

FICHA N° 7 MÉTODO DE FITOMEJORAMIENTO PARTICIPATIVO

FITOMEJORAMIENTO PARTICIPATIVO DE ARROZ UTILIZANDO POBLACIONES SINTÉTICAS CON GEN DE ANDROESTERILIDAD

Autores: Gilles Trouche, Marc Châtel y Zildghean Chow Wong (CIAT-CIRAD)

Presentamos este método de Fitomejoramiento Participativo (FP) a modo de la descripción de dos experiencias concretas de fitomejoramiento del arroz de secano desarrolladas por productores-as, investigadores y técnicos en dos ecosistemas de Nicaragua. En esta ficha resaltamos las etapas, condiciones y labores necesarias para conducir este trabajo de mejora genética desde la definición de los objetivos de selección hasta la evaluación de las líneas producidas. En el esquema conceptual de desarrollo de una nueva variedad, el método descrito a continuación abarca cuatro de las cinco etapas (figura 1). Recordemos que se trata de un trabajo colectivo y colaborativo entre profesionales y agricultores para desarrollar juntos las variedades que necesitan los agricultores, una co-construcción dicen los especialistas!



Figura 1: Esquema conceptual de desarrollo de una variedad (en verde las etapas descritas en la ficha)

En esta ficha, describiremos como el equipo de proyecto manejó las siguientes etapas:

1. Etapa 1: definición conjunta de los objetivos de mejoramiento y los criterios de selección para los ecosistemas metas.
2. Etapa 2: Acceso a la variabilidad genética
 - 1ra opción: Selección e introducción de poblaciones exóticas
 - 2da opción: Creación de poblaciones de sitio-especifico
3. Etapa 3: Desarrollo in situ de líneas utilizando el método pedigrí
4. Etapa 4: Evaluación de las líneas producidas

Al final, presentaremos algunas lecciones de estos trabajos con respecto a:

- a. La definición de los objetivos y criterios de selección
- b. La distribución de tareas entre agricultores y profesionales
- c. Las dificultades que pueden aparecer al momento de ejecutar el trabajo

Etapa 1: Objetivos de mejoramiento y criterios de selección definidos entre los investigadores y los productores

En cada zona geográfica de implementación del proyecto, se realizaron talleres con los productores de arroz donde se identificaron los objetivos generales de mejoramiento y los principales criterios de selección. El método de identificación y clasificación de los criterios de selección está descrito en la ficha metodológica N°1. Estos criterios fueron precisados durante los primeros ejercicios de evaluación participativa de nuevas líneas, asimismo fueron actualizados con los mismos grupos de productores al inicio de cada ciclo de evaluación.

Los criterios de mayor importancia identificados con esta metodología para los sistemas de producción del arroz de secano en las regiones de Chinandega y Siuna-Wiwilí-Bocay están presentados en el cuadro 1.

Cuadro 1: Criterios de selección del arroz de secano definidos con los productores para dos ecosistemas arroceros de Nicaragua

Sistema de producción	Región	Criterios de selección
Tecnificado en condiciones favorecidas	Chinandega (Llanos del Pacífico)	Arquitectura de planta moderna: semi-enano (80-100 cm), alto macollamiento, hojas largas y delgadas semi-erectas. Ciclo intermedio (110-125 días a madurez), uniformidad en la maduración. Resistencia estable a piricularia, rhizoctonia y manchado de grano Alto potencial de rendimiento (superior a 5 t/ha). Calidad industrial del grano.
Sistemas manuales de bajos insumos en zona húmeda	Siuna Bocay-Wiwilí (Atlántico Norte)	Alto vigor de crecimiento inicial y buena cobertura del suelo para competir con las malezas. Porte adecuado para cosecha y aporreo manual (120-140 cm). Ciclo intermedio (120-130 días madurez). Resistencia estable a enfermedades (piricularia, escaldado). Adaptación a suelos ácidos y baja radiación solar. Mayor rendimiento en comparación con las variedades locales. Calidad de grano para autoconsumo y venta en mercado local.

Etapa 2: Acceso a la variabilidad genética

1ra opción: Selección e introducción de poblaciones exóticas

En la primera etapa del proyecto conducido en Nicaragua, se introdujeron poblaciones sintéticas desarrolladas por el proyecto CIAT-CIRAD en Colombia, en colaboración con otras instituciones de la red Grumega (Grupo de Mejoramiento Genético Avanzado del Arroz). Estas poblaciones contienen entre 25% y 33%¹ de plantas androestériles (plantas que no producen polen pero son aptas a producir semillas cuando están polinizadas por plantas fértiles). Esta androesterilidad es controlada por un gen recesivo ms^2 . El interés de utilizar poblaciones incluyendo este gen es de facilitar los cruzamientos en las fases de incorporación de nuevos

¹ Esta proporción de plantas estériles depende del modo de creación y mantenimiento de estas poblaciones

² Eso significa que las plantas de genotipo $msms$ son androestériles y las de genotipos $Msms$ y $MsMs$ son fértiles

progenitores, y aumentar las oportunidades de recombinación genética en las fases de mejora de estas poblaciones (Châtel y Guimaraes). La selección de las poblaciones a introducir se realizó con base en las características y condiciones de adaptación de cada población. Esta información se puede obtener en la página web de la red Grumega³.

En el caso del proyecto FP desarrollado en Nicaragua, principalmente dirigido hacia dos sistemas de producción de arroz de secano, tres poblaciones exóticas fueron seleccionadas (cuadro 2).

Cuadro 2: Poblaciones sintéticas de fuente utilizadas en el proyecto FP Nicaragua

Población	Origen	Ecosistema meta y características generales	Zona de adaptación y uso en Nicaragua
PCT-4\SA\1\1	CIAT-CIRAD Colombia	Secano de sabanas tropicales: precocidad y adaptación a suelos ácidos, sistemas mecanizados y tecnificados	Sistemas tecnificados del Pacífico
PCT-11\0\0\2, Bo\2\1	CIAT-CIRAD / CIAT. Santa Cruz, Bolivia	Secano de sabanas tropicales: adaptación a sistemas manuales de bajos insumos	Sistemas tecnificados del Pacífico + sistemas manuales del Atlántico
PCT-18\0\0\1	CIAT-CIRAD Colombia	Secano de sabanas tropicales: adaptación a sistemas de bajos insumos, sequía, resistencia a piricularia	Sistemas manuales de las regiones centrales (laderas con altitud 400-800 msnm), y Atlántico. Sistemas semi-tecnificados del Pacífico.

2da opción: Creación de poblaciones de sitio-específico

Primer paso: Selección de los progenitores a incorporar en las nuevas poblaciones

Para la creación de poblaciones con adaptación y características más enfocadas en las condiciones de producción de tres zonas arroceras meta de Nicaragua, designadas poblaciones de sitio-específico, los progenitores fueron seleccionados conforme a las reglas siguientes:

- debe ser una de las mejores fuentes disponibles para uno o más carácter de adaptación, resistencia o calidad necesarios para el ecosistema meta.
- debe tener un buen comportamiento agronómico en este ecosistema.

El cuadro 3 presenta los progenitores seleccionados y sus características de interés para crear las poblaciones de sitio-específico PCTNic-1 y PCTNic-3.

³ www.grumega.org

Cuadro 3: Progenitores seleccionados para incorporar en las poblaciones sintéticas PCTNic-1 y PCTNic-3

Población formada	Ecosistema meta	Progenitores	Características de interés
PCTNic-3	Secano manual de bajos insumos en zona húmeda	INTA N-1	Alto potencial de rendimiento y calidad industrial de grano
		Oryzica Sabana 6	Adaptación a suelos ácidos
		Fedearroz 2000	Adaptación a baja radiación solar y resistencia a hoja blanca
		IRAT 366	Tallos fuertes, buen vigor inicial y porte para sistemas manuales, resistencia durable a piricularia
		Raizora Amarillo	Adaptación a los sistemas locales de producción
		Milagrosa Siuna	Adaptación a los sistemas locales de producción
		PCT-18\0\0\1	Población para secano tropical
PCTNic-1	Secano tecnificado en condiciones favorecidas	INTA N-1	Calidad industrial de grano y alto potencial de rendimiento
		CT 12249 (INTA Chinandega)	Precocidad y alto rendimiento
		CT 10323	Alto macollamiento y resistencia al acame
		CT 14534-35	Resistencia a Rhizoctonia
		POBL1-11	Resistencia a piricularia
		IRAT 301	Tolerancia a sequía
		Fedearroz 2000	Resistencia a hoja blanca
		PCT-18\0\0\1	Población para secano tropical

Segundo paso: conformación de las poblaciones

Para ilustrar esta operación, tomamos el ejemplo de la población de sitio-específico PCTNic-3. En la figura 1, se resume las tres etapas de formación de esta población. En este caso, optamos por una metodología de creación bastante sencilla y rápida, sin fase de retrocruzamiento con los progenitores, por los motivos siguientes:

- la población PCT-18 tenía ya un fondo genético bien adaptado a las condiciones de los ecosistemas arroceros de secano de bajos insumos de América Tropical.
- el proyecto tenía obligaciones de tiempo en esta etapa.



Foto 1: Ilustración del arreglo de siembra en el bloque de cruzamiento en polinización dirigida.

En la segunda etapa, sembramos la semilla F_1 en fajas separadas, cruza por cruza, para producir semilla F_2 de cada cruzamiento (PCT-18 x Pn).

La tercera etapa consistió en una recombinación libre (aleatoria) entre las plantas F_2 provenientes de los cruzamientos realizados con los seis progenitores seleccionados para ser incorporado en la población PCTNic-3. Antes de la siembra, se constituyó una mezcla balanceada de la semilla F_2 procedentes de cada cruzamiento, con las proporciones deseadas. El cuadro 4 indica cual fue la contribución de los diferentes progenitores en la población PCTNic-3. El bulk de plantas F_2 así formado se sembró en surcos en una parcela aislada, con dos fechas de siembra, durante la época seca y la parcela se dejó en polinización libre; en la época de floración, marcamos todas las plantas estériles que aparecieron en la parcela. A madurez, cosechamos solamente estas plantas estériles, eliminando éstas que presentan fenotipos muy indeseables (aprox. 10% de las plantas). En esta etapa, se recomienda a menudo realizar dos ciclos de recombinación.

Cuadro 4: Contribuciones respectivas de los progenitores utilizados para conformar la población PCTNic-3

Progenitores	Contribución %
INTA N-1	10
Oryzica Sabana 6	10
Fedearroz 2000	10
IRAT 366	10
Raizora Amarillo	5
Milagrosa Siuna	5
PCT-18	50

Etapa 3: Desarrollo in situ de líneas utilizando el método pedigrí

Para ilustrar esta etapa presentaremos el ejemplo de desarrollo participativo de líneas a partir de las poblaciones introducidas PCT-4, PCT-11 y PCT-18 en el sitio de Posoltega-Chinandega y la población de sitio-específico PCTNic-3 en el sitio de Siuna.

Las poblaciones sintéticas creadas presentan una gran variabilidad genética y fenotípica, muy superior a lo que se puede obtener por cruza simples o triples. Sembrando la semilla de la generación S_0^4 en campo, tenemos plantas que presentan diferencias en altura y porte de planta, precocidad, comportamiento a las enfermedades y plagas, tamaño y forma del espiga, tamaño de grano, entre otras variaciones, resultando de las recombinaciones entre las características de los diferentes progenitores utilizados. Esta diversidad fenotípica constituye el punto de partida para el trabajo de selección de plantas. De allí se necesitan varios ciclos (y años) de selección para obtener líneas uniformes (fijas) que cumplen con los criterios de selección acordados.

Existen varios métodos de selección para lograr esto. En nuestro caso, hemos utilizado el método pedigrí; es sencillo y eficiente para seleccionar caracteres de tipo oligogénicos (controlados por algunos genes), como son altura de planta, precocidad, resistencias y componentes del formato y calidad de grano; también es relativamente eficiente para seleccionar para el rendimiento. Su principio es que en cada generación se debe seleccionar las mejores plantas presentes dentro de las mejores progenies y luego sembrar sus descendencias en “espiga por surco”

Organización del trabajo de selección *in situ* entre todos

- La propuesta de conducir los dos trabajos FP aquí descritos vino del equipo de investigación del proyecto. En los dos sitios, esa idea se planteó a un grupo de productores-as expertos, involucrados desde algunos años en trabajos de mejora de arroz con los investigadores mediante la metodología de evaluación y selección participativa de líneas. Los investigadores explicaron el propósito y el proceso general de este trabajo y los productores-as aceptaron la idea.
- Los investigadores Fitomejoradores (IF) elaboraron los protocolos de siembra y trabajos a realizar en las parcelas de selección. Sin embargo, las condiciones y el manejo de la parcela se discutieron y definieron entre todos los participantes involucrados en el trabajo (por ejemplo selección del terreno, distancias de siembra, fertilización).
- El equipo de investigación realizó la siembra de las parcelas de selección conforme al protocolo acordado en la estación experimental⁵ del CEO en Posoltega (zona de Chinandega) y en la finca experimental⁶ de la UCA en Siuna. Estas dos sitios están ubicada en la zona de producción meta y son representativas de las condiciones agroecológicas de esta zona.
- El equipo de investigación identificó en cada sitio 4-8 Productores Fitomejoradores (PF). Tenían una gran experiencia en el cultivo de arroz de secano y una buena capacidad de observación y eran motivados para realizar este trabajo de selección.

⁴ S_0 (0 autofecundación) es la generación que resulta de la mezcla de las plantas estériles cosechadas en la última fase de recombinación.

⁵ Centro de experimentación del Occidente CEO del INTA

⁶ Centro de capacitación y experimentación de la UCA Siuna

Importante!

Antes de realizar concretamente el trabajo de selección de plantas en campo, los PF y los IF confirmaron juntos los criterios de selección y tipos de plantas deseados. En las generaciones siguientes, fue útil recordar a los PF estos criterios acordados al inicio del trabajo y a veces hacer algunos ajustes.

- Los PF e IF seleccionaron las plantas en campo en la etapa de madurez fisiológica, utilizando mecates de color⁷. En las tres primeras generaciones de selección (S₀-S₂), se aplicó una selección de plantas separada entre PF e IF:

Por qué realizar una selección separada?

- es muy difícil tener un consenso entre los diferentes PF y entre los PF y los IF
- este consenso podría reducir el número y la diversidad de los fenotipos seleccionados, también tener una influencia sobre las preferencias reales de los PF.
- la selección de los PF esta obviamente muy enfocada en sus condiciones y objetivos de producción, en cambio la selección de los IF es generalmente de enfoque más amplio y es también más relacionado a conceptos de genética.

En las etapas avanzadas (S₃-F₄), cuando hay menos progenies en el proceso de selección y menos diversidad intra-progenie, los IF, el técnico y los PF hicieron una selección común para finalizar el trabajo.

- El equipo técnico realizó la cosecha de las plantas seleccionadas con la identificación de éstas (por número de pedigrí)
- Al final de cada ciclo, la semilla de las plantas seleccionadas, después de tener un proceso adecuado de secado y tratamiento postcosecha, fue guardada por el equipo de investigación en barriles plástico herméticos.

Cuántas plantas y progenies se debe manejar en cada generación? Qué intensidad de selección aplicar en cada etapa?

En el cuadro 5 indicamos los números de plantas y la intensidad de selección aplicada en cada etapa del desarrollo de las líneas a partir de estas poblaciones.

⁷ Se puede utilizar colores diferentes para distinguir las plantas seleccionadas por los PF y el IF

Cuadro 5: Número de plantas y progenies e intensidad de selección utilizados en los trabajos de desarrollo de líneas a partir de las poblaciones PCT-4, PCT-11 y PCT-18 y PCTNic-3.

Gene- ración	Poblaciones fuentes y sistema de producción meta	PCT-4, PCT- 11 + PCT-18: Posoltega, sistemas tecnificados	PCTNic-3: Siuna, sistemas manuales
S ₀	Número total de plantas disponibles Número de plantas <u>fértiles</u> seleccionadas (PF+IF) Intensidad de selección en la S ₀	3 x 1000* 73 2.4 %	3000 109 3.6 %
S ₁	Número de progenies sembradas Número y % de progenies seleccionadas Número total de plantas sel. en estas progenies Número de plantas sel por progenie	73 35 (48 %) 95 2-3	109 36 (33 %) 50 3-4 en mejores 1-2 en buenas
S ₂	Número de progenies sembradas Número y % de progenies seleccionadas Número total de plantas sel. en estas progenies Número de plantas sel. por progenie	95 42 (44 %) 107 2.5	50 9 (18%) 18 2
S ₃	Número de progenies sembradas Número y % de progenies seleccionadas Número total de plantas sel. en estas progenies	88! 37 (42%) 57	No realizado

* S₀ de tamaños pequeños por cantidad de semilla limitada

¡Diferencia con las progenies seleccionadas el ciclo anterior por el envío de 19 progenies de porte alto a otra zona

Con base en estas dos experiencias y la aplicación general del método de selección pedigrí en arroz, se recomienda manejar el proceso de selección con las reglas siguientes:

Generación S₀:

- **Números de plantas en S₀**: Sembrar 2000 a 5000 semillas de cada población, a chorrillo ralo o a golpe con 2-3 semillas por golpe y raleando a 1 planta por golpe (para evitar competencia entre plantas) para obtener 1600 a 4000 plantas totales.
- **Intensidad de selección recomendada**: 2.5-8 % dependiendo del valor de la población y la proporción de plantas fértiles en ésta (50 hasta 75%); por ejemplo para una población de 3000 plantas totales presentes a madurez, se recomienda seleccionar entre 75 y 250 plantas.

Generación S₁

- 2 surcos de 5 metros de largo por progenie
- Siembra de dos surcos de una variedad testigo (testigo local o padre local de la cruce) al inicio y final de la parcela e intercalados cada 10 progenies.
- A partir de esta generación S₁ (etapa equivalente de una F₃ derivada de cruzamientos) y para las generaciones siguientes, se aplican las reglas de la selección pedigrí:
 - . **Primero**: Evaluar bien en campo el valor de cada progenie, entre ellas y en comparación con la variedad testigo y marcar estas mejores progenies;

. Segundo: Seleccionar las mejores plantas en las mejores progenies identificadas en la etapa anterior. Cuando la progenie se ve excelente y presenta todavía bastante variabilidad, se debe seleccionar de 4 a 6 plantas en esta progenie; si es una progenie de buen valor y con poca variabilidad, seleccionar 1 a 2 plantas.

- Eliminación de 40 a 70% de las progenies S_1

Variación posible para manejar las etapas S_0 y S_1

Cuando la población fuente de mejora está muy desuniforme en ciclo y altura de planta, otra opción es sembrar la generación S_0 y cosechar las plantas fértiles por categoría de altura y precocidad con una leve selección (eliminación de las plantas de muy mala calidad de grano o susceptibles a enfermedades) para conformar bulks S_1 de altura y precocidad bastante pareja con gran cantidad de semilla. Eso facilita el trabajo de selección de plantas en la etapa S_1 en la cual los PF e IF van a seleccionar primero el o los bulk(s) mas adaptado(s) y luego seleccionar dentro de estos bulks las mejores plantas.

Generación S_2 :

- 2 surcos de 5 metros por progenie S_2 con una variedad testigo intercalado cada 10 progenies.
- En esta generación, la intensidad de selección a aplicar será más fuerte que la aplicada en la generación S_1
- En esta etapa y las que siguen se debe considerar en la selección también el efecto o valor de la familia (el conjunto de progenies derivadas de la misma planta S_0):
 - .Descartar las progenies “regulares” cuando las progenies hermanas de la misma familia parecen mejores.
 - .Eliminar las familias completas que presentan solo progenies mediocres.
- En las progenies seleccionadas, selección de 1 a 3 plantas.

Generaciones S_3 - S_5 : A continuación, después de haber realizado 3 generaciones de selección bajo el ambiente y prácticas comunes de producción de la zona meta, se recomienda realizar la generación S_3 *ex situ* en condiciones controladas de alta presión de enfermedades, entre otras piricularia para comprobar el nivel de resistencia de las progenies. La generación siguiente (S_4) se puede sembrar en época seca bajo riego para alcanzar más rápido la uniformidad genética de la futura línea. Este trabajo se debe continuar, si es posible alternando *ex e in situ* hasta la generación S_6 .

Etapas 4: Evaluación de las líneas fijas para rendimiento y otras variables agronómicas

Las primeras pruebas de rendimiento en campo empiezan normalmente con la generación S_5 aunque dependiente de sus objetivos pueden empezar más temprano (S_3 o S_4). En esta etapa, los PF y otros productores-as participan en la evaluación de las líneas en campo (ver ficha N°1). Estas primeras pruebas permiten una eliminación bastante drástica de las progenies mediocres y no sobresalientes. Las pruebas de evaluación de la calidad de grano (análisis de laboratorio y pruebas culinarias de degustación) empiezan generalmente después de la primera prueba de rendimiento con las mejores 10-20 líneas S_5 o S_6 .

Algunas lecciones de estas experiencias FP en arroz

1. Definición de los objetivos de mejoramiento y criterios de selección

Los objetivos generales de mejoramiento y algunos criterios de selección son generalmente definidos durante el trabajo de diagnóstico participativo de los problemas del cultivo y necesidades en nuevas variedades, conducido al inicio del proyecto en las zonas metas. Sin embargo, durante los primeros ejercicios en campo de evaluación participativa de líneas y variedades presentando una amplia diversidad fenotípica (locales y exóticos), se puede afinar dichos objetivos y criterios de selección. La experiencia de Nicaragua nos enseña que se requiere varios ciclos de intercambios entre productores y técnicos para tener una comprensión común de los criterios y tener una priorización precisa de éstos.

2. Distribución de tareas entre agricultores e profesionales

Los trabajos de mejoramiento participativo necesitan una concertación permanente y decisiones compartidas entre los diferentes participantes: investigador(es)-fitomejorador(es), técnicos-agrónomos de la institución de apoyo (ONG o servicio de extensión) y productores involucrados. Considerando la experiencia del trabajo desarrollado en Nicaragua, se recomienda tomar en cuenta los aspectos siguientes:

- La selección del terreno, la siembra según el protocolo acordado y el buen manejo de la parcela de selección (limpia o deshierbe, protección contra los daños de animales ...) es por supuesto un factor clave para el éxito de los trabajos FP. Entre éstos, el respecto de las fechas de siembra adecuadas es esencial para el arroz de secano.
- El papel del técnico-agrónomo es también muy importante en el proceso: apoyar en la siembra, tomar los datos de la experimentación, orientar a los productores (as) cuando se identifican problemas, supervisar la cosecha de las plantas seleccionadas, empacar y desgranar la cosecha sin error de identificación y almacenarla en lugares seguros para garantizar la continuidad del trabajo. Todas estas labores necesitan de parte del técnico organización, responsabilidad, rigor y también aptitud de comunicación con los productores.
- Buena comunicación entre todos los participantes sin barrera, con respecto y confianza mutua.

3. Dificultades que pueden aparecer al momento de ejecutar las labores de selección

Además de las dificultades ya mencionadas en el manejo del experimento, los problemas más específicos del método FP presentado en esta ficha son los siguientes:

- problemas provenientes del uso de la androesterilidad:
 - . es útil identificar y marcar las plantas estériles al momento de la floración en las etapas de selección de plantas en S_0 y S_1 porque algunas veces estas plantas estériles no se pueden identificar a madurez (llenado de grano casi normal) y se pueden seleccionar juntas con plantas fértiles, lo que afecta el avance normal del proceso de selección.
- Sembrar la generación S_0 con una densidad bien definida: no muy ‘tupido’ para que cada planta pueda expresar correctamente su fenotipo y tampoco muy espaciado para seleccionar materiales que se comportan bien en poblaciones de plantas normales

Referencias

- Châtel M., Guimaraes P. E. 1995.** Selección Recurrente con Androesterilidad en arroz. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Département des cultures annuelles (CIRAD-CA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 70 p. (Publicación CIAT N° 246).
- Trouche G., 2005.** Participatory rice breeding, using population improvement: A new methodology adapted to the needs of small farmers in Central America and the Caribbean.. In : Population improvement: A way of exploiting the rice genetic resources of Latin America. Rome, Italie, FAO, p. 95-109.
- Trouche G., Chow Z., Châtel M., Martinez C., Narvaez L., Obregon J.R. 2008.** Participatory breeding of upland rice in Nicaragua: matching the needs of small rice producers. Poster presentado durante el CIAT Knowledge Sharing and BOT Weeks, 7-19 avril 2008, Cali, Colombia.