortofotografías del terreno: topografía homogénea y distancia > 6 kilómetros entre píxeles.

2. EJEMPLO PRÁCTICO DE LA SELECCIÓN DE PÍXELES

- Pasos para obtener los píxeles puros de un tipo de matorral

1. Cargo las siguientes capas de información:
 - Límites de Andalucía
 - Vegetación10 Andalucía
 - Grid Andalucía

2. Una vez que tengo las diferentes capas obtengo:
 - las provincias de Almería y Granada a partir de la de límites de Andalucía (AL/GR).
 - Los píxeles (Grid) que se encuentra dentro de los límites de Almería y Granada, mediante selección por localización (Target layer: GridAnd / Source layer: AL/GR; Spatial selection method for target layer feature: intersect the source layer feature)
 - La vegetación10 que se encuentra dentro de las provincias, esto lo hago con selección por localización (Target layer: Vege10 And / Source layer: Grid AL/GR; Spatial selection method for target layer feature: intersect the source layer feature)

Todas estas selecciones son exportadas como nuevas capas para trabajar posteriormente con ellas. Por lo que a las anteriores capas que teníamos le añadimos las siguientes nuevas: Límites AL/GR; Vege10 AL/GR; Grid AL/GR

3. Añadido una columna donde se define el tipo de vegetación en la capa de VEGE10AND (Para toda Andalucía). Para ello abrimos el "Editor" y le damos a "Start Editing" y seleccionamos la capa que vamos a editar, en este caso VEGE10AND.

- En ArcToolbox: Data Management Tools → Fields → Add field (Input table: Vege10And; Field name: tipoveg; Field type: Short (para poner números a las categorías). Los valores de los números han sido los siguientes:

- 1 → Matorral denso
- 2 → Matorral disperso
- 3 → Matorral superdisperso
- 4 → Espartal denso
- 5 → Mix matorral y espartal
- 6 → Suelo desnudo

Para obtener estos valores previamente se ha seleccionado por atributos cada tipo de matorral, es decir, con los códigos SQL facilitados para seleccionar cada tipo hemos obtenido la selección por ejemplo del 1. Una vez seleccionado abro la tabla con los elementos seleccionados, pinchamos en la columna seleccionándola al completo, botón derecho → Calculate field y le ponemos el valor que queremos asignarle, en este caso 1. Esta operación se repite con todos los valores, seleccionando por atributos en cada caso el tipo de matorral que corresponde.

Esta operación la hacemos para toda Andalucía y para las provincias de Almería y Granada.

- Una vez obtenidos los diferentes tipos de matorral existentes le damos un color a cada uno para poder visualizarlos. Esto lo hacemos de la siguiente manera: Pincho el botón derecho en la capa de Vege10And o Vege10 AL/GR → properties → symbology → categories → value field: tipoveg → obtengo los valores existentes y le doy un color a cada uno y los nombro para que aparezca el color junto con el nombre en la tabla de contenidos de ArcGis

Para unificar polígonos pero no perder información en lugar de usar la herramienta dissolve le quito el color a las líneas que delimitan los polígonos, quedándose así polígonos uniformes para cada tipo de matorral.

4. A continuación utilizo la herramienta Tabulate Area, ubicada en ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Zonal
 - Input raster or feature zone data: GridAnd ; Zone field: grid_code
 - Input raster or feature class data: Vege10And: Class field: tipoveg
 - Processing cell size: 10 (compruebo que las unidades son las del sistema internacional)

5. Ahora necesito añadir los porcentajes de cada tipo de matorral a la tabla.
 - En la capa GridAnd, le damos al botón derecho y a la opción Joins and Relate

6. Una vez que tenemos los % para cada tipo de matorral. Seleccionamos por atributos (Select by attributes) aquellos con matorral denso y una cobertura >80%.
 - ***Para obtener píxeles puros de un tipo de litología y seleccionar zonas posibles zonas de muestreo a lo largo del gradiente climático y EVI***

Repetimos el proceso anterior pero con el “Mapa Litológico de Andalucía” (Consejería de Medio Ambiente 2009), partiendo de la selección de píxeles de vegetación.

Una vez obtenidos los píxeles litológicos con una pureza, esta vez, del 95%, realizo los gráficos de Tª - P (Fig. 2) y de EVI media - CV (Fig. 3). En estos gráficos cada píxel tiene el color que le corresponde según la litología (Fig. 1).

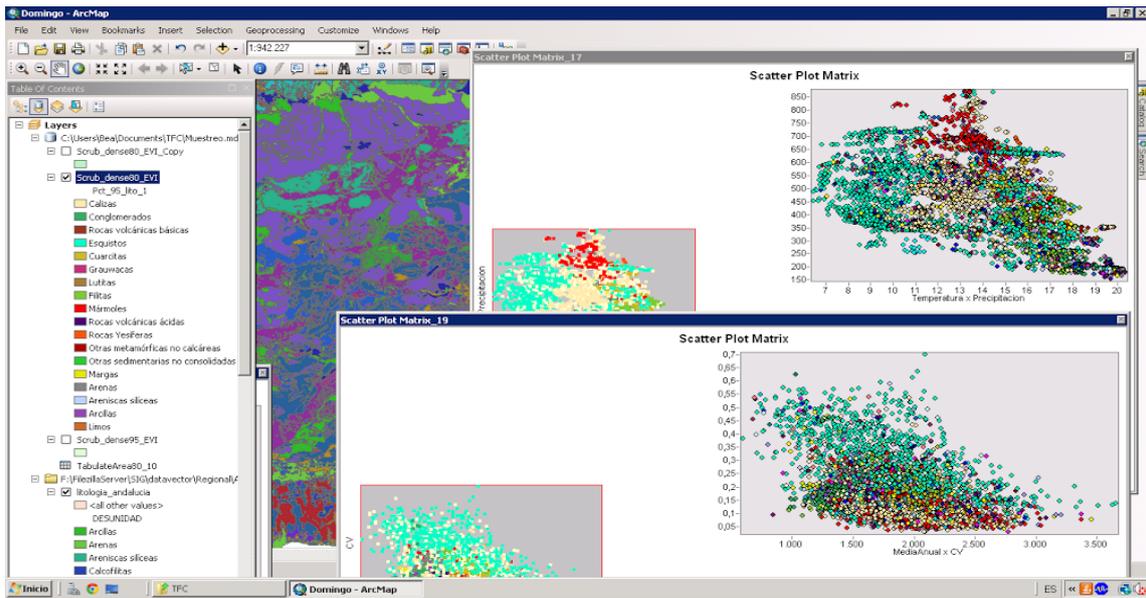


Fig. 1: Derecha de la imagen: histograma precipitación-temperatura (arriba) y EVI-media-CV (abajo) de las distintas litologías. Izquierda: Tabla de contenidos de ArcGIS donde observamos la leyenda con las distintas litologías.

Scatter Plot Matrix

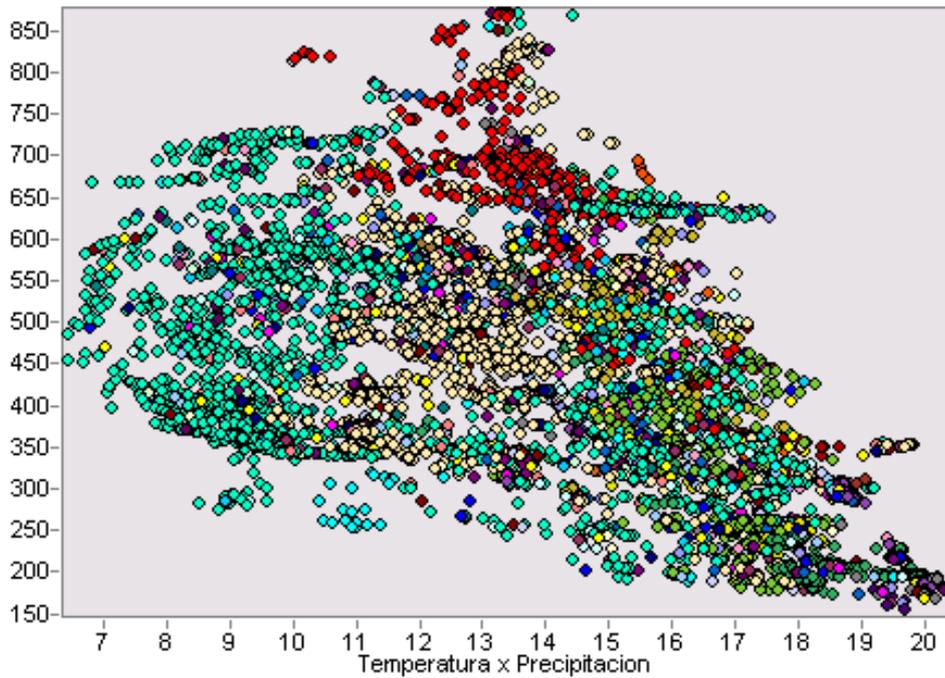


Fig. 2: Histograma precipitación/temperatura para litologías

Scatter Plot Matrix

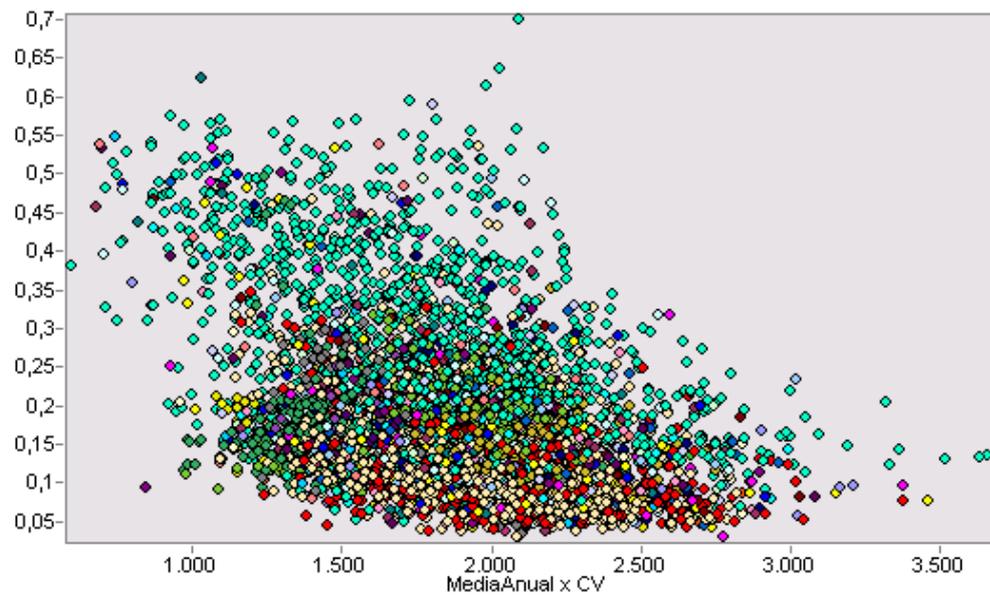


Fig. 3: Histograma EVI-media/CV (estacionalidad), para distintas litologías

En los gráficos vemos que la mayoría de los píxeles corresponden con esquistos en primer lugar, (con gran número de combinaciones de precipitación y temperatura); calizas,(en zonas intermedias de precipitación y temperatura) mármoles (elevada precipitación y temperatura media); y filitas (elevada temperatura y media-baja precipitación); para hacer estas afirmaciones nos fijamos en los colores de la leyenda y en los del gráfico (Figs. 1 y 2). Los valores más bajos de CV y con mayor rango de valores de productividad corresponden a calizas y mármoles, los esquistos tienen valores medios y altos a lo largo del rango de productividad (Fig. 3).

En la tabla de atributos de ArcGIS seleccionamos aquellas litologías que tengan mayor cantidad de píxeles de un tipo de litología, cumpliendo la condición anterior (matorral denso >80%).

Realizamos un histograma para cada litología, comenzando por esquistos. Los que aparecen tachados se han analizado sin buenos resultados, por lo que los descartamos (Fig. 4).

Scatter Plot Matrix

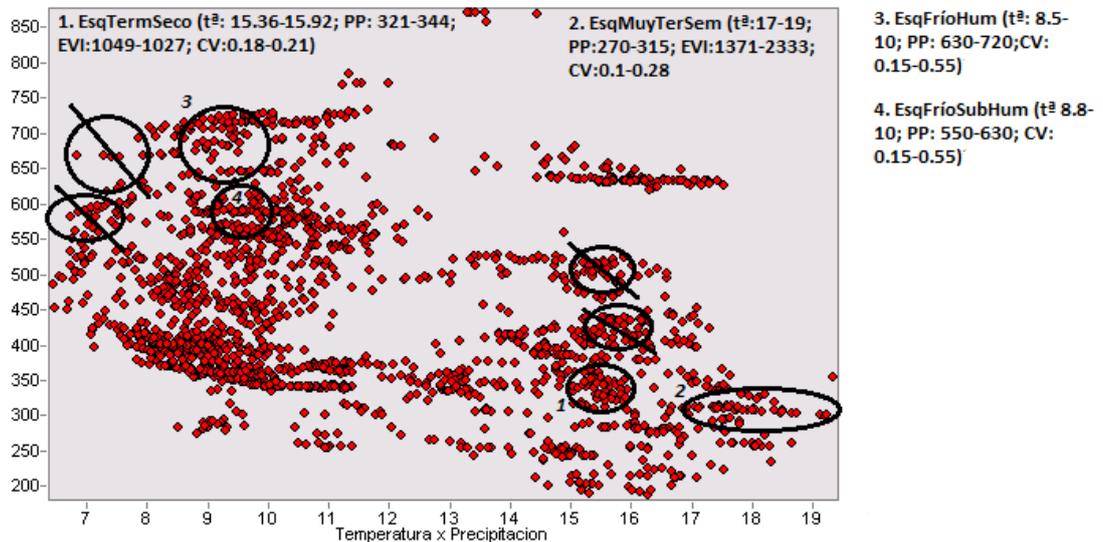


Fig. 4: Histograma de frecuencias de número de píxeles de un tipo de litología (esquistos) y de matorral homogéneo. A lo largo del gradiente cruzado de precipitación (eje y, mm) y temperatura (eje x, °C). Los círculos muestran donde se realizarán los muestreos; los círculos tachados muestran zonas descartadas para muestreo por no cumplir las condiciones establecidas.

Hemos de recordar que los píxeles observados a lo largo del gradiente de precipitación y temperatura cumplen la condición de matorral denso >80% y pureza litológica >95% (Fig. 4).

La siguiente figura (Fig. 5) indica los píxeles candidatos para muestreo de la "Zona 1", llamados "EsqTermSeco" después de haber analizado la homogeneidad del terreno. Además cumplen los requisitos establecidos de temperatura, precipitación, CV (estacionalidad) con un 10% de diferencias entre sus valores extremos.

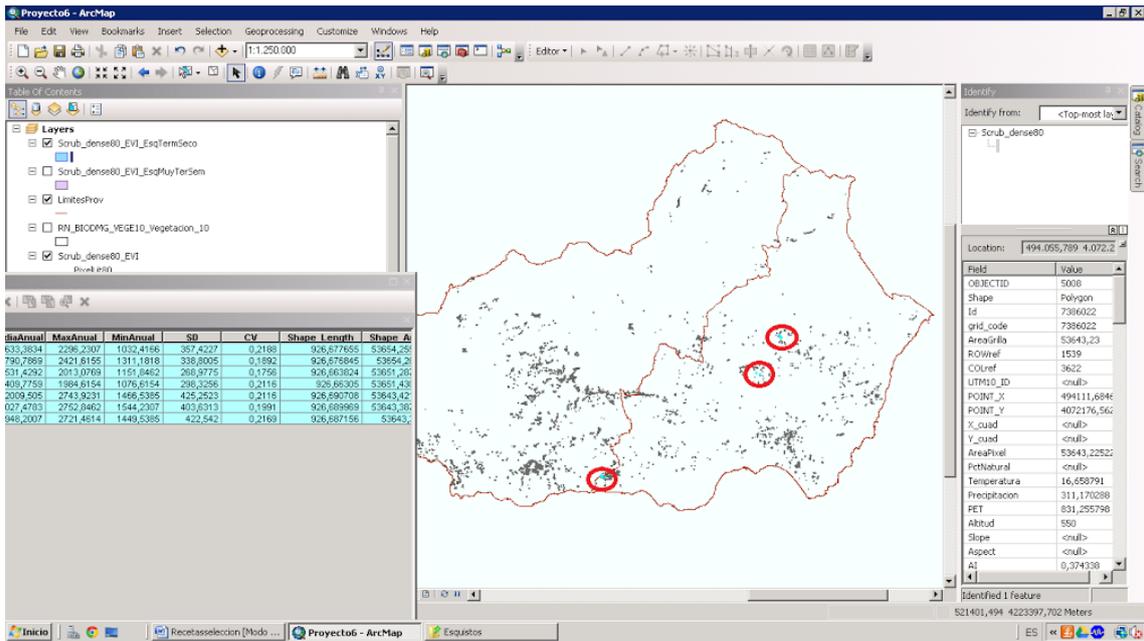


Fig. 5: píxeles candidatos para muestreo de la zona 1, llamados "EsqTermSeco" después de haber analizado la homogeneidad del terreno. Además cumplen los requisitos establecidos de t^9 , pp , cv con un 10% de diferencias aproximadamente.

La Fig. 6 muestra lo mismo que la Fig. 5 pero para los píxeles candidatos de la "Zona 2", llamados "EsqMuyTerSem" (tras analizar la homogeneidad y asegurarnos de que cumplen los requisitos establecidos previamente). También se generaron los archivos con los datos en GEarth.

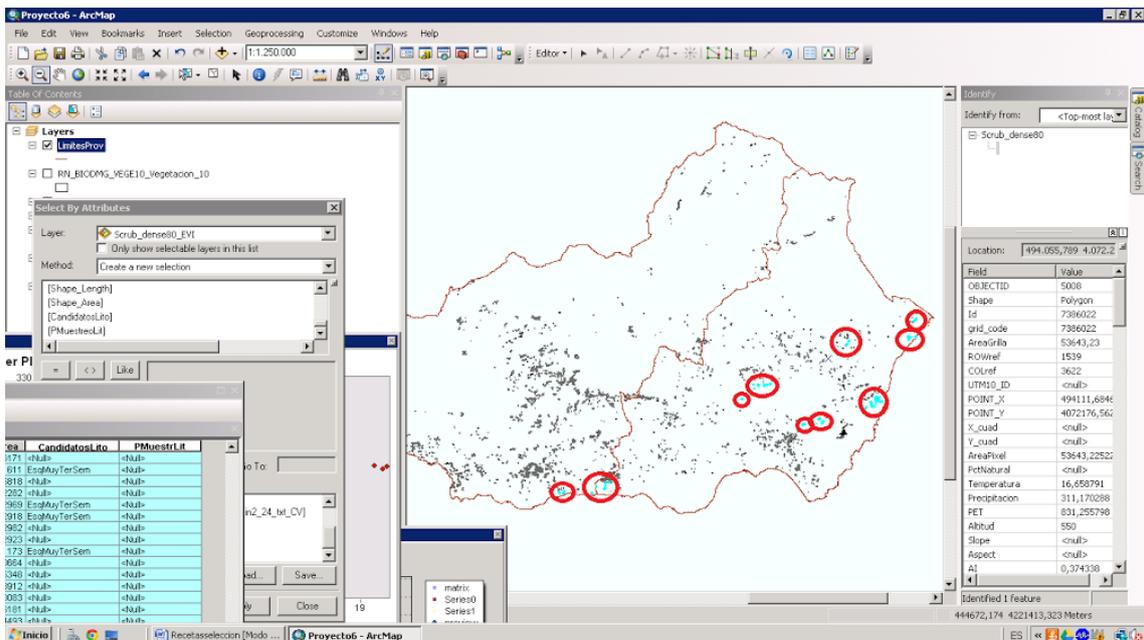


Fig. 6: píxeles candidatos de la "Zona 2", llamados "EsqMuyTerSem" (tras analizar la homogeneidad y asegurarnos de que cumplen los requisitos establecidos previamente).

Para seleccionar al menos cinco píxeles de cada litología, tras el proceso descrito, se utilizaron ortofotografías del terreno para comprobar la homogeneidad topográfica de los píxeles y la distancia entre estos. Buscando una distancia mínima de 6 kilómetros y la máxima homogeneidad topográfica. En la Fig. 7 podemos ver una zona climática donde se observa que los píxeles cumplen la distancia.

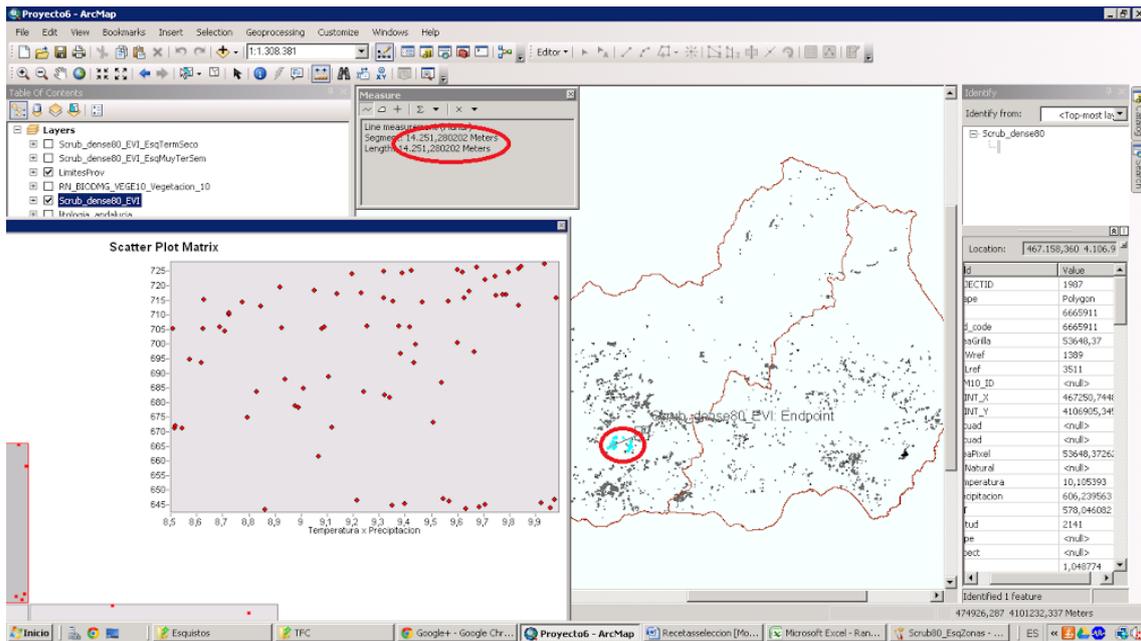


Fig. 7: Píxeles seleccionados para un rango climático. Verificamos que se encuentran a más de 6 kilómetros de distancia entre ellos.

Buscamos tener zonas con todas las variables homogéneas (con diferencias en un mismo rango de un 10% aproximadamente entre los extremos) y distinta litología, esto nos sirve para analizar relación entre clima, litología, productividad y diversidad.

3. CÓDIGOS SQL

- **Recetas para seleccionar los distintos píxeles de tipos de vegetación en ArcGIS (select by attributes):**

1) **Scrubland (matorral) dense [TIPOV_1]:** ("ARBO_PRE" = 0 AND ("ARBU_PRE" >= 5 AND "HERB_PRE" <=2)) AND ("SUEL_PRE" <6)

2) **Scrubland sparse [TIPOV_2]:** ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 0 AND "ARBU_PRE" = 3 AND "SUEL_PRE" <= 5)) AND ("SUEL_PRE" < 6)

3) **Scrubland superspars [TIPOV_3]:** ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 0 AND "ARBU_PRE" = 2 AND "SUEL_PRE" <= 5)) AND ("SUEL_PRE" <6)

4) **Grassland (espartal) dense [TIPOV_4]:** ("ARBO_PRE" = 0 AND ("ARBU_PRE" <= 2 AND "HERB_PRE" >= 5)) AND ("SUEL_PRE" < 6)

5) **Mix (mezcla de matorral y espartal) [TIPOV_5]:** (("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" <= 3 AND "HERB_PRE" >= 2) AND ("ARBU_PRE" <= 3 AND "ARBU_PRE" >= 2) AND "SUEL_PRE" <= 5) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 3 AND "ARBU_PRE" = 5) AND "SUEL_PRE" <= 5) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 5 AND "ARBU_PRE" = 3) AND "SUEL_PRE" <=5) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 5 AND "ARBU_PRE" = 5) AND "SUEL_PRE" = 0) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 6 AND "ARBU_PRE" = 6) AND "SUEL_PRE" = 0) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 6 AND "ARBU_PRE" = 3) AND "SUEL_PRE" = 2) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 6 AND "ARBU_PRE" = 3) AND "SUEL_PRE" = 3) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 3 AND "ARBU_PRE" = 6) AND "SUEL_PRE" = 2))

6) **Bare Soil (suelodesnudo) [TIPOV_6]:** (("ARBO_PRE" = 0 AND "SUEL_PRE" >= 6) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 0 AND "ARBU_PRE" = 2 AND "SUEL_PRE" >= 5)) OR ("ARBO_PRE" = 0 AND ("HERB_PRE" = 2 AND "ARBU_PRE" = 0 AND "SUEL_PRE" >= 5)))

- **Selección de litología a lo largo del gradiente climático, rango homogéneo en extremos de las variables del 10%:**

EsqTermSeco

[Temperatura] > 15.1-15.1*0.05 AND [Temperatura] < 16+16*0.05

AND

[Precipitacion] > 320-320*0.05 AND [Precipitacion] < 350+350*0.05

AND

[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] >0.17 AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] <0.22
AND
[PixelLit80] = 'ESQUISTOS'

EsqMuyTermSem

[Temperatura] > 17-17*0.05 AND [Temperatura] < 19+19*0.05
AND
[Precipitacion] > 270-270*0.05 AND [Precipitacion] < 315+315*0.05
AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] >0.1 AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] <0.28
AND
[PixelLit80] = 'ESQUISTOS'

EsqFríoHum

[Temperatura] > 8.5-8.5*0.05 AND [Temperatura] < 10+10*0.05
AND
[Precipitacion] > 630-630*0.05 AND [Precipitacion] < 720+720*0.05
AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] >0.15 AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] <0.55
AND
[PixelLit80] = 'ESQUISTOS'

EsqFríoSubHum

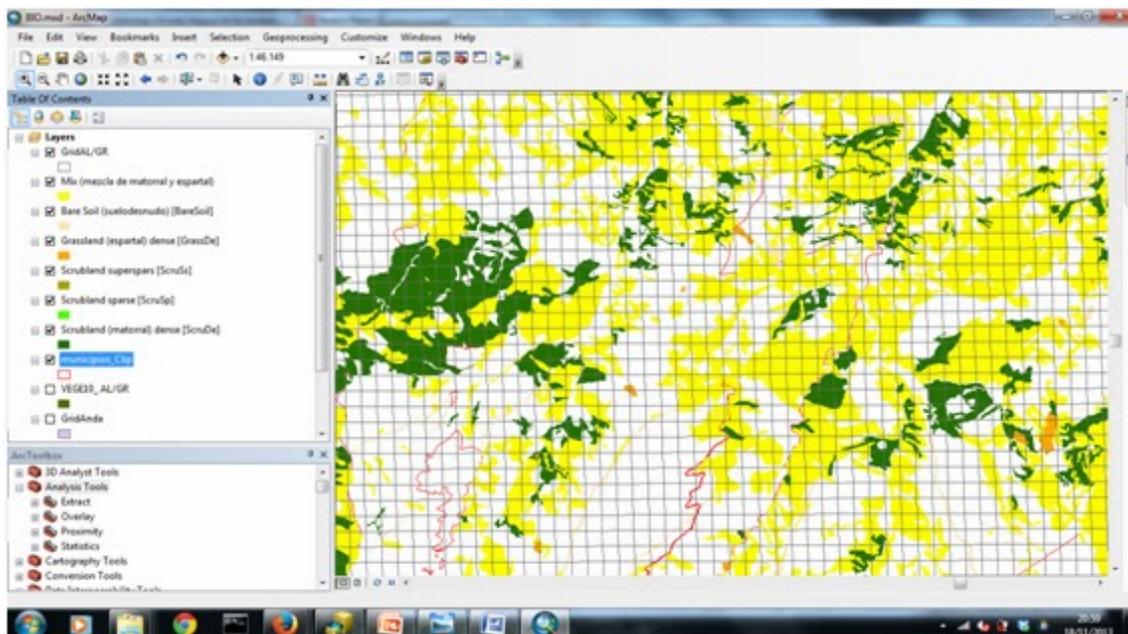
[Temperatura] > 8.8-8.8*0.05 AND [Temperatura] < 10+10*0.05
AND
[Precipitacion] > 550-550*0.05 AND [Precipitacion] < 630+630*0.05
AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] >0.15 AND
[AlmeGranad_EVImedio_comas_SinNan3_Tab4_Sin2_24_txt_CV] <0.55
AND
[PixelLit80] = 'ESQUISTOS'

ANEXO II

GALERÍA DE IMÁGENES DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE ZONAS DE MUESTREO

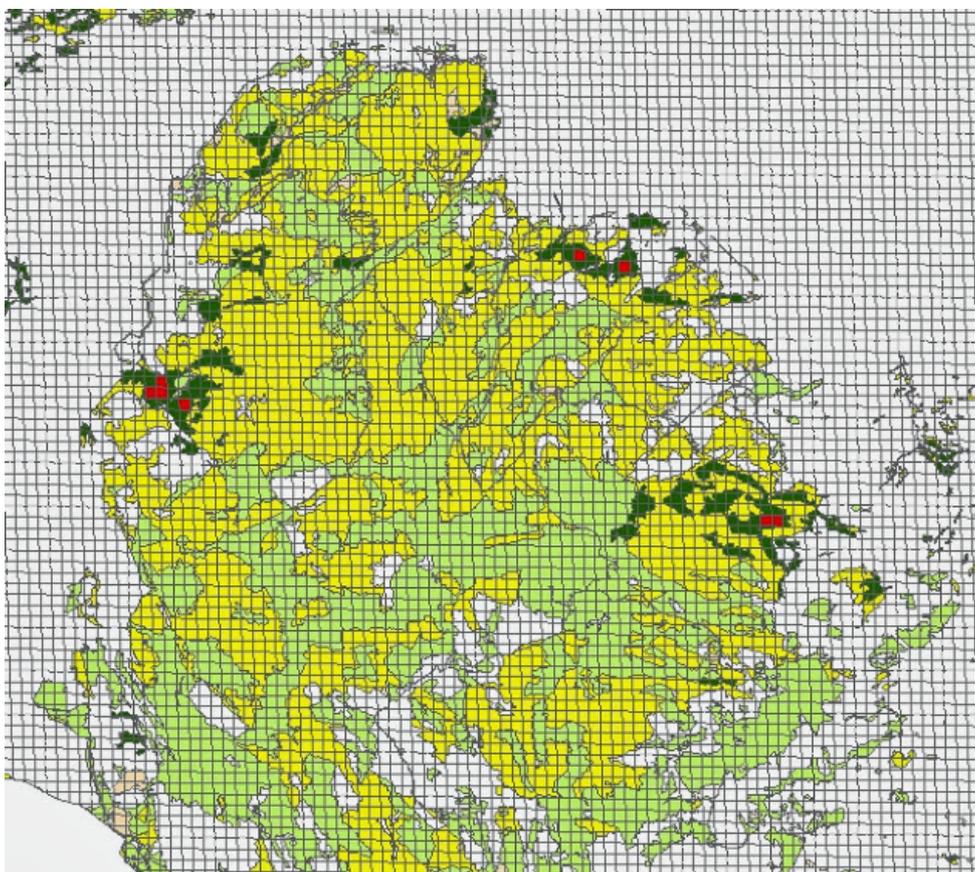
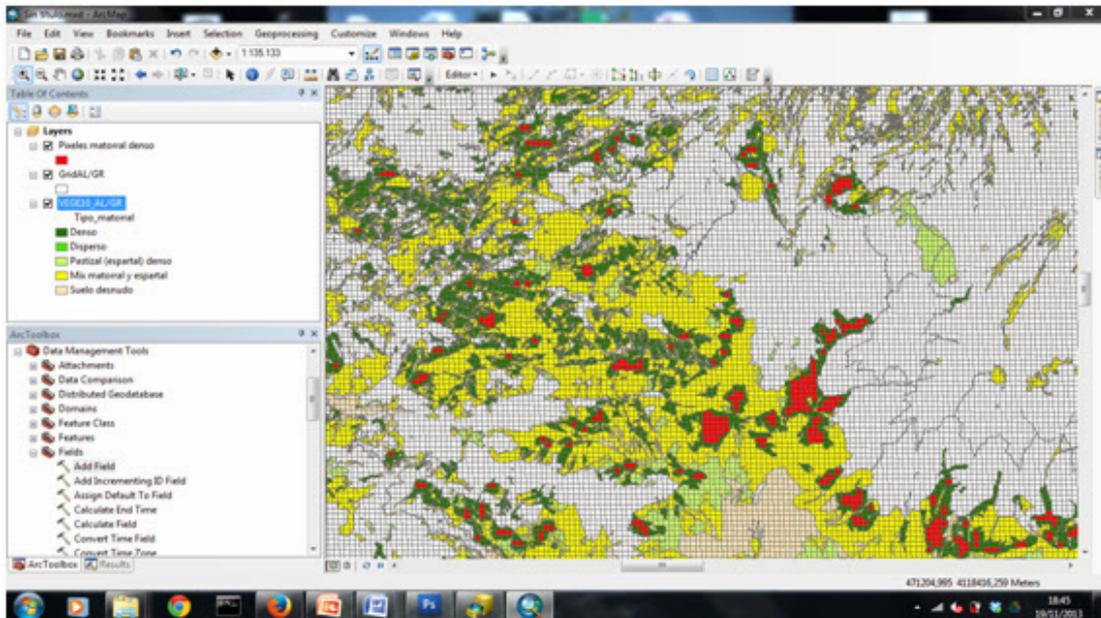
1. *Visualizamos tipos de matorral*

En la imagen aparecen seleccionadas las zonas de matorral denso [Scrubland (matorral) denso [ScruDe]]; matorral disperso [Scrubland sparse [ScruSp]]; matorral superdisperso [Scrubland superspars [ScruSs]]; Espartal denso [Grassland (espartal) denso [GrassDe]]; Suelo desnudo [Bare Soil (suelodesnudo) [BareSoil]] ; Y mezcla de matorral y espartal [Mix (mezcla de matorral y espartal)]... Esta información está para las provincias de Almería y Granada.



2. Selección de matorral denso

Ahora quiero saber que píxeles se encuentran completos por un tipo de matorral. Vemos seleccionado matorral denso puros.



Ya están los píxeles que nos podrían interesar seleccionados, los diferenciamos según el % de un tipo de vegetación.

Los resultados han sido:

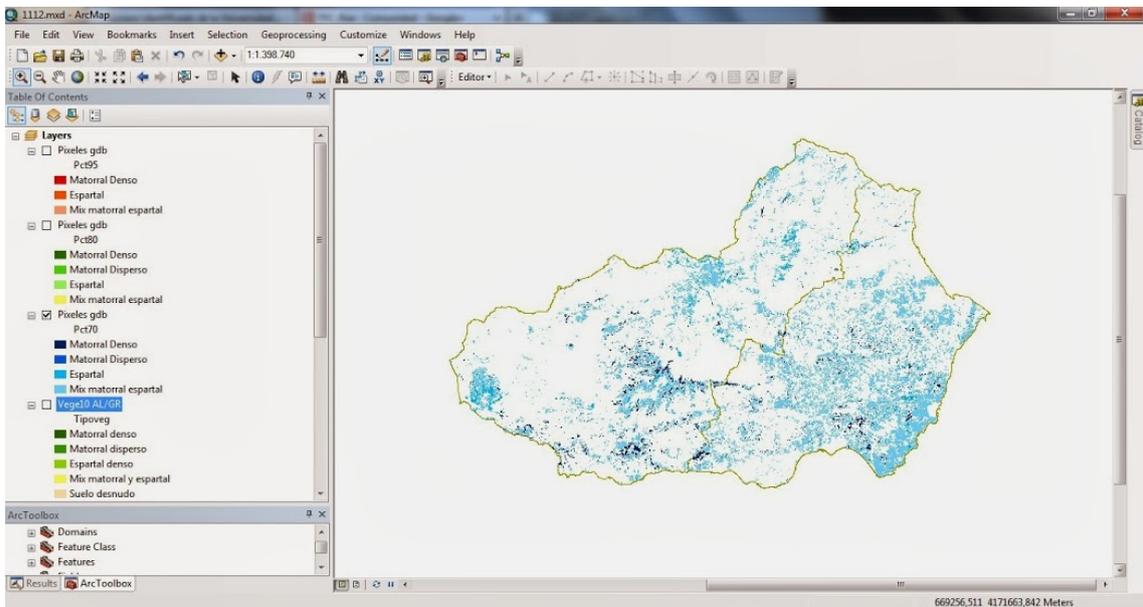
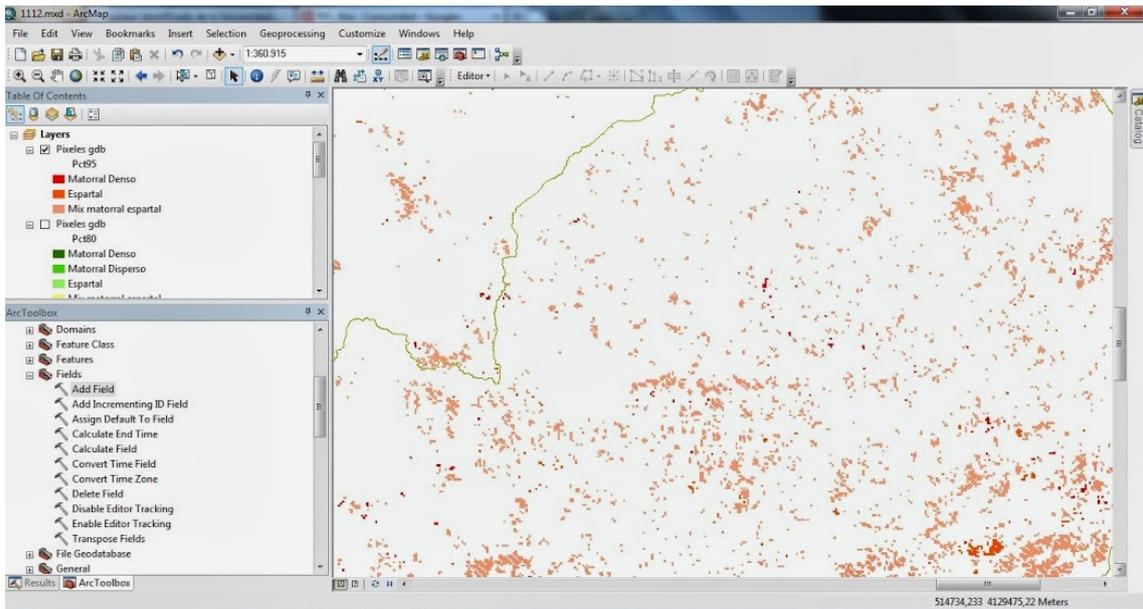
- 95%
 - o Matorral denso: 1460 (píxeles modis)
 - o Espartal: 1349
 - o Mixto: 16333

- 80%
 - o Matorral denso: 5183
 - o Matorral disperso: 7
 - o Espartal: 4434
 - o Mixto: 40476

- 70%
 - o Matorral denso: 8043
 - o Matorral disperso: 11
 - o Espartal: 6384
 - o Mixto: 54492

En ArcMap (ArcGIS) tengo las siguientes capas de información:

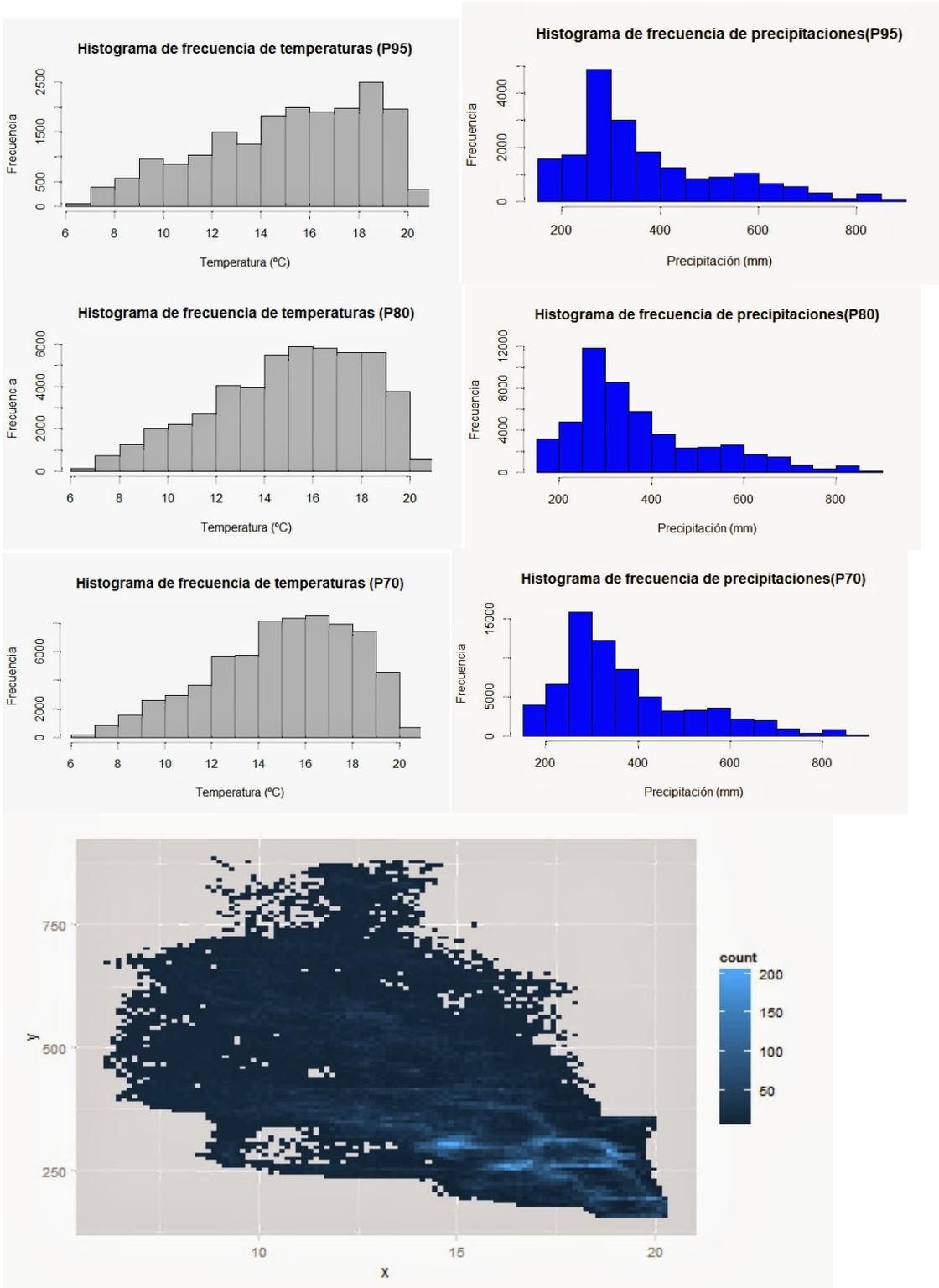
- Límites provincias AL/GR
- Límites provincias de Andalucía
- Hidrografía
- Vegetación (Matorral denso, disperso, superdisperso, espartal, mix espartal y matorral y suelo desnudo) para Andalucía y para Almería y Granada.
- Píxeles de Almería y Granada que cumplen: una cobertura mayor del 95%, 80% o 70% para cada tipo de vegetación.



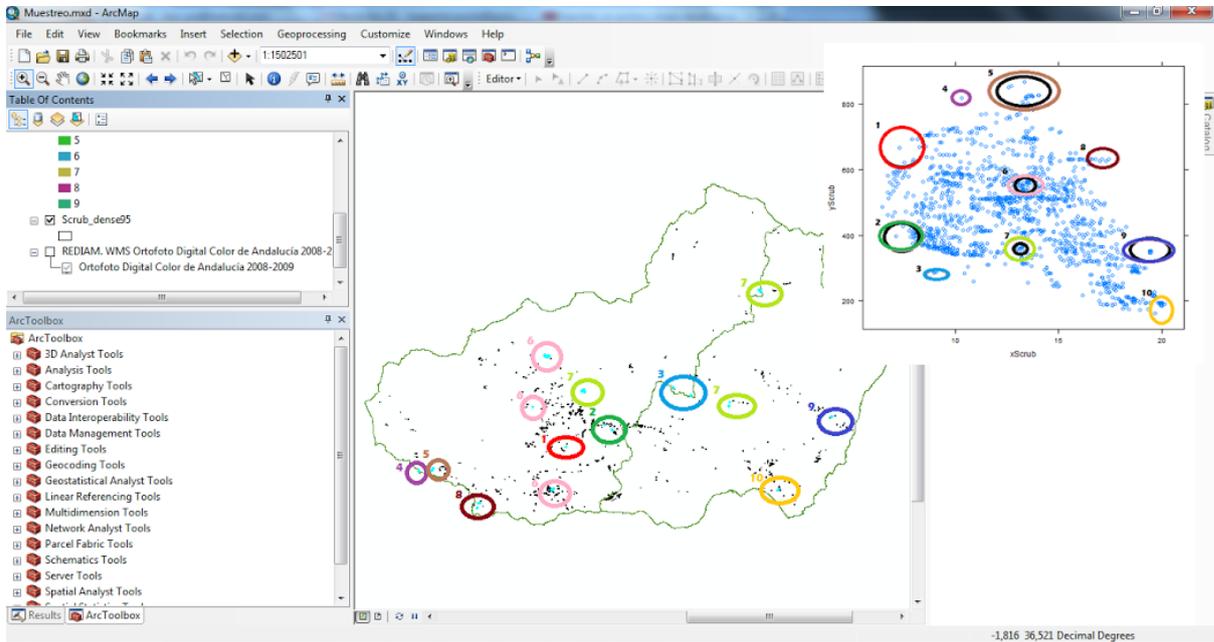
3. *Histogramas de precipitación y temperatura*

1. Hacemos un histograma de frecuencias de las temperaturas para cada cobertura, 95, 80 y 70%
2. Hacemos un histograma de frecuencias de las precipitaciones cada cobertura, 95, 80 y 70%

3. Hacemos un histograma de frecuencias de la combinación de temperatura y precipitación

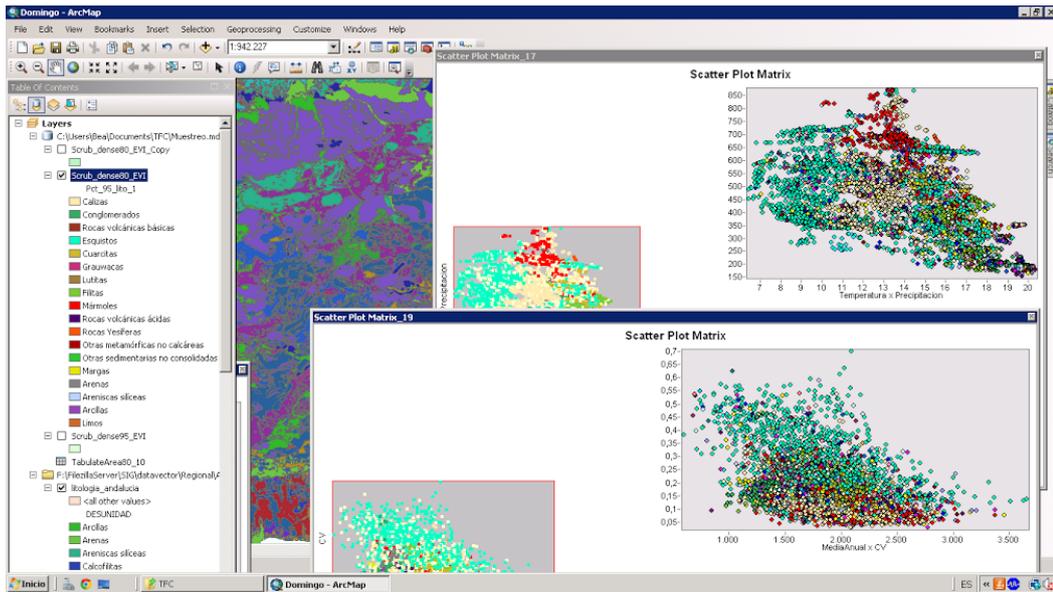


4. Posibles zonas para muestreo en función del gradiente climático



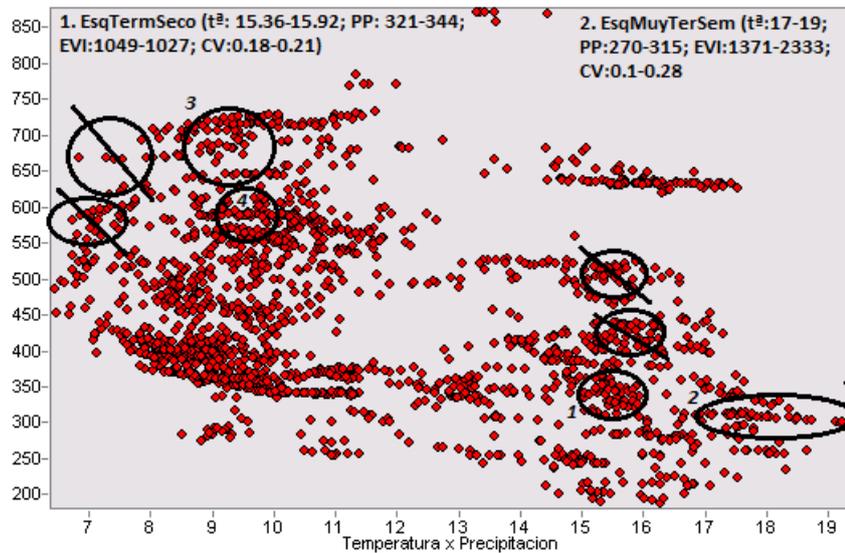
5. Análisis de la litología para los diferentes píxeles

En los gráficos vemos que la mayoría de los píxeles corresponden con esquistos en primer lugar, (con gran número de combinaciones de precipitación y temperatura); calizas, (en zonas intermedias de precipitación y temperatura) mármoles (elevada precipitación y temperatura media media); y filitas (elevada temperatura y media-baja precipitación); para hacer estas afirmaciones nos fijamos en los colores de la leyenda y en los del gráfico. Los valores más bajos de CV y con mayor rango de valores de productividad corresponden a calizas y mármoles, los esquistos tienen valores medios y altos a lo largo del rango de productividad.



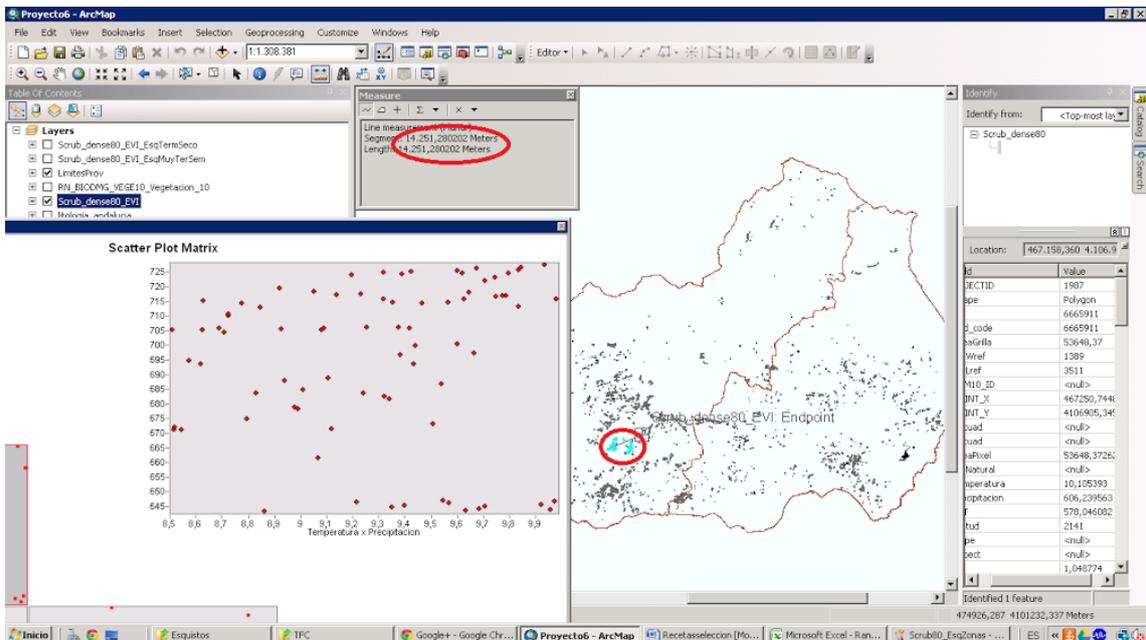
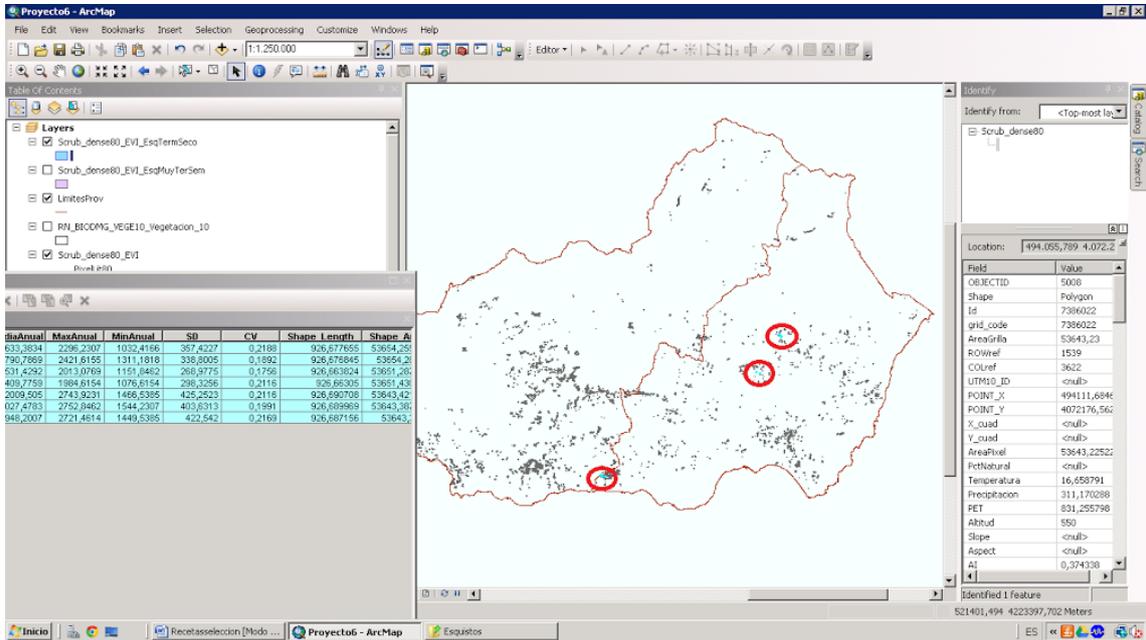
6. Posibles zonas para muestreo en función del gradiente climático y la litología

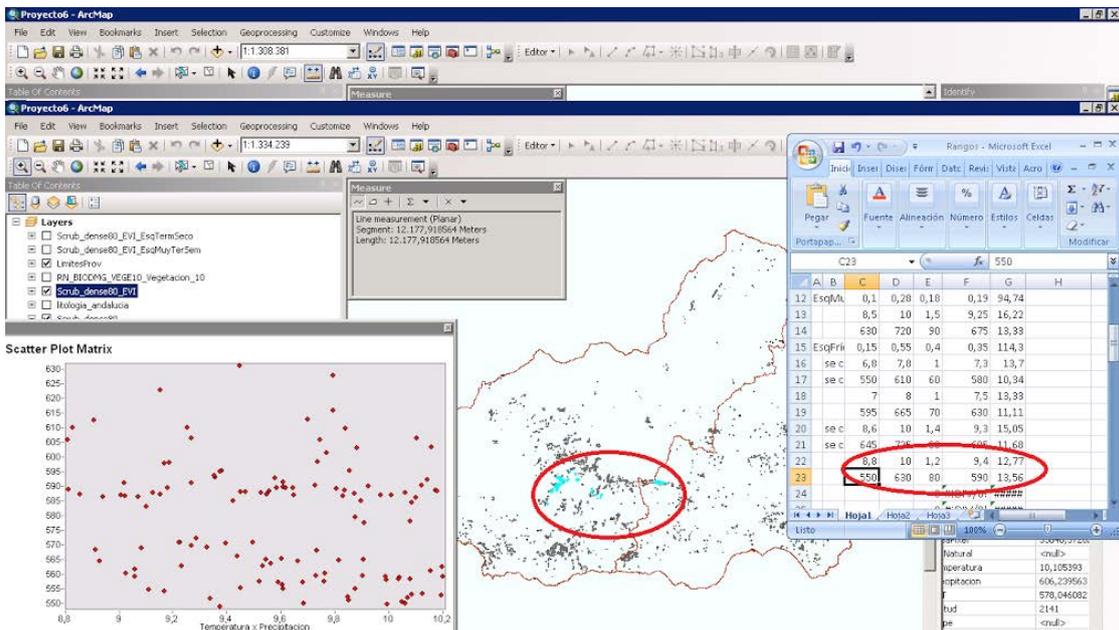
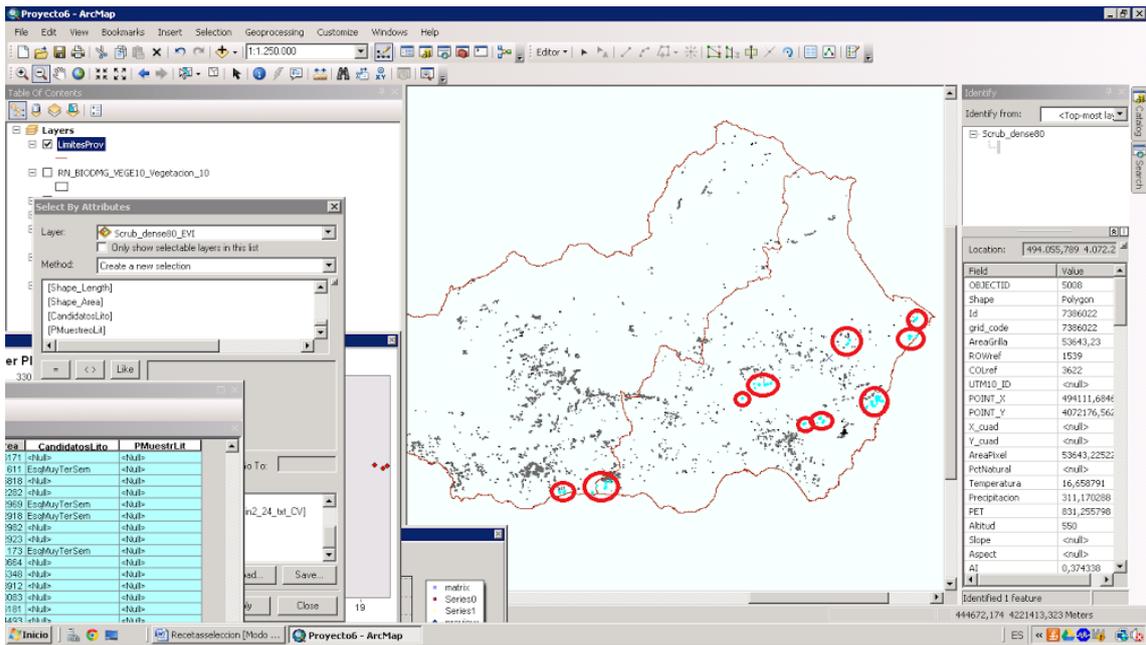
Scatter Plot Matrix



- 1. EsqTermSeco (t^{a} : 15.36-15.92; PP: 321-344; EVI:1049-1027; CV:0.18-0.21)
- 2. EsqMuyTerSem (t^{a} :17-19; PP:270-315; EVI:1371-2333; CV:0.1-0.28)
- 3. EsqFrioHum (t^{a} : 8.5-10; PP: 630-720;CV: 0.15-0.55)
- 4. EsqFrioSubHum (t^{a} 8.8-10; PP: 550-630; CV: 0.15-0.55)

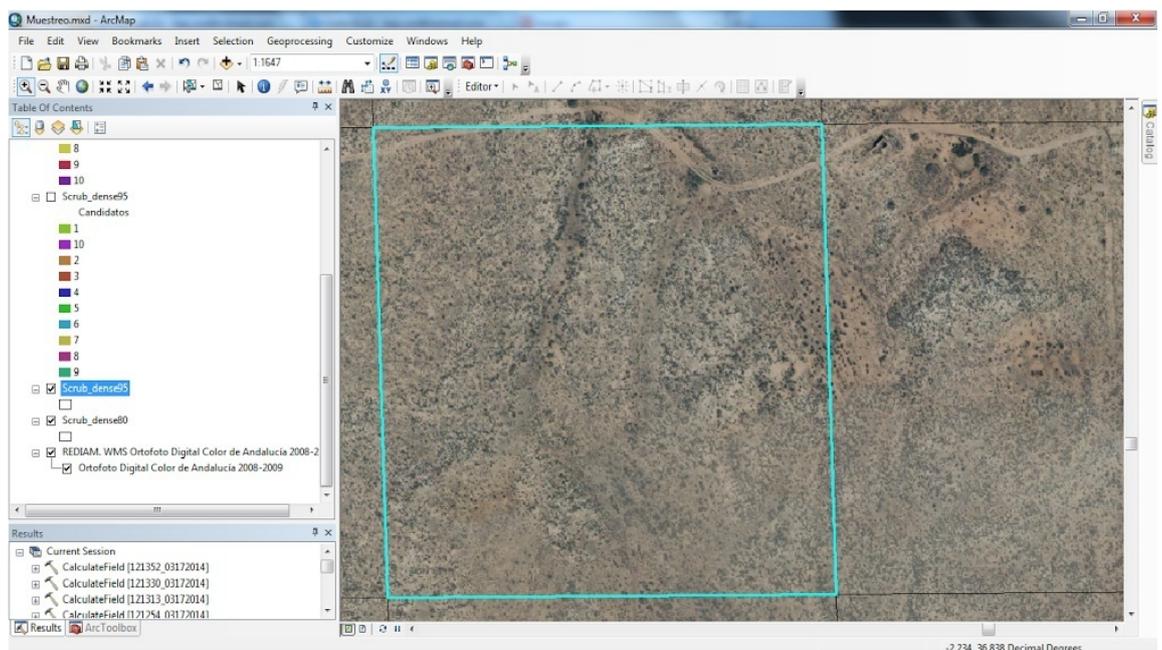
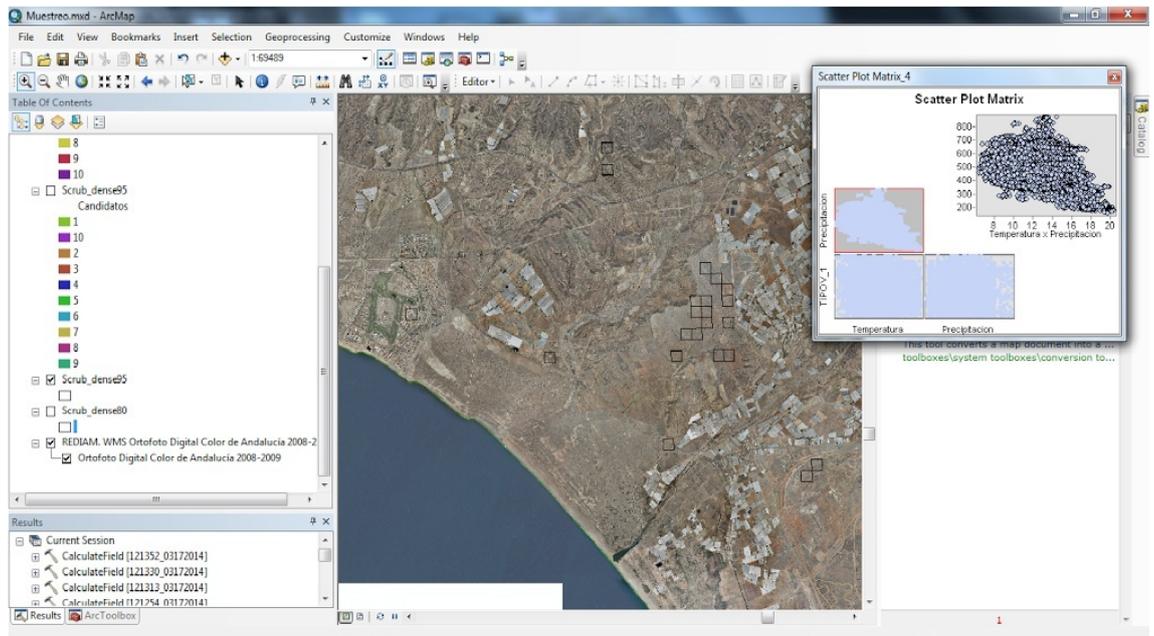
- **Ubicación de las distintas zona de muestreo:**

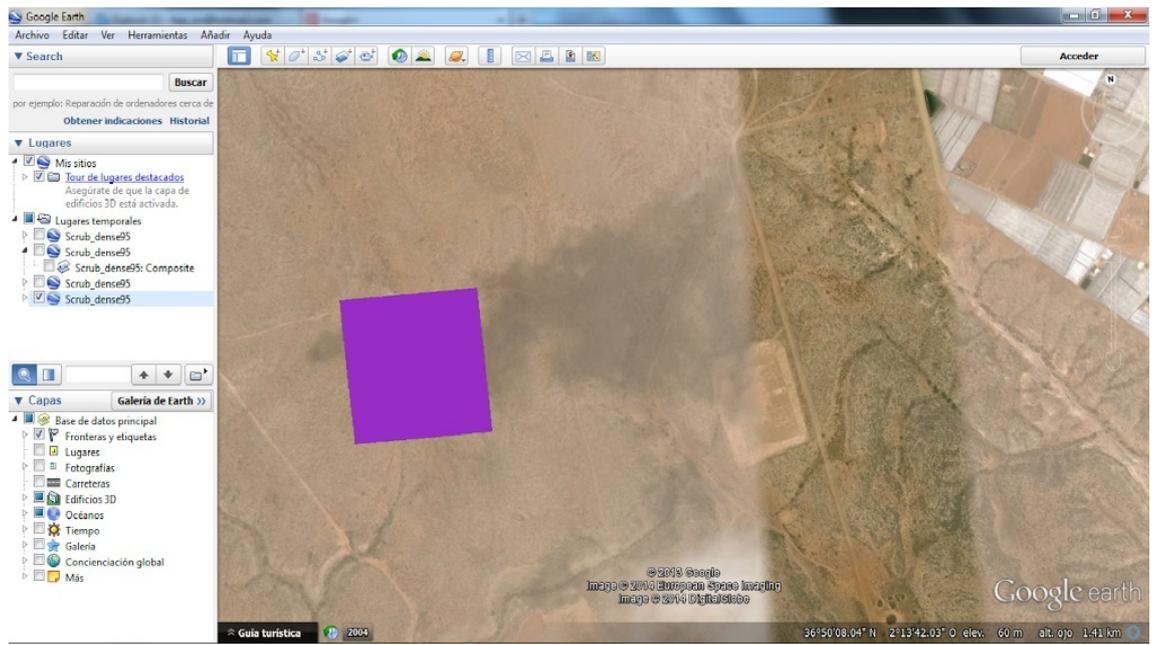




7. Análisis mediante ortofotos

- **Primera zona seleccionada:**

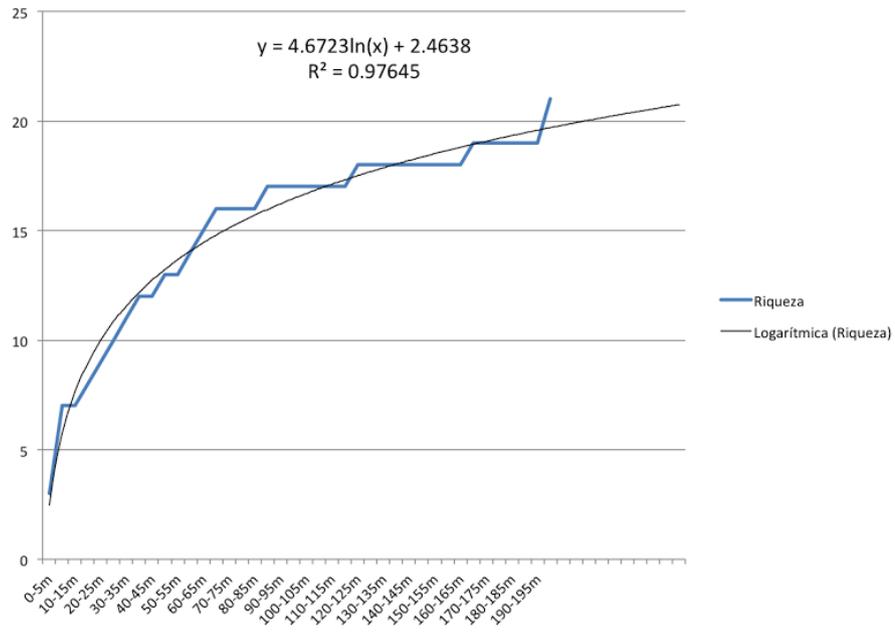




8. Muestreo de campo de diversidad de plantas perennes



- **Curva de acumulación de especies**



(Comprobación de la longitud del transecto establecida ver Resultados esperados, apartado 4.2.)

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría darle las gracias a Julio Peñas de Giles por acogerme desde el primer día que aparecí preguntando por Filabres en su despacho, porque si ese comienzo no se hubiera dado, no se hubiera dado todo lo demás... y por supuesto, por proponerme trabajar conjuntamente con Domingo Alcaraz Segura, al que también le doy millones de gracias, porque con ellos ha sido un año de continuo aprendizaje, en el que he crecido mucho profesionalmente, y que me ha servido para dar pie a una gran investigación.

A Patricia Lourenzo, Raul Ortega, Javier Cabello y Andrés Reyes, del CAESCG de la UAL, por haberme proporcionado las imágenes de satélite procesadas y el protocolo para calcular el porcentaje de vegetación de cada píxel, gracias por facilitar el trabajo.

A los compañeros del “Laboratorio de Conservación Vegetal” de la UGR, por hacer agradable la estancia. También a los compañeros que vinieron al campo a muestrear, Grettel, Eladia, Pablo... y por supuesto Javier Cabello, Julio Peñas y Domingo Alcaraz de nuevo que estuvieron ahí. Es un placer trabajar con vosotros.

Ha sido un trabajo muy gratificante y continuaré con el mismo entusiasmo, eso está asegurado. ¡Muchas gracias por facilitarme el comienzo de lo que espero que sea mi carrera investigadora!

Granada, Julio 2014

