

TRIGO HIBRIDO

Poderosa Arma Contra el Hambre Mundial

PARTE II—INVESTIGACION

Los genetistas han desarrollado técnicas ingeniosas para alterar el equilibrio entre genes defectivos y correctivos, separar sus sistemas y producir los progenitores del trigo realmente híbrido

Por Ricardo Rodríguez, Ing. Agr.¹,
Marco A. Quiñones, Ing. Agr.¹,
Norman E. Borlaug, Ph. D.²,
e Ignacio Narváez, Ph. D.²

¹Miembros del Departamento de Cereales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Gobierno de México.

²Miembros del personal del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo—una dependencia mancomunada de la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Gobierno de México y de la Fundación Rockefeller.

ILUSTRACIONES: Cortesía del Programa Internacional Cooperativo de la Fundación Rockefeller Para el Mejoramiento de la Alimentación.



* 6 0 3 6 3 2 *

■ SI SE TIENE en cuenta la importancia económica de la esterilidad citoplásmica masculina y de los sistemas restauradores de la fertilidad del polen que se utilizan en la producción de híbridos comerciales de maíz y sorgo, es sorprendente lo muy poco que se conoce de su naturaleza y modo de acción fundamentales. A continuación se describe la mejor hipótesis que puede hacerse para explicar este sistema.

Naturaleza de la Esterilidad Masculina Citoplásmica y Sistema Restaurador del Polen en las Plantas de Cultivo Autopolinizadas:

Según parece, en las plantas de trigo la producción de anteras normales y de polen fértil resulta de la armonía y equilibrio que existen entre los genes cromosómicos (las unidades hereditarias, v.g., transmisoras de la herencia, dispuestas en orden lineal en los cromosomas filiformes del núcleo) y entre

los genes “no cromosómicos”, de los cuales muy poco es lo que se conoce y los que están situados en el citoplasma afuera del núcleo. Cuando estos dos sistemas independientes pero interactuantes se hallan en equilibrio y balance las anteras se desarrollan con normalidad y se produce polen fértil, lo cual resulta en la producción de semilla normal. Al parecer, en ciertos trigos existen “genes no cromosómicos defectivos o mutantes” que impiden la producción de anteras y polen normales. Sin embargo, si los correspondientes genes correctivos y dominantes restauradores de la fertilidad se hallan presentes en los cromosomas del núcleo, el efecto adverso de los “genes defectivos no cromosómicos” no se expresa y la planta produce anteras y polen normales. Es asombroso que tales “genes no cromosómicos” afecten de modo adverso sólo el desarrollo de anteras y polen, pues ellos no afectan



Espiga de trigo estéril. En años recientes los genetistas han desarrollado técnicas para alterar la armonía existente entre los "genes no cromosómicos" citoplásmicos defectuosos y los genes cromosómicos correctivos y para separar los sistemas correspondientes por medio de cruza y retrocruzas.

Línea masculina estéril de Pénjamo 62, producida en el Programa Mexicano de Mejoramiento del Trigo, la que se convierte en el padre femenino para producir el híbrido final. El otro componente, los genes cromosómicos dominantes restauradores de la fertilidad son transferidos a una variedad comercial que se convertirá en el padre masculino en el cruce que produce el híbrido.



adversamente el desarrollo de los órganos femeninos de la misma flor (v.g., estigma y ovario) y, consecuentemente, cuando son polinizados con polen fértil producen la semilla normal.

En años recientes los fitogenetistas y creadores de plantas han desarrollado ingeniosas técnicas para alterar el equilibrio o armonía que existe entre los "genes no cromosómicos" y los genes cromosómicos correctivos correspondientes. Por medio de un sistema de cruza y retrocruzas se separan las dos partes componentes de estos dos sistemas. Uno de los componentes, el citoplasma con sus "genes no cromosómicos" defectuosos es desviado e incorporado en la línea de esterilidad citoplásmica masculina, la que a la postre se convierte en el padre femenino del híbrido final. El segundo componente, integrado por los genes cromosómicos dominantes restauradores de la fertilidad del polen se transfiere

a una variedad comercial que se convertirá en el padre masculino utilizado para el cruce que producirá la semilla híbrida.

Cuando se hace el cruce para producir semilla híbrida, los dos componentes de estos sistemas independientes, pero interactuantes, son puestos nuevamente en armonía, con lo cual se logra restaurar la fertilidad del polen en la semilla híbrida.

El procedimiento que se utilizó para desarrollar una variedad experimental de trigo híbrido de cruce sencillo, v.g., ♀ Pénjamo 62 x ♂ Crim, se describe en el diagrama de la Figura 1. La fuente de esterilidad citoplásmica utilizada en este caso es de *Triticum timopheevi*. Este diagrama muestra los pasos que se necesitan para desarrollar y seleccionar los genotipos que afectan la esterilidad citoplásmica y la restauración del polen, asumiéndose que la restauración de la fertilidad está con-

dicionada por dos genes cromosómicos dominantes.

Descripción de los Procedimientos Utilizados en el Desarrollo del Masculino Estéril Citoplásmico y de Líneas Restauradoras de la Fertilidad del Polen y en la Formación del Híbrido Final:

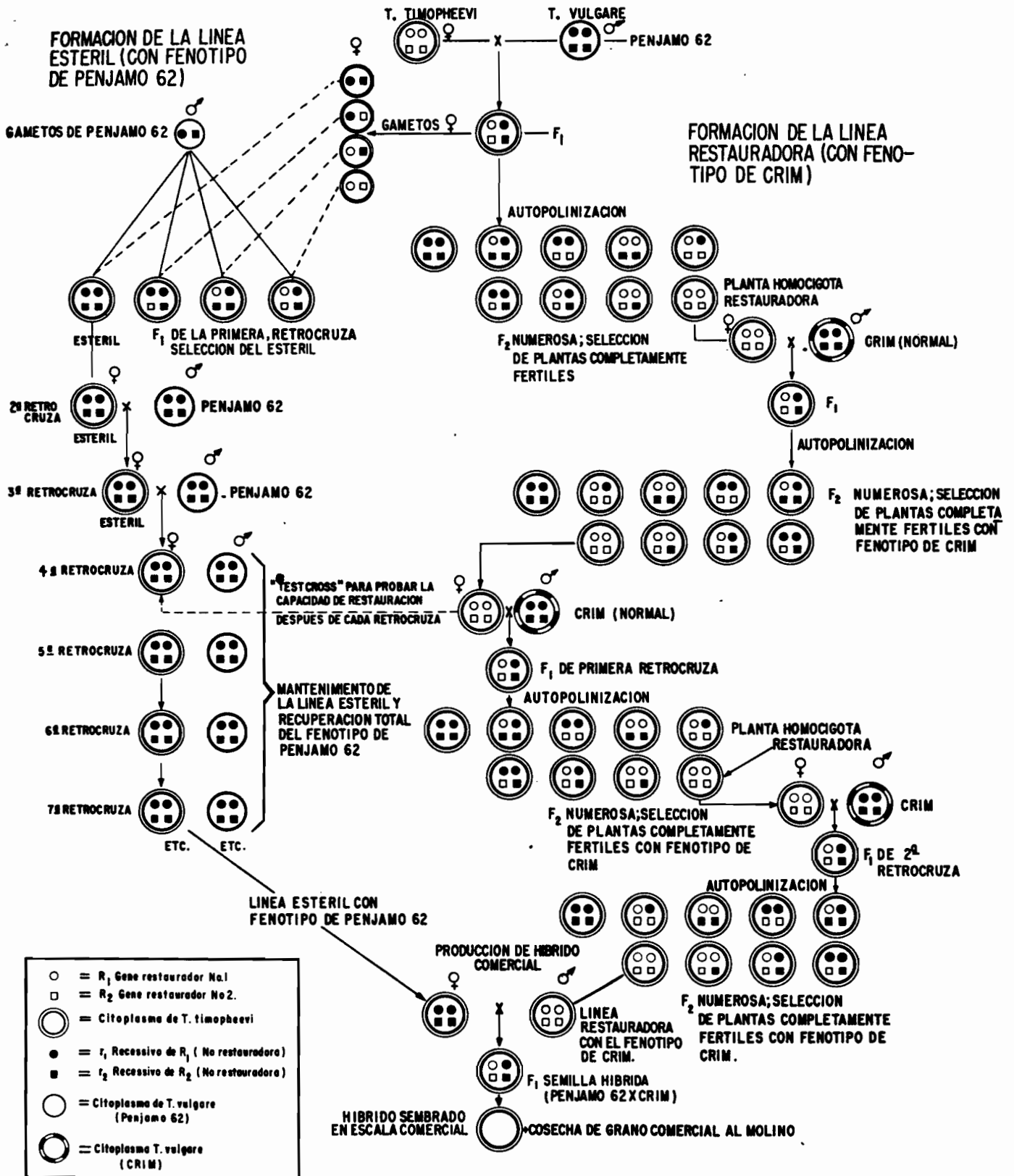
En el programa Mexicano se está utilizando casi exclusivamente *Triticum timopheevi* como base para desarrollar líneas citoplásmicas masculinas estériles y líneas restauradoras de la fertilidad del polen. Esta especie parece contener "genes no cromosómicos" mutantes que adversamente afectan el desarrollo de las anteras y la fertilidad del polen. *T. timopheevi* posee cuando menos dos genes cromosómicos dominantes que contrarrestan el efecto del gen o genes no cromosómicos en su

(Diagrama en la página 18)

(El texto continúa en la página 45)

MECANISMO DE ESTERILIDAD CITOPLASMICA Y RESTAURACION DE FERTILIDAD EN LA FORMACION DE UN HIBRIDO DE TRIGO

(Ejemplo: Pénjamo 62 x Grim, asumiendo que se requieren dos genes para la restauración completa de fertilidad)



Ud. puede obtener información sobre TREFLAN a través de las siguientes filiales de Elanco:

ELANCO ARGENTINA, S. A. I. C. y F.
Casilla 3555
Correo Central
Buenos Aires, Argentina

ELANCO PRODUTOS AGRO-PECUARIOS E INDUSTRIAIS LTDA.
Caixa Postal 7190
São Paulo, São Paulo, Brasil

ELANCO
División Agropecuaria e Industrial
Eli Lilly and Company
of Colombia, Inc.
Apartado Aéreo No. 4365
Cali, Colombia

ELANCO de ESPAÑA S. A.
Pradillo 30
Madrid, España

ELANCO INTERNATIONAL
Eli Lilly International Corp.
P. O. Box 32
Indianapolis, Indiana 46206 E.U.A.

ELANCO DIVISION
Eli Lilly de Centro América, S. A.
Apartado Postal 735
Guatemala, Guatemala

ELANCO MEXICANA, S. A. de C. V.
Apartado Postal 22074
México 22, D. F., México

ELANCO
División Agropecuaria e Industrial
Eli Lilly del Perú S. A.
Casilla 2810
Lima, Perú

ELANCO DIVISION
Eli Lilly S. A.
Calle Hipódromo 804
Santurce, Puerto Rico

ELANCO
División Agropecuaria e Industrial
Eli Lilly y Compañía de Venezuela, S.A.
Apartado No. 164
Maracay, Aragua, Venezuela

citoplasma, resultando en la producción de polen normal y en la fertilidad. Cuando *T. timopheevi* (un tetraploide con 14 pares de cromosomas) se utiliza como padre femenino en una cruce con una variedad de trigo para pan (*T. vulgare*), tal como la Pénjamo 62 (un hexaploide con 21 pares de cromosomas) que no posee los genes cromosómicos para la restauración de la fertilidad del polen, las plantas F_1 ⁽¹⁾ serán altamente estériles, a causa de ambas aneuploidia y esterilidad masculina citoplásmica. Cuando tales plantas F_1 se utilizan como los padres femeninos y se retrocruzan con Pénjamo 62 por varias generaciones, o cuando son autopolinizadas, los aneuploides quedarán eliminados. Dentro de la F_2 de los retrocruces aparecerán plantas hexaploides y masculinas citoplásmicas estériles, así como unas cuantas plantas hexaploides completamente fértiles. La mayoría de la población consistirá de plantas con diversos grados intermedios de fertilidad.

Desarrollo del progenitor hembra para el híbrido. (La línea macho estéril citoplásmica).

Una de las plantas masculinas estériles citoplásmicas antes mencionadas se convertirá en una línea utilizada como el progenitor femenino para la producción de semilla híbrida. Esto se logra mediante la plantación de la planta masculina estéril citoplásmica (la cual casi no produce ningún polen funcional) entre los diversos surcos o hileras de la variedad progenitora Pénjamo 62^N ⁽²⁾ que tiene polen normal pero que no posee en sus cromosomas los genes para restaurar "permanentemente" la fertilidad a las líneas masculinas citoplásmicas estériles. Sin embargo, el polen de la Pénjamo 62^N llevado por el aire fertiliza a los ovarios de la planta masculina citoplásmica y, con eso, produce semilla. Cuando la semilla resultante de esta línea estéril masculina se replanta, de nuevo produce plantas las cuales son todas masculinas estériles, pero más semejantes al progenitor Pénjamo 62^N en características agronómicas, resistencia a las enfermedades, etc. (fenotipo). Mediante el replante repetido de las líneas estériles masculinas de la semilla entre las hileras de la Pénjamo 62^N algunas

veces citada o conocida como la línea de mantenimiento, una línea estéril masculina de la Pénjamo 62^{MS} ⁽¹⁾ eventualmente se desarrolla y es idéntica en todos los aspectos a la Pénjamo 62^M, con la excepción de que no produce polen. Una línea tal marcada como Pénjamo 62^{MS} es ahora, el progenitor hembra potencial que puede utilizarse para producir un híbrido comercial.

Cualquier otro número de diferentes líneas estériles masculinas puede desarrollarse para su utilización potencial en la formación de otros híbridos, mediante el simple cruzamiento de otras variedades comerciales o de líneas mejoradas individualmente con el masculino citoplásmico estéril de la línea Pénjamo 62^{MS} y con la retrocruza de la descendencia resultante a la variedad de mantenimiento que se considere. En cada caso, la cruce regresiva se consigue mediante el replante de cada generación de la línea estéril masculina entre diversas hileras de la variedad de mantenimiento que esté siendo convertida en progenitor estéril masculino citoplásmico para su utilización en la producción del híbrido.

Por medio de un procedimiento como el descrito puede producirse un gran número de líneas estériles masculinas citoplásmicas. Cada una, será, idéntica a su progenitor recurrente (cruza regresiva o retrocruza) en todos los aspectos, con excepción de que el polen es estéril y no fértil. En el Programa Mexicano, más de 100 líneas estériles masculinas citoplásmicas de antecedentes ampliamente diferente, se han formado para su utilización potencial.

El aislamiento o separación especial para evitar la polinización cruzada con otros trigos es necesario, durante el proceso de desarrollo y de multiplicación de las líneas estériles masculinas.

Desarrollo del progenitor masculino para el híbrido. (La línea de restauración de la fertilidad).

Los genes cromosómicos dominantes capaces de restaurar la fertilidad del polen a una línea estéril masculina citoplásmica cuyo desarrollo y descripción ya se presentó anteriormente, deben ser incorporados a la variedad comercial que vaya a utilizarse como el polen masculino o progenitor para la producción de la semilla del híbrido comercial. El desarrollo de la línea de restauración de fertilidad del polen, por ejemplo Crim^R en el híbrido experimental que se considera, presenta más dificultad para lograrlo, que el desarrollo de la variedad estéril masculina citoplásmica Pénjamo 62^{MS}.

(Continúa en la página 54)

¹ F_1 , F_2 , F_3 , etc. son símbolos que se utilizan para designar la primera generación, segunda generación, etc., después de cada cruce.

² Símbolos empleados para indicar el status de fertilidad de la línea o variedad.

N = Producción normal de polen, pero no posee genes cromosómicos para la restauración de la fertilidad del polen a las líneas estériles citoplásmicas.

NS = Línea estéril masculina citoplásmica.

R = Línea que lleva genes cromosómicos capaces de restaurar la fertilidad del polen a la línea estéril masculina citoplásmica.



DE LA INVESTIGACION A LA GRANJA CON PRODUCTOS PRACTICOS

En este último caso, después de que la planta estéril citoplásmica ha sido identificada en la población F₂, el proceso esencialmente es automático. Con el objeto de mantener y multiplicar simultáneamente a la línea, ésta debe cultivarse en cada generación entre las hileras de la variedad de mantenimiento Pénjamo 62^N. Este proceso, automáticamente produce la recuperación del fenotipo de la línea de mantenimiento, por ejemplo, la Pénjamo 62^N en el antecedente estéril masculino marcado como Pénjamo 62^{MS}.

Sin embargo, para desarrollar la línea o variedad de restauración de fertilidad del polen, es necesario empezar a seleccionar las plantas F₂ más fértiles de la cruz original (por ejemplo ♀ *Triticum timopheevi* x ♂ Pénjamo 62) ó en la descendencia de la primera cruz regresiva. La semilla de esas plantas fértiles debe volverse a plantar y de nuevo en las segregaciones de la próxima generación, las plantas más fértiles deben ser reseleccionadas. Si se cultivan poblaciones suficientemente grandes y si se tiene bastante cuidado para seleccionar a las plantas desde el punto de vista de la fertilidad,

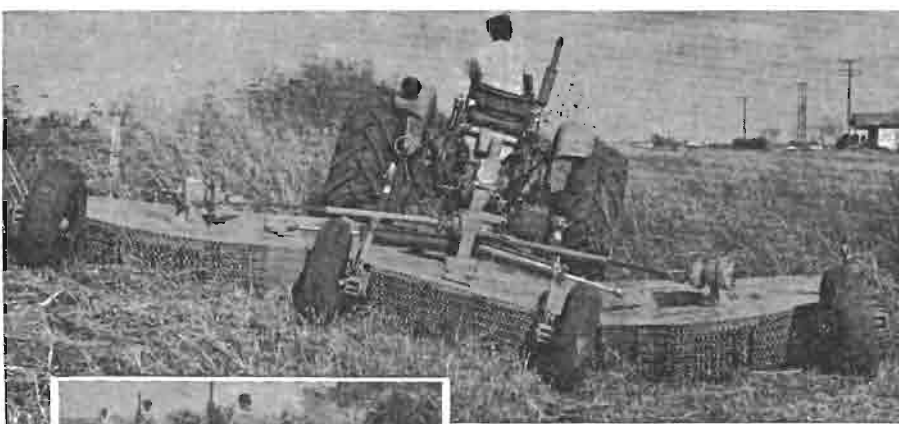
las plantas individuales que se identifiquen en la generación F₂, F₃ o F₄ tendrán una restauración completa de la fertilidad del polen. La etapa siguiente, es hacer una cruz regresiva con plantas una vez que tienen restauración completa de la fertilidad del polen, utilizando una vez más como progenitor femenino a la variedad CRIM^N. Después de la cruz regresiva, únicamente se apartan para ser vueltas a plantar, aquellas plantas que tengan un alto grado de fertilidad. Más todavía, la selección en cada generación debe hacerse en forma de seleccionar aquellas plantas que más se acerquen al fenotipo del progenitor recurrente CRIM, pero que al mismo tiempo tengan un alto grado de fertilidad. Cada vez que se recupera una planta que es fiel a sus características de raza por cuanto a fertilidad, de nuevo debe volverse a retrocruzar con el progenitor recurrente CRIM^N. Este procedimiento de retrocruza y selección repetidas en las generaciones segregantes para lograr fertilidad completa se continúa hasta recuperar líneas puras de propagación para restauración de la fertilidad del polen en los tipos de plantas o

fenotipos, por ejemplo la CRIM^R, que son idénticas al progenitor recurrente CRIM^N.

Deben hacerse cruza de prueba en una línea estéril masculina citoplásmica empleando aquellas plantas que se consideran tener una restauración completa de la fertilidad del polen, antes de continuar con las siguientes cruza regresivas. Únicamente deben volverse a retrocruzar aquellas plantas que posean la capacidad para restaurar completamente la fertilidad al progenitor estéril masculino citoplásmico en las cruza de prueba.

En un sistema de restauración de la fertilidad del polen, que es tan complejo como el del sistema del *Triticum timopheevi* en el cual algunas veces están involucrados dos, tres o más genes, dependiendo de las variedades que se consideren en lugar del simple sistema de gene dominante que es utilizable en maíz y sorgo, el número de cruza regresivas debe ser mantenido al mínimo absoluto necesario para recuperar al fenotipo y la capacidad combinada del progenitor recurrente. Cada cruz regresiva incrementa la posibilidad de la pérdida de uno de los genes necesarios para la restauración. En el Programa Mexicano se intenta recuperar líneas de restauración completa de la fertilidad del polen y que sean fenotípicamente idénticas al progenitor recurrente en la segunda o tercera cruz regresiva. Para conseguir esto, es necesario cultivar grandes poblaciones F₂ segregantes y ejercer una presión fuerte en la selección hacia la recuperación de plantas fértiles que se aproximen lo más estrechamente posible al fenotipo del progenitor recurrente en cada generación segregante de cada retrocruza. □

(Continuará)



MANTA RAY, Jr.

La Cortadora Rotativa MANTA RAY Jr. hace un corte de 4.88 metros de anchura, en rastrojo de cosechas, pasto, broza, etc. y es la máquina perfecta para terrenos ondulados. Puede cortar en tres diferentes posiciones al mismo tiempo. Las cuchillas de acero de muelle son volantes y operadas directamente desde las cajas de transmisión. Los tres juegos de cuchillas se traslapan entre sí para hacer un corte uniforme. Esta máquina se ofrece completamente manual ó hidráulica, o con levante hidráulico únicamente para los cuerpos laterales.

Modelo S-7

La GIANT S-7 hace un corte de 2.13 metros de anchura y puede cortar cualquier matorral sobre el cual el tractor puede pasar y doblar. Corta broza hasta de 7 a 10 centímetros de grueso. Hay otros 22 modelos disponibles para toda clase de servicio.

E. L. Caldwell & Sons, Inc.

P. O. BOX 2050 CORPUS CHRISTI, TEXAS, E. U. A.
Para más datos marque (22) en la tarjeta.

¿CAMBIO DE DIRECCION?

Podemos proporcionarle servicios más completos y rápidos si Ud. nos da su antigua y nueva dirección. Mejor aún, recorte su antigua dirección del sobre en que recibe la Revista y devuélvanosla junto con la nueva.

★

AGRICULTURA de las AMERICAS

Departamento de Circulación
1014 Wyandotte Street
Kansas City 5, Missouri, E.U.A.