



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

---

Organiza



## Protocolo de seguimiento para proyectos de repoblación forestal: primeras conclusiones de su aplicación

COLMENA FLORES, G.<sup>1</sup>, FLORES MARTÍN, P.<sup>1</sup>, MELERO DE BLAS, M.<sup>1</sup> y OLIET PALÁ, J.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> WWF España.

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. ETS Ingeniería de Montes, Forestal y Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid.

### Resumen

WWF España, en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, culminó en 2019 el desarrollo de un protocolo de seguimiento para proyectos de repoblación forestal, cuyo objetivo era estandarizar las técnicas para garantizar un seguimiento a corto y medio plazo de la vegetación, optimizando la eficiencia del esfuerzo de muestreo para mantener una precisión determinada (Cuevas *et al.*, 2019). Los primeros muestreos realizados durante 2018-2021 han aportado información que ha permitido obtener las primeras conclusiones de su aplicación sobre el terreno. En especial, se ha comprobado el cumplimiento de las premisas iniciales en el diseño del seguimiento, en relación a la eficiencia del esfuerzo de muestreo para mantener una precisión determinada. La experiencia obtenida ha puesto de manifiesto también algunos aspectos relevantes relacionados, por ejemplo, con el almacenamiento de datos y el señalamiento del muestreo sobre el terreno.

### Palabras clave

Aplicabilidad, error, inventario, muestreo, plantación.

### 1. Introducción

Desde los años 90 WWF España ejecuta proyectos de repoblación forestal en ecosistemas degradados. La experiencia adquirida en este campo ha puesto de manifiesto la importancia de realizar un seguimiento adaptado a este tipo de proyectos. La información que suministra el seguimiento tiene gran interés para la restauración en su conjunto, permitiendo incorporar la información en estudios inter-proyectos y evaluar el efecto de variables ambientales y de ejecución sobre la respuesta del repoblado. Es por ello que WWF lleva realizando labores de seguimiento de plantaciones desde 2009. Varios años después, en 2016, puso en evidencia la necesidad de elaborar una metodología de inventario y de evaluación de plantaciones adaptada a las características de sus proyectos y basada en la optimización de la eficiencia del esfuerzo de muestreo. De ese modo y en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid se diseñó, *ex profeso*, un protocolo de seguimiento de la vegetación a corto y medio plazo adaptado a las características de las repoblaciones ejecutadas por WWF. Así, la mayoría de sus proyectos se caracterizan por una gran diversidad de especies (más de 5), la baja densidad de cada una en plantación (< 200 pies/ha) y la abundancia de actuaciones en pequeñas superficies (menos de 10 ha).

Las variables principales que se propusieron para la vegetación introducida fueron estado vegetativo y supervivencia, así como variables morfológicas (altura, diámetro de la base del tronco o diámetro de copa del matorral; Cuevas *et al.*, 2019). De forma complementaria, se recomienda contabilizar otras variables cuantitativas de la vegetación espontánea (número de especies, cobertura y talla). Basándose en los trabajos de seguimiento previos realizados por WWF, se han fijado tamaños de muestra tanto para las variables morfológicas, como para las variables cualitativas. Asimismo, se introduce el concepto de “Especie Principal Menos Representada” (EPMR) que será aquella a la que se dirigirá el error de muestreo admisible.

En el protocolo propuesto se recomienda agrupar los individuos muestreados en un diseño a base de parcelas circulares. La diferencia en la intensidad de muestreo entre variables morfológicas y la supervivencia se resuelve utilizando dos tamaños de parcelas concéntricas. Así, en una primera parcela circular se medirán las variables diámetro y altura de las plantas introducidas, cuyo radio R1 dependerá de la densidad de la EPMR y el número de parcelas. En una segunda parcela circular, con una superficie superior a la anterior definida por el radio R2, se evaluará la supervivencia de las plantas introducidas. Además, para el muestreo de la vegetación espontánea se propone un diseño superpuesto al anterior, con parcelas cuadradas, donde se contarán el número de especies, su cobertura y talla (Figura 1). Finalmente, se recomienda realizar un muestreo inicial tras la ejecución de la repoblación y un muestreo post-estival, en el primer otoño, sugiriéndose un tercero al año y, con frecuencia en descenso, a partir de los años siguientes.

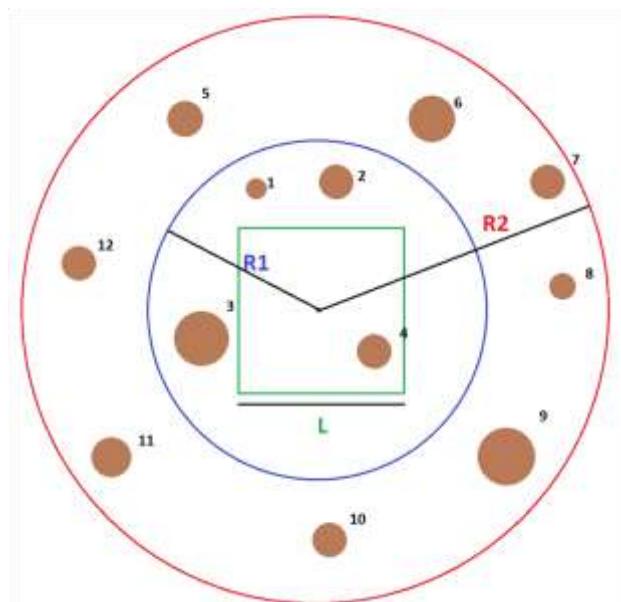


Figura 1. Parcelas concéntricas utilizadas en el muestreo, en un supuesto de 12 plantas (círculos marrones). Siendo R1 el radio de parcela para el muestreo de alturas y diámetros (parcela azul), R2 el radio de parcela para el muestreo de supervivencia (parcela roja) y L el lado de parcela para la vegetación espontánea (parcela verde).

Desde sus inicios, este protocolo no se ha definido con carácter estanco, sino que se pretende que resulte una herramienta dinámica y mejorable con los resultados que se vayan obteniendo de su propia aplicación. Así, WWF lleva desde el año 2018 testando el protocolo de seguimiento en diferentes actuaciones de repoblación forestal con el objetivo de evaluar su aplicabilidad sobre el terreno. Los resultados de los primeros muestreos realizados han aportado nueva información que permite obtener las primeras conclusiones de su aplicación sobre el terreno y retroalimentar el protocolo propuesto, en un proceso de mejora continua.

## 2. Objetivos

La falta de herramientas técnicas de evaluación adaptadas específicamente a los propósitos planteados hizo necesaria la elaboración, por parte de la Universidad Politécnica de Madrid, de una metodología de inventario y de evaluación de plantaciones *ad hoc* para los proyectos de repoblación de WWF. Cuatro años después del comienzo de su aplicación se plantea una revisión de la herramienta con los siguientes objetivos:

1. Evaluar en su conjunto la aplicabilidad sobre el terreno del protocolo de seguimiento.

2. Obtener las primeras conclusiones que permitan incluir mejoras en el protocolo propuesto, aprendiendo de los errores y aciertos de su realización.
3. Comprobar el cumplimiento de los requisitos iniciales en el diseño del seguimiento, en relación a la eficiencia del esfuerzo de muestreo para mantener una precisión determinada.
4. Valorar si el esfuerzo de muestreo de la vegetación espontánea es excesivo o complejo.

### 3. Metodología

Durante los años 2018, 2019, 2020 y 2021 WWF ha aplicado el protocolo de seguimiento en 20 actuaciones de repoblación forestal lo que ha supuesto la realización de un total de 36 muestreos (Tabla 1). La experiencia obtenida se centra, sobre todo, en las primeras fases de seguimiento: primer muestreo una vez concluida la ejecución de la plantación (post-ejecución) y muestreo post-estival, a partir de las primeras lluvias otoñales. Recientemente se han comenzado a obtener también resultados para muestreos el tercer año desde la plantación. Las características de las repoblaciones ejecutadas son diversas, afectando a diferentes ecosistemas forestales a lo largo de la Península Ibérica (encinar, sabinar, coscojar, bosque de ribera, etc.), con una variedad de superficies afectadas (desde 0,5 hasta 20 hectáreas) y densidades de plantación diversas. Esta circunstancia ofrece oportunidades para conocer si el seguimiento planteado se ajusta a diferentes particularidades de las zonas a inventariar.

Tabla 1. Relación de proyectos de repoblación de WWF donde se ha aplicado el protocolo de seguimiento.

Proyecto	Superficie de actuación (ha)	Campaña de plantación	Muestreos realizados
Restauración forestal en la zona afectada por el incendio de Andilla (Valencia)	7	2016-2017	Ejecución Post-estival
Recuperación de encinares en la Mancha toledana (Tembleque, Toledo)	1	2017-2018	Ejecución
		2018-2019 (reposición de marras)	Ejecución Post-estival 3 años
Restauración forestal en la Comarca de la Litera (Peralta de Calasanz, Huesca)	8	2017-2018	Ejecución Post-estival
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Primillar de la Duquesa	16	2018-2019	Ejecución 3 años
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Prado Ancho	6	2018-2019	Ejecución
Restauración forestal en San Martín de la Vega (Madrid)	3	2018-2019	Ejecución Post-estival
Mejora forestal en Campo de San Pedro (Segovia)	1	2019-2020	Ejecución Post-estival
Mejora forestal en el Parque de El Garraf (Barcelona)	1,5	2019-2020	Ejecución Post-estival
Restauración forestal en la Finca Castillejos (Guadalajara)	2	2019-2020	Ejecución Post-estival
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Primillar de la Duquesa	20	2019-2020	Ejecución Post-estival
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Prado	8	2019-2020	Ejecución Post-estival

Ancho			
Restauración Forestal en Campanarios de Azaba (Salamanca)	2	2019-2020	Ejecución Post-estival
Restauración forestal en San Martín de la Vega (Madrid)	2	2019-2020	Ejecución Post-estival
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Primillar de la Duquesa	11,5	2020-2021	Ejecución Post-estival
Restauración Forestal en Campanarios de Azaba (Salamanca)	1	2020-2021	Ejecución
Mejora forestal en el Parque de El Garraf (Barcelona)	1,4	2020-2021	Ejecución
Restauración forestal en la Finca Castillejos (Guadalajara)	1,5	2020-2021	Ejecución Post-estival
Restauración forestal en San Martín de la Vega (Madrid)	1,6	2020-2021	Ejecución
Restauración forestal en el Soto de las Juntas (Rivas Vaciamadrid, Madrid)	0,5	2020-2021	Ejecución
Mejora forestal en Elgoibar (Guipúzcoa)	3	2020-2021	Ejecución

Una de las piedras angulares en la definición del protocolo lo constituyó la propuesta del tamaño de muestra. En el caso de variables cualitativas como la supervivencia se optó por una aproximación teórica para fijar el tamaño de muestra inicial basado en la varianza máxima posible (Cuevas *et al.*, 2019). Así, se dedujo un número recomendable de 30 individuos para asegurar un error relativo máximo admisible del 30%. Para las variables cuantitativas y fruto de los análisis de regresión realizados con los seguimientos que WWF llevó a cabo en sus proyectos pasados, se fijó un tamaño de muestra de 10 individuos para asegurar el mismo error. La definición de la población que hay que muestrear permite, por tanto, diseñar el primer muestreo sin recurrir a mediciones piloto.

Por otro lado, cada especie introducida puede tener una densidad de plantación diferente, por lo que puede ser necesario el muestreo de una superficie diferente para obtener el mismo número de individuos, lo cual no sería práctico. Para salvar esta circunstancia se propuso fijar una especie objetivo para la que se dimensiona el tamaño del muestreo. Así, se introdujo el concepto de “Especie Principal Menos Representada (EPMR)” como la especie que, dentro de las introducidas en la repoblación, tiene una abundancia mínima a la que dirigir el error de muestreo admisible. Es decir, es la especie objetivo para la que se exigen los requisitos de precisión y, por tanto, la que marca la cantidad y el tamaño de las parcelas a muestrear (área de muestreo) a replantear.

Sin embargo, tras cuatro años de aplicación del protocolo, resulta necesario comprobar si las premisas iniciales se cumplen en la realidad, verificando si el número de individuos medidos se ajusta a los esperados y si los errores admisibles del muestreo se respetan o superan.

#### 4. Resultados

Para cada uno de los muestreos realizados, se ha calculado el número de individuos medidos y los errores relativos de la EPMR para las diferentes variables que hemos considerado (altura, diámetro y supervivencia; Tabla 2).

Tabla 2. Errores relativos de la EPMR por variable, actuación de repoblación y muestreo.

Proyecto	Muestreos	Variables cuantitativas	Variables cualitativas
----------	-----------	-------------------------	------------------------

	realizados	Individuos medidos	Error relativo altura (%)	Error relativo diámetro (%)	Individuos medidos	Error relativo supervivencia (%)
Restauración forestal en la zona afectada por el incendio de Andilla (Valencia)	Ejecución	67	61%	0%	75	0%
	Post-estival	10	62%	0%	18	26%
Recuperación de encinares en la Mancha toledana (Tembleque, Toledo)	Ejecución plantación	12	36%	25%	42	10%
	Ejecución reposición de marras	11	12%	15%	40	2%
	Post-estival reposición de marras	10	9%	9%	37	9%
	3 años	13	10%	11%	39	21%
Restauración forestal en la Comarca de la Litera (Peralta de Calasanz, Huesca)	Ejecución	54	20%	34%	145	0%
	Post-estival	45	21%	19%	139	231%
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Primillar de la Duquesa	Ejecución	14	11%	19%	55	94%
	3 años	19	20%	18%	75	129%
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Prado Ancho	Ejecución	13	43%	34%	36	114%
Restauración forestal en San Martín de la Vega (Madrid)	Ejecución	19	35%	27%	47	5%
	Post-estival	14	37%	39%	19	7%
Mejora forestal en Campo de San	Ejecución	17	19%	14%	25	2%

Pedro (Segovia)	Post-estival	17	11%	9%	24	2%
Mejora forestal en el Parque de El Garraf (Barcelona)	Ejecución	9	7%	9%	12	0%
	Post-estival	8	3%	7%	10	0%
Restauración forestal en la Finca Castillejos (Guadalajara)	Ejecución	11	16%	14%	36	0%
	Post-estival	5	19%	13%	34	59%
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Primillar de la Duquesa	Ejecución	13	22%	21%	30	0%
	Post-estival	12	15%	17%	29	10%
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Prado Ancho	Ejecución	25	20%	35%	51	0%
	Post-estival	3	40%	5%	15	32%
Restauración Forestal en Campanarios de Azaba (Salamanca)	Ejecución	14	36%	27%	29	0%
	Post-estival	6	32%	23%	29	61%
Restauración forestal en San Martín de la Vega (Madrid)	Ejecución	51	23%	21%	99	0%
	Post-estival	25	15%	15%	78	50%
Mejora forestal en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). Primillar de la	Ejecución	12	9%	13%	35	3%

Duquesa	Post-estival	10	8%	12%	36	13%
Restauración Forestal en Campanarios de Azaba (Salamanca)	Ejecución	0	0%	0%	13	21%
Mejora forestal en el Parque de El Garraf (Barcelona)	Ejecución	2	45%	4%	3	0%
Restauración forestal en la Finca Castillejos (Guadalajara)	Ejecución	20	19%	18%	68	147%
	Post-estival	18	22%	6%	69	170%
Restauración forestal en San Martín de la Vega (Madrid)	Ejecución	36	13%	23%	83	0%
Restauración forestal en el Soto de las Juntas (Rivas Vaciamadrid, Madrid)	Ejecución	6	8%	9%	14	0%
Mejora forestal en Elgoibar (Guipúzcoa)	Ejecución	11	14%	0%	29	0%
<b>Valores de referencia</b>		<b>≥10</b>	<b>&lt;30%</b>	<b>&lt;30%</b>	<b>≥30</b>	<b>&lt;30%</b>

Para las variables cuantitativas (altura y diámetro), en un 58% de los muestreos realizados el número de individuos medidos de la EPMR ha sido igual o superior a 10, umbral que se había fijado para optimizar el esfuerzo de muestreo sin recurrir a mediciones previas, y los errores relativos no han superado en ningún caso los valores preestablecidos del 30% (Figura 1). En 5 de los 36 muestreos realizados no se han muestreado al menos los 10 individuos de la EPMR que se consideraban necesarios; no obstante, este incumplimiento no ha supuesto errores relativos superiores al 30%. Por tanto, en un total del 72% de los muestreos se ha asegurado un error relativo máximo admisible del 30%. Por el contrario, en el 28% restante de los seguimientos no se ha respetado ese error, superándolo. De media, el error relativo para la altura ronda el 22%, reduciéndose ese valor para la variable diámetro al 16%. El número medio de individuos medidos de la EPMR para las variables cuantitativas coincide con 18.

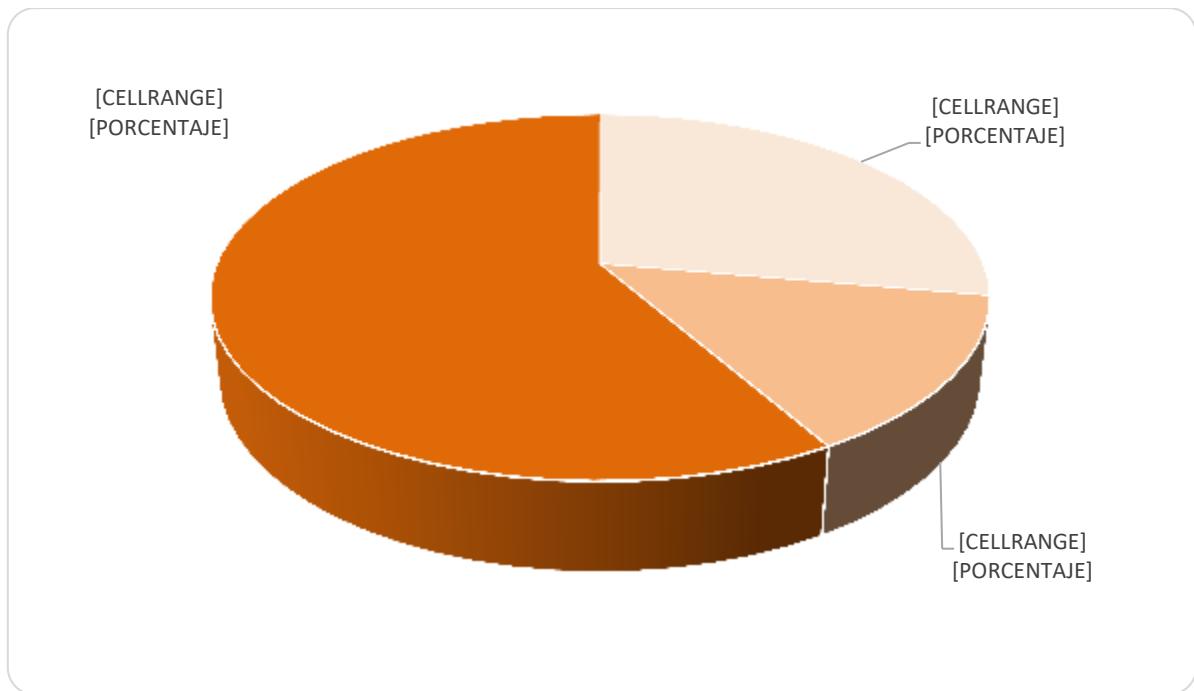


Figura 2. Tipificación de los muestreos en base a los individuos medidos de la EPMR y los errores relativos calculados para las variables cuantitativa.

Cabe destacar algunos muestreos en los que se ha realizado un esfuerzo alto con mediciones en más de 50 individuos de la EPMR como en Andilla (Valencia), Peralta de la Sal (Huesca) y San Martín de la Vega (Madrid). Al menos en los dos primeros casos puede que un peor ajuste del protocolo sobre el terreno esté relacionado con distribuciones espaciales complejas de la repoblación.

Sin embargo, en general, a tenor de los resultados, parece que en una buena parte de los casos el planteamiento del esfuerzo de muestreo para las variables cuantitativas (altura y diámetro) se ajusta a lo esperado, sin recurrir a mediciones piloto. Solo para aquellos muestreos post-ejecución en los que se haya superado el error admisible, se deberá incrementar el tamaño de muestreo en mediciones post-estivales y siguientes, teniendo en cuenta la varianza estimada en el muestreo anterior. También puede resultar sensato realizar esta corrección en aquellas repoblaciones en las que, a pesar de no haber superado ese umbral en el muestreo post-establecimiento, el tamaño de muestra se encuentre en el límite de los 10 individuos y se esperen mortalidades acusadas, lo que con bastante seguridad supondrá un desajuste en muestreos posteriores como se ha comprobado en Castillejos (Guadalajara), Campanarios de Azaba (Salamanca) o Prado Ancho (Tablas de Daimiel, Ciudad Real).

Por su parte, para las variables cualitativas como la supervivencia, se ha superado el error relativo admisible del 30% en un 28% de los casos (Figura 2). De nuevo ocurre y en un porcentaje razonablemente alto, del 33%, que, a pesar de no haber llegado a muestrear al menos 30 individuos de la EPMR, el error relativo para la supervivencia no supera el umbral admisible. En todo caso, sin realizar muestreos pilotos previos, el procedimiento planteado en el protocolo para la supervivencia ha asegurado dimensionar el tamaño del muestreo respetando la precisión mínima del 30% en un 39% de los casos. Por tanto, el balance global arroja que en 7 de cada 10 muestreos se asegura el error relativo máximo admisible. El número medio de individuos de la EPMR medidos se aproxima a los 45, situándose el error medio en el 34%.

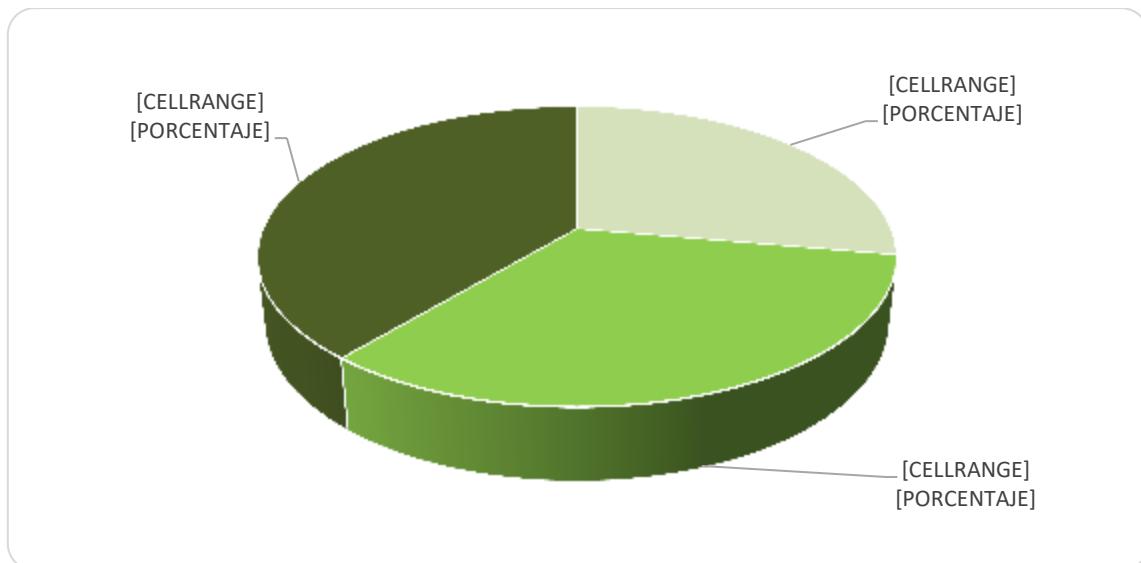


Figura 3. Tipificación de los muestreos en base a los individuos medidos de la EPMR y los errores relativos calculados para las variables cualitativas.

En 3 de los 36 muestreos realizados los requisitos de muestreo han inferido un número excesivo de individuos de seguimiento, habiéndose realizado mediciones en cerca o más de 100 plantones de la EPMR como en las repoblaciones de San Martín de la Vega (Madrid) y Peralta de la Sal (Huesca).

## 5. Discusión

En primer lugar, hay que destacar que el objetivo principal por el que se elaboró esta metodología de inventario y de evaluación de plantaciones se ha visto gratamente alcanzado. Así, desde su aplicación WWF ha conseguido realizar un seguimiento de calidad de sus proyectos de repoblación, estandarizando las técnicas que venía aplicando, sin que eso haya supuesto elevados recursos humanos y materiales y, por ende, un sobrecoste excesivo respecto a las labores de seguimiento anteriores. Más bien este cambio ha implicado una profesionalización de la tarea de evaluación, con criterios consistentes en el tiempo y unos diseños de muestreo de mayor rigor científico.

Así, los primeros resultados obtenidos ponen de manifiesto que, en general, se ha avanzado en la optimización de la eficiencia del muestreo, de tal forma que se mantiene la coherencia de buscar la precisión mínima para una especie mínimamente representada. Para las variables cualitativas como la supervivencia la intensidad de muestreo actual de 30 individuos de la EPMR para asegurar un 30% de error relativo parece adecuada para futuras aplicaciones del protocolo, como demuestra su ajuste en el 72% de los casos. Por su parte, la propuesta de 10 individuos de la especie objetivo para maximizar la probabilidad de obtener ese mismo error admisible cuando se evalúen variables cuantitativas como la altura, el diámetro en la base del tallo o diámetro de copa, también ha resultado satisfactoria en el 72% de los casos. Por tanto, los requisitos para los tamaños muestrales siguen siendo una propuesta válida en la mayor parte de los muestreos para evitar la realización de un muestreo piloto previo, con el sobrecoste que esto conlleva. En aquellas ocasiones en que el error estimado supere el valor preestablecido del 30%, deberá incrementarse el tamaño de muestra incluyendo la varianza calculada en el primer muestreo. Por último, mencionar que sigue siendo necesario la continuidad en la aplicación del protocolo para obtener más resultados y así poder intentar inferir cuáles son las causas de peores ajustes de la metodología planteada que, a priori,

parecen estar relacionadas con distribuciones espaciales complejas de las repoblaciones, introducción de muchas especies o uso de densidades especialmente bajas. Respecto al primer caso, cuando la EPMR no se distribuye de una forma homogénea a lo largo del área plantada, sino que se concentra en una zona concreta, no es posible alcanzar la cantidad de muestras óptima y, por tanto, alcanzar los objetivos de error.

A la luz de los resultados obtenidos con la aplicación del protocolo, no parece necesario modificar significativamente otras principales características que se definieron para esta metodología: variables inventariadas, diseño del muestreo y fases del seguimiento. Sí se mencionan a continuación algunos matices a tener en cuenta para mejorar su aplicabilidad en futuras ocasiones. Así, la experiencia obtenida ha puesto de manifiesto algunos aspectos relevantes relacionados, por ejemplo, con el almacenamiento de datos y el señalamiento del muestreo sobre el terreno.



Figura 4. Personal de WWF realizando mediciones en plantaciones del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real).

A la hora de analizar y discutir los resultados obtenidos, la recopilación de toda la información generada en los seguimientos ha resultado de gran utilidad. Cuánta mayor rigurosidad y calidad en este proceso, mayores posibilidades de análisis: taxones con mejores comportamientos en cada zona, evolución histórica de algunos de los elementos del sistema tras la repoblación, estudios interproyectos, etc. Es por ello que toda la información obtenida en los seguimientos ha sido recopilada en una base de datos permanente, online y correctamente estructurada, que permite en la actualidad una fácil visualización de los datos, así como reducir notablemente la cantidad de errores, asegurando la integridad referencial de la información. A su vez, al contener por definición información correctamente estructurada, sienta las bases para un futuro análisis con herramientas más avanzadas (Machine Learning, Big data, etc.). Como mejoras a medio plazo se plantea la posibilidad de automatizar el diseño del muestreo (elección de la EPMR, número de parcelas, tamaño, ubicación, etc.) y también los informes posteriores con los datos resultantes (medias de las variables medidas, varianzas, errores, etc.).

En este sentido, también ha resultado interesante la toma de datos en dispositivos electrónicos. De este modo, frente al uso de estadillos en papel, se reduce la labor posterior de transcripción con la consiguiente resolución de algunos inconvenientes que pudieran surgir como legibilidad de los datos, significado de abreviaturas, etc. A futuro podría ser interesante el desarrollo de alguna aplicación *ex profeso* para este cometido.

La ejecución de la repoblación es un momento clave y es cuando podemos tener la imagen más fiel de cómo se ha realizado la plantación. Normalmente el diseño y la ejecución pueden tener diferencias importantes debido a problemas operativos. En aquellos casos en que los muestreos se han realizado más tarde no se ha contado con referencias tan precisas de los datos iniciales, lo cual ha dificultado aspectos como la identificación de especies y ha empeorado la calidad del seguimiento en variables ligadas al crecimiento. Es por ello que resulta muy importante realizar el primer muestreo justo una vez concluida esta fase.

Otro aspecto a tener en cuenta es la priorización para el seguimiento de proyectos. Todos los seguimientos requieren de una continuidad y criterios consistentes de evaluación en el tiempo. Para gestionar de una forma eficiente los recursos disponibles puede ser importante jerarquizar los proyectos por orden de prioridad. En estos primeros años de aplicación del protocolo se ha primado la obtención de experiencia intentando abarcar prácticamente todas las actuaciones de repoblación realizadas por la organización. Sin embargo, conviene, desde el inicio, valorar la importancia de cada actuación (impacto ecológico, dimensión, etc.) obviando realizar el seguimiento en aquellas actuaciones de muy pequeña envergadura o bien optando por otras alternativas simplificadas (como, no incluir la evaluación de la vegetación espontánea). Por otro lado, es necesario que, una vez comenzado el seguimiento, se garantice la continuidad necesaria, asignando los recursos suficientes, para obtener información consistente de evaluación en el tiempo.

En ocasiones ha resultado interesante flexibilizar el protocolo estándar para adaptarse a algunos aspectos relevantes de cada actuación. Por ejemplo, el seguimiento de determinados individuos donde se utiliza una técnica diferenciadora (contenedor forestal con características especiales, aplicación de mulch, etc.). De esta forma se aadecua el seguimiento a las necesidades del proyecto.

La aplicación del protocolo ha arrojado algunos problemas relacionados con el señalamiento del muestreo sobre el terreno. En primer lugar, el protocolo recomendaba el marcaje del centro de la parcela utilizando un elemento físico, para lo cual se utilizaron estacas de madera. En seguimientos posteriores ha resultado complicado en algunos casos encontrar dichos elementos entre la vegetación espontánea o bien estas estacas habían sido sustraídas. Se plantea continuar probando, para futuras ocasiones, otros sistemas de marcaje que mejore su visibilidad, al mismo tiempo que no conlleve vandalmismos: marcar dichas estacas con algún tipo de pintura, colocar piedras alrededor de la estaca a modo de castillete para evitar que aparezca vegetación, instalar varias estacas (por ejemplo, centro de la parcela y esquinas de la parcela cuadrada de vegetación espontánea) o usar un GPS submétrico, entre otras. También se establecía en el protocolo la conveniencia de marcar el lugar de la medición del diámetro de la base de tallo, para poder repetir la medida en el mismo lugar en futuros muestreos. La realidad ha sido que este tipo de marcas se pierden rápidamente con el paso del tiempo. Por último, el empleo de un identificador individual para cada planta muestreada (alambre rodeando al tronco) ha resultado un esfuerzo excesivo que no ha mejorado considerablemente la calidad del muestreo, al quedar enterrados muchos de estos alambres y, por tanto, no visibles para el objetivo que se planteaba. No obstante, para acelerar la velocidad de replanteo, se deberá seguir valorando la utilización de marcas visibles en función de R1 y R2, por ejemplo, en los protectores cuando se usen en las repoblaciones (anillas de colores, perforaciones en los protectores, marcas en los tutores que sujetan los protectores, etc.). Este aspecto también puede seguir siendo recomendable para identificar plantas introducidas en actuaciones diferentes

(plantación inicial y reposición de marras, por ejemplo), para lo cual habrá que valorar la utilización de marcas diferentes.

Además, se han detectado discrepancias en la cantidad de muestras obtenidas en segundos y siguientes muestreos según si se incluyen o excluyen individuos que se encuentran en los límites de las parcelas circulares de muestreo (por ejemplo, la planta no se encuentra dentro de los límites de la parcela, pero sí su alcorque). Como incluir un identificador individual para cada planta ya se ha considerado un esfuerzo excesivo, para limitar este inconveniente en el futuro, se propone incorporar en el protocolo la dificultad para delimitar exactamente los límites en las parcelas circulares, definiendo que en valores límite se acepten individuos que entren en una pequeña distancia de seguridad.

Es necesario mejorar la diferenciación entre los tres estados vegetativos: sano, dañado y muerto, en especial para la categoría intermedia que, en la práctica, es la que genera mayor incertidumbre. Así, parece razonable solamente utilizar ese estado para aquellas plantas introducidas que se encuentren con severos daños que puedan condicionar su supervivencia, no incluyendo aquellas que, aunque presenten algunas hojas o tallos secos, en general gozan de buenas perspectivas de supervivencia.

En relación a la vegetación espontánea, se ha subordinado su muestreo al de la vegetación espontánea, reduciéndolo o eliminándolo en algunos casos cuando las circunstancias de las visitas de campo no eran propicias (poco tiempo disponible, condiciones meteorológicas muy adversas, etc.). Y es que el esfuerzo para contabilizar las variables asociadas a la vegetación espontánea ha resultado igual o superior al muestreo de la vegetación introducida, principal objeto del seguimiento.

A efectos de replanteo en campo entre muestreos, es necesario definir unos criterios homogéneos para las parcelas cuadradas de vegetación espontánea. Así se han empleado diferentes criterios entre muestreos para la disposición de los lados: paralelos y perpendiculares a línea de máxima pendiente, paralelos y perpendiculares a algún elemento geográfico significativo del terreno (un camino, un río, etc.). Es necesario definir unos criterios consistentes en el tiempo. Otro aspecto que se ha visto relevante a la hora de analizar la vegetación espontánea, es contar con una/s parcela/s base de referencia para comprobar que el aumento de biodiversidad ligado a la plantación es efectivamente fruto de la restauración realizada y no sólo del paso del tiempo y su evolución natural. Se propone su ubicación fuera de la zona intervenida, pero lo más próxima posible.

## 6. Conclusiones

WWF España considera imprescindible que los proyectos de repoblación forestal incorporen un seguimiento periódico y riguroso de la evolución del ecosistema y del paisaje, para retroalimentar el programa de restauración. Evaluar a corto, medio y largo plazo el grado de cumplimiento de los objetivos previstos, comparando la situación de partida con la situación del ecosistema al cabo del tiempo, es clave para poder incorporar medidas correctoras en caso de desviación (Colomina y Melero, 2016).

El protocolo de seguimiento para proyectos de repoblación forestal desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid y WWF supone una buena herramienta para ese propósito, como demuestran algunos de los resultados obtenidos en estos primeros años de aplicación sobre el terreno. Así, tanto para las variables cuantitativas como cualitativas, los tamaños de muestra establecidos para la EPMR permiten obtener errores relativos máximos admisibles por debajo del 30% en el 72% de los casos, premisa fundamental en el diseño del seguimiento. El ajuste parece más idóneo para las variables cuantitativas: sin necesidad de muestreos iniciales, se están obteniendo errores medios del 22 y 16% para altura y diámetro respectivamente. Es decir, manteniéndose una

precisión adecuada se ha optimizado la eficiencia del esfuerzo de muestreo. En el caso de las variables cuantitativas, el error medio obtenido excede ligeramente por encima del 30%, en concreto el 34%. Sin embargo, en general, los tamaños muestrales determinados están permitiendo definir la población que hay que muestrear sin recurrir a mediciones piloto que encarezcan el proceso.

Por otro lado, en estos primeros años de experiencia se ha mejorado sustancialmente en la estandarización de las técnicas de seguimiento: variables inventariadas, diseño del muestreo (tamaño de las parcelas, distribución del dispositivo de parcelas), fases de seguimiento (ubicación en el tiempo), etc. No obstante, también han sido identificadas algunas dificultades como las correspondientes a la señalización del muestreo sobre el terreno u oportunidades como el almacenamiento de datos. De hecho, uno de los mayores retos a futuro será explotar la información obtenida con mayor profundidad. Hasta el momento se han calculado estimadores sencillos para cada una de las variables, como medias, varianzas, errores e indicadores de biodiversidad para el caso de la vegetación espontánea. Sin embargo, existen algunas variables que, combinándolas con otras o por medio de modelos e indicadores, permitirán analizar la información de forma mucho más compleja.

En definitiva, sería interesante una revisión del protocolo (versión 2.0) que incorpore los resultados que se han ido obteniendo de su propia aplicación. Por otro lado, es recomendable continuar con su divulgación para que otras entidades públicas o privadas lo conozcan y puedan tomar este protocolo como punto de partida a partir del cual generar nuevas herramientas adaptadas a sus propios proyectos de repoblación forestal y valorar así el éxito de sus intervenciones.

Sin duda la restauración ecológica está cobrando un especial protagonismo en los últimos años, pero es necesario asegurar que se alcanzan éxitos y garantizar la eficacia de las inversiones con procesos de seguimiento periódicos y rigurosos. Para asegurar la calidad de las intervenciones con proyectos basados en buenas prácticas (Colomina y Melero, 2021), ya desde la fase de proyecto deberíamos empezar a considerar el seguimiento como una parte integrada del diseño. Conocer la respuesta de la vegetación implantada y relacionarla con aspectos como la técnica repobladora empleada, las especies o las condiciones bióticas o abióticas durante la ejecución y primeros años del proyecto es fundamental para la gestión adaptativa de la restauración y la propuesta de mejoras en futuras ejecuciones.

## 7. Agradecimientos

WWF España agradece la inestimable ayuda de Brais Hermosilla, Rodrigo Cuevas y Miguel Ángel Castilla, estudiantes de las Universidades de Alcalá (UAH) y Politécnica de Madrid (UPM), que han participado activa y entusiastamente los últimos años en las diferentes fases de elaboración y testado del protocolo de seguimiento. También reconoce el especial apoyo que la UPM ha brindado a WWF en todo el proceso.

## 8. Bibliografía

CUEVAS, R.; OLIET, J.A.; MELERO, M.; 2019. Protocolo de seguimiento para proyectos de restauración forestal. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 45 (2) 87 – 106.

COLOMINA, D. y MELERO, M.; 2016. Recuperando paisajes: un nuevo camino para la restauración ecológica. WWF España.

COLOMINA, D. y MELERO, M.; 2021. Estándares de WWF para la certificación de proyectos de restauración de ecosistemas forestales. *Revista Montes.* 143 56-59.