ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/331994110

Produce tus proprias semillas

Book · March 2019

CITATIONS
0

READS
196

1 author:

Salvatore Ceccarelli
Self Employed
229 PUBLICATIONS **8,104** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

LIVESEED - Boosting organic seed and plant breeding across Europe View project

DIVERSIFOOD: Embedding crop diversity and networking for local high quality food systems View project

All content following this page was uploaded by Salvatore Ceccarelli on 26 March 2019.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Salvatore Ceccarelli

Produce tus propias semillas

Introducción práctica al mejoramiento evolutivo participativo

CONABIO

Produce tus propias semillas

Introducción práctica al mejoramiento evolutivo participativo

Salvatore Ceccarelli

Este manual busca ayudar a compartir con las y los agricultores algunos conocimientos biológicos útiles para comprender qué son las semillas y cómo pueden producirse aquellas que darán el tipo de plantas que mejor se adaptan a sus condiciones actuales y futuras.

CONABIO
COMISION NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

Esta obra fue posible gracias al financiamiento de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del proyecto «Contribución de la Biodiversidad para el Cambio Climático» otorgado a CONABIO, por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto PN 247730 y por el proyecto «Acciones complementarias al Programa de Conservación de Maíz Criollo» de la CONABIO y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Primera edición en español, diciembre de 2018

Título original:
Produrre i propri semi / Manuale per accrescere la biodiversità e l'autonomia nella coltivazione delle piante alimentari.

D.R. © 2018, Salvatore Ceccarelli

Derechos editoriales:
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)
Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal
Tlalpan, Ciudad de México, 14010
www.gob.mx/conabio / www.biodiversidad.gob.mx

Coordinación de diseño y producción editorial: Bernardo Terroba Arechavala
Traducción al español: Armando Volterrani
Revisión y corrección de textos: Cuauhtémoc Alfaro Rivera
Revisión técnica: Alicia Mastretta Yanes y Quetzalcoatl Orozco
Diseño, formación e ilustraciones: José Cuauhtémoc Quintero Carrillo

Forma de Citar: Ceccarelli, S. 2018. *Produce tus propias semillas / Introducción práctica al mejoramiento evolutivo participativo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 48 pp.

ISBN: 978-607-8570-16-4 (versión electrónica PDF)

Editado en México

Índice

PRÓLOGO 5

PREMISA

Cambio climático . . . 7
Agrobiodiversidad . . . 7
El monopolio de las semillas . . . 8
El monopolio de las semillas y el conocimiento campesino . . . 8
Centros de origen de plantas cultivadas (o Centros Vavilov) . . . 9

ALGUNOS CONCEPTOS ÚTILES 11

Biodiversidad . . . 11
Agrobiodiversidad . . . 11
México como centro de origen y diversificación de especies cultivadas . . . 11
La milpa y sus semillas . . . 11
Razas de maíz en México . . . 12
Germoplasma . . . 12
Bancos de germoplasma (o de semillas) . . . 12
Variedad . . . 14
Línea pura . . . 14
Clon . . . 15
Híbridos F_1 . . . 15
Plantas F_2 . . . 15
Genes y cromosomas . . . 15
Genotipo . . . 17
Fenotipo . . . 17
Heredabilidad . . . 18
Mejoramiento genético . . . 18
La reproducción sexual en las plantas: cómo nacen las semillas . . . 19

Diferencias entre plantas autógamas y alógamas 21
Cómo se hacen las cruzas 22
Diferencias entre F_1 y F_2 23

MEJORAMIENTO PARTICIPATIVO **27**

MEJORAMIENTO EVOLUTIVO **33**
Cómo constituir una población evolutiva 34
Cómo se puede usar una población evolutiva 35
Selección de espigas 37
Selección de espigas y cultivo de espigas-hilera 38
Selección de espigas para el programa participativo 40
Selección de espigas para crear subpoblaciones 40

CONCLUSIONES **43**

REFERENCIAS **44**

Prólogo

Nos hemos acostumbrado tanto a una situación en la que predomina lo técnico y científico que lo convencional es creer que las únicas semillas valiosas son las que producen las compañías comerciales o los científicos en instituciones. Sin embargo, esta es una idea errónea que no se sostiene empíricamente. Por un lado, los agricultores no solo proveyeron de toda la semilla original sobre la que han trabajado los científicos; actualmente son ellos mismos quienes proveen una gran parte de las semillas que se usan. Por ejemplo, en México, el maíz se siembra en casi 8 millones de hectáreas cada año y en 75% de esta superficie se planta semilla producida por los propios agricultores. Por otro lado, las variedades tradicionales han sido subestimadas en su potencial y sus virtudes. Es común suponer que las variedades híbridas de maíz producen más grano que las variedades tradicionales, sin embargo, en realidad esto no es el caso en ambientes marginales, como de poca lluvia o suelos pobres. Existen muchas regiones donde las variedades tradicionales de maíz son efectivamente superiores a los híbridos disponibles. Además, muchas variedades tradicionales de maíz tienen calidades para el consumo humano de las que carecen las variedades híbridas, como los granos grandes y reventadores para el pozole, o colores azules para antojitos. Lo mismo podemos decir de otros cultivos importantes para México, en particular aquellos como frijol, calabaza, chile, aguacate y otros endémicos de nuestro país.

En el libro *Produce tus propias semillas*, del doctor Salvatore Ceccarelli, se ofrece una guía para hacer más efectivo el proceso de generar semillas en procesos de colaboración entre técnicos y agricultores. En muchos ambientes los agricultores producen adecuadamente sus propias semillas; con todo, desde la ciencia se pueden hacer sugerencias para mejorar el proceso de selección de semillas y así aumentar su efectividad. El doctor Ceccarelli es un científico que ha dedicado su vida al mejoramiento de cultivos, en particular de la cebada. Hace más que dos

décadas demostró que en ambientes poco productivos las variedades tradicionales eran superiores a las comerciales, y lo mismo se ha encontrado cuando se usan pocos insumos o para un manejo menos cuidado que en las estaciones experimentales donde se desarrollan las variedades. Además, el doctor Ceccarelli ha sido uno de los principales impulsores del mejoramiento participativo, donde la asociación de científicos y agricultores proporciona ventajas en el mejoramiento de los cultivos y en la adopción de variedades por los agricultores.

El libro *Produce tus propias semillas* busca ser una guía práctica para mejoradores, técnicos y facilitadores en los procesos de producir semilla pública mediante procesos más formalizados de mejoramiento colaborativo con agricultores, en particular de los métodos conocidos como mejoramiento participativo y mejoramiento evolutivo. Los agricultores han sido y siguen siendo actores principales en el mejoramiento de los cultivos y en la producción de semilla; mediante las propuestas del doctor Ceccarelli es posible fortalecer la colaboración de técnicos y agricultores para aprovechar este potencial. Este tipo de métodos permitirían la producción de semilla de alta calidad en características y adaptación, y pueden ser importantes en muchos de los cultivos endémicos de nuestro país. En particular, estos métodos son especialmente efectivos cuando las variedades de adaptación amplia no son adecuadas y se requiere atender múltiples microambientes con adaptaciones apropiadas para cada uno de estos. Esperamos que el libro *Produce tus propias semillas*, sea guía e inspiración para que las semillas nativas de los agricultores mexicanos mantengan la importancia que han tenido en nuestra cultura.

— Alicia Mastretta Yanes

Premisa

La disminución en el número y tipos de plantas cultivadas en los campos (agrobiodiversidad), el cambio climático y el hambre en el mundo son tres de los problemas globales que se discuten con mayor frecuencia: los tres problemas están estrechamente relacionados y deberían abordarse conjuntamente a pesar de que a menudo se hace lo contrario. Como veremos más adelante, los puntos de conjunción de estos problemas son las semillas. Las semillas proporcionan gran parte de nuestra alimentación (incluso cuando comemos carnes, de manera indirecta comemos plantas) y la alimentación tiene grandes consecuencias para nuestra salud. Por lo tanto, hablar de semillas significa hablar de nuestra salud.

Cambio climático

Que el clima está cambiando es un hecho aceptado. Tanto así, que ya no se debate si los cambios están ocurriendo o no, sino qué hacer para mitigar el efecto y adaptar los cultivos a un clima que en muchos casos será más seco y cálido, pero sobre todo, más variable. También se ha constatado que el cambio climático tendrá un efecto profundo y directo en los sistemas agrícolas y alimentarios en los próximos años.

Agrobiodiversidad

La agricultura científica e intensiva se ha basado principalmente en el monocultivo y la uniformidad. De las casi 250 000 especies de plantas que se estima que existen en el planeta, aproximadamente 50 000 son comestibles, sin embargo comemos solo 250 de ellas, entre las cuales 15 proporcionan 90% de las calorías en la dieta mundial, y solo 3 —arroz, maíz y trigo— 60%. En estos tres cultivos, el mejoramiento genético —esa ciencia con la cual los investigadores producen nuevas variedades de plantas y nuevas razas de animales domésticos (ver más

adelante)— ha reducido drásticamente la diversidad genética porque ha llenado de plantas iguales todos los campos. Hoy, por ejemplo, en todo el mundo 75% del área cultivada de papa y 65% de cultivo de arroz se basan en solo cuatro variedades; para otros cultivos como maíz, soja y trigo, la situación no es muy diferente.

El monopolio de las semillas

Además de la reducción progresiva de la biodiversidad en los cultivos más importantes, también se ha producido una concentración paulatina del control del mercado de semillas: en 2006 las empresas privadas proporcionaban en todo el mundo 2/3 de las semillas, y entre 1994 y 2009 la proporción del mercado mundial de semillas —en manos de cuatro empresas industriales— ha aumentado de 21% a 54%. En 2009, ocho corporaciones controlaban 63.4% del mercado mundial de las semillas y 74.8% del mercado de los pesticidas y herbicidas. Es difícil pensar que exista interés por parte de las empresas en producir variedades resistentes a enfermedades e insectos si quienes venden semillas, también venden pesticidas, y si quienes venden semillas y pesticidas también producen variedades. Esto ha sido lamentablemente la tendencia de las últimas décadas, con un aumento continuo del mejoramiento genético realizado por las industrias a expensas de empresas de interés público. Sin embargo, los agricultores deben tener siempre en cuenta que el mercado está hecho de oferta y demanda y, en el caso del mercado de semillas, ellos representan la demanda: si dejan de comprar la semilla porque la producen ellos mismos, la oferta se verá obligada a cambiar.

El monopolio de las semillas y el conocimiento campesino

Una de las consecuencias menos visibles de la privatización científica del mejoramiento genético es la falta de reconocimiento y uso del conocimiento campesino y, en consecuencia, su desaparición gradual. Es bueno recordar que la domesticación de cultivos que se inició en el Neolítico (hace unos 10 000 años) —la palabra domesticación supone un proceso gradual por el cual se pasa de las plantas silvestres, que a menudo todavía existen, a las que actualmente se cultivan— y luego durante unos 9 900 años todo el proceso de mejoramiento genético, incluida la producción de semillas y la distribución de cultivos en el mundo, ha estado en manos de campesinos analfabetas. En estos miles de años se configuró lo que se

conoce como el conocimiento campesino basado en una relación cotidiana entre el ser humano, las plantas y los animales con una acumulación de conocimiento día a día, basada en la experiencia física y humana. Hace unos 100 años, lo que hasta entonces habían hecho muchos agricultores en lugares diferentes, comenzó a ser realizado por solo algunos investigadores en relativamente pocos lugares, esto es, en centros de investigación que con el tiempo han llegado a parecerse cada vez menos a la realidad de los campos de los agricultores. Los australianos son muy conscientes de esto porque hoy, incluso después de la privatización del mejoramiento genético, hacen la selección en los campos de los agricultores.

Durante este proceso y, con muy raras excepciones, no se ha hecho ningún uso de ese conocimiento campesino acumulado durante milenios.

Centros de origen de plantas cultivadas (o Centros Vavilov)

Nicolay Ivanovich Vavilov (1887–1943) es considerado por muchos como el Darwin del siglo XX. Mientras Darwin investigó la diversidad de todos los organismos vivos conocidos en su tiempo, Vavilov estudió las plantas cultivadas siguiendo los pasos de Alphonse de Candolle. Vavilov fue un genetista que trabajó en el mejoramiento de plantas en el sentido más amplio, estudió las plantas cultivadas en términos de diversidad y cómo esta diversidad podría ser utilizada en beneficio de la humanidad.

Gracias a numerosas expediciones durante las cuales recolectó gran cantidad de semillas, actualmente conservadas en Leningrado en una de las colecciones de semillas más grandes del mundo, Vavilov identificó ocho centros de origen de las plantas cultivadas según el mayor número de variedades dentro de cada especie presente en las diversas áreas:

I. El Centro Chino —con 138 especies diferentes, de las cuales probablemente las más importantes son cereales como el arroz, granos como el trigo sarraceno y legumbres como la soya.

II a. El Centro Indio (que incluye todo el subcontinente) —con un total de 117 especies, especialmente arroz, mijo y legumbres.

II b. El Centro Indo-Malasio (que incluye Indonesia, Filipinas, etcétera) —con aproximadamente 55 especies con preponderancia de plantas de raíz pero también con especies de frutas, caña de azúcar, especias, etcétera.

III. El Centro Asiático Interno (Tayikistán, Uzbekistán, etcétera) —con alrededor de 42 especies que incluyen granos, centeno, muchas leguminosas herbáceas y frutas.

IV. El Centro de Asia Menor (que incluye Transcaucasia, Irán y Turkmenistán) —con alrededor de 83 especies: granos, centeno, avena, semillas y leguminosas forrajeras, fruta, etcétera.

V. El Centro Mediterráneo —con alrededor de 84 especies: granos, cebada, especies forrajeras, verduras y frutas, y también especias y plantas oleaginosas.

VI. El Centro Abisinio (ahora Etíope), de menor importancia, principalmente un refugio para cultivos provenientes de otras regiones, incluye alrededor de 38 especies, en particular granos y cebadas, granos locales, especias, etcétera.

VII. Centro-Sur de México y América Central —de gran importancia para el maíz, frijol, chile y cucurbitáceas (calabazas), con especias, frutas y plantas textiles en un total de 49 especies.

VIII a. El Centro Andino (Bolivia, Perú, Ecuador) —importante para papas, tubérculos, vegetales, especias y frutas, plantas estimulantes (cocaína, quinina, tabaco, etcétera), que comprende alrededor de 45 especies.

VIII b. El Centro Chileno —con solo cuatro especies—. Este centro se encuentra fuera del área principal de domesticación de cultivos.

VIII c. El Centro Brasil-Paraguay —fuera de los centros principales con solo 13 especies, aunque la yuca y los cacahuates son de considerable importancia. Otros, como la piña, el caucho natural y el cacao probablemente fueron domesticados mucho más tarde.

Algunos conceptos útiles

Biodiversidad

La biodiversidad o diversidad biológica es la variedad de la vida. Este concepto reciente incluye varios niveles de la organización biológica. Abarca a la diversidad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que viven en un espacio determinado, a su variabilidad genética, a los ecosistemas de los cuales forman parte estas especies y a los paisajes o regiones en donde se ubican los ecosistemas. También incluye los procesos ecológicos y evolutivos que se dan en genes, especies, ecosistemas y paisajes.

Agrobiodiversidad

La agrobiodiversidad es la diversidad biológica en todos sus niveles presente en los agroecosistemas; incluye las especies domesticadas, recolectadas, manejadas y sus parientes silvestres que, en su conjunto, constituyen los recursos biológicos para la alimentación, la agricultura y el bienestar humano.

México como centro de origen y diversificación de especies cultivadas

México es el centro de origen o domesticación de más de 130 especies de plantas comestibles. Por su importancia global destacan el maíz, el frijol, la calabaza, el tomate de cáscara, el jitomate, el aguacate, el camote, el cacao, la vainilla y el amaranto.

La milpa y sus semillas

En México, se denomina milpa (del náhuatl *milpan* de *milli* «parcela sembrada» y *pan* «encima de») al sistema agrícola tradicional conformado por un policultivo,

que constituye un espacio dinámico de recursos genéticos. Su especie principal es el maíz, acompañada de diversas especies de frijol, calabazas, chiles, tomates, y muchas otras dependiendo de la región; por ejemplo, a la combinación de maíz-frijol-calabaza se le conoce como «la triada mesoamericana». No existe un solo tipo de milpa; depende de las características de suelo, clima, de las especies disponibles, de las tradiciones y saberes locales, así como de los gustos y necesidades tanto culinarias como alimenticias del campesino. De acuerdo con estas características, cada milpa tiene particularidades propias, por lo que no hay una milpa sino muchas.

Razas de maíz en México

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson y Cutler 1942, Harlan y de Wet 1971, Hernández y Alanís 1970).

De las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y cinco que fueron descritas inicialmente en otras regiones (cubano amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala —nal tel de altura, serrano, negro de Chimaltenango y quicheño—), aunque también se han colectado o reportado en el país.

Germoplasma

Para la agricultura, el germoplasma se refiere al material biológico (vivo) que sirve para la reproducción y propagación de los cultivos (semillas, esquejes, tubérculos, entre otros).

Bancos de germoplasma (o de semillas)

Muchas organizaciones internacionales que reconocen el valor y la importancia de la biodiversidad en general y de la biodiversidad agrícola en particular para el futuro de la humanidad, han promovido y promueven la conservación de variedades locales antiguas y sus ancestros silvestres en instalaciones conocidas como

bancos de semillas o bancos de germoplasma. Se trata de edificios en los que las semillas se almacenan en condiciones de baja temperatura y baja humedad, lo que debería garantizar su germinación durante muchos años. Periódicamente, cada cierto número de años, que varía según la especie y según las condiciones de conservación, estas semillas almacenadas se siembran para obtener semillas rejuvenecidas.

Hay alrededor de 1 700 bancos de germoplasma en todo el mundo con 7 400 000 muestras de semillas. Las colecciones mejor documentadas son las de los Centros de Investigación Internacional (www.cgiar.org) que tienen más de 700 000 muestras, de las cuales casi 60% son variedades antiguas, de más de 3 000 especies diferentes (tabla 1).

Tabla 1. Número de accesiones (muestras) de diferentes cultivos en los bancos de semillas de los Centros Internacionales de Investigación

Centro	Cultivo	Cantidad de muestras
Africa Rice (Benin)	Arroz	20 000
Bioversity (Italia)	Plátano, banana falsa	1 298
CIAT (Colombia)	Frijoles, mandioca, forrajeras tropicales	65 635
CIMMYT (México)	Maíz, trigo	155 129
CIP (Perú)	Papa, papa dulce, tubérculos y tubérculo de los Andes	16 495
ICARDA (Siria)	Leguminosas de grano, trigo, cebada, forrajeras y otros pastos	134 160
ICRAF (Kenia)	Árboles	5 144
ICRISAT (India)	Sorgo, mijo, *Vigna unguiculata* (frijol Castilla) y otras legumbres tropicales	156 313
IITA (Nigeria)	Plátano, falso plátano, maíz, frijol Castilla, yuca, ñame silvestre	28 286
ILRI (Kenia)	Forrajeras tropicales	18 291
IRRI (Filipinas)	Arroz	110 817
	Total	**711 568**

Los bancos de semillas son fundamentales como último recurso en caso de desastre. No obstante, el problema más grave que se crea en estos bancos es que, además de congelar la semilla, también congelan la evolución y el conocimiento.

Hay algunos bancos de germoplasma gestionados directamente por los agricultores. Con todo, es más frecuente encontrar agricultores que dedican parte de su tiempo y recursos a preservar variedades antiguas. En algunos casos, estas personas, también conocidos como agricultores custodios, están organizados en asociaciones.

Variedad

Las variedades son subgrupos dentro de las especies producidas por selección natural o por selección humana con mejoramiento genético. Las variedades suelen distinguirse en variedades modernas (seleccionadas durante los programas de mejoramiento genético realizados por los investigadores) y variedades antiguas o autóctonas (seleccionadas por los agricultores y, en muchos casos, preservadas por ellos mismos). Entre estos dos tipos de variedades generalmente se observan al menos dos diferencias: las variedades modernas son uniformes (tienen pureza genética) [véase «línea pura» a continuación] en comparación con las antiguas y con frecuencia son más vulnerables a los estreses bióticos o climáticos-medioambientales. Las variedades antiguas, formadas por diferentes poblaciones, son heterogéneas genéticamente en comparación con las variedades modernas y esto permite una mejor adaptación a las condiciones más marginales, como suelos difíciles, sequías, entre otras.

Línea pura

Es una variedad en la que todas las plantas son genéticamente idénticas y que produce semillas que continuarán dando las mismas plantas, a menos que efectos ambientales alteren el proceso. Las variedades modernas de cereales (por ejemplo, arroz, trigo, cebada) y un cierto número de legumbres (por ejemplo, lentejas, garbanzos, pero no la alfalfa y el trébol) también son líneas puras.

Clon

Al igual que la línea pura, el clon es una variedad en la que todas las plantas son genéticamente idénticas, pero que, a diferencia de la línea pura, se obtiene por multiplicación vegetativa, es decir, sin reproducción sexual. En general, el clon se obtiene mediante partes de la planta, como rizomas, estolones, brotes adventicios, bulbos, tubérculos, etcétera. La semilla producida por un clon no necesariamente da el mismo tipo de planta. Ejemplos de plantas cultivadas que se propagan por medios vegetativos son fresas, papas, plátanos, árboles frutales, etcétera.

Híbridos F_1

Son variedades obtenidas al cruzar dos líneas puras. Al igual que las líneas puras y los clones, los híbridos F_1 se componen de plantas todas genéticamente idénticas; sin embargo, a diferencia de las líneas puras, las semillas recolectadas en un híbrido F_1 dan plantas muy diferentes (F_2) entre sí por las razones que se verán a continuación. Tenga en cuenta que F representa la generación filial y 1 indica la primera generación filial.

Plantas F_2

Es el conjunto de plantas (población) que se obtiene sembrando la semilla recogida de sembrar un híbrido F_1. A diferencia del híbrido F_1, las plantas F_2 son todas diferentes entre sí. También en este caso, los motivos se analizarán más adelante (consulte el párrafo «Diferencias entre F_1 y F_2»).

Genes y cromosomas

Para explicar la diferencia entre líneas puras e híbridas debemos recordar que los seres vivos como nosotros, las plantas que cultivamos y los animales que criamos, poseemos dentro de nuestras células, y más precisamente en el núcleo de las células, los cromosomas en los que se encuentran los genes que determinan nuestras características.

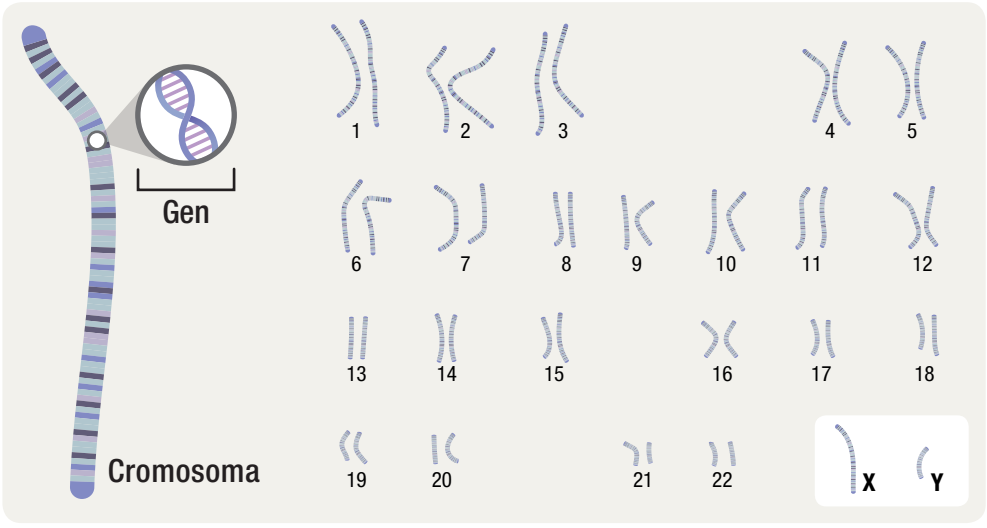

Figura 1. A la izquierda, una representación esquemática de un cromosoma con uno de los muchos genes, y a la derecha una imagen de los 23 pares de cromosomas humanos en la que se puede ver el par de cromosomas XY (abajo a la derecha) que determina el sexo de los individuos: individuos con dos X, es decir XX son mujeres; las personas con una X y una Y, es decir XY, son hombres.

La cantidad de cromosomas es propia de cada especie y es la misma en todos los individuos de la misma especie. Los seres humanos tenemos 46 cromosomas, la cebada 14, el maíz 20, el trigo duro y espelta 28, el trigo blando 42 y así sucesivamente. Cada cromosoma está presente en pares, por lo que también se puede afirmar que tenemos 23 pares de cromosomas, la cebada 7 y el maíz 10, el trigo duro 14 pares y trigo blando 21. Estos pares se separan en el momento de la formación de los gametos (espermatozoides y óvulos en el caso de los animales, y polen y óvulos en las plantas) que, en el caso de los humanos, contendrá 23 cromosomas, uno para cada par. En el momento de la fertilización, la cantidad de cromosomas vuelve a ser el típico de la especie y los descendientes recibirán una copia de cada par de cromosomas, una del padre y una de la madre, con sus respectivos genes. Esto significa que incluso los genes están presentes en pares: así, por ejemplo, tenemos un par de genes (uno sobre un cromosoma y el otro en el otro cromosoma del mismo par) para el color de los ojos y para todos los demás caracteres. Lo mismo sucede en plantas y otros animales.

Volviendo a las líneas puras y los híbridos F_1, la diferencia que se comentó antes se explica por el hecho de que, en líneas puras, en todos los pares de genes, el gen que está en un cromosoma es idéntico al del otro cromosoma; entonces las semillas solo pueden dar plantas idénticas. En el híbrido F_1, por el contrario, en todos los pares de genes, el que está en un cromosoma es diferente al que está en el otro y, por lo tanto, las semillas que se recolectan en un F_1 híbrido, y las plantas que crecerán a partir de estas semillas, tendrán estos genes en muchas combinaciones nuevas y diferentes. A esto volveremos más adelante con la ayuda de una figura.

Genotipo

Es el complejo de las características genéticas de una planta o un animal (altura, longitud de las espigas, peso corporal, producción de leche, entre otras) según lo determinan los genes que posee esa planta o animal. Los genes no son visibles a simple vista y solo la ciencia puede manipularlos directamente en el laboratorio. Sin embargo, al seleccionar las plantas que cruzeremos, trabajamos indirectamente con los genes.

Fenotipo

Es el complejo de las características de una planta o un animal (altura, longitud de las espigas, peso corporal, producción de leche, entre otras) que son visibles para el ojo humano. El fenotipo es el resultado del genotipo modificado por el ambiente en mayor o menor forma. Diferentes entornos (no solo localidades y años, sino también técnicas agronómicas de cultivo) pueden modificar el mismo genotipo para permitir que revele distintas características (fenotipos) en diferentes ambientes y técnicas de cultivo. El fenotipo también está determinado por las relaciones entre los dos genes que controlan el mismo carácter. Por ejemplo, en el caso del color de ojos, una persona con ojos oscuros puede tener cualquiera de los genes del ojo oscuro o uno para ojos oscuros y uno para ojos azules porque el gen del ojo oscuro esconde, prevalece o domina sobre el ojo azul que se llama «recesivo». Esto significa que una persona con los ojos azules necesariamente tiene dos genes para ojos azules, entonces el fenotipo corresponde exactamente con el genotipo, pero también puede tener un padre con los ojos azules y el otro con los ojos oscuros con un gen para ojos azules.

Heredabilidad

Las características físicas de una planta, por ejemplo, la altura o el tamaño de la mazorca, dependen de la composición genética de la planta y su interacción con el medio ambiente. Por ejemplo, una planta bajo condiciones de sequía producirá mazorcas menos grandes que si la misma planta hubiera crecido bajo buenas condiciones. De forma similar, una planta con variación genética asociada a mazorcas grandes producirá mazorcas más grandes que otras plantas que no tengan dicha variación y que estén bajo las mismas condiciones ambientales. Por consiguiente, si las plantas de nuestra parcela son genéticamente diferentes entre sí y pueden estar en condiciones ambientales diferentes (por ejemplo, suelo con más humedad de un lado de la parcela que de otro) existirá variación en las características que nos interesen. A la parte de la variación que depende de las diferencias genéticas se le conoce como heredabilidad. Algunas características tienen una heredabilidad alta, por ejemplo, el color del grano, por lo que su variación depende casi por completo de la diversidad genética, mientras que otras características con una heredabilidad baja son más influenciables por el ambiente.

Mejoramiento genético

El mejoramiento genético es la ciencia —algunos lo consideran como una mezcla de ciencia y arte— que tiene como objetivo producir nuevas variedades de especies cultivadas y nuevas razas de animales domésticos mediante la combinación en un solo individuo de características favorables presentes en diferentes individuos.

El mejoramiento genético funciona sobre todo mediante el control de cruzas (ver más adelante) eligiendo uno o ambos padres para la cruza en función de objetivos específicos (aumento de rendimiento, mejora de calidad, introducción o aumento de resistencia a enfermedades, entre otros).

Con el desarrollo de la genética molecular, el mejoramiento genético ahora puede aprovechar las técnicas que permiten conocer con precisión los genes que poseen los individuos (es decir, su genotipo) en lugar de detenerse únicamente en su apariencia externa (es decir, el fenotipo resultante de los efectos combinados del genotipo y el medio ambiente). De esta forma, es posible elegir padres y, posteriormente, individuos que se obtienen a partir de intersecciones basadas en los genes que poseen, con lo que se aumenta en gran medida la eficacia de

la selección. El mejoramiento genético molecular, que a menudo se incluye en el término genérico de biotecnologías, no es diferente de la convencional porque ambas operan dentro de la especie definida anteriormente sin manipular los genes y sin modificar el ADN.

La reproducción sexual en las plantas: cómo nacen las semillas

En la mayoría de las plantas cultivadas, la reproducción, que es la transición de una generación a otra, tiene lugar por medios sexuales. El proceso es, en su sustancia, similar al de los animales, aunque difiere en su forma.

La primera diferencia es que en los animales la situación más frecuente es que el sexo masculino y femenino están presentes en diferentes individuos (con algunas excepciones, como peces y caracoles). En las plantas, sin embargo, la situación más habitual es que los dos sexos están presentes en la misma planta. Aquí también hay algunas excepciones con la existencia de plantas masculinas y femeninas (espárragos, espinacas, papaya, kiwi, pistache).

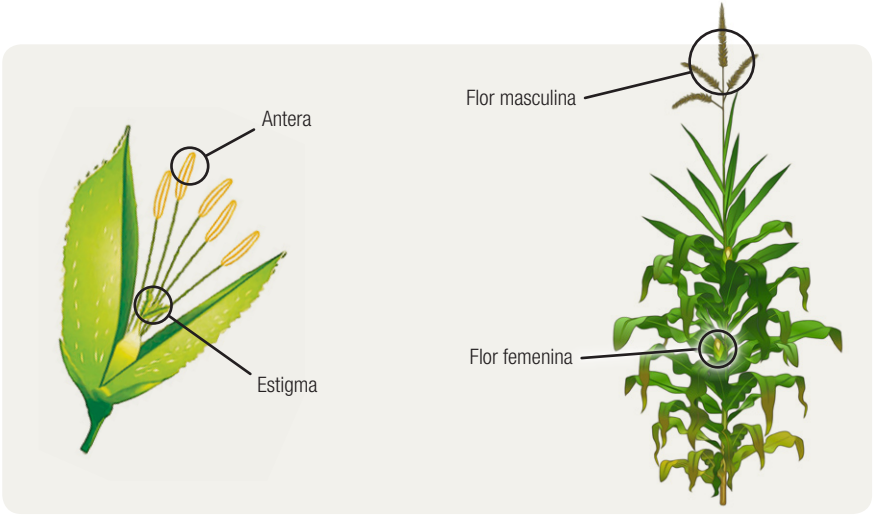

Figura 2. A la izquierda, ejemplo de una flor completa (arroz) con el sexo masculino (antera) y el femenino (estigma). A la derecha, ejemplo de una planta (maíz) con flores separadas masculinas y femeninas.

En las plantas donde el mismo individuo tiene ambos sexos (la mayoría), estos pueden encontrarse en la misma flor (figura 2 a la derecha) o en diferentes flores presentes en diferentes puntos de la misma planta (figura 2 a la izquierda). Entre las plantas cultivadas más importantes, el trigo, el arroz y la cebada, los garbanzos y las lentejas pertenecen al primer tipo, mientras que el maíz pertenece al segundo. En el maíz, la espiga presente en la parte superior de la planta es la parte masculina (se compone de muchas flores y se llama inflorescencia), mientras que el jilote (puede haber más de uno) es la parte femenina y también es una inflorescencia que consta de muchas flores.

En las flores, independientemente de si los sexos están separados o no, el sexo masculino está representado por las anteras, por lo general, pero no siempre; primero de color verde y luego, en la madurez, de color amarillo (en la mayoría de los casos), que producen el polen que aparece como un polvo amarillo compuesto por numerosos granos (células) que se pueden observar con un microscopio simple. El sexo femenino (estigma) es muy variado: desde una pequeña pluma blanca a la base de las anteras (por ejemplo, en cebada y trigo) hasta filamentos de longitud variable como en el maíz y en estructuras más voluminosas.

En los animales, la fecundación ocurre cuando el núcleo, presente en la cabeza del esperma producido por el individuo masculino, se fusiona con el núcleo presente en el óvulo producido por el individuo femenino. La fecundación es seguida por muchas multiplicaciones de la célula obtenida de la fusión y esto conducirá a un nuevo individuo.

En las plantas, el proceso es muy similar. La fecundación ocurre cuando un grano de polen, producido por las anteras que durante la madurez se abren y lo dejan caer, o es transportado por el viento, o por insectos, se asienta sobre el estigma. En este punto germina, produce un túbulo que penetra dentro del estigma trayendo consigo (y esta es una primera diferencia con lo que sucede en los animales), dos núcleos y no solo uno. Uno de estos núcleos se fusiona con un núcleo del óvulo que se encuentra en el fondo del estigma, dando lugar al embrión del que se originará la planta futura. Una segunda diferencia con el mundo animal consiste en que en las plantas se produce, de hecho, una doble fecundación, porque el segundo núcleo del túbulo emitida por el polen se fusiona con otro núcleo del óvulo que da origen a un endospermo, que es la masa de

almidón que rodea al embrión y sirve para nutrirlo hasta que, una vez sembrado y germinado, emita las raíces que le permitirán absorber el agua y los nutrientes del suelo. En los animales como nosotros esto no es necesario porque el embrión se desarrolla en el útero de la madre que lo sostiene hasta el nacimiento.

Diferencias entre plantas autógamas y alógamas

En las plantas, la estructura de las flores determina en gran medida si la polinización y la fecundación ocurren en la misma planta o entre plantas diferentes. En plantas como el trigo, la cebada, el arroz, las lentejas, el garbanzo y muchas otras, donde la estructura de la flor está completa, o sea que presenta sexo masculino y femenino, la polinización y la fecundación tienen lugar dentro de cada flor. Esto se debe al hecho de que la flor permanece cerrada hasta que maduran las anteras (aunque, como se verá, no siempre es 100%) y, por lo tanto, si se forma una semilla, esto necesariamente debe provenir del polen producido por las anteras que cayeron en el estigma de la misma flor. Las plantas que se comportan de esta manera se llaman autógamas. Entonces, si se quiere saber quién es el padre y quién la madre de una semilla de trigo o arroz o cebada, la respuesta es que la planta de la que recolectaste esa semilla es tanto madre como padre.

En plantas en las que las flores masculinas y femeninas están separadas, como el maíz, el polen sale de las anteras maduras y, como es muy liviano, será muy difícil que caiga verticalmente sobre los estigmas que salen de las flores femeninas, además de que las flores masculinas y femeninas no maduran al mismo tiempo, y entonces se dispersan y polinizan los estigmas de las flores femeninas de otras plantas. Se dice que las plantas que se comportan de esta manera son alógamas o de polinización cruzada. Entonces, las semillas que están en la misma mazorca de maíz tienen la misma madre (la planta en la que se recoge la mazorca), pero muchos padres diferentes.

No siempre la estructura de las flores nos muestra si la planta es autógama o alógama. Así, por ejemplo, la alfalfa y el trébol morado tienen flores completas, sin embargo, son de polinización cruzada, principalmente causada por insectos. El haba también tiene flores completas y es en parte alógama. En conclusión, la autogamia rara vez es perfecta: en el trigo, la cebada y el arroz es posible tener un cierto porcentaje, por lo general no más de 5% de polinización cruzada. Esto

depende mucho de la variedad y, sobre todo, de las condiciones ambientales. Más adelante veremos cómo se puede explotar esto a nuestro favor.

Cómo se hacen las cruzas

Hacer una cruza en el mundo vegetal implica decidir quién será el padre y quién la madre de las semillas a sembrar; por lo tanto, es una operación técnica no demasiado complicada que adquiere un significado profundo porque es la base del mejoramiento genético. Si alguien hace las cruzas sin involucrar a los agricultores, está decidiendo qué cultivarán esos agricultores en sus campos y, en consecuencia, qué comeremos. Es importante tomar en cuenta que, para recuperar el control campesino y humano de las semillas, no es esencial hacer cruzas, pero puede ser muy útil.

En los siguientes párrafos no abordaremos el problema de cómo seleccionar a los padres para hacer cruzas, porque esto debería ser evidente en la segunda parte.

Hacer cruzas en especies donde las flores masculinas y femeninas están separadas, como en el maíz, es extremadamente fácil. Una vez elegidas las dos plantas para combinarlas con la fecundación, se inicia cubriendo con una bolsa de papel la flor femenina de la planta que será madre antes de que broten los estigmas (comúnmente llamados cabellos). A esta planta, a menos que se quiera usar como padre en otra cruza, también se le puede quitar la flor masculina. En la planta que será padre, se cubrirá la flor masculina con una bolsa de papel un par de días previos a la cruza; el polen producido por otras plantas, y que puede haberse posado sobre la flor masculina (espiga), no sobrevivirá a la humedad de la noche y entonces se puede estar seguro de que el polen que estará en la bolsa a partir del día siguiente solo pertenecerá a la planta elegida como padre.

Tan pronto como los estigmas de la flor femenina sobresalen desde el final del jilote (esto se puede comprobar examinando la parte más alta de la bolsa de papel), la planta que dará el polen se inclinará ligeramente moviendo la espiga para que el polen se deposite en la parte inferior de la bolsa. En este punto, con gran rapidez para evitar la polinización no controlada, se quita la bolsa que cubre la flor femenina, para reemplazarla por una bolsa llena de polen, con lo que se efectúa la cruza. Si los padres son dos líneas puras, se acaba de crear un híbrido F_1.

En las especies en las que las flores contienen tanto los órganos masculinos como los femeninos, hacer los cruces es más laborioso, y más laborioso aun si las flores son pequeñas.

Como las plantas contienen ambos sexos, para hacer los cruces se necesita obtener una planta femenina mediante la eliminación de los órganos masculinos (emasculación) y luego la polinización de las flores femeninas con polen de otra planta. Las técnicas para hacer todo esto varían mucho según la especie y, por lo tanto, solo se darán los elementos esenciales.

En la planta que será femenina, y en cada flor, se eliminarán por completo las anteras asegurándose de que estén todavía verdes. Si al final de la emasculación quedan dudas, es aconsejable eliminar esa flor en particular porque el polen de una media antera olvidada es suficiente para fertilizar todas las flores de la espiga. Una vez que se ha completado la emasculación en todas las flores de la planta, toda la inflorescencia se cubre con un pequeño saco para evitar que el polen extraño caiga sobre los estigmas. Después de un par de días de la emasculación se puede suponer que la parte femenina está madura; entonces, de la planta seleccionada como macho, se toman anteras maduras (también con detalles técnicos que varían de una especie a otra) con las que se polinizarán los estigmas de las flores de planta femenina. Si la operación se hizo bien, por cada flor se obtendrá una semilla que, si los padres fueran líneas puras, será una semilla F_1.

Diferencias entre F_1 y F_2

La diferencia entre F_1 y F_2 se puede explicar por lo que se ha dicho sobre los genes y los cromosomas. Todos los individuos de un F_1 entre dos líneas puras que, como se definió anteriormente, para cada gen tienen las dos copias iguales, recibirán del padre y de la madre la copia que poseen y, por lo tanto, todas serán iguales, aunque sean profundamente diferentes de los padres porque, para todos los genes por los cuales difieren el padre y la madre, tendrán diferentes copias.

Consideramos dos plantas de maíz e indicamos los cromosomas de la planta masculina en azul y los de la planta hembra en rosa en la figura 3. Como se puede notar, los pares de cromosomas son iguales, y por lo tanto no solo los dos cromosomas que forman un par son iguales entre sí, sino también los genes

que poseen. Así, cuando la planta masculina produce el polen y la femenina los óvulos, no importa cuál de los dos cromosomas de una pareja termina en el polen y en los óvulos; por lo tanto, todos los gránulos de polen serán iguales entre sí, así como todos los óvulos. Entonces solo será posible una combinación, y todas las semillas F_1 y las plantas que se derivan de ellas serán idénticas.

En la figura 3, donde por simplicidad los cromosomas están representados por segmentos coloreados, las plantas masculinas y las femeninas son líneas puras, como se definió anteriormente, y en consecuencia no solo los dos cromosomas que forman un par son iguales entre sí (en la figura 3 se observa esta igualdad en el color y la longitud) sino también los genes que poseen. De este modo, cuando la planta masculina produce el polen y la femenina los óvulos, no importa cuál de los dos cromosomas de una pareja termina en el polen y cuál en los óvulos; así, todos los granos de polen serán, desde el punto de vista de los genes y de los cromosomas que poseen, iguales entre sí como todos los óvulos. Por consiguiente, solo será posible una combinación polen-óvulo y todas las semillas F_1 y las plantas derivadas de ellas serán idénticas.

Ahora veamos qué sucede si recolectamos la semilla en una planta F_1 (por ejemplo, las plantas de un híbrido comercial) y la sembramos obteniendo plantas F_2. El polen y los óvulos producidos por la planta F_1, que recibió la mitad de los cromosomas del padre (los azules) y la otra mitad de la madre (los rosas), siempre recibirán la mitad de los cromosomas, pero cuál será la mitad (todos azules, todos rosas, cuatro azules y tres rosas, dos rosas y cinco azules, etcétera); dependerá exclusivamente del caso. Es decir, los granos de polen y los óvulos producidos por una planta F_1 son de muchos tipos diferentes que a su vez se pueden combinar en el momento de la fecundación de muchas maneras distintas. En consecuencia, las semillas recogidas en una planta F_1 y las plantas de las que derivan estas semillas son todas diferentes. Como se verá más adelante, un fenómeno que a primera vista se considera negativo, en realidad puede ofrecer muchas oportunidades.

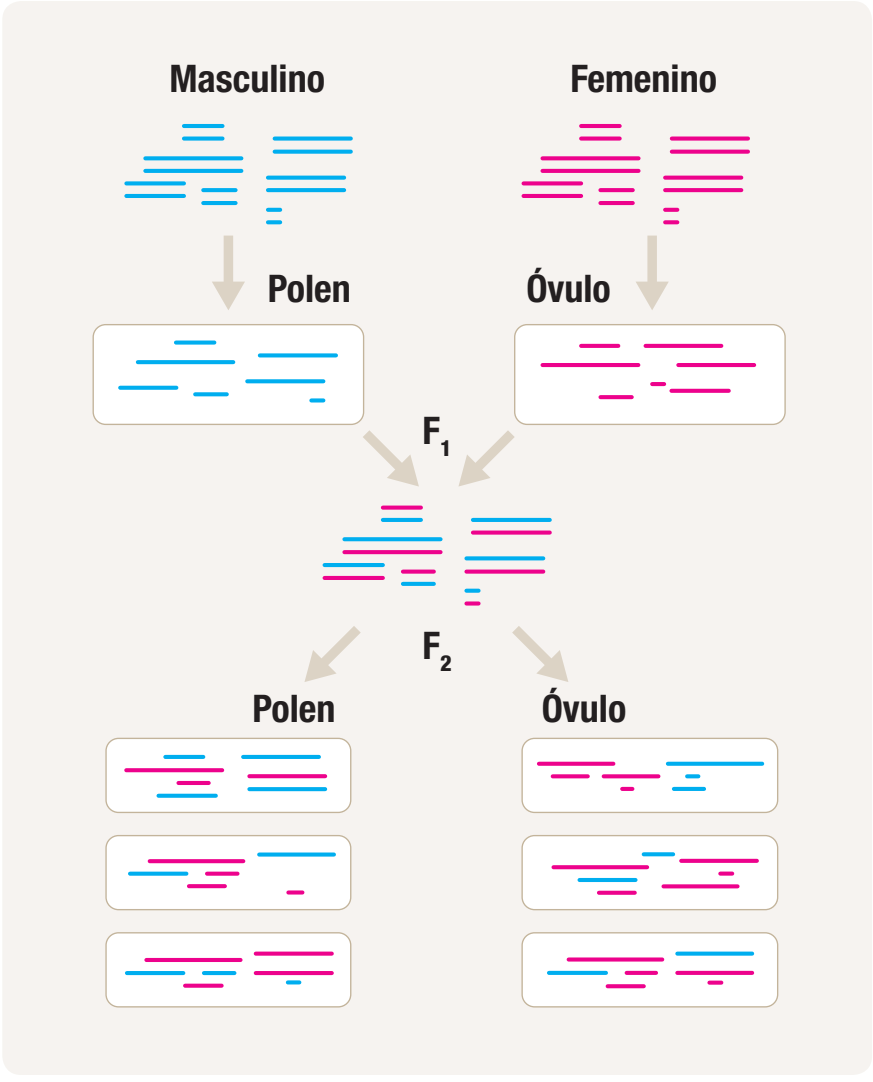

Figura 3. Uniformidad de F_1 y diversidad en F_2

Mejoramiento participativo

El mejoramiento genético participativo es un tipo de mejoramiento genético capaz de aumentar la producción agrícola de empresas individuales sin disminuir (de hecho aumentando) la agrobiodiversidad. Este tipo de mejoramiento genético aprovecha las ventajas de la selección directa en el mismo entorno en el que se cultivará la variedad, tanto con campos convencionales como orgánicos, junto con la participación de los agricultores (hombres y mujeres) en todas las decisiones importantes. Este proceso coloca a los agricultores en el centro de las actividades que conducen a la obtención de nuevas variedades y producción de semillas y difiere mucho del mejoramiento genético convencional que se lleva a cabo en las estaciones de investigación sin la participación de los productores, creando variedades ideales para aumentar las ganancias de corporaciones transnacionales de semillas. El mejoramiento genético participativo responde a una de las recomendaciones del informe de las Naciones Unidas sobre el derecho a la alimentación, en lo especifico en la página 22, donde dice literalmente: «poner a los agricultores en el centro de investigación a través de esquemas de investigación participativa como el mejoramiento genético participativo». También responde al Artículo 6 del Tratado Internacional sobre los Recursos genéticos para la Alimentación y la Agricultura donde, en la página 7, dice: «promover iniciativas de mejoramiento genético que, con la participación de los agricultores, especialmente en los países en desarrollo, refuercen la capacidad de producir variedades adaptadas, en particular, a las condiciones sociales, económicas y ecológicas, incluidas las zonas marginales».

Donde se ha usado el mejoramiento genético participativo, se ha tenido éxito en aumentar la producción agrícola y en responder a las necesidades de los agricultores en ambientes marginales. Las comparaciones económicas entre los programas de mejoramiento genético convencionales y participativos muestran que la relación costo-beneficio es casi cuatro veces mayor en los programas participativos.

Un programa de mejoramiento genético se define como participativo cuando la selección se lleva a cabo en los campos de los agricultores y con su participación. Esta definición incluye la selección participativa de variedades que consiste en evaluar una pequeña cantidad de variedades (generalmente menos de 10) en los campos de los agricultores con su participación.

La principal diferencia entre el mejoramiento genético participativo y el convencional es que este último es un proceso en el cual las prioridades, los objetivos y las metodologías son decididos por uno o más investigadores sin la participación de los agricultores, mientras que en la primera las opiniones de los agricultores y de los investigadores tienen el mismo peso.

Antes de profundizar en el mejoramiento genético participativo, vale la pena recordar que, durante milenios, los agricultores han realizado mejoras genéticas de forma independiente los unos de los otros con la inevitable consecuencia de que se seleccionaba para una adaptación específica a su entorno (clima, suelo, prácticas agronómicas, entre otras) y para el uso que hacían del cultivo; a menudo eligieron más de una variedad y, ciertamente, cada agricultor seleccionaba diferentes variedades. De esta manera, se originaron lo que llamamos variedades antiguas, o variedades locales, o variedades nativas, o tipos locales. Estos, además de ser diferentes de un lugar a otro, también eran diferentes entre sí en el sentido de que, a diferencia de las variedades modernas, las plantas de una variedad local no son iguales entre sí.

Durante los milenios en los que los agricultores han mejorado genéticamente las plantas, también se ha acumulado una inmensa cantidad de conocimiento (conocimientos campesinos), una forma de ciencia oral, viva, que no está escrita, que ha sido casi completamente ignorada por la ciencia convencional y que aún se puede documentar en muchos países.

Con el desarrollo de la genética y del mejoramiento genético moderno, lo que hasta entonces hicieron los agricultores, comenzó a ser realizado por los investigadores, en un principio en los campos agrícolas (Volkart, 1928), y luego en las estaciones experimentales. Por lo tanto, lo que hasta entonces había sido hecho de manera autónoma por muchas personas (agricultores) en muchos lugares diferentes, comenzó a ser realizado por relativamente pocas personas (investigadores)

en relativamente pocos lugares (estaciones experimentales e institutos de investigación), que con el tiempo han llegado a parecerse entre sí y poco a poco se parecen cada vez menos a los campos de los agricultores, particularmente a los de los ambientes más marginales.

La investigación participativa es una colaboración dinámica (porque evoluciona a lo largo del tiempo) entre las instituciones que hacen mejoramiento genético, tanto nacionales como internacionales, y los agricultores. La colaboración se basa en las ventajas de los socios, que con el tiempo pueden cambiar, porque obviamente los socios cambian justo en virtud de esta colaboración.

Por lo tanto, los agricultores tienen la oportunidad de tomar decisiones clave sobre una amplia gama de aspectos del programa, que incluyen, por ejemplo, cuáles son las características importantes, qué tipo de germoplasma y, en algunos casos, incluso hacen sus propias cruzas.

En la fase preparatoria de un programa participativo es importante garantizar que la participación sea lo más amplia posible, de modo que incluso aquellos tradicionalmente excluidos de este proceso (mujeres y ancianos) puedan expresar su opinión.

Una vez que se ha decidido la estructura de los experimentos (número de variedades, tamaño de las parcelas, diseño experimental, etcétera) los agricultores seleccionan en sus campos, dependiendo de la tierra disponible y el tiempo que pueden dedicar a la selección, los sitios donde los investigadores sembrarán experimentos con 50, 100, 200 nuevas variedades.

La primera elección de los agricultores se realiza en el campo, es visual y consiste en expresar, en forma numérica, una opinión sobre cada variedad en el experimento (figura 4). En los mismos experimentos, los investigadores miden una serie de caracteres (por ejemplo, la altura de las plantas, la longitud de la espiga, el tamaño de la semilla, entre otras) que los agricultores consideran importantes (en diferentes países y en diferentes culturas los caracteres son diversos).

Todos estos datos se analizan con métodos estadísticos rigurosos y los resultados se tabulan en formularios y gráficas accesibles para los agricultores; en reuniones

especiales —y esta es la segunda selección (figura 5)— los agricultores consultan los resultados y, sobre la base de lo que han visto en el campo y con base en los resultados numéricos, deciden libremente qué variedades elegir y cuáles descartar.

Las variedades seleccionadas se siembran el año siguiente y el proceso se repite durante cuatro años; al final de este periodo en cada comunidad hay solo de dos a cinco variedades que son generalmente diferentes de una comunidad a otra. Cada ciclo de selección dura cuatro años para asegurarse de encontrar variedades capaces de satisfacer a los agricultores cada año. Muchos de los entornos donde estos programas están en progreso se caracterizan por una considerable variabilidad climática de año en año, y si se intentara hacerlo más rápido se correría el riesgo de seleccionar variedades que producen bien un año pero muy mal el año siguiente.

Figura 4. A la izquierda, una prueba de campo con 80 variedades de cebada, y a la derecha, un grupo de agricultores mientras se evalúa cada una de las parcelas.

Desde un punto de vista científico, un programa de mejoramiento genético participativo es exactamente lo mismo que un programa convencional, con tres diferencias: los experimentos se llevan a cabo en los campos de los agricultores, en lugar de hacerlo en estaciones experimentales; las decisiones son tomadas conjuntamente por agricultores e investigadores; el proceso puede replicarse indefinidamente, según los recursos disponibles. El último aspecto, la replicación del programa en diferentes pueblos es similar al mejoramiento genético convencional, se conoce como comparaciones varietales en muchos entornos. La diferencia es que en este último solo se seleccionan variedades que dan buenos resultados

Figura 5. La selección final.

en muchos lugares (según los investigadores), mientras que en un programa participativo la selección se realiza de forma independiente en cada pueblo sin considerar los resultados que las variedades aportan en otros pueblos.

La participación de las mujeres, que en algunos casos es espontánea e independiente de la religión, es de fundamental importancia porque a menudo, especialmente en los países en desarrollo, las mujeres tienen un profundo conocimiento de los procesos de producción, tradicionalmente participan en la preparación de alimentos y a menudo tienen la última palabra cuando se trata de introducir nuevas variedades de especies que proporcionan alimentos, frecuentemente cultivan directamente las especies (al menos algunas) que proporcionan alimentos (a veces incluso para la venta) y en los países pobres son las más desposeídas entre los desposeídos y, por lo común, con mayores limitaciones que los hombres en el acceso a la educación y la información.

El método es flexible; se puede adaptar a diferentes tipos de agricultura —la agricultura orgánica está considerando este método con particular interés— y producir diferentes tipos de variedades. Ya se han registrado resultados notables de tipos varietales, porque hemos comenzado a encontrar variedades que se adaptan a lugares con condiciones difíciles.

Donde se ha practicado el mejoramiento genético participativo ha habido un gran efecto en términos de aumento de la agrobiodiversidad porque incluso en el mismo país en donde se siembran las mismas (por ejemplo, 100) variedades de trigo, se seleccionarán diferentes variedades en diversas localidades debido a las diferencias en el clima, el suelo, las prácticas agronómicas y las preferencias de los agricultores. Esta es la biodiversidad en el espacio: dado que el proceso de selección participativa es continuo, los agricultores tienen la posibilidad, en un corto tiempo, de identificar nuevas variedades, mejores que las seleccionadas unos años antes: de este modo, también se crea una biodiversidad notable en el espacio. Es por lo tanto un proceso muy dinámico de reposición varietal capaz de responder con rapidez a las necesidades de nuevas variedades, que crea un entorno muy difícil para enfermedades e insectos y que, proyectado en el tiempo, permite a los agricultores encontrar variedades adaptadas al clima del futuro.

Finalmente, el efecto humano de la selección participativa no debe subestimarse: los agricultores han adquirido un nuevo sentido de orgullo: sienten que su conocimiento comienza a ser reconocido y apreciado, y esto ha sido particularmente evidente en una Conferencia de Agricultores (www.icarda.org) que organizamos en Siria en 2008, en el que los ponentes fueron agricultores que pudieron expresar sus sentimientos y opiniones sobre el trabajo realizado de la manera descrita anteriormente.

Mejoramiento evolutivo

El método de selección participativa presentado hasta ahora, a pesar de haber registrado éxitos considerables, tiene una limitación en el hecho de que presupone la presencia de un instituto de investigación que acepte esta filosofía de investigación y que suministre con continuidad el material genético de partida.

La necesidad de superar esta limitación, combinada con la de encontrar soluciones rápidas y económicas al problema de la adaptación de los cultivos al cambio climático, nos llevó a combinar la participación y la evolución repasando el concepto de mejoramiento genético evolutivo propuesto en 1956 por el investigador estadounidense Suneson y casi nunca practicado.

El método consiste en crear enormes mezclas, ya sea combinando cruzas o variedades antiguas o variedades viejas y nuevas (la composición de la mezcla se discute con los agricultores) y dejando que estas mezclas evolucionen en las condiciones en las que el agricultor desea cultivar variedades futuras: en un sistema orgánico, en un sistema convencional, en ambientes áridos, en suelos de baja fertilidad, etcétera (Phillips y Wolfe 2005; Ceccarelli *et al.*, 2010).

En la práctica, en 2008 se estableció una población mezclando 1600 cruzas diferentes de cebada. Esta población se ha sembrado en 20 campos en cinco países diferentes (Argelia, Siria, Jordania, Eritrea e Irán), y ahora se cultiva en ocho regiones italianas. La indicación que hemos dado a los agricultores ha sido: «No tengan miedo de sembrar estas mezclas en los lugares más difíciles, porque si muere todo significa que no tenemos el material adecuado para esas condiciones y reanudamos de nuevo con una nueva población». Los agricultores que sembraron y observaron esta población estaban muy satisfechos, ya que nunca había visto tanta diversidad en tan poco espacio.

La selección natural actúa sobre una población modificando en forma gradual y continua lo que será una fuente de nuevos tipos progresivamente mejor adaptados. En 2009 se estableció una población de trigo duro mezclando más de 700 cruzas diferentes y en 2010 se estableció una población de trigo blando. También estas mezclas se cultivan en diversas regiones italianas.

Los resultados de varios experimentos realizados con trigo han demostrado que algunas características de producción, como la de grano, la cantidad de semillas por planta y el peso de las espigas, aumentan en estas mezclas a lo largo del tiempo debido a la selección natural. Sin embargo, los agricultores deben ser conscientes de que la selección natural no puede mejorar la calidad, por ejemplo, la calidad del pan o la calidad de la malta, al menos como están definidos industrialmente. Por lo tanto, si la calidad es importante, todos los componentes de la mezcla (ver a continuación) ya deberían tener la calidad deseada.

La tasa de adaptación o el potencial evolutivo de la población depende del sistema de polinización del cultivo (es más rápido en las especies de polinización cruzada que en las de autopolinización) y de la naturaleza genética del material de partida (cruces con líneas puras).

Cómo constituir una población evolutiva

Las poblaciones evolutivas se pueden constituir de varias maneras. La situación ideal es contar con el apoyo de un instituto público de investigación (universidad o ministerio de agricultura): en este caso, los agricultores pueden solicitar una mezcla de un gran número de F_1 o F_2 obtenidos a partir de programas de mejoramiento genético de cultivos autopolinizantes como el trigo, el arroz o la cebada, en el caso de los cereales, y las lentejas y los garbanzos, en el caso de las leguminosas. En el caso de las especies de polinización cruzada, los agricultores pueden mezclar una gran cantidad de líneas de selección o poblaciones donadas por el instituto de investigación.

Si los agricultores no cuentan con el apoyo de un instituto de investigación, pueden comprar la semilla de tantas variedades diferentes como sea posible en el mercado o en otras compañías, incluidos los híbridos comerciales, mezclar y sembrar la mezcla de semillas en al menos 400 m^2 a 500 m^2. En el caso de

cultivos autopolinizantes, la evolución de la población se basa en el pequeño porcentaje de polinización cruzada que también ocurre en estos cultivos. En el caso de cultivos hortícolas que se autofecundan, pero en los que los híbridos F_1 están comercialmente disponibles, como el jitomate, es aconsejable mezclar las semillas de todos los híbridos disponibles en el mercado; si la mezcla se siembra en un invernadero, se puede fomentar la polinización cruzada mediante la introducción de abejorros. El maíz y el sorgo son un ejemplo de cultivos ideales para practicar el mejoramiento genético evolutivo.

Una vez que se ha formado una población evolutiva, hay varios modos de utilizarla por los agricultores, ya sea solos o en colaboración con los investigadores.

Cómo se puede usar una población evolutiva

La población evolutiva para un cultivo normal

La forma más simple y económica de usar una población evolutiva es sembrarla y recolectarla en el mismo lugar (figura 6 y figura 7, ruta 1) sin ninguna intervención. La población se planta como un cultivo normal y la cosecha se convierte en la cosecha del agricultor.

Si la población se siembra en lugares afectados por uno o más estreses (sequía, enfermedad, heladas, baja fertilidad), la población se adaptará progresivamente a estos. Lo mismo es cierto si se cultiva de forma orgánica.

Una vez que el agricultor haya satisfecho su necesidad de semilla para sembrar la siguiente temporada, para alimentar al ganado, etcétera, puede donar o vender una parte de la semilla a uno o más vecinos que puedan comenzar a utilizar su población evolutiva de la misma manera o de otras maneras (ver abajo).

Una sugerencia: en cada ciclo, el agricultor debería conservar (preferiblemente en un lugar seco y fresco y protegido de insectos y roedores) una parte de las semillas (al menos 4 kg o 5 kg). En caso de eventos que luego de un cierto número de años de evolución pueden causar la pérdida total de la población, el uso de semilla preservada evitará perder todos los beneficios de la adaptación acumulada en años anteriores y retroceder solo un año.

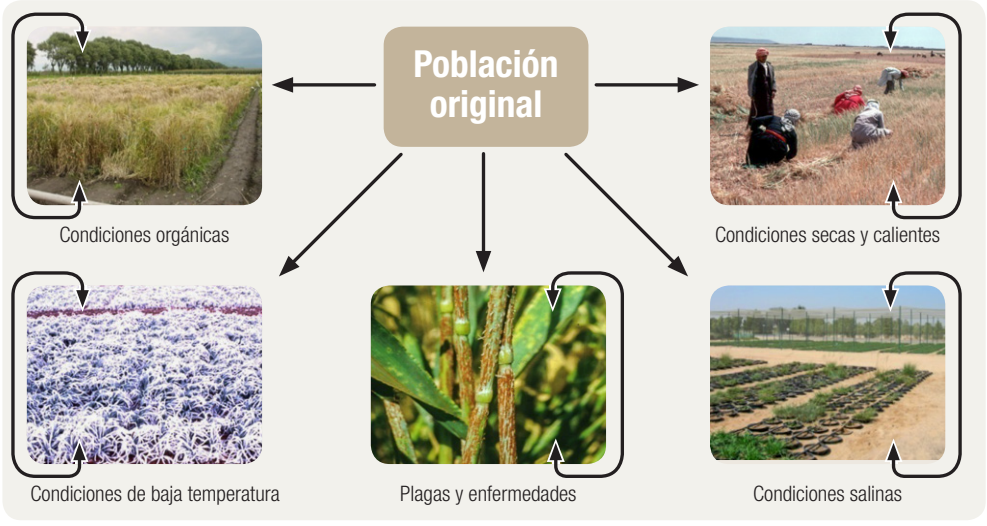

Figura 6. La población evolutiva es cultivada y cosechada por los agricultores en muchas situaciones distintas (solo cinco se muestran aquí como ejemplo). Durante el proceso, los agricultores pueden compartir una parte de la semilla con otros agricultores que sembrarán la población en sus propias condiciones.

Selección dentro de la población evolutiva

El investigador y los agricultores (hombres y mujeres) pueden superponer a la selección natural, la selección artificial, es decir, la hecha por ellos mismos con criterios que pueden variar de un lugar a otro y, en el mismo lugar, con el tiempo. Mientras la población está evolucionando se pueden obtener líneas o subpoblaciones recolectando espigas, mazorcas de maíz, etcétera, dependiendo del cultivo. Las líneas o subpoblaciones se pueden introducir como líneas puras (en el caso de especies con autopolinización), clones (en el presente caso, para propagación vegetativa) o poblaciones (en el caso de especies de polinización cruzada) en los programas de mejoramiento participativos. O pueden usarse como mezclas de múltiples líneas, o una submuestra de la población puede usarse directamente para el cultivo. El aspecto fundamental del método es que, mientras que las líneas se extraen de forma continua, la población se deja evolucionar durante un periodo indefinido de tiempo, por lo que se vuelve una fuente única de material genético gradualmente mejor adaptado; y este tesoro está siempre en manos de los campesinos.

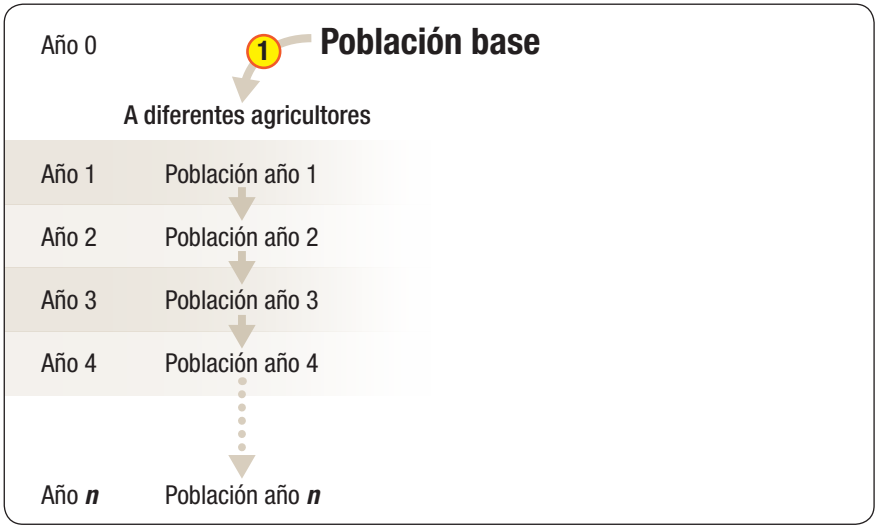

Figura 7. La población evolutiva es cultivada y cosechada por cada agricultor en su parcela y con las técnicas que considere apropiadas. Durante el proceso, el agricultor individual puede compartir una parte de la semilla con otros agricultores que sembrarán la población en sus propias condiciones.

Selección de espigas

Si se considera que la población evolutiva es una fuente de material para seleccionar, se debe sembrar en un campo, elegido de acuerdo con los criterios discutidos previamente: con carriles (pasillos) para caminar dentro del campo sin dañar el cultivo y permitir la misma probabilidad de selección de las espigas por parte de cualquier planta en la población, independientemente de su ubicación (figura 8).

También es útil intercalar ocasionalmente una variedad bien conocida (las franjas cafés en la figura 8) para obtener una referencia para la selección.

Selección estratificada

Para minimizar los errores de selección causados por las diferencias ambientales, la selección debe hacerse considerando el campo como una cuadrícula de cuadrantes y seleccionando las mejores espigas de cada cuadrante. De esta forma se evitará el riesgo de seleccionar todas las espigas de esa parte del campo donde, por ejemplo, el suelo es más fértil o más profundo. El tamaño y el número

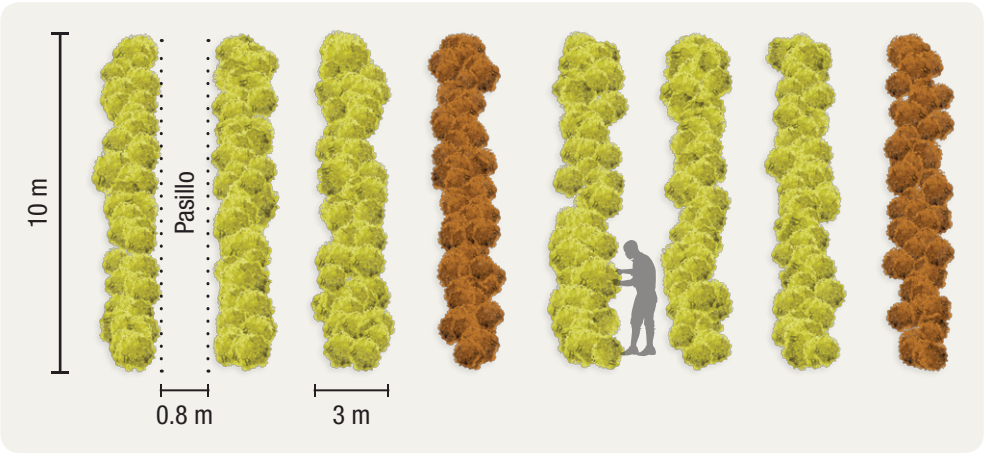

Figura 8. La población evolutiva se siembra en franjas (las distancias propuestas aquí son válidas en el caso de los cultivos de cereales como la cebada, el trigo y el arroz). Los campesinos e investigadores pueden caminar en los pasillos de 80 cm y llegar a las espigas o las mazorcas que pretenden seleccionar dentro de la franja de 3 m sin dañar el cultivo. Las franjas cafés se siembran con otra variedad de referencia.

de cuadrantes depende de la variabilidad del terreno; en general, cuanto mayor sea la variabilidad en el campo, mayor será el número de cuadrantes y menor será su tamaño.

La cantidad de espigas que se cosecharán en cada cuadrante depende del tamaño del cuadrante y de la cantidad de semilla que el agricultor desee utilizar para comenzar una nueva subpoblación. La siguiente sección proporciona pautas sobre este tema.

Las espigas seleccionadas pueden usarse en una de las siguientes maneras:

Selección de espigas y cultivo de espigas-hilera (figura 9, rutas 2–3 o 2–4)

1. Las espigas seleccionadas se trillan individualmente y la semilla de cada espiga se siembra por separado en una hilera. Esto lo pueden hacer los investigadores en su estación de investigación o preferiblemente el agricultor. Si las

hileras se siembran en la estación de investigación, solo se deben multiplicar sin realizar ninguna selección que deba hacerse en el campo del agricultor.

2. Si las hileras son sembradas por los campesinos, deben sembrarse bajo las mismas condiciones de estrés (por ejemplo, ausencia de fertilización, riego reducido, agricultura orgánica), en las cuales han sido seleccionadas para continuar la selección.

3. Seleccione las mejores hileras.

4. La semilla recolectada en las hileras seleccionadas se puede usar de dos maneras diferentes (figura 9 rutas 3 y 4).

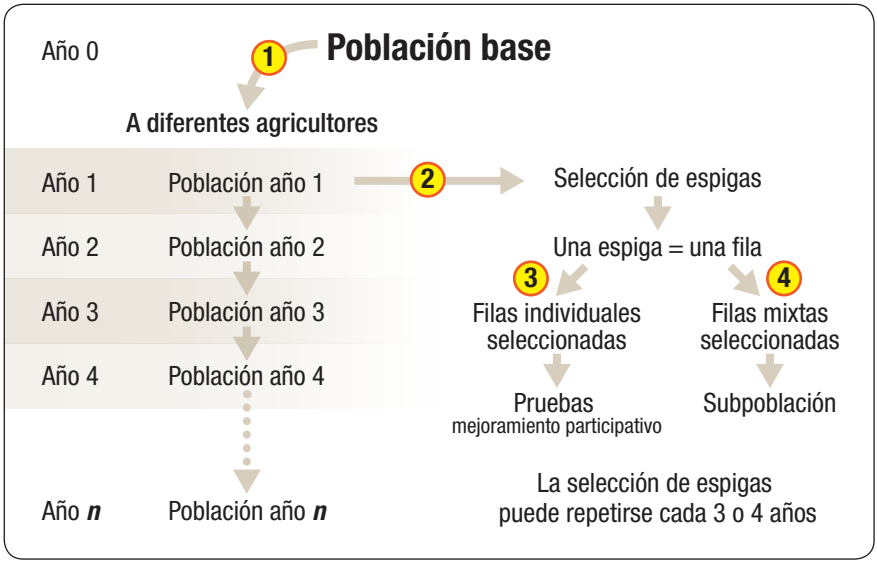

Figura 9. Selección de espigas o plantas de una población evolutiva en un cultivo de cereal: la ruta 1 se ha descrito en la figura 7. La ruta 2 ilustra la selección de espigas individuales (o mazorcas o plantas) que pueden seguirse desde la siembra de hileras individuales (rutas 3 y 4). Tenga en cuenta que la ruta 1 debe hacerse siempre para permitir que la población evolucione.

Selección de espigas para el programa participativo
(figura 9, ruta 2–3)

De acuerdo con la ruta 3, la semilla recolectada en las mejores hileras se siembra en pequeñas parcelas y se somete a nuevas selecciones de acuerdo con el esquema de mejoramiento participativo descrito anteriormente. La semilla producida por las pequeñas parcelas debe ser en cantidad suficiente para iniciar un experimento tal como se muestra en la figura 4, en el sentido de que cada fila seleccionada se convertirá en una sola parcela en ese experimento. La ruta 2–3 se puede repetir cada año, lo que lleva a una situación en la que, si un grupo de agricultores decidió llevar a cabo este trabajo en conjunto, algunos tendrán las hileras en su campo, otros agricultores tendrán parcelas pequeñas y otras personas tendrán los experimentos de mejoramiento participativo. Si todo esto se considera difícil de manejar, un nuevo ciclo de selección de espigas puede ser iniciado cuando el material derivado del ciclo anterior ha alcanzado la etapa final, en la cual ha producido una nueva variedad.

La semilla de las hileras seleccionadas, en lugar de sembrarse en pequeñas parcelas, se puede mezclar para formar una subpoblación que, en el caso que no sea necesaria una gran uniformidad, puede convertirse en la variedad. Tenga en cuenta que esta variedad puede ser reemplazada por una nueva, mejor o simplemente diferente, cada 3 o 4 años. También es posible mantener una gama de diferentes variedades al mismo tiempo.

Selección de espigas para crear subpoblaciones
(figura 10, rutas 2–4 o 2–5)

Alternativamente, las espigas individuales pueden mezclarse después de la cosecha, trillarse juntas y la semilla que se obtiene puede sembrarse como una subpoblación que se considerará como se describió antes.

Las rutas 2–3, 2–4 y 2–5 representan diferentes métodos para acelerar el proceso de adaptación. Las rutas 2–3 y 2–4 deberían ser más efectivas porque la selección se basa en familias y no en plantas individuales.

Es esencial mantener siempre al menos 400 m^2 o 500 m^2 de la población evolutiva que tiene una base genética mucho más amplia y, por lo tanto, un mayor potencial evolutivo.

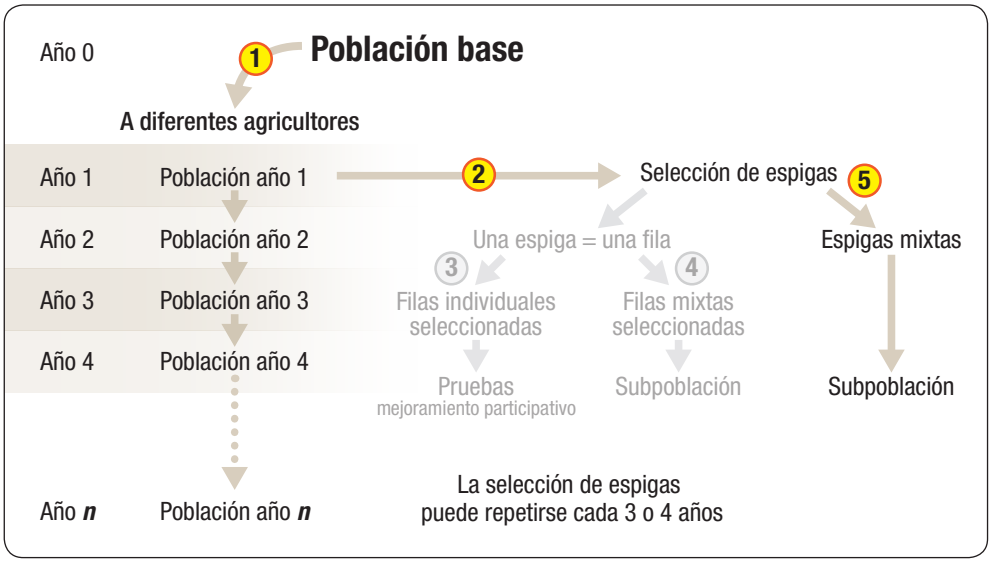

Figura 10. Selección de espigas o plantas de una población evolutiva en un cultivo de cereal: el camino 1 se ha descrito en la figura 6. El camino 2–5 ilustra la selección de espigas individuales (o mazorcas o plantas) que pueden mezclarse para que constituyan una subpoblación mejorada.

Conclusiones

En 1908, Herbert J. Webber escribió *Plant-breeding for farmers (Mejoramiento de plantas por agricultores)*, en el *Cornell University Bulletin*, núm. 251 de la Estación Experimental de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Cornell (Ithaca, N.Y., EE. UU.). En la primera página escribe: «Ningún agricultor es tan pobre, que no puede permitirse una pequeña parcela para mejorar el maíz, el trigo o las papas. De hecho, se puede decir que ningún agricultor puede permitirse no tener una parcela para producir su propia semilla de diferentes cultivos». [1]

En el Artículo 27 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos leemos: «Toda persona tiene derecho a la protección de los intereses morales y materiales derivados de toda producción científica, literaria y artística de la que sea autor». [2] Esto significa que las leyes que prohíben a los agricultores vender las semillas resultantes de su selección y obtener ganancias, van en contra de los derechos humanos.

Lo que hemos descrito en este manual no es solo una forma simple y económica para que cada campesino / campesina produzca su semilla, sino también para producir semilla de un cultivo que esté en armonía con el medio ambiente, que no requiera pesticidas porque las mezclas sean muy resistentes a plagas y enfermedades en virtud de su heterogeneidad, y eventualmente se adaptan paso a paso a los cambios climáticos y cualquier otra innovación agronómica que el agricultor desee introducir en su campo.

---

[1] Webber, H. J. «Plant-breeding for farmers», en *Cornell University Bulletin*, núm. 251, 1908, pp. 289–332.

[2] Fuglie, K. O., Heisey, P. W., King, J. L., Pray, C. E., Day-Rubenstein, K., Schimmelpfennig, D., Wang, S. L., Karmarkar-Deshmukh, R., *Research investments and market structure in the food processing, agricultural input, and biofuel industries worldwide*, Economic Research Report 130. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, diciembre de 2011.

Referencias

Anderson, E. y H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays* I. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden* 29:69–88

Brown, M. E. y Funk, C. C., «Food security under climate change», en *Science*, vol. 319, 1 de febrero de 2008, pp. 580–581

Ceccarelli, S., «Selection methods. Part 1: Organizational aspects of a plant breeding programme», en Ceccarelli, S. Guimaraes, E.P. y Weltzien, E. (eds.), *Plant breeding and farmer participation*, Roma, FAO, 2009, pp. 195–273

Ceccarelli, S., Grando S., Maatougui M., Michael Slash M., Haghparast R., Rahmanian, M., Taheri A., Al-yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Mimoun H. and Nachit M., «Plant breeding and climate changes», en *Journal of Agricultural Science*, vol. 148, núm. 6, diciembre de 2010, pp. 627–637

De Shutter, O., *The right to food: seed policies and the right to food: enhancing agrobiodiversity and encouraging innovation*. The interim report of the special rapporteur on the right to food, 23 de julio de 2009, disponible en http://bit.ly/2PcFGtR (Consulta: 4 de octubre de 2018).

FAO, *International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*, Roma, FAO, 2009.

Fuglie, K. O., Heisey, P. W., King, J. L., Pray, C. E., Day-Rubenstein, K., Schimmelpfennig, D., Wang, S. L., Karmarkar-Deshmukh, R., *Research investments and market structure in the food processing, agricultural input, and biofuel industries worldwide*, Economic Research Report 130. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, diciembre de 2011.

Harlan, J. R. y J. M. J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20 (4):509–517

Hernández, X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticos y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3–30

Suneson, C. A. «An evolutionary plant breeding method», en *Agronomy Journal*, vol. 48, núm. 4, abril de 1956, pp. 188–191

Webber, H. J. «Plant-breeding for farmers», en *Cornell University Bulletin*, núm. 251, 1908, pp. 289–332

Notas

Nos hemos acostumbrado tanto a una situación en la que predomina lo técnico y científico, que lo convencional es creer que las únicas semillas valiosas son las que producen las compañías comerciales o los científicos en instituciones. Sin embargo, esta es una idea errónea que no se sostiene empíricamente.

En este libro se ofrece una guía para hacer más efectivo el proceso de generar semillas mediante la colaboración entre técnicos y agricultores. En muchos ambientes los agricultores producen adecuadamente sus propias semillas; con todo, desde la ciencia se pueden hacer sugerencias para mejorar el proceso de selección de semillas y así aumentar su efectividad. Así, este libro busca ser una guía práctica para que las y los mejoradores, técnicos, facilitadores y estudiantes puedan compartir con las y los agricultores qué son las semillas y cómo pueden producirse aquellas que darán el tipo de plantas que mejor se adaptan a sus condiciones actuales y futuras.

View publication stats