

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

Estructura de la vegetación de un parque fotovoltaico en ambiente semiárido, (complejo Chiprana-Samper-Escatrón).

Vegetation structure of a photovoltaic park in a semiarid environment, (Chiprana-Samper-Escatrón complex).

Autor:

Mario Pradas Compaired

Directores:

Jaume Tormo Blanes

Esperanza Iranzo Sanz

José Manuel Nicolau Ibarra

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Año 2024

Resumen

La Universidad de Zaragoza colabora con la empresa GALP S.A. desarrollando un proyecto piloto de naturalización del Parque Solar Fotovoltaico (PSF) de Chiprana-Samper-Escatrón, ubicado en Escatrón (Zaragoza). El objetivo del presente trabajo es caracterizar la estructura de la vegetación y los factores que la controlan a fin de obtener criterios para la revegetación de los PSF. Para ello, dentro del PSF, se han estudiado zonas sin placas y otras con distinto grado de sombreado por las placas; y fuera del Parque, zonas naturales de referencia. Los indicadores han sido los siguientes: cobertura vegetal, riqueza de especies, índice de Shannon y abundancia de tipos biológicos.

La cobertura vegetal y los índices de diversidad son mayores bajo las placas y en la vegetación natural. Las zonas sin placas del PSF – con mayor insolación - presentan valores significativamente inferiores. Parece que la disminución de la evaporación que generan las placas favorece la disponibilidad de agua para las plantas y su desarrollo. No obstante, hay una diferencia importante entre los tipos biológicos de especies del interior del PSF -con predominio de terófitos-, y de las comunidades naturales de referencia, con mayor abundancia de fanerófitos, caméfitos y hemicriptófitos.

Palabras clave: microclimas, déficit hídrico, placas solares, diversidad, cobertura vegetal, tipos biológicos.

Abstract

The University of Zaragoza collaborates with the company GALP S.A. in developing a pilot project for the naturalization of the Chiprana-Samper-Escatrón Photovoltaic Solar Park (PSF), located in Escatrón (Zaragoza). The objective of this work is to characterize the structure of the vegetation and the factors that control it to obtain criteria for the revegetation of PSFs. To this end, within the PSF, areas without panels and others with different degrees of shading by the panels have been studied, and outside the park, natural reference areas. The indicators have been the following: vegetation cover, species richness, Shannon index, and abundance of biological types.

Vegetation cover and diversity indices are higher under the panels and in natural vegetation. The areas without panels in the PSF – with greater sunlight exposure – present significantly lower values. It seems that the reduction in evaporation generated by the panels favours the availability of water for the plants and their development. However, there is a significant difference between the biological types of species within the PSF - predominantly therophytes - and the natural reference communities, with a greater abundance of phanerophytes, chamaephytes, and hemicryptophytes.

Key words: microclimates, water deficit, solar panels, biodiversity, vegetation cover, biotypes.

Índice

1. Introducción y objetivos	5
2. Área de estudio.....	8
2.1. Localización geográfica y anteriores usos del terreno	8
2.2. Climatología	10
2.3. Litología y edafología	11
2.4. Vegetación: remanentes de vegetación natural	12
2.4.1. Vegetación potencial.....	12
2.4.2. Vegetación actual	12
2.5. Aspectos técnicos de las instalaciones.....	13
2.6. Características y variables ecológicas que actúan dentro de las instalaciones.	14
3. Material y métodos	14
3.1. Descripción del muestreo de vegetación	15
3.2. Cálculo de las variables de la estructura de la vegetación.....	17
3.2.1. Cálculo de la riqueza de especies	17
3.2.2. Cálculo de la cobertura vegetal.....	18
3.2.3. Cálculo del índice de Shannon	18
3.2.4. Abundancia de tipos biológicos.....	19
3.3. Consideraciones para el estudio del nivel de insolación recibida.....	20
3.4. Tratamiento estadístico de los datos	22
4. Resultados.....	24
5. Discusión.....	33
5.1. Síntesis de los resultados.....	33
5.2. Ensamblaje de la comunidad.....	34
5.2.1. Llegada de propágulos	36
5.2.2. Filtros abióticos.....	37
5.2.3. Filtros bióticos y antrópicos.....	38
5.2.4. Síntesis.....	39
6. Conclusiones	40
Bibliografía.....	41
ANEXO I. Fotos de la instalación fotovoltaica del complejo Chiprana-Samper-Escatrón.	45
ANEXO II: P-valores de las pruebas estadísticas de posición y nivel de insolación recibida.	48

1. Introducción y objetivos

La reducción de los gases de efecto invernadero se ha convertido en una prioridad a nivel global (Serrano et al., 2020). Por ello, surge la necesidad de evolucionar hacia un modelo energético de bajas emisiones, lo que está llevando a un aumento de la implantación de energías renovables a nivel global (Armstrong et al., 2016), siendo la energía fotovoltaica una de las principales alternativas para aliviar la crisis climática (Xia et al., 2023).

Aunque el desarrollo de las energías renovables sea necesario por sus beneficios ambientales y para cumplir con los requisitos internacionales en materia de cambio climático, su establecimiento masivo en el territorio puede generar importantes impactos sobre la biodiversidad (Gobierno de España, s. f.). Se observa una paradoja sobre los impactos de los PSF en función de la escala valorada: mientras que estos son necesarios para mitigar los efectos del cambio climático, y, por tanto, para la conservación de la biodiversidad a nivel global, a escala local estos podrían comprometer la capacidad de las especies a adaptarse a las condiciones futuras (Cameron et al., 2012). Principalmente este hecho es debido a dos factores: la destrucción del hábitat y la creación de barreras que producen la fragmentación de estos (Cameron et al., 2012).

Los PSF suponen un cambio drástico en el uso de la tierra transformando zonas con vegetación abierta en zonas dominadas por el sombreado de los paneles (Zhang et al., 2023), lo cual, a su vez, genera nuevas condiciones para la flora y la fauna (Uldrijan et al., 2023). Los impactos que poseen estas instalaciones sobre los ecosistemas son diversos, y varían en función del estudio realizado y la zona valorada (Zhang et al., 2023). En general, los PSF influyen en los microclimas, el ciclo del carbono, la biodiversidad, el régimen hídrico, la erosión del suelo, la calidad del aire y los balances energéticos de los ecosistemas estudiados (Armstrong et al., 2016).

El sur de Europa es una de las zonas que concentran las mejores aptitudes para la instalación PSF, debiéndose principalmente a dos motivos: su localización geográfica –con índices de radiación solar elevados– y sus recursos económicos (Cameron et al., 2012).

España es uno de los países con mayores índices de radiación solar en Europa (Cameron et al., 2012). Durante el periodo de 2012 a 2022 la cantidad de energía fotovoltaica bruta producida en España aumentó en un 280,7%; un 42,3% entre 2021 y

2022 (Gobierno de España, 2023). A su vez, el marco normativo europeo, reflejado en la legislación nacional mediante el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), ha establecido que, para el 2030, el 74% de la producción energética provenga de energías renovables (Gobierno de España, 2020). En concreto se preferirá el desarrollo de aquellas energías actualmente bien desarrolladas en España, destacando la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. (Gobierno de España, 2020). Por ello, se prevé un aumento de PSF en el territorio español (Serrano et al., 2020).

El crecimiento de los PSF en España se está produciendo de manera exponencial y sin planificación previa, lo cual, unido a los cientos de miles de hectáreas que podrán verse afectadas para cumplir con los objetivos de la PNIEC, supone un gran riesgo para la biodiversidad y para los servicios ecosistémicos que estos ecosistemas aportan (Serrano et al., 2020).

Muchos de estos proyectos son planeados en zonas marginales que poseen un gran valor ecológico, en especial: zonas de cultivo, zonas montañosas y zonas esteparias (Serrano et al., 2020). Las zonas esteparias, según la clasificación de Koppen, son una subcategoría de los climas secos o áridos, los cuales se extienden por el sureste de la península, el valle del Ebro y, con menor extensión, en la meseta sur, Extremadura e Islas Baleares (AEMET et al., 2011). Las PSF suponen la ocupación de grandes extensiones de tierra, lo cual generará afecciones en estos ambientes esteparios, de los que España alberga la mayor superficie europea (Serrano et al., 2020), y albergando estos una rica diversidad de organismos, como las aves esteparias, con numerosas especies que se encuentran en franco declive en el territorio europeo (Gobierno de España, s. f.).

Los ambientes áridos y semiáridos reciben una elevada radiación solar frente a otros ambientes (Cameron et al., 2012) y poseen usos del suelo menos conflictivos que otros ecosistemas debido a sus limitaciones (Xia et al., 2023). Por ello, estos ambientes son espacios generalmente escogidos para la instalación de PSF, no solo a nivel español, sino a nivel global (Xia et al., 2023). Algunos estudios señalan que son muy sensibles a las actividades humanas y al cambio climático, por lo que los PSF podrían exacerbar el estrés de estos ecosistemas (Xia et al., 2023), degradados a su vez de manera histórica por la eliminación de especies endémicas y la ocupación del terreno (Navarro-Cano et al., 2017).

Por otro lado, los PSF requieren, por un lado, de instalaciones de transporte y conexión eléctrica, y por otro, de la construcción de pistas e infraestructuras viarias, lo

que extiende su impacto en el paisaje, las poblaciones y los ecosistemas a lo largo del territorio (ALIENTE , 2021).

Considerando el aumento previsto de PSF en España según el PNIEC y, siendo las zonas esteparias una de las zonas con mayores incidencias (Serrano et al., 2020), es imprescindible el desarrollo de proyectos de restauración ecológica que tengan como objetivo mitigar los impactos generados por la construcción de estas grandes plantas fotovoltaicas (Lambert et al., 2022).

La empresa GALP S.A., ha encargado a la Universidad de Zaragoza un proyecto piloto de renaturalización del complejo fotovoltaico de Escatrón, Chiprana y Samper de Calanda (Aragón), el cual se describe en el apartado 3.1. Uno de los objetivos del proyecto es la implantación de comunidades de especies leñosas para promover la biodiversidad. El manejo de la vegetación en los distintos microambientes ecológicos de los PSF es una de las maneras de gestionar estos ecosistemas noveles. Para ello, es importante conocer la dinámica de la vegetación, que, de manera espontánea, se ha establecido en estos sistemas (Xia et al., 2023).

Por ello, el objetivo general del presente trabajo es caracterizar la estructura de la vegetación de un PSF en ambiente estepario frío, el complejo fotovoltaico de Chiprana-Samper-Escatrón, de la compañía Galp. Para ello se plantean dos objetivos específicos:

- El primer objetivo específico consiste en establecer las diferencias entre la vegetación natural, áreas del PSF con placas -bajo placa- y áreas del PSF sin placas -fuera de placa-. Las diferencias se establecerán mediante cuatro indicadores: cobertura, riqueza, índice de Shannon y tipos biológicos.
- El segundo objetivo específico es estimar la influencia del sombreado en el área con placas dentro del PSF mediante los mismos cuatro indicadores -a excepción de los tipos biológicos-.

En relación con todo lo anterior, este trabajo está involucrado en los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Agenda 2030:

- ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Debido a que la energía renovable no es sostenible si no se aplican medidas para sus posibles efectos a nivel local sobre los servicios ecosistémicos y la biodiversidad.
- ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Debido a que el conocimiento sobre los efectos de estos proyectos

generará medidas que permitan que estos ecosistemas sean más resilientes a los efectos del cambio climático.

- ODS 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar por la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad. Debido a que las áreas con proyectos de energías renovables están en alza y es necesario aumentar el conocimiento de sus efectos para prevenir posibles pérdidas de biodiversidad a gran escala (Serrano et al., 2020).

2. Área de estudio

2.1. Localización geográfica y anteriores usos del terreno

El área de estudio donde se desarrolla el presente trabajo es el complejo fotovoltaico de Chiprana-Samper-Escatrón. El complejo se encuentra en los municipios de Samper de Calanda, en la provincia de Teruel; y los municipios de Chiprana y Escatrón, en la provincia de Zaragoza; todos ellos en la comunidad autónoma de Aragón (Figura 1). Posee 2455,62 Ha de las cuales 1552,69 Ha se encuentran ocupadas por placas (Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, 2018).

El complejo se divide en 17 plantas fotovoltaicas (Figura 2), repartidas en tres zonas distintas: el municipio de Chiprana, Samper y Escatrón. El presente trabajo se desarrollará en las plantas de: Valdelagua, Logro y Ribagrande, en la zona de Chiprana; Escatrón, en la zona de Escatrón; y Esplendor 3 y 5, en la zona de Samper de Calanda (Figura 2). Estas plantas se han escogido debido a dos motivos: se realizaron inventarios florísticos dentro y en el entorno natural circundante para el proyecto de renaturalización; y debido a que son representativas de las tres zonas existentes en el complejo.

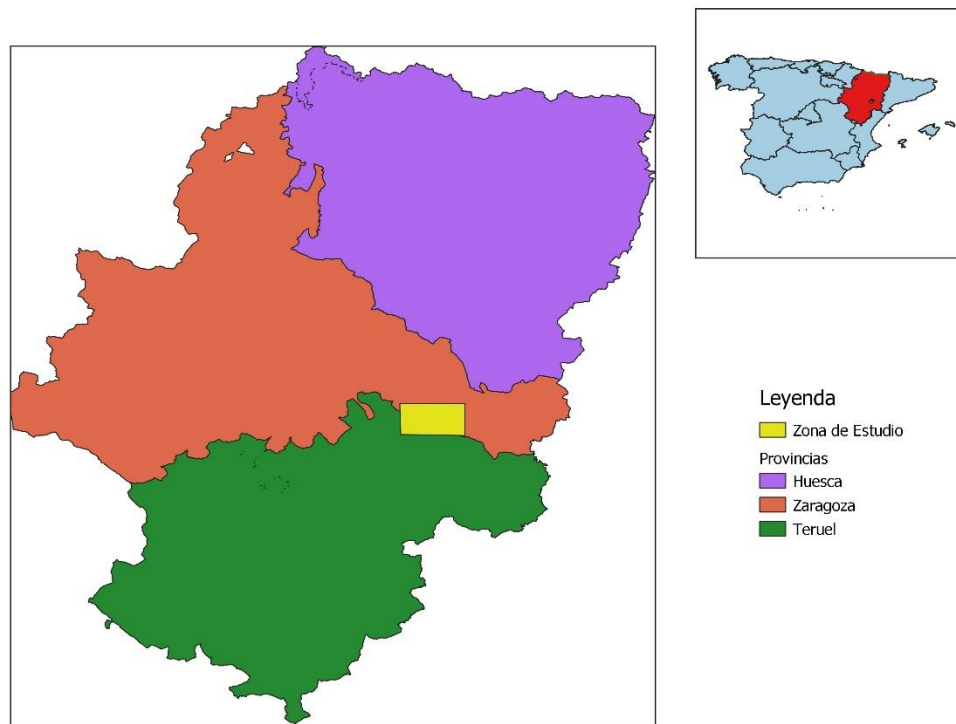


Figura 1. Localización de la zona de estudio en la Comunidad Autónoma de Aragón, España.

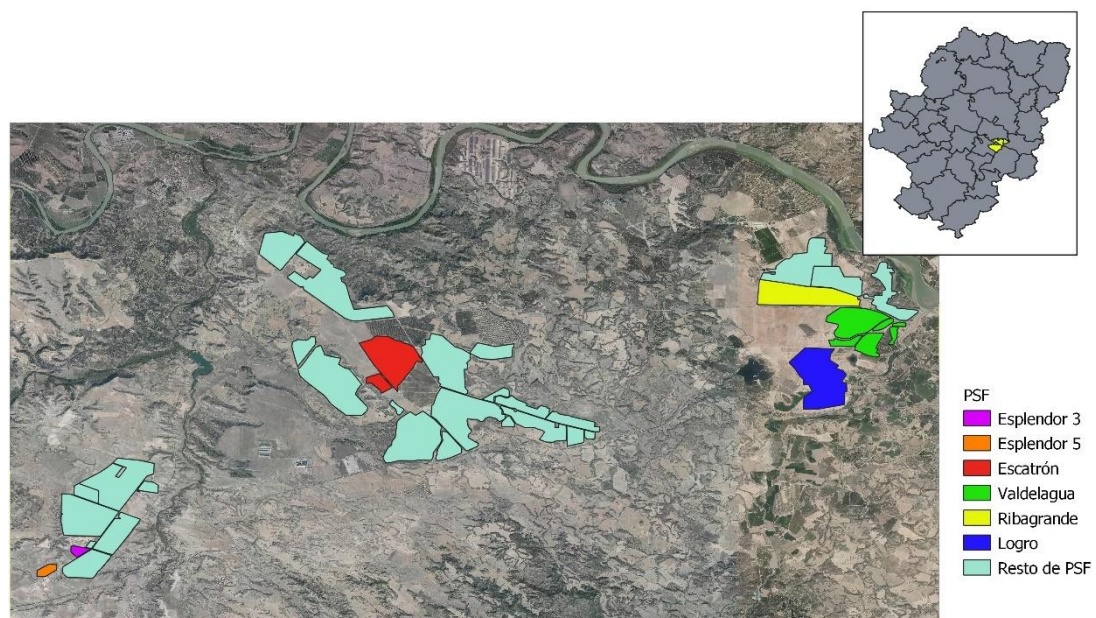


Figura 2. PSF las cuales entran dentro del área de estudio del presente trabajo dentro del complejo de Chiprana-Samper-Escatrón.

2.2. Climatología

El complejo fotovoltaico se encuentra en la depresión del Ebro, zona caracterizada por ser esteparia fría (BSk) según la clasificación de Köppen (AEMET et al., 2011). El ambiente estepario frío se caracteriza por tener precipitaciones escasas durante todo el año y una media anual de temperaturas inferiores a los 18°C (Clasificación climática de Köppen - Meteo Navarra, s. f.).

En este caso, la precipitación media anual es de 322mm y la temperatura media anual es de 15,5°C produciéndose picos durante la época de verano que pueden alcanzar valores absolutos de 40°C (Figura 3). Las lluvias en muchas ocasiones se producen con carácter torrencial y las temperaturas entre invierno-verano poseen contrastes térmicos elevados (Asensio & Vallespín, 2019). Una característica específica de la región son las inversiones térmicas que ocurren durante el periodo invernal, siendo comunes nieblas de manera persistente (Asensio & Vallespín, 2019).

El régimen de precipitaciones es descrito por Crespo & García (2023) de la siguiente manera: existen dos máximos de precipitaciones en dos etapas distintas del año, primavera y otoño. Estos periodos son separados por dos mínimos, las estaciones de verano e invierno, siendo común que la ausencia de precipitaciones se prolongue de manera considerable. A su vez, las variaciones interanuales son elevadas, pudiendo existir diferencias considerables entre dos años consecutivos.

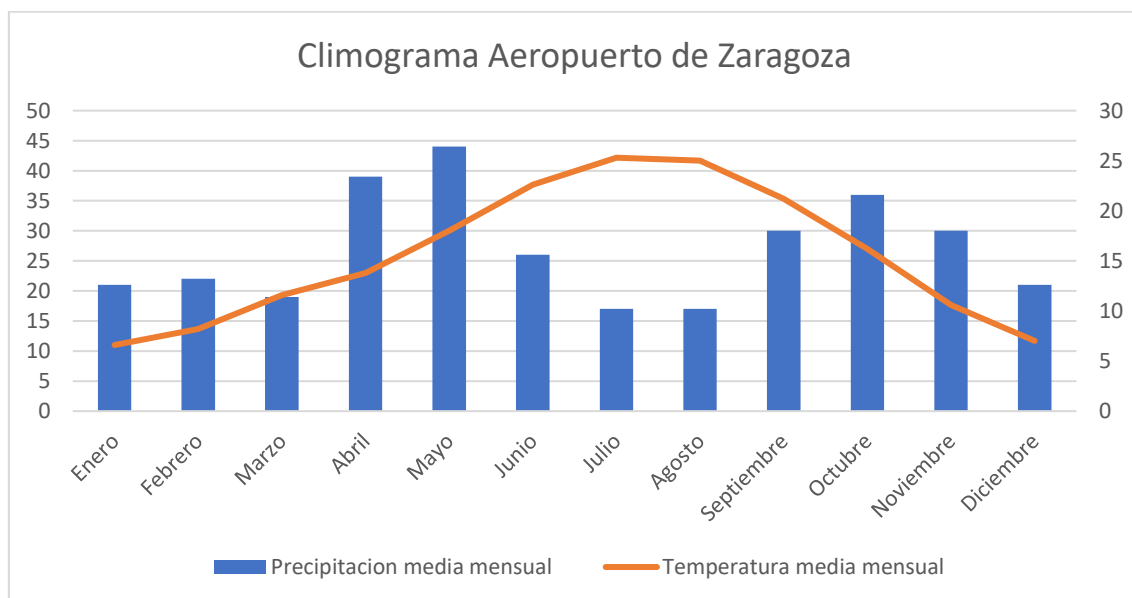


Figura 3. Climograma de la estación meteorológica más cercana al complejo fotovoltaico, aeropuerto de Zaragoza. A la izquierda encontramos los datos de

precipitación, medidos en mm; y, a la derecha encontramos los de temperatura, medidos en °C. Elaboración propia, datos obtenidos de AEMET.

La evaporación potencial es elevada debido a las altas temperaturas del periodo estival y las pocas precipitaciones. El valor de la evapotranspiración anual asciende hasta los 1197 mm, siendo octubre el mes con mayor descenso y alcanzándose los valores mínimos en diciembre (Crespo & García, 2023). Considerando estos factores, el déficit hídrico anual de la zona asciende a los 875 mm, siendo condiciones muy limitantes para el crecimiento de la vegetación. Estos valores son anuales y debe tenerse en cuenta que los déficits hídricos más elevados corresponden con la época estival (AEMET et al., 2011).

La depresión del Ebro se ve afectada a su vez por el característico cierzo. El cierzo, descrito por Blasco (2012), es un viento de origen N/NW de gran fuerza y de carácter frío y seco. Los meses en los que el cierzo se produce con más frecuencia e intensidad son primavera y otoño. Este viento es un factor desecante de la zona de suma consideración que, en muchos casos, no es debidamente considerado por los modelos de evapotranspiración potencial, por lo que el déficit hídrico suele subestimarse.

2.3. Litología y edafología

El proyecto se desarrolla en el sector central de la depresión del Ebro, la cual geológicamente actúa como centro de depósitos de materiales procedentes del Pirineo y de la cordillera Ibérica (Asensio & Vallespín, 2019).

La litología de la zona se caracteriza principalmente por la existencia de sustratos básicos y blandos y, por tanto, erosionables y con salinidades elevadas: margas, yesos, areniscas, arcillas y calizas según el Mapa Geológico Digital (Crespo & García, 2023). Las areniscas encontradas se ubican principalmente en paleocanales donde existen remanentes de la vegetación natural original.

Los suelos del interior de las instalaciones poseen un grado alto de compactación, posiblemente debido al anterior uso agrícola que, con el cese del arado y junto a los trabajos de construcción y mantenimiento del PSF, han ido compactando el terreno de manera significativa (Crespo & García, 2023).

2.4. Vegetación: remanentes de vegetación natural

2.4.1. Vegetación potencial

La vegetación potencial se entiende como la comunidad que existiría en un área concreta en consecuencia de la sucesión geobotánica progresiva si el hombre no influyese ni alterase el ecosistema (Asensio & Vallespín, 2019). Sin embargo, la gestión del espacio y los usos que se han ido desarrollando en los territorios de manera histórica han influenciado en mayor o menor medida estos ecosistemas potenciales, siendo sustituidos por formaciones seriales de menor desarrollo, denominadas etapas degradativas, o bien, por formaciones completamente distintas a las potenciales, como es el caso de los cultivos o los prados (Asensio & Vallespín, 2019).

En el caso del complejo Chiprana-Samper-Escatrón y sus alrededores, la serie que podemos encontrar siguiendo este criterio es la serie mesomediterránea murciano-almeriense, guadiciano-bacense, setabense, valenciano-tarraconense y aragonesa semiárida de *Quercus coccifera* o coscoja (*Rhamno lyciodis-Querceto cocciferae sigmetum*). Esta corresponde con las series 29 y 29c establecidas en el mapa de series de vegetación realizado por el MITECO. Se desarrolla a lo largo de toda la depresión del Ebro y su etapa potencial corresponde a un coscojar con espino negro (*Rhamno lyciodis-Querceto cocciferae sigmetum*) (Asensio & Vallespín, 2019).

2.4.2. Vegetación actual

La etapa madura de la serie potencial se encuentra muy alterada en la actualidad por la influencia histórica y actual del ser humano. Las zonas donde se construyeron los PSF corresponden a antiguos campos agrícolas, al igual que la mayor parte de los terrenos circundantes. Por ello, la serie potencial se encuentra en un estado degradativo que ha evolucionado hacia una estepa subarbustiva, la cual a su vez, ha quedado dispersada en pequeñas manchas donde no ha habido aprovechamiento agrícola (Asensio & Vallespín, 2019).

La comunidad vegetal en los remanentes de vegetación natural es el romeral mixto, característico de zonas secas y cálidas y ampliamente distribuidos por todo el territorio mediterráneo (Asensio & Vallespín, 2019). Se trata de matorrales adaptados a la fuerte insolación, a las altas temperaturas en verano y heladas persistentes en invierno (Aja et al., 2021). A las limitaciones climatológicas se añade el afloramiento de suelos yesíferos y otras sales que son determinantes para el establecimiento de las especies (Aja et al., 2021). En los romerales son comunes y abundantes las plantas aromáticas,

destacando la familia de las labiadas y en segundo lugar las cistáceas (Asensio & Vallespín, 2019).

El romeral mixto está dominado por el romero *-Rosmarinus officinalis-* al cual le acompañan especies como el espino negro *-Rhamnus lycioides-*, aliaga *-Genista scorpius-*, *Helianthemum lavandulifolium*, tomillo vulgar *-Thymus vulgaris-* o la herinaria de los yesos *-Herniaria fruticosa-* (Aja et al., 2021).

Entre las especies arbustivas también encontramos especies herbáceas, aunque con escasa representación (Aja et al., 2021). Las más predominantes son el lino *-Linum suffruticosum-* y zulla silvestre *-Hedysarum confertum-* (Asensio & Vallespín, 2019). También se ha observado la existencia de gramíneas como *Koeleria vallesiana*, *Avenula bromoides* y *Brachypodium retusum* (Asensio & Vallespín, 2019).

Las especies arbóreas no son abundantes en el entorno, sin embargo, podemos encontrar algún individuo de pino carrasco *-Pinus halepensis-* de manera ocasional en las laderas de los cerros y en glaciares (Aja et al., 2021).

Cabe destacar la presencia de vegetación gypsícola. Según Escudero (2009), la vegetación gypsícola consiste en matorrales abiertos desarrollados sobre suelos ricos en yesos de la Península Ibérica compuestos por plantas especialistas denominadas gipsófilos, los cuales únicamente crecen en zonas de condiciones áridas y semiáridas. En específico, en los terrenos circundantes al complejo, las especies más extendidas son: *Gypsophila struthium*, *Ononis tridentata*, *Helianthemum squamatum*, *Lepidium subulatum*, *Jurinea pinnata*, *Launaea pumila*, *Launaea resedifolia* y *Herniaria fruticosa* (Aja et al., 2021).

2.5. Aspectos técnicos de las instalaciones

El complejo fotovoltaico se divide en distintas zonas y plantas cercadas mediante un vallado perimetral. En cada una de las plantas existen zonas con presencia de placas fotovoltaicas y zonas sin presencia de placas fotovoltaicas, como puede observarse en la Figura 4.

Las zonas sin placas fotovoltaicas corresponden principalmente a terrenos ubicados en las esquinas de las instalaciones donde no ha sido posible la instalación de placas fotovoltaicas.

Por el contrario, las zonas con placas fotovoltaicas son aquellas en las que se encuentran las placas, organizadas en hileras de manera paralela y dejando entre ellas pasillos vacíos. Las placas son móviles, por tanto, a lo largo del día, se desplazan siguiendo el movimiento del sol en dirección este-oeste sobre un eje central, con el fin de recibir la mayor cantidad de radiación solar. El movimiento altera a factores como: la radiación solar recibida en función de la hora del día o la distribución de la precipitación debajo de las placas.

Pueden encontrarse fotos de las instalaciones en el Anexo I, figuras A1, A2 y A3 donde se observan los pasillos en las zonas con presencia de placas y los ejes de rotación de los paneles fotovoltaicos.

2.6. Características y variables ecológicas que actúan dentro de las instalaciones.

Desde el proceso de construcción de las plantas, estas han modificado parcialmente las características del medio abiótico y biótico. Para empezar, las labores de mantenimiento y construcción del complejo fotovoltaico han producido posiblemente el aumento del grado de compactación del suelo del interior del PSF.

La presencia de las placas genera a su vez microclimas con una insolación menor, temperaturas más bajas respecto al entorno -debido al efecto del sombreado- y una menor turbulencia y velocidad del viento (Liu et al., 2019). Además, las placas fotovoltaicas captan el agua de lluvia y la redistribuyen espacialmente (Elamri et al., 2017).

Por último, la vegetación existente en el interior de las instalaciones está sometida a un desbroce periódico mediante medios mecánicos o por medio de ganado. La elección de un desbroce u otro es realizado de manera indistinta, en función de las necesidades existentes, por lo que forma parte de la variabilidad ecológica del ecosistema.

3. Material y métodos

La estructura de la vegetación se ha caracterizado con las siguientes variables: cobertura, riqueza de especies, índice de Shannon y abundancia por tipos biológicos. Por otro lado los factores ambientales y de manejo explicativos de la estructura de la vegetación han sido su posición y el nivel de insolación recibida.

Las posiciones de los transectos en el interior de las instalaciones podrán ser: con presencia de placas -bajo placa- o sin presencia de placas -fuera de placa-. En el exterior de las instalaciones encontramos la vegetación natural (Tabla 1).

El nivel de insolación recibida podrá ser: zonas completamente sombreadas -sombra-, zonas parcialmente/temporalmente sombreadas -sol/sombra- y zonas soleadas -sol- (Tabla 1).

Tabla 1. Tamaño muestral de cada índice (cobertura, riqueza de especies, índice de Shannon y abundancia de tipos biológicos) en función de la posición o el nivel de insolación recibida.

		Cobertura	Riqueza	Índice de Shannon	Tipos biológicos
Nivel de insolación					
	Sombra	10	10	10	10
	Sol/Sombra	10	10	10	10
	Sol	10	10	10	10
Posición					
	B.placa	42	42	42	42
	F.Placa	48	48	48	48
	Veg.Nat	32	32	32	32

3.1. Descripción del muestreo de vegetación

El muestreo de la vegetación fue de tipo regular, realizado en transectos. El área de estudio se dividió en distintas categorías en función de la zona, la planta y la posición dentro de la planta. En cada posición se realizaron de 5 a 12 transectos en función de las características del área. La longitud de cada transecto varía en función de la zona, planta y posición estudiados. La presencia o ausencia de vegetación en cada transecto se realizó mediante el método point-quadrat, con bajadas de varilla cada 20 cm, apuntando en cada bajada de varilla aquellas especies que entraban en contacto con esta. Esta organización puede visualizarse en la Tabla 2.

Los transectos de la posición bajo placa se realizaron perpendicularmente a las hileras de placas fotovoltaicas como puede visualizarse en la Figura A3 del Anexo 1. Los transectos realizados fuera de placa se realizaron en las esquinas sin presencia de

placas del interior del PSF (Figura 4). Por último, la vegetación natural se realizó en el exterior de las instalaciones en remanentes naturales.

El trabajo de campo se realizó entre el 17 de abril y el 25 de mayo de 2023 por el equipo del proyecto de renaturalización y fueron facilitados para la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

Tabla 2. Organización de los transectos realizados en función de la zona, planta y posición. Número de transectos realizados en cada una de las divisiones y longitud de estos en cm. Elaboración propia.

Zona	Planta	Posición	N.º de transectos	Longitud (cm)	
Chiprana	Logro	Bajo Placa	05	1100	
		Fuera de Placa	10	1000	
	Valdelagua	Bajo Placa	05	1020	
		Fuera de Placa	10	1000	
	Ribagrande	Bajo Placa	10	1040	
		Fuera de Placa	10	1040	
	Vegetación natural	Veg.nat	10	1000	
	Samper	Esplendor 3	Bajo Placa	10	840
			Fuera de Placa	06	1000
Esplendor 5		Bajo Placa	06	820	
		Fuera de Placa	06	1000	
Vegetación natural		Veg.nat	12	1000	
Escatrón		Escatrón	Bajo Placa	06	740-760
	Fuera de Placa		06	1000	

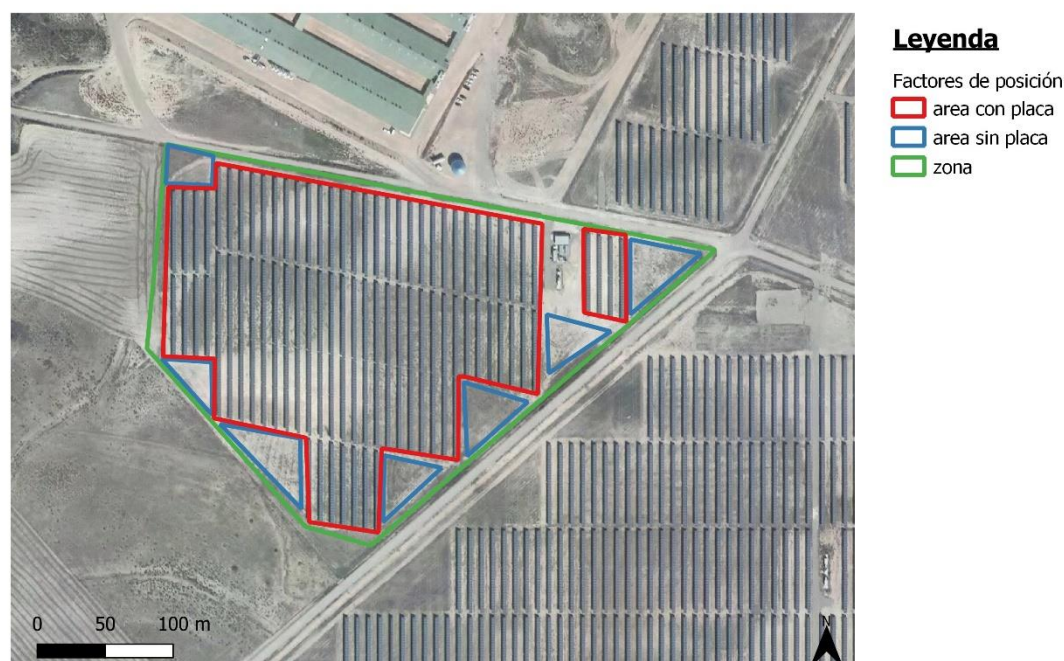


Figura 4. Mapa representativo de los factores de posición dentro de las placas fotovoltaicas: áreas con placa (bajo placa) y áreas sin placa (fuera de placa). Elaboración propia sobre mapa del PNOA 2021.

Los datos proporcionados por el proyecto de renaturalización fueron introducidos y organizados en una hoja de cálculo Excel para su posterior análisis estadístico. Cada hoja Excel correspondía a un transecto. Las columnas de la hoja correspondían a los cm del transecto -espaciados por 20cm- y en las filas se situaban las especies encontradas. La presencia de cada especie se contabilizó con un “1” en aquel cm en el que fue encontrada.

3.2. Cálculo de las variables de la estructura de la vegetación

3.2.1. Cálculo de la riqueza de especies

La riqueza de especies es el número de especies encontradas en un área concreta sin tener en cuenta la importancia o abundancia de estas (Moreno, 2001).

La riqueza de especies en este estudio se midió mediante la contabilización de la cantidad de especies de cada transecto.

3.2.2. Cálculo de la cobertura vegetal

El método utilizado para calcular la cobertura vegetal es el método point-quadrat. La cobertura vegetal lleva implícita otra variable: la presencia o ausencia de vegetación en cada bajada de varilla realizada.

Para el cálculo de esta variable, en cada transecto, aquellos puntos donde una especie tocaba la varilla se contabilizaron con el valor “1” y, aquellos puntos donde ninguna especie tocaba la varilla se contabilizaron con el valor “0”. Posteriormente, se sumaron todas las bajadas de varilla donde la vegetación se hallaba presente y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Cobertura vegetal} = \frac{\text{nº bajadas de varilla con presencia de vegetación}}{\text{nº bajadas de varilla totales}}$$

Solo se contabilizó la presencia o no presencia de las especies para cada bajada de varilla y no se contabilizó la cantidad de individuos registrados en cada una de las bajadas de varilla.

3.2.3. Cálculo del índice de Shannon

El índice de Shannon-Wiener (H_i), según Moreno (2001), se trata de un índice de equidad. Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra y mide el grado promedio de incertidumbre para predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar en una comunidad.

Para el cálculo del índice de Shannon, en cada transecto se contabilizaron las bajadas de varilla realizadas. Posteriormente se contabilizó el número de individuos presente de cada especie y para cada una se obtuvo su abundancia relativa (p_i) mediante la siguiente fórmula:

$$p_i = \frac{\text{individuos de la especie } i}{\text{bajadas de varilla totales del transecto}}$$

Posteriormente se calculó el índice de Shannon mediante la siguiente fórmula:

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

Donde

p_i : probabilidad de encontrar a un individuo de la especie i -abundancia relativa-

S: riqueza de especies -número de especies presentes en el transecto-

Hi: índice de Shannon-Wiener

3.2.4. Abundancia de tipos biológicos

Los tipos biológicos de las especies -o biotipos- es una clasificación establecida por Raunkiaer en función de la posición de las yemas de recambio durante la estación desfavorable. En función de las posiciones de estas yemas, una especie o un género poseerá un biotipo u otro.

La descripción y caracterización de estos se ha tomado del Herbario de la Universidad de Navarra (s. f.). Las principales formas biológicas son: terófitos, hemicriptófitos, geófitos, caméfitos, fanerófitos e hidrófitos (Figura 5).

Los terófitos son especies anuales, con un ciclo de desarrollo durante la estación favorable, muriendo durante la estación desfavorable. Los hemicriptófitos son plantas herbáceas con yemas de recambio en la superficie del suelo o inmediatamente debajo. Los geófitos poseen las yemas de recambio en tallos subterráneos. Los caméfitos son plantas herbáceas o leñosas, de varios años de vida y con las yemas por encima del suelo, pero no a más de 25 cm de altura. Los fanerófitos son plantas usualmente leñosas, de varios años de vida y con las yemas a más de 25 cm del suelo. Finalmente, los hidrófitos son plantas que albergan sus yemas sumergidas en agua.

En el presente trabajo se analizaron los biotipos: terófitos, hemicriptófitos, caméfitos y fanerófitos.

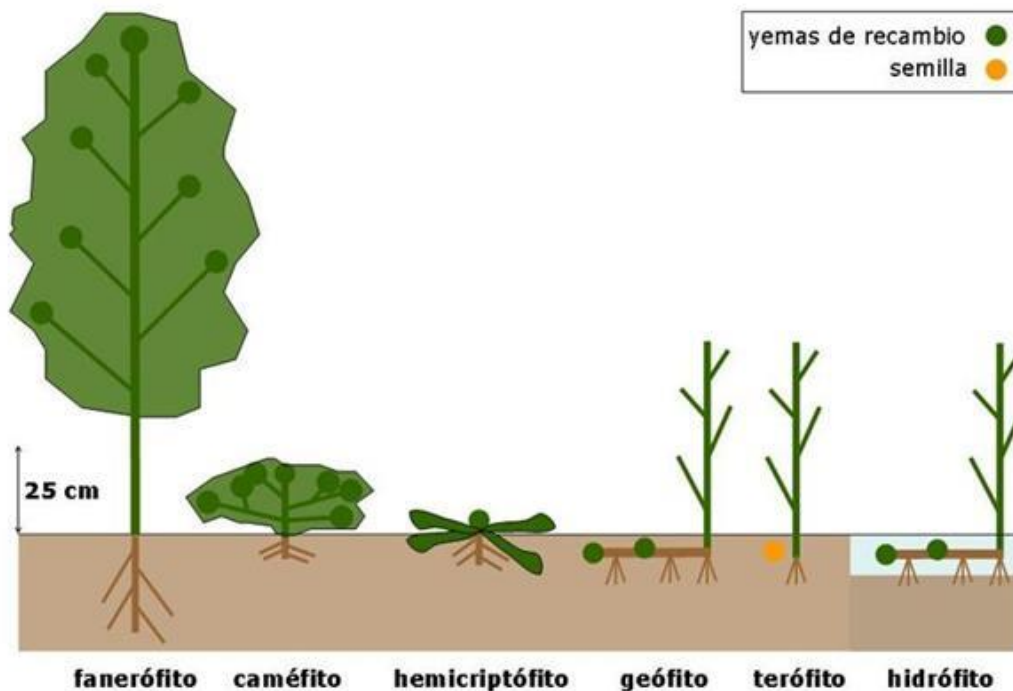


Figura 5. Tipos biológicos de las especies vegetales en función de la posición de las yemas de recambio durante la estación desfavorable. Fuente: (Herbario de la Universidad de Navarra, s. f.)

Cada especie de cada transecto fue identificada mediante su biotipo correspondiente. Esta asignación se llevó a cabo por dos fuentes: la página Web de Flora Vasca y la página web del Herbario de Jaca. En primer lugar, se buscó a cada especie en la Flora Vasca. En caso de que la especie no se encontrara registrada o en caso de que solo se hubiera podido identificar el género en el trabajo de campo, se utilizó el Herbario de Jaca para realizar esta asignación.

Posteriormente, se calculó la abundancia de cada uno de los tipos biológicos para cada transecto. Para ello se sumó la cantidad de individuos de cada biotipo y el total de individuos para cada transecto. Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Abundancia de Tipo Biológico } i = \frac{\text{individuos de tipo biológico } i}{\text{total de individuos}}$$

3.3. Consideraciones para el estudio del nivel de insolación recibida

Los datos utilizados para calcular el efecto de la posición de la placa y el efecto del nivel de insolación recibida han tenido ciertas diferencias. En el primer caso, los datos utilizados se han indicado en la Tabla 2. Los utilizados para el estudio del efecto del nivel de insolación recibida se indican en la Tabla 3.

Para analizar el efecto de la insolación sobre la cobertura, riqueza de especies e índice de Shannon se escogieron los transectos de las plantas de Logro y Valdelagua, de la zona de Chiprana. Se escogieron los transectos “bajo placa” debido a que el resto de los transectos -fuera de placa y vegetación natural- no están influenciados por el sombreado de los paneles. La elección de las plantas de Logro y Valdelagua fue debida a que no existían datos suficientes en el resto de las plantas para los cálculos realizados.

Los transectos de la posición bajo placa fueron realizados de manera perpendicular a las hileras de placas fotovoltaicas como puede observarse en la Figura A3 del Anexo I. Gracias a ello, pudieron dividirse en tres zonas en función del nivel de insolación recibido: sombra -zonas en las que nunca hay insolación directa-, sol/sombra -zonas donde, debido al movimiento de las placas a lo largo del día, existen momentos con insolación directa y sin ella- y sol -zonas donde permanentemente hay insolación directa- (Figura 6).

Las distancias entre las filas de placas fotovoltaicas y el ángulo de estas respecto al suelo son distintos en función de la planta observada por lo que los metros de sombra, sol/sombra y sol varían en función de la planta considerada (Tabla 3).

Tabla 3. División de los transectos de las plantas Logro y Valdelagua de la zona de Chiprana en función de la insolación recibida. Los intervalos de los transecto varían en función de la planta debido a la distancia entre hileras de paneles y el ángulo que forman respecto al suelo. El símbolo “;” corresponde a un salto en el transecto. Los indicadores de cobertura, riqueza de especies e índice de Shannon se calcularon con las bajadas de varilla aquí indicadas. Elaboración propia.

		Intervalo del transecto (m)	Nº de bajadas de varilla
Chiprana			
	Logro		
	Sombra	0-80;1020-1100	10
	Sol/sombra	80-420;680-1000	12
	Sol	440-660	34
	Valdelagua		
	Sombra	0-80;940-1020	10
	Sol/sombra	100-380;640-920	30
	Sol	400-620	12

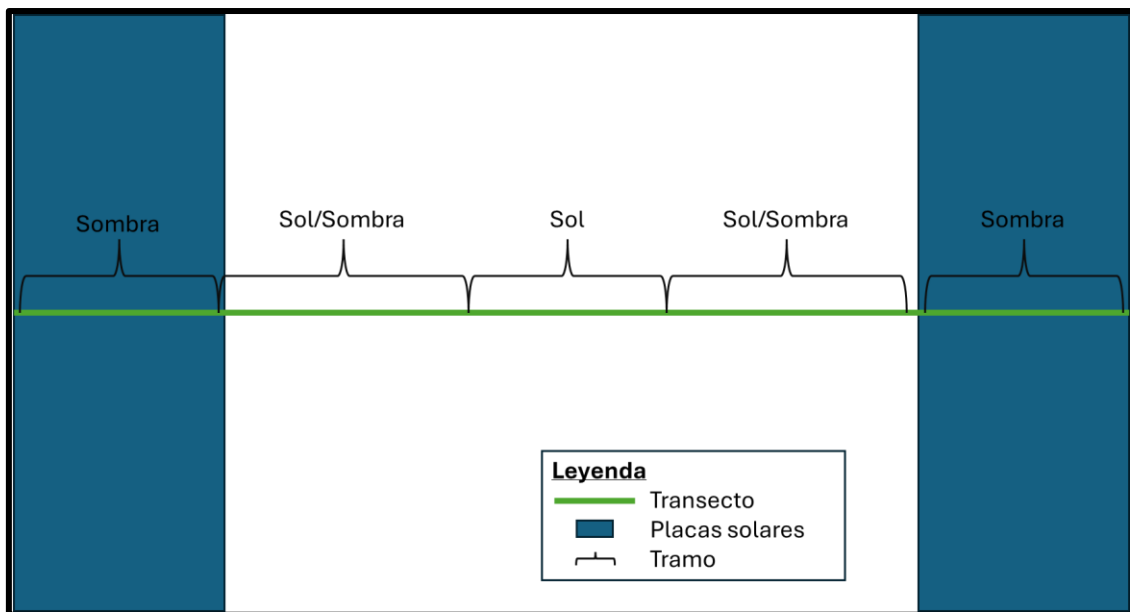


Figura 6. Estructura de los tramos de sombra, sol/sombra y sol en un transecto modelo en el área con placas dentro del PSF (bajo placa).

3.4. Tratamiento estadístico de los datos

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó la herramienta R-studio. Las cuatro variables se establecieron en columnas y, en las filas, se establecieron los factores de posición e insolación en cada caso.

Con las variables y factores introducidos en la herramienta R-studio, se calcularon los siguientes estadísticos: media, desviación típica y tamaño muestral. Estos estadísticos se calcularon para cada variable y por grupos de factores. Se calcularon de igual manera para los factores de posición y para los factores de cantidad de insolación recibida.

El análisis se llevó a cabo de grupos mayores a menores. En el caso de los factores de posición (bajo placa, fuera de placa y vegetación natural), se analizó el total de las muestras. Posteriormente se dividieron en grupos en función de la zona: Chiprana, Samper y Escatrón (Tabla 2), para observar si el patrón se repetía en todas las zonas o si existían variaciones no consideradas en el análisis global de las muestras.

Posteriormente se realizaron las pruebas estadísticas. Se priorizó la realización de los tratamientos paramétricos, mediante el análisis de varianza de un factor (ANOVA), frente a los tratamientos no-paramétricos, prueba de Kruskal-Wallis. Se priorizaron la pruebas paramétricas debido a su capacidad de detectar más diferencias que las no-paramétricas (Mayorga et al., 2022).

Las pruebas paramétricas únicamente son aplicables en variables que cuenten con las características de normalidad y homocedasticidad (Mayorga et al., 2022). Por ello, para cada situación, en la totalidad de las muestras y en las zonas por separado, se realizaron: la prueba de Shapiro-Wilk, para observar la normalidad de la muestra, y la prueba de Levene, para observar la homocedasticidad de la muestra. En ambos casos, si el p-valor observado superaba 0,05, cumplía con las condiciones y se llevaba a cabo la prueba paramétrica.

En la prueba ANOVA si el nivel de significancia de su estadístico (F) era inferior a 0,05 se rechazaba la hipótesis nula y se aceptaba la hipótesis alternativa. En este caso, las hipótesis consistían en lo siguiente:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias significativas entre factores en función de la variable estudiada.
- Hipótesis alternativa (H_1): existen diferencias significativas entre factores en función de la variable estudiada.

En primer lugar, mediante la prueba ANOVA se obtiene un nivel de significancia (p-valor) general. Este nos mostrará si existen o no, diferencias significativas entre cualquiera de los grupos. Como en nuestro caso tenemos tres factores distintos para cada caso, factores de posición de la placa (bajo placa, fuera de placa y vegetación natural) y factores de nivel de insolación recibida (sol, sol/sombra, sombra), es necesario conocer entre cuales de ellos existen estas diferencias significativas, y en cuáles no. Esto se realizó mediante la prueba Tukey, en la cual se obtuvieron los p-valores de los tres casos posibles dentro de un mismo análisis (Tabla 4).

Tabla 4. Casos estudiados mediante la prueba estadística Tukey para observar el grado de significancia de las diferencias existentes entre los factores de cada caso estudiado, el “–” establece el enfrentamiento de los factores en cada caso estudiado.

Factor	Caso estudiado
Posición	Bajo placa-Fuera de placa Veg.Nat-Bajo placa Veg.Nat-Fuera de Placa
Insolación recibida	Sombra-Sol Sol/Sombra-Sombra Sol/Sombra-Sol

Cuando en las pruebas de normalidad y homocedasticidad se obtuvo un p-valor inferior a 0,05, se realizó una prueba no-paramétrica. La prueba de Kruskal-Wallis sigue el mismo procedimiento que en el caso de la prueba ANOVA a excepción de dos factores. En primer lugar, para estudiar cada caso concreto, como se observa en la tabla IV, se realizó el test de Dunn. En segundo lugar, el nivel de significancia se establece mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$p - \text{valor} = \frac{\alpha}{2}; \text{siendo } \alpha = 0,05$$

4. Resultados

La cobertura, analizando la totalidad de las muestras, es mayor en la vegetación natural, seguida por la posición bajo placa y, finalmente, la posición fuera de placa (Tabla 5). Todas las posiciones pertenecen a grupos estadísticos con diferencias significativas entre ellos (Figura 7).

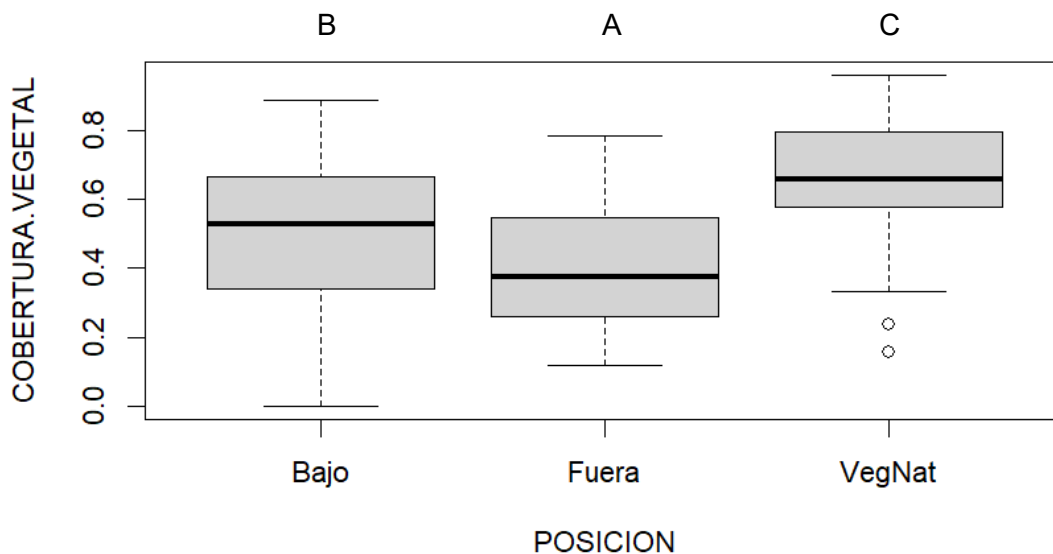


Figura 7. Cobertura vegetal en función de la posición analizando la totalidad de las muestras mediante la prueba estadística ANOVA. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto, con diferencias significativas entre ellos.

Los índices de diversidad -riqueza de especies e índice de Shannon- son mayores en la posición bajo placa, seguidos por la vegetación natural y, finalmente, la posición fuera de placa cuando se analiza el total de las muestras (Tabla 5). La riqueza

de especies en la posición bajo placa es significativamente mayor que la posición fuera de placa mientras que la vegetación natural posee características similares a ambos grupos (Figura 8). El índice de Shannon es significativamente superior en la posición bajo placa y en la vegetación natural respecto a la posición fuera de placa. Sin embargo, bajo placa y vegetación natural pertenecen al mismo grupo estadístico y no poseen diferencias significativas (Figura 9).

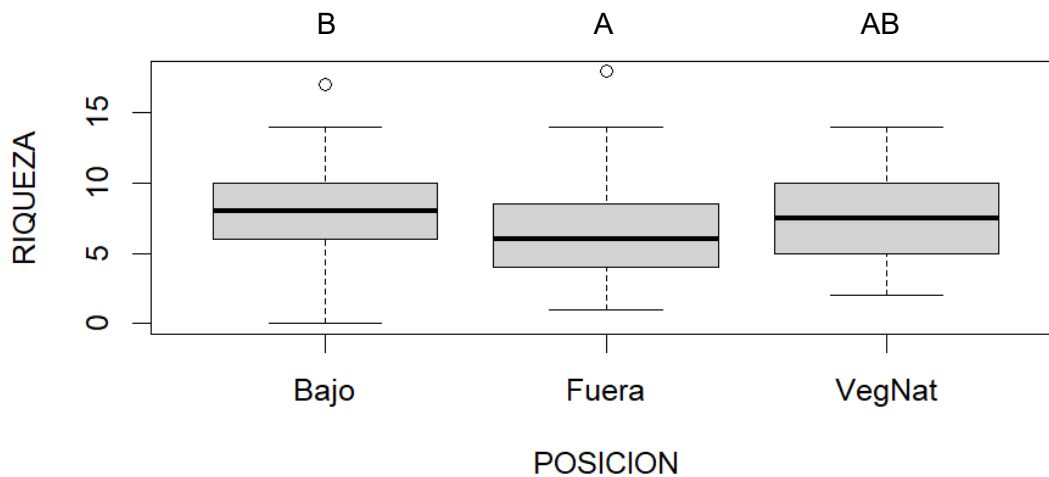


Figura 8. Riqueza de especies analizando la totalidad de las muestras mediante la prueba estadística Kruskal-Wallis. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto con diferencias significativas entre ellos.

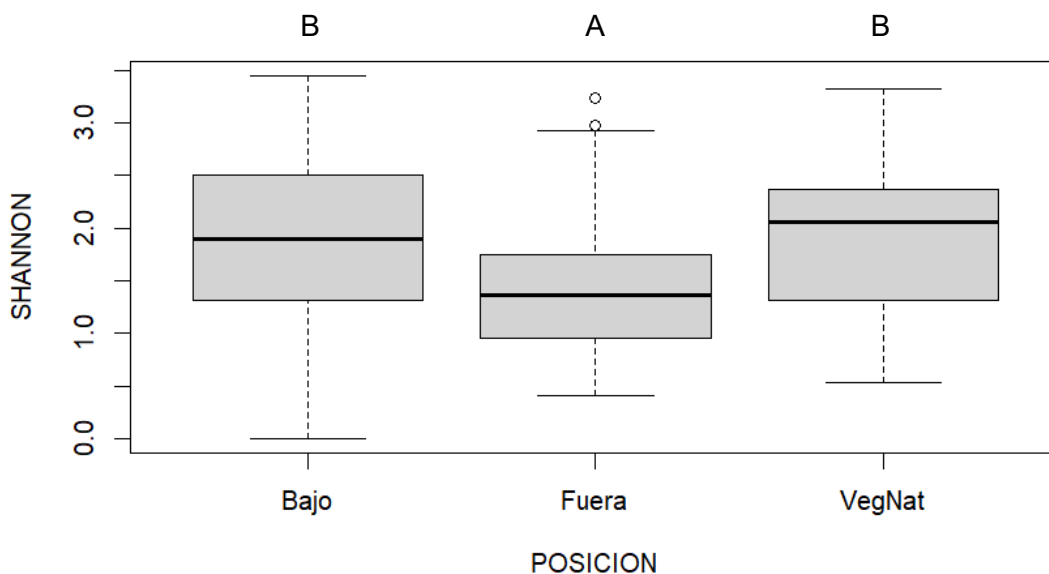


Figura 9. Índice de Shannon en función de la posición analizando la totalidad de las muestras mediante la prueba estadística ANOVA. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto, con diferencias significativas entre ellos.

El patrón de cobertura en la totalidad de las muestras se sigue de manera particular en todas las zonas por individual: la vegetación natural posee la mayor cobertura, seguida por la posición bajo placa y finalmente la posición fuera de placa (Tabla 5). Sin embargo, estas diferencias no han sido diferenciadas estadísticamente de la misma manera (Tabla 5).

En la zona de Chiprana, únicamente la cobertura de la vegetación natural es significativamente mayor al resto. Las posiciones fuera de placa y bajo placa poseen coberturas similares, sin diferencias significativas (Figura 10).

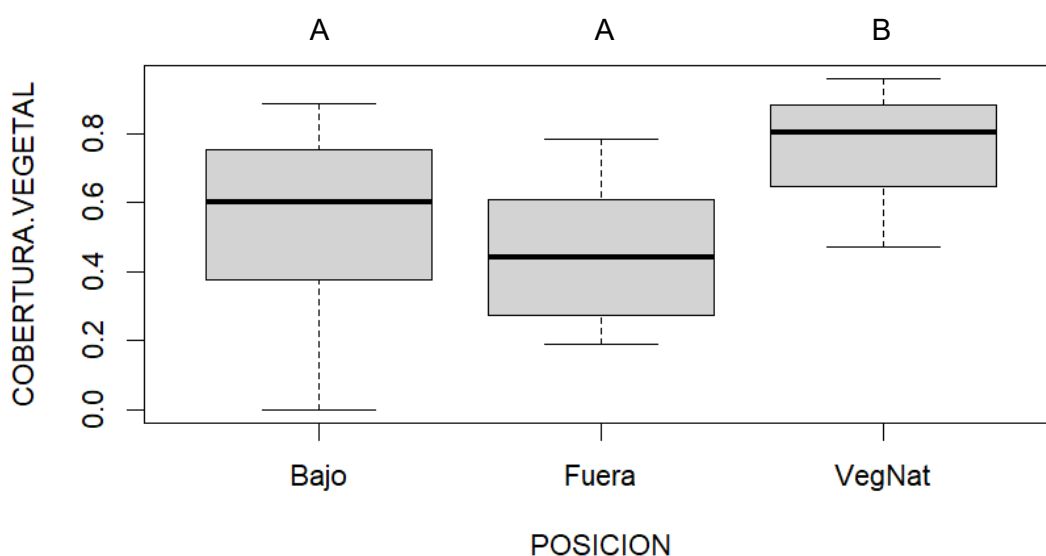


Figura 10. Cobertura en función de la posición en la zona de Chiprana mediante la prueba estadística ANOVA. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto, con diferencias significativas entre ellos.

Respecto a los índices de diversidad -riqueza de especies e índice de Shannon- la riqueza de especies es superior en la vegetación natural, seguida por la posición bajo placa y finalmente por la posición fuera de placa; aunque estas diferencias no son significativas (Tabla 5). El índice de Shannon es mayor en la vegetación natural, seguido por la posición bajo placa y finalmente la posición fuera de placa (Tabla 5). Tanto el índice de Shannon de la vegetación natural como el de la posición bajo placa son

significativamente superiores a la posición fuera de placa. Vegetación natural y bajo placa poseen valores similares, sin diferencias significativas (Figura 11) (Tabla 5).

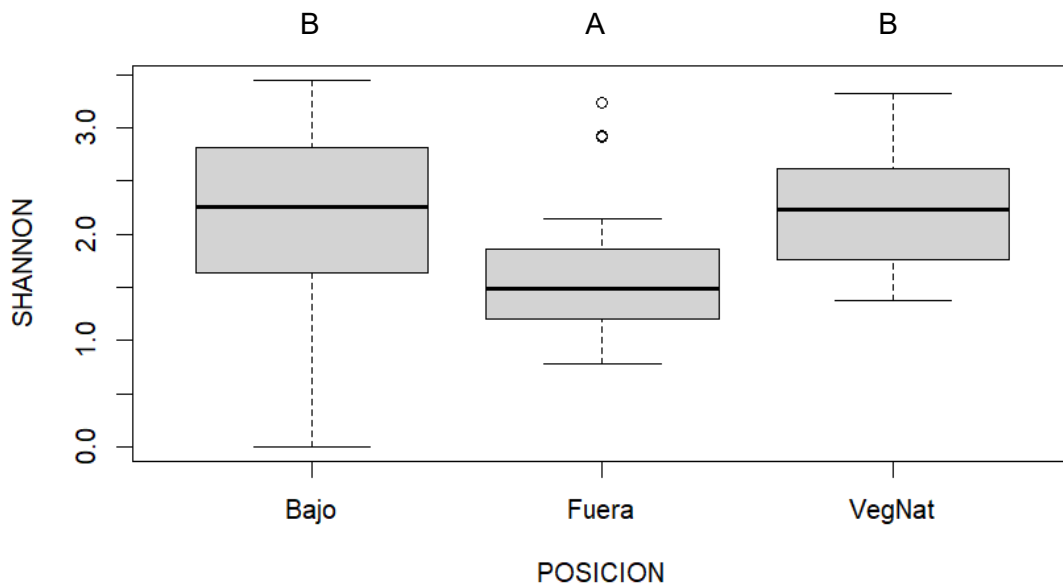


Figura 11. Índice de Shannon en función de la posición en la zona de Chiprana. Cada letra corresponde a un grupo estadístico distinto con diferencias significativas establecidas mediante la prueba estadística ANOVA.

En la zona de Samper, la cobertura de la vegetación natural es significativamente mayor a la cobertura de la posición fuera de placa. La posición bajo placa se encuentra en un punto intermedio con características similares a ambas posiciones (Figura 12) (Tabla 5)

Respecto a los índices de diversidad, la riqueza de especies es superior en la posición bajo placa, seguida por la vegetación natural y finalmente por la posición fuera de placa; aunque no existen diferencias significativas en ningún caso (Tabla 5). El índice de Shannon de la posición bajo placa es significativamente superior al de la posición fuera de placa. La vegetación natural ocupa un puesto intermedio con características similares a las otras dos posiciones (Figura 13) (Tabla 5).

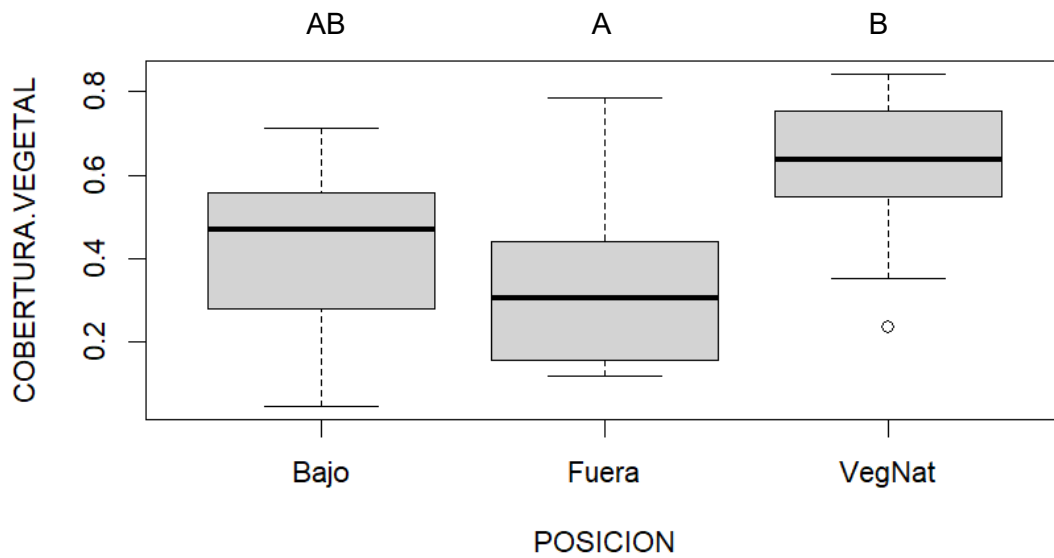


Figura 12. Cobertura vegetal en función de la posición en la zona de Samper. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto, con diferencias significativas establecidas por la prueba estadística ANOVA.

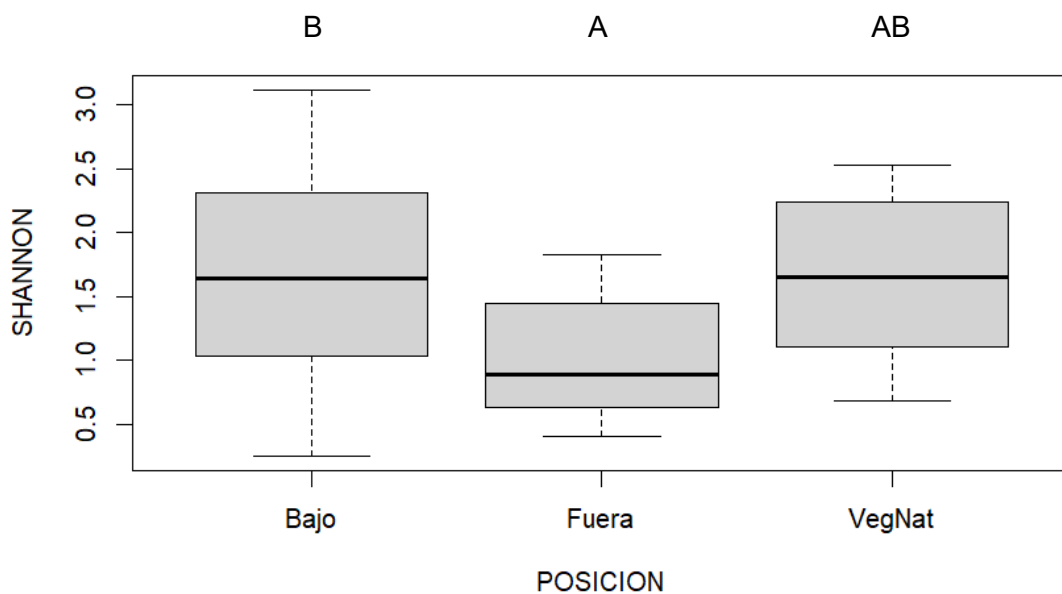


Figura 13. Índice de Shannon en función de la posición en la zona de Samper. Cada letra corresponde a un grupo estadístico distinto con diferencias significativas entre ellos establecidas por la prueba estadística ANOVA.

En la zona de Escatrón la cobertura es superior en la vegetación natural, seguida por la posición bajo placa y finalmente la posición fuera de placa, sin embargo, estas diferencias no son significativas estadísticamente. Respecto a los índices de diversidad, tanto riqueza como índice de Shannon siguen el mismo patrón que la cobertura, pero tampoco son diferencias estadísticamente significativas (Tabla 5).

Tabla 5. Tamaño muestral (N), media y desviación típica de los índices: riqueza de especies (riqueza), cobertura vegetal (cobertura) e índice de Shannon (Hi) en función de la posición y la zona. El símbolo “±” representa la desviación típica. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto, con diferencias significativas entre ellos. Aquellas letras en cursiva expresan que las diferencias significativas han sido establecidas mediante la prueba estadística Kruskal-Wallis mientras que el resto han sido establecidas por la prueba estadística ANOVA. Los p-valores resultantes de ambas pruebas se encuentran en la tabla A1 del Anexo II.

Zona	Posición	N	Riqueza	Cobertura	Hi
Total					
	F.Placa	48	6,63±3,11 (a)	0,41±0,20 (a)	1,44±0,65 (a)
	B.Placa	42	8,17±3,47 (b)	0,52±0,22 (b)	1,93±0,80 (b)
	Veg.Nat	32	7,50±3,19 (ab)	0,68±0,19 (c)	1,89±0,68 (b)
Chiprana					
	F.Placa	30	7,27±3,15 (a)	0,45±0,23 (a)	1,60±0,61 (a)
	B.Placa	20	9,35±3,45 (a)	0,57±0,22 (a)	2,16±0,84 (b)
	Veg.Nat	10	9,20±2,39 (a)	0,77±0,15 (b)	2,24±0,60 (b)
Samper					
	F.Placa	12	5,25±2,70 (a)	0,34±0,20 (a)	1,01±0,48 (a)
	B.Placa	16	7,25±3,51 (a)	0,44±0,18 (ab)	1,70±0,82 (b)
	Veg.Nat	12	6,17±2,76 (a)	0,61±0,18 (b)	1,66±0,63 (ab)
Escatrón					
	F.Placa	6	6,17±3,19 (a)	0,38±0,17 (a)	1,48±0,82 (a)
	B.Placa	6	6,67±2,34 (a)	0,56±0,22 (a)	1,77±0,46 (a)
	Veg.Nat	10	7,40±3,81 (a)	0,57±0,19 (a)	1,82±0,73 (a)

Las abundancias de los tipos biológicos en la totalidad de las muestras indican que, dentro de la instalación fotovoltaica -tanto bajo placa como fuera de ella- el biotipo dominante es el terófito (>60% de cobertura). Sin embargo, en la vegetación natural, la proporción de fanerófitos, caméfitos y hemicriptófitos es superior (Tabla 6)(Figura 14).

Tabla 6. Tamaño muestral (N) y abundancia de individuos en función de su posición: dentro del PSF -bajo placa y fuera de placa- y vegetación natural; y de su tipo biológico: fanerófitos, caméfitos, hemicriptófitos y terófitos. La desviación típica se representa mediante el símbolo “±”. Las abundancias se muestran en tanto por cien (%).

		N	Fanerófitos	Caméfitos	Hemicriptófitos	Terófitos
Dentro		90	0,00±0,02	0,055±0,155	0,219±0,212	0,708±0,269
B. Placa		42	0,00±0,00	4,94±14,37	26,19±23,58	67,16±27,14
F. Placa		48	0,68±0,03	6,94±16,71	18,30±18,40	74,06±26,66
Veg.Nat	Veg. Nat	32	26,46±22,61	35,97±23,79	33,94±25,98	3,33±6,85

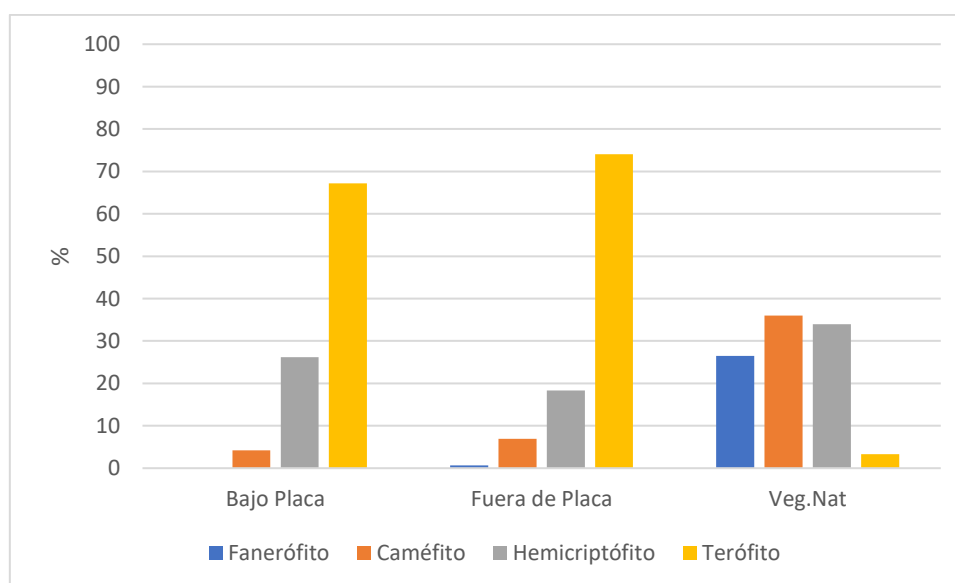


Figura 14. Porcentaje de abundancia de cada tipo biológico en función de la posición: bajo placa, fuera de placa y vegetación natural -veg.nat-.

Los resultados de la influencia del sombreado sobre la estructura de la vegetación son que, la cobertura es mayor en las áreas sombreadas, seguidas por las áreas parcialmente sombreadas y finalmente por las áreas totalmente soleadas, aunque estas diferencias no son significativas estadísticamente (Tabla 7).

La riqueza de especies es mayor en el área parcialmente soleada seguida por el área continuamente sombreada y finalmente, el área soleada. La riqueza es significativamente superior en el área parcialmente sombreada frente al resto, sin embargo, el área soleada y el área continuamente sombreada pertenecen al mismo grupo estadístico, sin diferencias significativas (Figura 15) (Tabla 7).

El índice de Shannon es significativamente mayor en el área parcialmente sombreada. El índice de Shannon del área soleada es menor al resto mientras que el área continuamente sombreada posee características similares a ambos grupos -sol y sol/sombra-, sin diferencias significativas (Figura 16) (Tabla 7).

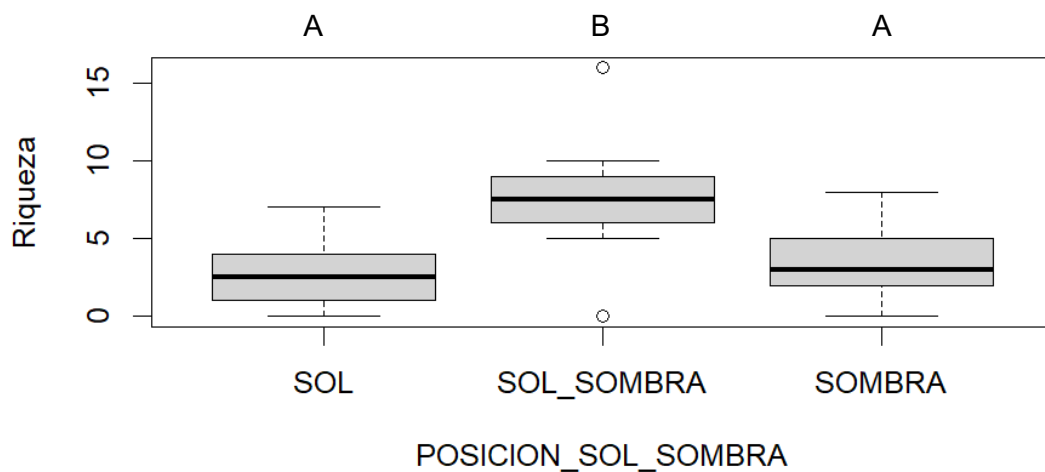


Figura 15. Riqueza de especies en función del nivel de insolación en las plantas de Valdelagua y Logro, de la zona de Chiprana. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto con diferencias estadísticas entre ellos establecidas mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis.

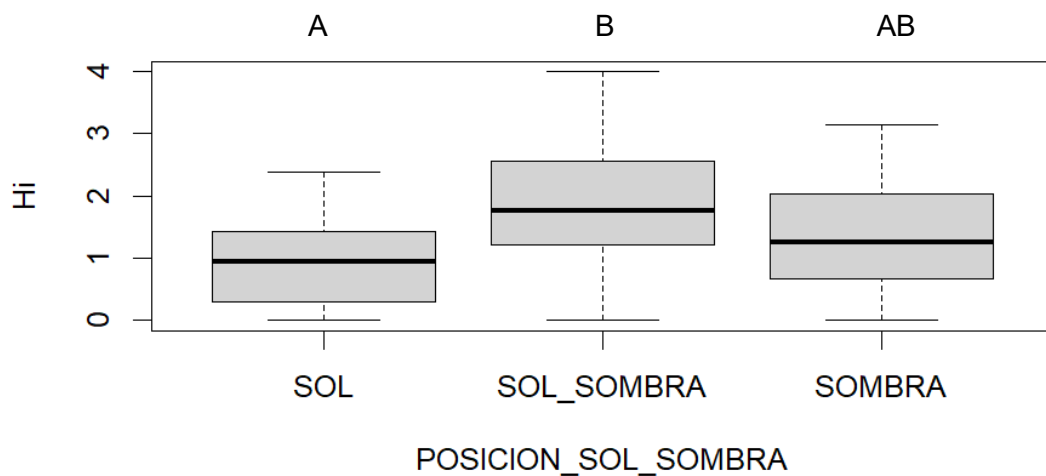


Figura 16. Índice de Shannon en función del nivel de insolación recibida en las plantas de Valdelagua y Logro en la zona de Chiprana. Cada letra corresponde a un grupo estadístico distinto con diferencias significativas entre ellos establecidas mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis.

Tabla 7. Tamaño muestral (N), media y desviación típica de los índices de: riqueza de especies (riqueza), cobertura vegetal (cobertura) e Índice de Shannon (H_i) en función del nivel de insolación recibida. Las muestras son de las plantas de Valdelagua y Logro, en la zona de Chiprana. El símbolo “ \pm ” representa la desviación típica. Cada letra simboliza un grupo estadístico distinto con diferencias significativas entre ellos. Estas diferencias han sido obtenidas mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis. Los p-valor resultantes de la prueba pueden observarse en la tabla A2 del Anexo II.

Zona	Nivel de insolación	N	Riqueza	Cobertura	H_i
Chiprana					
	Sol	10	2,5 \pm 2,17 (a)	0,30 \pm 0.27 (a)	0,93 \pm 0,77 (a)
	Sol/Sombra	10	7,5 \pm 4,06 (b)	0,48 \pm 0.27 (a)	1,99 \pm 1,23 (b)
	Sombra	10	3,6 \pm 2,41 (a)	0.52 \pm 0.35 (a)	1,40 \pm 0,96 (ab)

5. Discusión

5.1. Síntesis de los resultados

La cobertura es mayor en la vegetación natural, seguida por la posición bajo placa y, finalmente, por la posición fuera de placa. Analizando la totalidad de las muestras, las diferencias son significativas entre todos los grupos.

En cuanto a diversidad, analizando la totalidad de las muestras, la riqueza es mayor bajo placa, seguida por la vegetación natural y finalmente por la posición fuera de placa. La riqueza es significativamente menor en el caso de fuera de placa respecto a la posición bajo placa. Sin embargo, la vegetación natural no es diferenciable estadísticamente a ninguno de los otros dos grupos. El índice de Shannon, analizando también la totalidad de las muestras, es superior en las posiciones bajo placa y vegetación natural, siendo grupos estadísticamente similares. Por otro lado, el índice de Shannon de la posición fuera de placa es significativamente menor.

A pesar de los altos valores de cobertura y diversidad de la posición bajo placa, el interior del PSF está dominado por especies terófitas de carácter ruderal en más de un 60%, independientemente de la presencia o no de placas fotovoltaicas. Por el contrario, la vegetación natural está dominada por individuos fanerófitos, caméfitos y hemicriptófitos, de carácter plurianual.

Las zonas con presencia de placas no son un grupo homogéneo y el nivel de insolación es distinto en función de la posición de un punto respecto a las placas. La riqueza de las zonas parcialmente soleadas es superior a las zonas sombreadas completamente -justo debajo de las placas- y a las zonas completamente soleadas -zona central de los pasillos entre hileras-, que componen un mismo grupo estadístico. En el caso del índice de Shannon las posiciones bajo placa y vegetación natural son un mismo grupo estadístico, y poseen un valor superior al de la posición fuera de placa. La cobertura por el contrario no presenta diferencias significativas.

5.2. Ensamblaje de la comunidad

Para entender la estructura de la vegetación, es importante conocer los procesos ecológicos que intervienen en su formación. Explicar la distribución y abundancia de las especies dentro de un ecosistema es una de las principales preguntas que intenta resolver la ecología (Stokes & Archer, 2010). Actualmente existen dos teorías: el ensamblaje por dispersión y el ensamblaje por nichos (Hubbell, 2005).

En el ensamblaje por nichos, descrito por (Hubbell, 2005), la estructura de la vegetación de una comunidad se desarrolla como el resultado de: los filtros impuestos por el ambiente, filtros abióticos, y las interacciones entre los individuos, filtros bióticos. Por el contrario, el ensamblaje por dispersión considera que las tasas de colonización y dispersión de las especies son el principal factor influyente. Esta teoría asume la similitud entre las especies y toma como referencia aspectos biogeográficos y evolutivos.

Para entender la complejidad de la estructura de la vegetación de una comunidad, es necesario tener en cuenta ambas teorías (Stokes & Archer, 2010). Esta discusión se llevará a cabo mediante el análisis de los resultados con esta visión integrada (Figura 17), con el fin de comprender la estructura vegetal del complejo fotovoltaico de una manera más precisa.

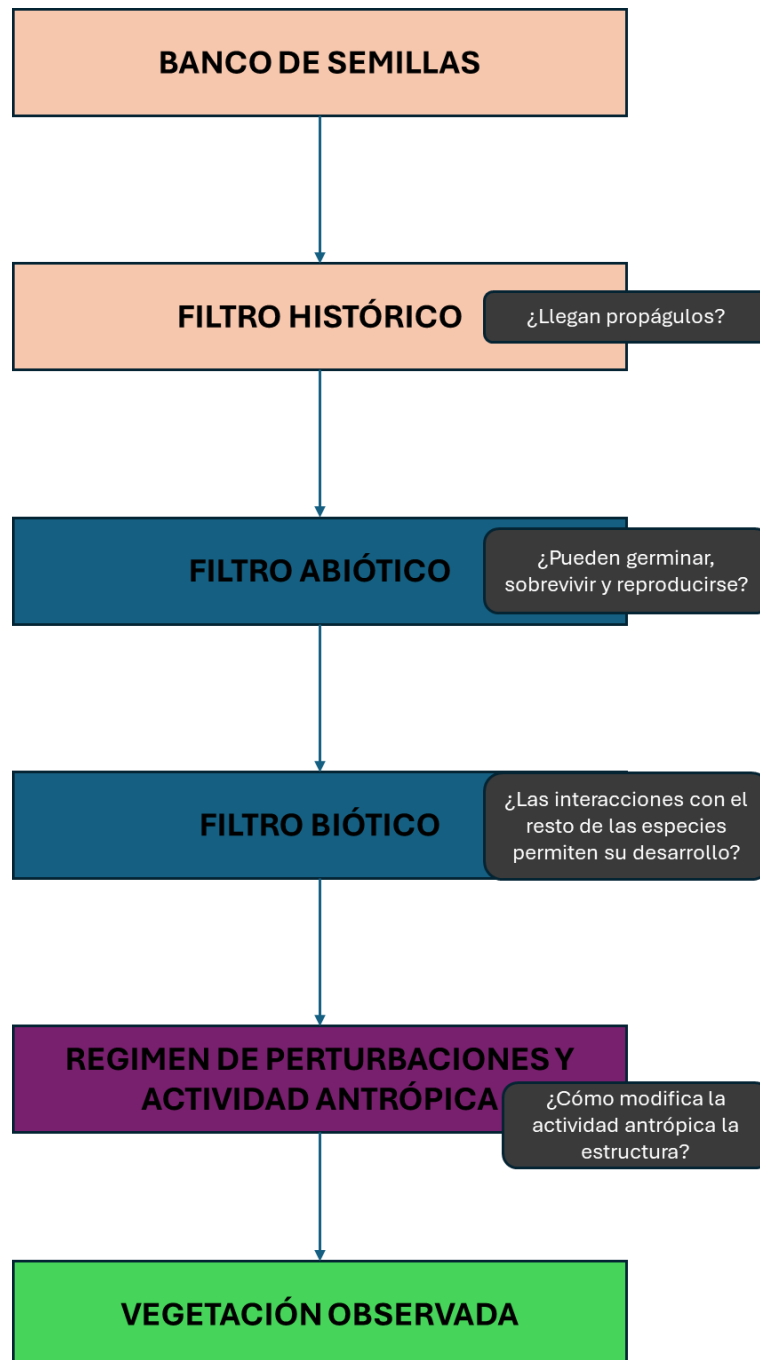


Figura 17. Visión integrada de las teorías del ensamblaje por dispersión (rosa) y el ensamblaje por nichos (azul). También se consideran las actividades humanas históricas y actuales (morado) con el fin de comprender la estructura vegetal de una manera más compleja. Elaboración propia.

5.2.1. Llegada de propágulos

El punto de partida del desarrollo de una comunidad vegetal es importante para comprender su estructura. El complejo fotovoltaico ha sido sometido a grandes perturbaciones: anteriormente como campo agrícola y en la actualidad como PSF. La sucesión ecológica es un concepto adoptado por los ecólogos para explicar las diferencias en la estructura, composición taxonómica y funciones de un ecosistema después de ser perturbado o creado. En específico, la disponibilidad de propágulos en el banco de semillas del suelo y su tasa de dispersión, son dos factores que afectan a la velocidad de la sucesión (Martínez & García, 2007).

La abundancia de propágulos se ve disminuida con la intensificación de las actividades agrícolas, y su composición alterada (Martínez & García, 2007). El complejo está construido sobre antiguos campos agrícolas y posee una baja proporción de individuos plurianuales -fanerófitos y caméfitos- y una dominancia de más del 60% de individuos de carácter anual y ruderal -terófitos-. Por el contrario, en la vegetación natural, que ha tenido un aprovechamiento menos intensificado, la comunidad está dominada por individuos leñosos perennes.

La dispersión de propágulos desde los remanentes naturales cercanos también determina la composición y abundancia del banco de semillas (Martínez & García, 2007). La cantidad de propágulos que llegan por dispersión depende principalmente de dos factores: a) las zonas de vegetación natural, que actúan como áreas fuente y son más efectivas según su estado de conservación y de su distancia al Parque (Martínez & García, 2007). Y b) los mecanismos de dispersión de los propágulos, teniendo mayor capacidad de colonización las especies anemócoras que las zoócoras. La mayor parte del territorio circundante son campos agrícolas, con remanentes de vegetación natural en pequeñas crestas de paleocanales o cerros testigo -sasos-. Se trata de comunidades vegetales que escaparon al cultivo, pero que fueron pastoreadas y aprovechadas para leña, por lo que carecen de numerosas especies de la flora potencial de la zona.

En principio no se piensa que pueda haber diferencias en la llegada de propágulos a las distintas zonas identificadas dentro del PSF -zona con presencia y zona sin presencia de placas-. Por tanto, la diferencias registradas en diversidad y cobertura entre las distintas zonas del PSF no puede atribuirse a este proceso de disponibilidad de propágulos, sino más bien a las diferencias en los filtros abióticos, como a continuación se explica.

5.2.2. Filtros abióticos

Los PSF son nuevos ecosistemas *-novel ecosystems-* con características físicas -condiciones y recursos- singulares. Por un lado, la estructura de las placas fotovoltaicas modifica la incidencia de la radiación solar en el ecosistema (Vervloesem et al., 2022), la distribución de las precipitaciones (Armstrong et al., 2016), así como la velocidad y turbulencia del viento (Liu et al., 2019), y, por ende, la abundancia y distribución de la humedad edáfica. Por otro lado, el paso de la maquinaria durante la instalación de las placas solares y durante las labores de mantenimiento afectan al suelo, provocando ocasionalmente cierta compactación.

El diseño experimental permite analizar -aunque sea de manera indirecta- el efecto del microclima sobre la comunidad vegetal. Bajo placa, el sombreado de los paneles reduce las pérdidas de agua por evaporación, incrementando así la humedad relativa del aire (Armstrong et al., 2016). A su vez, provoca la disminución de la velocidad del viento y su turbulencia (Liu et al., 2019) disminuyendo el efecto secante que este posee. Estos dos factores favorecen la actividad vegetal en un contexto mediterráneo semiárido, donde el déficit hídrico es el factor ambiental más limitante (AEMET et al., 2011). Como resultado, bajo las placas fotovoltaicas, la cobertura y diversidad es mayor que en las zonas sin placas fotovoltaicas, concordando con los resultados obtenidos en otros estudios en ambientes similares: Liu et al. (2023) y Liu et al. (2019).

Por otro lado, la zona bajo placa no es un grupo homogéneo y el nivel de radiación incidente varía en función de la posición de las placas solares. Las áreas que se encuentran justo debajo de las placas fotovoltaicas se encuentran continuamente sombreadas, reduciendo considerablemente la radiación disponible para la actividad fotosintética. En los resultados obtenidos, la riqueza de las zonas continuamente sombreadas es menor a las de situaciones intermedias de sol-sombra. En el estudio Lambert et al. (2022) se obtienen resultados similares, asociando este descenso al empobrecimiento de las especies heliófilas, las cuales dominan los ecosistemas esteparios mediterráneos y, con el descenso de la radiación solar, ven afectado su desarrollo.

En cambio, las zonas sin placas fotovoltaicas localizadas dentro del PSF y las zonas continuamente soleadas de los pasillos entre hileras de placas, han de experimentar mayores pérdidas por evaporación que las zonas sombreadas con presencia de placas. Seguramente, está es la causa que explicaría en primer lugar la menor cobertura y diversidad observada en la comunidad vegetal de estas zonas.

A su vez, las placas fotovoltaicas interceptan el agua de lluvia y la redistribuyen espacialmente (Elamri et al., 2017). Por una parte, las placas cubren la porción de suelo justo debajo de ellas, reduciendo la precipitación que llega a este y la erosión generada por la salpicadura de las gotas de lluvia -rain splash erosion- (Wang & Gao, 2023). Por otro lado, en las zonas perimetrales, las placas descargan el agua recolectada, aumentando su energía cinética y pudiendo provocar un aumento de la escorrentía y los procesos erosivos (Liu et al., 2023) (Baiaumont et al., 2023).

Respecto a la compactación del suelo, no se dispone de datos directos. Sin embargo, la instalación y labores de mantenimiento del PSF han supuesto probablemente la compactación de este. La compactación tiene como consecuencia el empobrecimiento del crecimiento vegetal a causa de los procesos erosivos asociados y el impedimento del desarrollo radicular (Wang et al., 2019). Este factor puede afectar a la cobertura y diversidad del interior del PSF. En principio, sin más información disponible, ambas zonas del interior del complejo -bajo y fuera de placa- poseerían una compactación similar por lo que no puede atribuirse a este proceso la causa de las diferencias existentes entre ambas zonas.

A su vez, se ha observado en campo la formación de costras superficiales que reducen notablemente la infiltración del agua de lluvia, especialmente donde la presencia de limos es mayor. Las observaciones en campo también indican que la formación de costras es mayor en las zonas sin placas que las zonas con placas. La actividad biológica en el suelo, como turrículos de las lombrices, sigue el patrón inverso. Dado que las costras se forman mediante el golpeteo de las gotas de lluvia -rain splash erosion-, se puede interpretar que, bajo las placas, la formación de la costra superficial es menor y, la actividad biológica -reflejada en la diversidad y cobertura- mayor.

5.2.3. Filtros bióticos y antrópicos

Entre las singularidades de estos nuevos ecosistemas se encuentra la gestión de la vegetación para que no interfiera con el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos. Se realizan dos acciones para ello: el desbroce mecánico y el pastoreo.

Este desbroce se realiza de manera periódica y podría estar generando un “secuestro de la sucesión”, el cual consiste en que, debido a un factor o varios, la sucesión no puede avanzar de manera natural al estar produciéndose una perturbación periódica intensa. El interior de las instalaciones se encuentra continuamente en estadios de sucesión primarios, con dominancia de individuos anuales y oportunistas -terófitos- y con ausencia de especies plurianuales -fanerófitos y caméfitos- a causa del

desbroce. Estas labores diferencian las posiciones del interior del PSF con la vegetación natural, la cual, a pesar de haber sufrido los efectos del ganado, ha sido de una manera mucho menos intensa, por lo que se pueden encontrar abundancias más equilibradas de los distintos tipos biológicos.

De manera anecdótica, la presencia de vallado también puede estar influyendo en la dispersión de propágulos por medio de especies animales. A pesar de ello, con la información actual, no puede establecerse una teoría concluyente sobre su efecto en la estructura de la comunidad vegetal.

5.2.4. Síntesis

El interior del PSF posee condiciones físicas y biológicas singulares que lo diferencian de su entorno. El sombreado de las placas reduce la insolación sobre el suelo y, la presencia de estas, reduce a su vez la velocidad y turbulencia del viento. Ambos factores disminuyen las pérdidas de agua por evaporación favoreciendo la actividad biológica en un contexto mediterráneo semiárido donde el déficit hídrico es el mayor factor limitante. Como resultado, la cobertura y diversidad en la zona bajo placa es mayor a la encontrada en las zonas fuera de placa y, a su vez, supera o iguala en muchas ocasiones a la encontrada en la comunidad natural.

A su vez, la zona bajo placa no es un grupo homogéneo y el nivel de insolación incidente es distinto en función de la posición de las placas. La zona continuamente sombreada posee una riqueza inferior a las zonas intermedias entre sol-sombra. Posiblemente este hecho sea debido a la pérdida de gran parte de los individuos heliófilos, dominantes en las comunidades semiáridas mediterráneas.

Por el contrario, las zonas fuera de placa y las zonas centrales de los pasillos entre las hileras -donde la sombra de las placas no llega- poseen posiblemente tasas de evapotranspiración superiores, aumentando el déficit hídrico y, por tanto, resultando en coberturas y diversidades menores respecto a las de la vegetación natural y a las de las zonas sombreadas.

Por otro lado, se ha observado en campo la formación de costras superficiales en el suelo a causa de la salpicadura de las precipitaciones. Las costras parecen estar más desarrolladas en las zonas fuera de placas y en los pasillos centrales no sombreados, siendo conocido su efecto negativo sobre el desarrollo vegetal .

En ambos casos -bajo placa y fuera de placa- la vegetación está afectada por el desbroce mecánico y pastoreo de las labores de mantenimiento. Este desbroce tiene

como resultado que la comunidad vegetal del interior del PSF esté dominada en más de un 60% por individuos de carácter anual y ruderal -terófitos-, sin presencia de especies leñosas plurianuales -fanerófitos y caméfitos- que indican etapas de la sucesión más maduras. A su vez, todo el PSF se ve afectado posiblemente por otros factores: la degradación del banco de semillas y las limitaciones de la dispersión de propágulos, la compactación del terreno por el paso de la maquinaria y la presencia de vallado que dificulta la dispersión de algunas especies zoócoras.

6. Conclusiones

Este estudio refleja que, dentro del PSF, la diversidad y cobertura de la vegetación en la zona con placas fotovoltaicas es mayor a la que puede encontrarse en las esquinas de las instalaciones. A pesar de ello, no se trata de un grupo homogéneo, debido a que el nivel de radiación solar incidente no es igual en toda su extensión. Las zonas continuamente sombreadas -justo debajo de los paneles- y las áreas centrales de los pasillos -que reciben radiación solar directa continuamente- poseen una diversidad menor a las zonas intermedias entre sol-sombra. Por el contrario, la cobertura y diversidad de las zonas sin placas fotovoltaicas dentro del PSF son significativamente menores a las encontradas tanto en la vegetación natural como en las zonas bajo placa.

Una posible explicación a estas diferencias es la presencia de los paneles. Por una parte, producen sombreado, reduciendo así la radiación solar incidente. Por otro, su presencia provoca la reducción de la turbulencia y velocidad del viento. Ambos factores reducen la evaporación y, por ende, el déficit hídrico al que se ve sometida la vegetación, aumentando la actividad biológica. En cambio, en las zonas continuamente soleadas de los pasillos entre hileras y en las esquinas del complejo -fuera de placa-, el déficit hídrico es mayor y, por tanto, su diversidad y cobertura se ven mermadas.

A pesar de ello, todo el interior del PSF está dominado en más de un 60% por individuos anuales y ruderales. En cambio, la vegetación natural está dominada por individuos leñosos plurianuales, que reflejan un mayor grado de madurez del ecosistema. Por ello, se considera de gran importancia la introducción de especies leñosas plurianuales en todo el territorio del PSF. Esta labor es especialmente importante en las zonas de las esquinas sin placas y en las zonas centrales de los pasillos entre hileras, donde el déficit hídrico impide el desarrollo de la vegetación de manera natural. Teniendo en cuenta las grandes cantidades de tierra que van a ser ocupadas por los PSF en los próximos años, la naturalización de estos espacios puede

suponer una buena oportunidad para la conservación de la biodiversidad a gran escala, especialmente en ambientes semiáridos.

Bibliografía

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Departamento de Meteorología e Clima, & Instituto de Meteorología de Portugal. (2011). Atlas Climático Ibérico. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado.
- Aja, M., Piazuolo, S., Calvo, P., Montañés, M., & Pozo, Ó. (2021). Estudio de impacto ambiental: Línea aérea de alta tensión 110 kV S.E.T «Escatrón»-S.E.T "Sástago" en los términos municipales de Escatrón y Sástago, provincia de Zaragoza (pp. 97-127). Satel.
- ALIENTE (Alianza Energía y Territorio). (2021). Por una transición energética a las renovables que garantice la conservación de la biodiversidad alianza energía y territorio. www.aliente.org contacto@aliente.org
- Armstrong, A., Ostle, N., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11, 74016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074016>
- Asensio, M. A., & Vallespín, E. (2019). Plan de Restauración Ambiental Plantas Fotovoltaicas Zonas Escatrón, Chiprana y Samper de Calanda. COBRA.
- Blasco, M. (2012). Clima y déficit hídrico en el ecosistema estepario de Lécer, España. *Revista de Ciencias Agrícolas*, ISSN-e 2256-2273, ISSN 0120-0135, Vol. 29, Nº. 2, 2012 (Ejemplar dedicado a: Revista de Ciencias Agrícolas - Segundo semestre, Julio - Diciembre 2012), págs. 5-15, 29(2), 5-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104143&info=resumen&idioma=ENG>
- Cameron, D. R., Cohen, B., & Morrison, S. (2012). An Approach to Enhance the Conservation-Compatible of Solar Energy Development. *PloS one*, 7, e38437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038437>
- Clasificación climática de Köppen - Meteo Navarra. (s. f.). Recuperado 15 de abril de 2024, de <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Crespo, G., & García, A. (2023). Proyecto de renaturalización en el parque fotovoltaico Escatrón-Chirana-Samper. Fundación Internacional Para la Restauración de Ecosistemas.

- Escudero, A. (2009). 1520 Vegetación Gipsícola Mediteránea (Gypsophiletalia). En Bases Ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario. Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino.
- Fuentes, D., Smanis, A., & Valdecantos, A. (2017). Recreating Sink Areas on Semiarid Degraded Slopes by Restoration. *Land Degradation & Development*, 28(3), 1005-1015. <https://doi.org/10.1002/ldr.2671>
- Gobierno de España. (s. f.). Guía metodológica para la valoración de repercusiones de las instalaciones solares sobre especies de avifauna esteparia.
- Gobierno de España. (2020). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.
- Gobierno de España. (2023). Balance Energético de España 1990-2022.
- Herbario de la Universidad de Navarra. (s. f.). morfología: formas biológicas. Recuperado 19 de marzo de 2024, de <https://www.unavarra.es/herbario/htm/formas.htm>
- Hubbell, S. P. (2005). Neutral Theory in Community Ecology and the Hypothesis of Functional Equivalence. *Functional Ecology*, 19(1), 166-172. <http://www.jstor.org/stable/3599285>
- Instituto Aragonés de Gestión Ambiental. (2018). Resolución Expediente 500201_01_2018_05308. www.aragon.es/inaga/verificadorordocumentos
- Lambert, Q., Gros, R., & Bischoff, A. (2022). Ecological restoration of solar park communities and the effect of solar panles. *Ecological Engineering*, 182(106722).
- Liu, Y., Zhang, R.-Q., Huang, Z., Cheng, Z., López-Vicente, M., Ma, X.-R., & Wu, G.-L. (2019). Solar photovoltaic panels significantly promote vegetation recovery by modifying the soil surface microhabitats in an arid sandy ecosystem. *Land Degradation & Development*, 30(18), 2177-2186. <https://doi.org/10.1002/ldr.3408>
- Liu, Z., Peng, T., Ma, S., Qi, C., Song, Y., Zhang, C., Li, K., Gao, N., Pu, M., Wang, X., Bi, Y., & Na, X. (2023). Potential benefits and risks of solar photovoltaic power plants on arid and semi-arid ecosystems: an assessment of soil microbial and plant communities. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1190650>

- Martínez, M., & García, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, Sup, 69-84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57708008>
- Mayorga, R., Graciano, D., Hernández, A., Moctezuma, P., Pérez, B., & Roldan, A. (2022). Cuadro comparativo de Análisis Paramétrico y No Paramétrico. Publicación Semestral, Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad de Hidalgo, 10, 90-93.
- Moreno, C. E. (2001). Método para medir la biodiversidad (CYTED, ORCYT-UNESCO, & Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Eds.; Vol. 1). M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Navarro-Cano, J. A., Goberna, M., & González-Barberá, G. (2017). Restauración ecológica en ambientes semiáridos: recuperar las interacciones biológicas y las funciones ecosistémicas.
- Serrano, D., Margalida, A., Pérez-García, J., Juste, J., Traba, J., Varela, F., Carrete, M., Aihartza, J., Real, J., Mañosa, S., Flaquer, C., Garin, I., Morales, M., Alcalde, J., Arroyo, B., Sánchez-Zapata, J., Blanco, G., Negro, J., Tella, J., & Donázar, J. (2020). Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science*, 370, 1282-1283. <https://doi.org/10.1126/science.abf6509>
- Stokes, C. J., & Archer, S. R. (2010). Niche differentiation and neutral theory: an integrated perspective on shrub assemblages in a parkland savanna. *Ecology*, 91(4), 1152-1162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/08-1105.1>
- Uldrijan, D., Winkler, J., & Vaverková, M. (2023). Bioindication of Environmental Conditions Using Solar Park Vegetation. *Environments*, 10, 86. <https://doi.org/10.3390/environments10050086>
- Wang, M., He, D., Shen, F., Huang, J., Zhang, R., Liu, W., Zhu, M., Zhou, L., Wang, L., & Zhou, Q. (2019). Effects of soil compaction on plant growth, nutrient absorption, and root respiration in soybean seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22835-22845. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05606-z>
- Xia, Z., Li, Y., Zhang, W., Guo, S., Zheng, L., Jia, N., Chen, R., Guo, X., & Du, P. (2023). Quantitatively distinguishing the impact of solar photovoltaics programs on vegetation in dryland using satellite imagery. *Land Degradation & Development*, 34(14), 4373-4385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ldr.4783>

Zhang, Y., Tian, Z., Liu, B., Chen, S., & Wu, J. (2023). Effects of photovoltaic power station construction on terrestrial ecosystems: A meta-analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1151182>

ANEXO I. Fotos de la instalación fotovoltaica del complejo Chiprana-Samper-Escatrón.



Figura A1. Pasillos entre las hileras de placas fotovoltaicas donde se observa las zonas continuamente sombradas (debajo de los paneles) y las zonas continuamente soleadas (en el medio del pasillo). Entre medio se encontrarían las zonas parcialmente sombreadas, que, en función de la hora del día se encontrará sombreada por los paneles o no.



Figura A2. Zona continuamente sombreada del área con placas fotovoltaicas dentro del PSF. Se observa a su vez el eje de rotación sobre el cual giran los paneles fotovoltaicos a lo largo del día para recibir la máxima cantidad de radiación posible.



Figura A1. Ejemplo de transecto en la zona con placas fotovoltaicas dentro de las instalaciones. Se observa como el transecto se sitúa perpendicularmente a las hileras de placas fotovoltaicas iniciando en una y acabando en la siguiente. También se observan zonas sin vegetación posiblemente afectados por procesos de compactación.

ANEXO II: P-valores de las pruebas estadísticas de posición y nivel de insolación recibida.

Tabla A1. P-valor de los índices: riqueza, cobertura y Shannon (H_i) en función de la posición. Aquellos p-valores escritos en cursiva corresponden con los obtenidos por medio de la prueba estadística de Kruskal-Wallis. El resto de los p-valores corresponden con los obtenidos mediante la prueba estadística ANOVA.

Estudio	Riqueza	Cobertura	H _i
Total			
F.Placa-B.Placa	<i>0,007^{*1}</i>	0,045 ^{*2}	0,004 ^{*2}
F.Placa-VegNat	<i>0,065</i>	0,000 ^{*2}	0,017 ^{*2}
B.Placa-VegNat	<i>0,232</i>	0,013 ^{*2}	0,973
Chiprana			
F.Placa-B.Placa	0,065	0,130	0,020 ^{*2}
F.Placa-VegNat	0,992	0,036 ^{*2}	0,038 ^{*2}
B.Placa-VegNat	0,222	0,000 ^{*2}	0,950
Samper			
F.Placa-B.Placa	0,217	0,307	0,029 ^{*2}
F.Placa-VegNat	0,629	0,002 ^{*2}	0,060
B.Placa-VegNat	0,747	0,054	0,987
Escatrón			
F.Placa-B.Placa	0,963	<i>0,034</i>	0,746
F.Placa-VegNat	0,904	<i>0,052</i>	0,615
B.Placa-VegNat	0,754	<i>0,338</i>	0,991

^{*1} p-valor (kruskal-Wallis) <0,05/2; ^{*2} p-valor (ANOVA)<0,05

Tabla A2. P-valor de los índices: cobertura vegetal (cobertura), riqueza de especies (riqueza) e índice de Shannon (H_i) en función del nivel de insolación recibido. Los p-valores se obtuvieron mediante la prueba estadística Kruskal-Wallis.

Estudio	Riqueza	Cobertura	H _i
Chiprana			
Sol-Sol/Sombra	0,001*	0,097	0,020*
Sol-Sombra	0,207	0,054	0,219
Sol/Sombra-Sombra	0,012*	0,380	0,102

*p-valor (Kruskal-Wallis) <0,05