

LA EXPERIMENTACION FRUTAL

R. Socias i Company

Unidad de Fruticultura SIA DGA

Zaragoza

Introducción

El experimento es el instrumento que aplica cualquier método científico para contrastar una hipótesis. Para ello se deben aplicar unos procedimientos que garanticen la objetividad y la precisión de los ensayos, lo que se consigue fundamentalmente mediante la aplicación de la estadística como regla objetiva y precisa. El desarrollo de la estadística como apoyo a la experimentación tuvo lugar básicamente en programas de mejora genética animal, aunque posteriormente se ha aplicado a los otros campos biológicos. Sin embargo, a menudo se plantea la cuestión de hasta qué punto los árboles frutales son diferentes de los otros cultivos para necesitar métodos estadísticos distintos. Fundamentalmente dos aspectos se deben tener en cuenta:

1.- Los árboles frutales tienen un período largo de existencia, por lo que están más sujetos a posibles marras. Como consecuencia de ello, los diseños experimentales deben tener en cuenta esta circunstancia, de forma que la pérdida de un árbol no suponga la invalidación del ensayo.

2.- Los árboles frutales, por razón de su tamaño, tienen más interés como individuos que las plantas anuales, lo que supone una fuente de variación adicional a tener en cuenta en relación con los cultivos anuales, en los que las mediciones se hacen en una parcela que contiene un elevado número de individuos, siendo la única variación a considerar la posicional.

Por ello es conveniente tener en cuenta la problemática especial de los frutales en cuanto a su variabilidad, el control de esta variabilidad, la especificidad de los ensayos en relación con el tema estudiado, las medidas a tomar, el análisis de los resultados y el planteamiento de la experimentación como visión global de un problema.

Variabilidad en ensayos con árboles frutales

Los factores que originan la variabilidad observada en los ensayos con frutales son de diferente origen y variable importancia relativa según los casos. Pueden agruparse en dos secciones fundamentales:

1.- Fuentes de variación voluntariamente introducidas, que constituyen los tratamientos derivados de las hipótesis que se quieren contrastar, como son los diferentes patrones, variedades, técnicas de cultivo...

2.- Otras fuentes de variación, que son de origen diverso, controlables o no según los casos. La variabilidad no controlada determina el error experimental que debe tratarse de minimizar mediante la técnica experimental. Así, la variación en la fertilidad del suelo se disminuye con un diseño de bloques al azar. Estas fuentes de variación se pueden considerar como inherentes a la planta, como debidas al medio o como de origen diverso.

Fuentes de variación inherentes a la planta

La constitución genética y el estado sanitario son las fuentes fundamentales de variación inherentes a la planta. Como un frutal está constituido por la combinación del patrón y la variedad, incluso a veces con un intermediario, la variabilidad observada puede estar ocasionada por cualquiera de los dos/tres componentes, o por la interacción entre los mismos. Las variedades son generalmente clones, por lo que su constitución genética es idéntica. Los patrones pueden ser francos o de propagación vegetativa. Los patrones francos contribuyen a una variación genética dentro del mismo tratamiento, originando un error experimental probablemente mayor. Por otra parte, los patrones vigorosos presentan menos variabilidad que los enanizantes, por lo que se debe procurar la consideración de patrones de una misma gama de vigores. Los patrones de propagación vegetativa pueden presentar una heterogeneidad debida a diferentes sistemas de propagación que condicionen distintos tipos de sistema radicular.

La variación debida a los tamaños iniciales de los árboles se origina en vivero, pero su influencia desaparece cuando los árboles alcanzan un determinado tamaño, en general hacia la entrada en producción, por lo que este componente no tiene demasiada importancia. Las tasas iniciales de crecimiento se pueden deber a las condiciones de arranque de vivero, manejo de las plantas y plantación y pueden mantener su influencia durante los primeros años de producción e incluso durante toda la vida del árbol.

El estado sanitario, en particular la incidencia de enfermedades transmisibles por injerto, se ha revelado como una fuente importante de variación en la tasa subsiguiente de crecimiento. Por ello, la utilización de material sano en el establecimiento de ensayos con frutales es imprescindible para un correcto diseño de los ensayos.

Otro factor que produce variabilidad en los frutales es la incompatibilidad patrón/injerto. Las uniones incompatibles presentan en general una variación en la manifestación de los síntomas de incompatibilidad y en la heterogeneidad de los

parámetros debidos al vigor en combinaciones con diferente grado de incompatibilidad. Este inconveniente debe superarse con la utilización de combinaciones compatibles o, en su caso, con el uso de un intermediario.

Fuentes de variación inherentes al medio

Este tipo de variación es menos importante en los cultivos leñosos que en los anuales. Sin embargo, deben considerarse a fondo las condiciones de la parcela donde plantar el ensayo con el fin de controlar en lo posible la variación mediante un diseño experimental adecuado o de eliminar el ensayo si la heterogeneidad del medio es excesiva.

La variabilidad puede deberse al suelo y a las condiciones microclimáticas variables dentro de la parcela experimental. Las características del suelo que pueden inducir variabilidad son las diferencias en la profundidad, la textura, la estructura y la composición (en particular en caliza) del suelo y en la existencia de capas freáticas temporales que pueden producir marras. La causa de variación más importante entre las señaladas probablemente es la de la profundidad del suelo. Si no se puede eliminar mediante el diseño experimental es preferible desechar la parcela.

La historia previa de la parcela es importante en el momento del planteamiento del ensayo, especialmente en centros experimentales en los que la disponibilidad de tierra puede ser limitada. El sistema de riegos también puede ser un factor de variabilidad, especialmente cuando el riego es a manta. Actualmente los sistemas más homogéneos de distribución de agua han resuelto en gran medida este problema.

Las causas de variación de origen climático son la orientación, el viento y la existencia de situaciones microclimáticas diferentes, aunque su importancia es sólo relativa ya que, en general, su control es posible. Sólo la diferente incidencia de heladas sobre un grupo de árboles debido a su situación especial puede ser problemática por la dificultad de prever anteriormente esta situación. El viento puede ser decisivo en las zonas de peligro de vientos, especialmente en la época de formación de los árboles, por lo que son recomendables el uso de cortavientos y la disposición de los bloques en sentido ortogonal a la dirección del viento dominante.

Fuentes de variación de origen diverso

Un primer punto a considerar en este apartado es el del nivel de la vegetación, ya que una vegetación deficiente, debida a la pobreza del suelo, a un cuidado deficiente de la parcela, etc., produce un incremento considerable de la

variabilidad de los árboles, como se comprueba a menudo en ensayos exteriores a las estaciones experimentales. Por ello se debe tender a una homogeneidad en las técnicas de cultivo aplicadas sobre los distintos tratamientos o sobre la totalidad del ensayo o, al menos, tratar de asociar las posibles causas de variación a un sistema de bloques que permita su eliminación en el proceso de cálculo. Entre los aspectos a considerar está la densidad de plantación, que puede ser estrecha para variedades vigorosas o amplia para las débiles, así como la distribución de polinizadores o el efecto poda cuando esta operación es desarrollada por distintos operarios, por lo que cada uno debe realizar bloques enteros con el fin de eliminar, al considerar el conjunto, el efecto de cada uno.

Estas fuentes de variación pueden ser temporales o permanentes. Las primeras son en general debidas a diferencias entre las plantas en el momento de la plantación. Sin embargo, las fuentes de variación permanentes son las que originan la mayor parte de la variabilidad, como son las inherentes a la planta: constitución genética, estado sanitario, incompatibilidad... Otras fuentes que también se deben considerar son la polinización, el nivel general de fertilidad, la densidad de plantación...

Métodos de controlar las fuentes de variabilidad

El objetivo del ensayo es introducir la variabilidad producida por los tratamientos y al mismo tiempo eliminar en lo posible todos los otros factores de variación. En el cuadro 1 se recogen el origen de la variación y algunas observaciones sobre su aspecto, así como los sistemas de control de la misma en los ensayos de frutales.

Control de la variabilidad inherente a la planta

Este control se basa en las consideraciones que se han expuesto al considerar las fuentes de variabilidad debidas a la planta. Así se debe partir de material clonal libre de virus, el uso de intermediarios si se deben evitar problemas de incompatibilidad, la eliminación en vivero de árboles afectados por plagas o enfermedades... El punto de la variabilidad de las plantas de vivero ha sido causa de controversia, ya que se había recomendado la utilización de plantas cuyo vigor, a la salida del vivero, estuviera comprendida en un margen del 10-15 % de desviación respecto a la media de todas las plantas. Sin embargo, las causas de variación en vivero son diferentes de las que actúan a partir de la plantación de los árboles y su efecto termina en general antes de la entrada en producción de los árboles. A pesar de ello, es recomendable la homogeneización de las plantas a utilizar, especialmente cuando se dispone de un número suficiente de plantas.

Cuadro 1. Origen y control de la variación

Origen de la variación	Observaciones	Sistemas de control o estimación
Tratamientos	Factores de variación voluntariamente introducidos, cuyo estudio es el objeto del ensayo	Análisis de la varianza
Variabilidad inherente a la planta	Se trata de la variabilidad entre árboles del mismo tratamiento	- Uso del material clonal o selecciones homogéneas - Selección sanitaria - Intermediario - Calibración. Análisis de covarianza
Variabilidad debida al medio	Su importancia es menor que en plantas anuales. Su control es efectivo en ensayos a largo plazo.	- Elección de la parcela para el ensayo - Diseño experimental
Otras fuentes de variabilidad		- Cuidados en arranque y plantación - Labores de cultivo esmeradas - Métodos y aparatos de medida precisos - Observadores técnicamente preparados
Error. Variabilidad residual	Es la unidad de medida de la variabilidad de los tratamientos. El error experimental debe ser lo más pequeño posible	- Repetición - Tratamientos distribuidos al azar

Se ha propuesto el llamado método de calibración para eliminar esta variabilidad siempre cuando se puedan realizar mediciones antes de la introducción de los tratamientos, como puede ser en plantaciones comerciales existentes, recogiendo datos de las mismas antes de la aplicación del ensayo. Entonces se utiliza el método estadístico de análisis de la covarianza, por el cual los datos obtenidos durante el período experimental son corregidos por covarianza con los datos recogidos durante el período previo de calibración.

Control de la variabilidad debida al medio

Los diseños experimentales responden a los principios de repetición y distribución al azar aplicados al análisis de varianza. En los frutales adquiere especial importancia que los diseños consideren la posibilidad de que se produzcan marras a lo largo de la vida del ensayo, cosa bastante normal en los frutales, de manera que la incidencia de un cierto número de marras no invalide las conclusiones del ensayo.

No es necesario exponer los distintos diseños experimentales, descritos en distintas publicaciones, pero sí conviene recordar que cada uno se adapta a circunstancias determinadas del medio, por lo que se deben considerar antes de la estructuración del ensayo. Entre los más utilizados en los ensayos de frutales se pueden mencionar el ensayo de pares, los bloques al azar, los cuadrados latinos y las parcelas subdivididas (split plot) entre los diseños ortogonales. Los diseños no ortogonales no son muy utilizados, pero en algunas casos son indispensables, especialmente cuando se parte de una situación concreta de una parcela limitada o en el campo de un agricultor.

Consideraciones en relación con los diseños

Hay un conjunto de detalles relacionados con el diseño de los ensayos, de importancia semejante o mayor que el tipo de diseño elegido y que no se deben dejar de considerar.

En primer lugar está el tamaño y la forma de bloques y parcelas, que dependen fundamentalmente del control de la variabilidad del medio. Los bloques en general deben ser lo más pequeños posible y de forma compacta, aunque las circunstancias del medio pueden obligar a una distribución diferente, como en laderas, donde es preferible situar los bloques según curvas de nivel. Cuando la profundidad del suelo es variable, se deben procurar bloques de profundidad análoga. Los bloques deben ser de superficie y forma semejante. Los bloques deben ser preferiblemente pequeños si se trata de ahorrar tierra y grandes si se trata de evitar complicaciones por falta de especialización técnica. Así en una estación

experimental, generalmente con problemas de falta de tierra, pueden ser pequeños, incluso de un árbol por parcela, pero en la finca de un agricultor deben ser grandes, como en filas completas para facilitar la recolección del tratamiento.

Los guardas sirven para proteger en lo posible los árboles experimentales de influencias ajenas al ensayo. Pueden ser externos o internos. Los primeros equilibran la competencia de otros cultivos o evitan los efectos exteriores en los límites de la parcela experimental. Los guardas internos evitan que los tratamientos aplicados a un bloque afecten a los bloques próximos y tienen especial importancia en los ensayos de abonado, cobertura de suelo y tratamientos fitosanitarios. Generalmente constan de una sola fila en el contorno de la parcela o entre los árboles pertenecientes a distintos tratamientos. En el caso de evitar la difusión de plagas y enfermedades entre parcelas testigos y tratadas, los guardas pueden ser de dos filas o más.

El número de repeticiones dependerá de distintos factores, como la variabilidad esperada, las posibles pérdidas y el nivel de significación que se desea en el ensayo. Se recomienda que el error tenga al menos 15 grados de libertad y a ser posible 25.

El diseño experimental y el tema estudiado

Al plantear el diseño se deben tener en cuenta las diferencias esperadas en las distintas materias objeto de ensayo, ya que sus características propias condicionan su estudio. Así se pueden distinguir dos grandes grupos de temas: el material vegetal (variedades y patrones) y las técnicas de cultivo, como tratamientos aplicados a este material vegetal.

Variedades y patrones

El objetivo de estos ensayos es estudiar el comportamiento de nuevo material vegetal en comparación con otros conocidos en la zona. Tanto las variedades como los patrones se clasifican en grupos según sus características agronómicas y comerciales y en general interesan más las comparaciones entre materiales del mismo grupo que no las diferencias entre grupos, como puede ser el estudio de variedades de melocotonero de la misma época de maduración, ya que carece de sentido contrastar variedades de diferente época de maduración

La necesidad de comparar variedades y patrones dentro de grupos análogos supone la realización de ensayos simples de observación previos a los ensayos comparativos. Estas observaciones se llevan a cabo generalmente en el marco de colecciones varietales, cuyos objetivos son, por otra parte, mucho más amplios. Sin embargo, no siempre es fácil la clasificación de los materiales en grupos, por lo que

a menudo se deben considerar elementos de dos grupos contiguos, como puede ser en el caso de los patrones de manzano agrupados por su vigor.

La ubicación de ensayos en fincas de agricultores puede complicar mucho la organización, pero pueden dar resultados más generalizables y contrastables con la realidad del cultivo en la zona. Ello obliga a parcelas con un elevado número de árboles, lo que se puede traducir en considerar cada finca como un bloque del ensayo, que se repite en diferentes fincas de la zona.

Las labores de cultivo deben ser las normales en la zona, salvo que alguna variedad se vea afectada desfavorablemente por una determinada labor, como puede ser una poda severa. Las observaciones de este tipo de ensayos se deben centrar en los caracteres comerciales, que por otra parte se deben estudiar en los ensayos previos de observación para incluir en el ensayo sólo aquellas variedades que ofrezcan la suficiente calidad comercial, como puede ser, por ejemplo, una buena capacidad de transporte.

Técnicas de cultivo

En este apartado se consideran todos los tratamientos que se pueden aplicar al material vegetal, por lo que es recomendable partir de un material lo más homogéneo posible y limitar el número de variedades y patrones a considerar en el ensayo, como así mismo partir en lo posible de plantones calibrados, especialmente si se van a estudiar los efectos en los primeros años de la plantación.

Los ensayos de abonado pueden ser definitivos o tentativos. Los primeros se repiten indefinidamente para estudiar sus efectos, aunque sean perjudiciales, por lo que sólo se pueden llevar a cabo en estaciones experimentales. Los tentativos se proponen determinar el programa de abonado óptimo, por lo que su diseño debe ser flexible, para permitir la aplicación de tratamientos sucesivos. Las condiciones iniciales son fundamentales porque condicionan la respuesta posterior, lo que implica una limitación sobre la generalización de las conclusiones. Por ello los resultados obtenidos en distintos lugares pueden diferir, lo que obliga a una experimentación en los diversos tipos de suelo representativos de una zona. Para los ensayos de abonado las parcelas deben ser generalmente grandes, de forma que permitan la aplicación de tratamientos en condiciones normales de cultivo y se necesitan guardas internos para evitar interferencias en la nutrición de los árboles, siendo suficiente una sola fila.

Los ensayos de poda no requieren guardas internos y pueden consistir de parcelas de un solo árbol, siempre que el espaciamiento sea suficiente para que no exista competencia por suelo o luz entre los distintos árboles. Los tratamientos de poda de formación se aplican desde el principio, por lo que no es posible la calibración. Los diferentes sistemas de poda pueden inducir variaciones en la forma

y el tipo de crecimiento, lo que puede provocar que las medidas de vigor no sean comparables, por lo que aparte de la medida del vigor por la circunferencia del tronco es necesario determinar también el crecimiento de las ramas.

Los ensayos de cobertura, mantenimiento de suelo y riego exigen parcelas grandes ante la dificultad, a veces imposibilidad, de aplicar los tratamientos individualmente a los árboles, por lo que se suelen aplicar en líneas. Dentro de estas parcelas se pueden aplicar otros tratamientos en subparcelas y en general es recomendable utilizar guardas internos.

Los ensayos de tratamientos necesitan parcelas relativamente amplias por la dificultad de concentrar los tratamientos a una superficie pequeña. También se requieren guardas internos, a veces dobles, para evitar tanto el solape de las pulverizaciones como la difusión de la plaga o la enfermedad. Se recomienda realizar las observaciones sobre los árboles centrales de cada parcela respectiva. Las parcelas testigo representan un problema porque no añaden información, ya que el daño fitopatológico es obvio, y además originan una posible fuente de infección para el resto del ensayo.

Para estudiar sistemas de cultivo comercial es preferible recurrir a métodos de encuesta en lugar de ensayos, que además requerirían su realización en plantaciones comerciales de agricultores.

Medidas en árboles frutales

En general las mediciones ideales deben ser completas y obtenidas por medidas directas. Sin embargo, no siempre es posible, por lo que se deben utilizar métodos simplificados. Por ello los datos pueden corresponder a registros completos o por muestreo, se pueden obtener por medidas, estimaciones o categorías y finalmente pueden ser directos o indirectos. En cada caso, según las circunstancias, puede producirse un aumento del error experimental, lo que se puede paliar con un aumento de las repeticiones. Las estimaciones y categorías son fundamentalmente subjetivas y es muy difícil apreciar más de 10 grados diferentes. No obstante su aleatoriedad, su uso en frutales es muy útil. Las medidas que se utilizan en árboles frutales, según las características de los mismos, son las siguientes:

Medidas de vigor

El concepto de vigor es difícil de definir, aunque se refiere corrientemente a la actividad vegetativa, mientras que la capacidad potencial o actual de fructificación se adjudican al capítulo de producción. La medida clásica del vigor es la circunferencia del tronco a una distancia fija por encima de la unión. En

algunos casos son necesarios igualmente medidas de crecimiento en longitud, que nunca pueden ser completas, por lo que se debe acudir a métodos de muestreo o a medidas indirectas, como puede ser el peso de la madera de poda. En cualquier caso, no parece existir ningún método satisfactorio para medir el crecimiento vegetativo en una planta de gran tamaño.

Otra medida de interés es la altura y densidad de la copa, para lo cual se han desarrollado nuevos métodos de tipo óptico. Finalmente, la mejor medida de tamaño es sin duda el peso total del árbol, que sólo se puede obtener en el trasplante o en el arranque.

Medidas de floración

La época y la cantidad de flor son los registros de floración en ensayos de frutales. Los estados de Fleckinger, Baggiolini, Felipe, etc... permiten estudiar la evolución de los botones florales con cierto distanciamiento de las observaciones, lo que facilita el trabajo. Actualmente se han desarrollado nuevos métodos numéricos de seguimiento del desarrollo no sólo de la floración sino de todos los estados vegetativos de una planta.

La incidencia de heladas, coincidencia de variedades en floración y relación de temperaturas y épocas de floración son de fundamental importancia en la experimentación frutal. La cantidad de flor, determinada por estimación o categorías, da una idea sobre la producción potencial de la planta.

Medidas de producción

El dato normal de producción es el peso de una cosecha en la parcela elemental, que suele ser de un árbol. Esta medida se complica cuando el árbol es adulto, por lo que se han descrito diversos métodos de muestreo. Una medida interesante para combinaciones de una variedad sobre una serie de patrones es la capacidad relativa de fructificación de las diferentes combinaciones durante un período de tiempo dado. El tamaño medio del fruto se puede determinar por el peso de frutos individuales o muestras de 100 frutos. El uso de calibradoras permite repartir los frutos por categorías comerciales. El color del fruto es otra característica que puede interesar.

La determinación de la época de maduración es difícil, ya que ninguna prueba de maduración es completamente satisfactoria. La aptitud de la fruta a la conservación y a la manipulación y el transporte son otros datos de interés.

Otras medidas

Las observaciones sobre incidencia de plagas y enfermedades se hacen mediante estimaciones o categorías, según la intensidad del ataque. Registros análogos se utilizan para apreciar síntomas externos de deficiencias.

Análisis de los resultados

El método usual de analizar los datos de un ensayo es el análisis de varianza. El error experimental nos da una medida de la exactitud del ensayo. La comparación de las diferentes fuentes de variación controladas con el error mediante una prueba F, a un nivel de significación determinado, proporciona un índice de la relevancia de dichas fuentes de variación. En cada caso, sin embargo, según el diseño experimental se deberá considerar el tipo de análisis estadístico más apropiado para comprobar la hipótesis planteada.

Es preciso señalar que las consideraciones estadísticas, a pesar de su gran importancia, deben estar siempre supeditadas a los supuestos frutícolas. Los conceptos y métodos estadísticos considerados son un medio para resolver un problema frutal y nunca se deben invertir los términos. Los tratamientos a comparar se desprenden del planteamiento del problema. Los métodos estadísticos sólo sirven para dar una validez y sensibilidad razonable a esta comparación.

Planteamiento de la experimentación

Es imprescindible terminar estas reflexiones sobre la experimentación frutal con una consideración sobre su planificación de una manera coordinada y global para reafirmar su eficacia.

Las redes regionales de experimentación han contribuido enormemente al conocimiento del material frutal y a diseñar correctas recomendaciones de plantación para los agricultores, aunque la lentitud en la obtención de resultados puede cuestionar la eficacia de estos ensayos, especialmente en aquellas especies con una gran dinámica varietal como el melocotonero.

No debemos olvidar la red regional de ensayos establecidos en Italia, coordinados por el Istituto Sperimentale per la Frutticoltura, aunque la organización de la investigación en Italia está en proceso de reestructuración. Fruto de estos ensayos es la publicación cada año en la revista "Frutticoltura" de las listas de variedades recomendadas. Aunque este último año han sido causa de controversia sobre su conveniencia, no cabe duda de su utilidad y trascendencia en la fruticultura italiana.

Otro ejemplo distinto es el francés, fruto de la colaboración entre el INRA y el CTIFL, que también a través de sus ensayos regionales llega a establecer unas recomendaciones sobre sus variedades de rúbrica A, B y C.

La reducida extensión frutícola inglesa en comparación con la de otros países hace que sus National Fruit Trials cubran en una ubicación los ensayos de comportamiento de las variedades y los patrones en cultivo en el sur de Inglaterra.

Estas rápidas menciones sólo sirven para indicar la falta de estructuración de la experimentación frutal en España, donde cada región, cuando no cada comarca, establece sus ensayos de manera a menudo inconexa de las otras. Ello no es óbice para resaltar los válidos planteamientos de algunos esquemas de experimentación como los establecidos o en proceso de estructuración en Cataluña, Valencia y Andalucía.

Me siento obligado a recordar una experiencia española como fue el establecimiento a finales de los años 60 del CACEF (Comisión de Acciones Coordinadas de Experimentación Frutal del Valle del Ebro) que impulsó el prestigioso investigador francés Jacques Souty y que Luis Rallo coordinó durante los primeros años. Reunió a expertos de Cataluña, Aragón, Navarra y La Rioja, y finalmente de Valencia, estableciendo un espíritu de trabajo y colaboración que por motivos diversos se fue diluyendo. Creo que muchos de sus aspectos válidos son motivo de consideración en una Jornadas como las presentes, para poder impulsar una coordinación eficaz de la experimentación frutal.