

INTRODUCTION 1

1. Contexte de l'étude	1
2. Présentation du cadre d'étude	2
2.1 Géographie et population du Nicaragua	2
2.2 L'agriculture du Nicaragua	3
3. La production du sorgho au Nicaragua	3
3.1 Systèmes de production et usages	3
3.2 Dynamique de la culture du sorgho dans la région Nord du Nicaragua	6

CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE 7

A. La sélection participative 7

1. Historique et concepts	7
2. Objectifs	9
3. Modes de participation	11
4. Stade et degré d'implication des agriculteurs dans le processus de développement des variétés	12
4.1. Sélection variétale participative (PVS)	12
4.2. Création variétale participative (PPB)	13
5. Principales questions de recherche concernant la sélection participative	19
5.1. Préservation de la diversité génétique	19
5.2. Contrôle des effets d'interaction GxE	19
5.3. Progrès génétique réalisé par les programmes PPB par rapport à la création variétale conventionnelle	20
5.4. Apprentissage et renforcement de capacités	21
6. Conclusion	21

B. Le sorgho 23

1. Origine	23
2. Production mondiale	23
3. Taxonomie et organisation génétique	23
4. Morphologie et physiologie	24
5. Amélioration du sorgho et sélection participative	27

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES 29

1. Partenariat et dispositif de recherche	29
1.1. Partenaires impliqués	29
1.2. Sélection des sites d'intervention	29
1.3. Mise en œuvre du projet	30
1.4. Rôle des différents participants	32
1.5. Dispositifs de concertation	34
1.6. Évolution du processus et des dispositifs	34
2. Stratégies et méthodes de sélection	35
2.1 Sélection variétale participative	35
2.2 Création variétale participative	37
2.3 Evaluation des lignées produites par la création variétale participative	41

CHAPITRE III : RESULTATS 42

1. Articulation des résultats présentés dans la thèse	43
2. Dynamiques paysannes et sélection participative : le cas des sorghos à grain blanc dans la région Nord du Nicaragua	45
Conclusion.....	64
3. Fournir de nouvelles variétés de sorgho aux producteurs nicaraguayens de faibles ressources grâce à la sélection variétale participative	65
Conclusion.....	82
4. Comparaison de la création variétale participative décentralisée avec la création conventionnelle en station : I. Performance agronomique.	83
Conclusion.....	93
5. Comparaison de la création variétale participative décentralisée avec la création conventionnelle en station : II. Acceptation par les agriculteurs et index de valeur globale.	94
Conclusion.....	103
6. Bilan des deux stratégies de création variétale participative décentralisée testées	104
6.1. Analyse comparative des résultats obtenus par les deux stratégies de création variétale participative	104
6.2. Performances des lignées produites par la stratégie PPBb	108
Conclusion.....	110

CHAPITRE IV : SYNTHÈSE ET DISCUSSION GÉNÉRALE 112

CONCLUSION ET PERSPECTIVES 118

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 120

ANNEXES

Liste des acronymes utilisés dans le corps de thèse

CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombie

CIMMYT : Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, Mexique.

CIP : Centro de Mejoramiento de la Papa, Lima, Pérou.

CIPRES: Centro para la Promoción, la Investigación y el Desarrollo Rural y Social (ONG), Managua, Nicaragua.

CIRAD: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

CNIA: Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, INTA, Managua, Nicaragua.

CGIAR: Consultative Group on International Agricultural Research.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

ICRISAT: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, Inde.

INCAP: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Nicaragua.

INTA: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, Managua, Nicaragua.

INTSORMIL: ex International Sorghum and Millet Collaborative Research Support Program, actuellement Sorghum, millet and other grains CRSP of the USAID, USA.

SNRA: Système National de Recherche Agronomique

Liste des abréviations utilisées dans le document de thèse (corps et articles)

AE : agriculteur-évaluateur
AFLP : Amplified Fragment Length Polymorphism
AS : agriculteur-sélectionneur
ASl: agriculteur-sélectionneur leader
BoS : breeder on-station
BoF : breeder on-farm
FoF: farmer on-farm
BoS selection: Sélection du sélectionneur professionnel en station
BoF selection : Sélection du sélectionneur professionnel en champs paysans
CIRn : code des croisements sorgho réalisés au Nicaragua
FA : farmer-assessor (AE en français)
FB : farmer-breeder (AS en français)
FoF selection : sélection des agriculteurs-sélectionneurs en champs paysans
FSC : farmers' selection criteria
FSD : farmers' selection decision
FSP: Fréquence de Sélection (d'une lignée donnée) par les Producteurs
FSF : Frequency of Selection (of a specific line) by Farmers (FSF en français)
HS : half-sib (sélection sur demi-frères)
IAS : Index of Agronomic Suitability
ISFA : Index of agronomic Suitability and Farmer Acceptance
qq : quintaux de livres (=46 kg)
mz : manzana (=0.7 ha)
PCRn : code des populations synthétiques sorgho formées au Nicaragua
PPB : participatory plant breeding (sens strict) = création variétale participative
PPBa : création variétale participative développée à partir de croisements simples (entre un cultivar local et une lignée exotique apportant des caractères complémentaires)
PPBb : création variétale participative développée à partir de populations synthétiques multi-parentales (créées par l'intercroisement de 6-8 lignées élites)
PVS : participatory varietal selection = sélection variétale participative
RFLP : Restriction Fragment Length Polymorphism
SC : système de culture
SP: sélection participative (terme générique qui englobe PVS et PPB)
SPr : sélectionneur professionnel (=breeder)
SSR : simple sequence repeats (= microsatellites)
VG : variabilité génétique

INTRODUCTION

Introduction

1. Contexte de l'étude

En Amérique centrale, le sorgho est la quatrième culture vivrière, certes loin derrière le maïs et le haricot mais proche du riz en termes de superficies emblavées; il occupe annuellement environ 250 000 ha pour une production totale moyenne de 370 000 tonnes (FAOSTAT, 2009). Dans les zones semi-arides d'Amérique Centrale, la production des sorghos à grain blanc joue un rôle essentiel pour la sécurité alimentaire des petits producteurs. Les grains servent à l'élaboration de différents produits alimentaires (tortillas en premier lieu mais aussi diverses pâtisseries et boissons) et sont également utilisés pour l'alimentation animale (volailles et porcins). Les pailles sont également utilisées comme fourrage pour l'alimentation des bovins durant la saison sèche. L'extrême irrégularité des pluies, la faible fertilité des sols, l'accès limité aux engrais minéraux et pesticides, les pertes dues à certains ravageurs et maladies, sont des facteurs limitant la productivité de la culture du sorgho dans ces régions vulnérables. De plus, les variétés locales (*criollas*) et les rares variétés améliorées intégrées dans les systèmes de production des petits producteurs ne répondent pas de manière satisfaisante à leurs besoins, notamment en termes de productivité en conditions de faibles intrants et/ou stress hydrique et de qualité du grain et des pailles.

Dans ce contexte, un projet de recherche intitulé « Sélection participative du riz pluvial et du sorgho pour les petits producteurs d'Amérique Centrale » a été mis en œuvre au Nicaragua de 2002 à 2008. Le CIRAD, le CIAT, l'institut de recherche agricole du Nicaragua (INTA), plusieurs ONG et des groupes organisés d'agriculteurs en étaient les principaux partenaires. Ce projet avait trois objectifs principaux:

- 1- Développer des variétés performantes et adaptées aux conditions de culture des petits paysans et répondant à leurs objectifs d'utilisation.
- 2- Développer et mettre en œuvre des méthodes spécifiques de création et d'évaluation variétale participative en collaboration avec ces agriculteurs.
- 3- Former les institutions partenaires et les collectifs d'agriculteurs à ces méthodes de sélection participative.

Ce travail de thèse s'inscrit dans le deuxième objectif du projet : il analyse et discute les résultats des méthodes de sélection participative mises en œuvre sur le terrain, en milieu paysan, dans le cadre du volet sorgho de ce projet de recherche.

L'efficacité des différentes approches de sélection participative pour produire des variétés agronomiquement performantes et mieux adaptées aux besoins des utilisateurs fait toujours débat au sein de la communauté des sélectionneurs. En particulier, les sélectionneurs ont des questionnements sur les étapes d'implication des agriculteurs dans le travail de sélection au sein des populations en ségrégation, et sur le choix de l'environnement de sélection, station de recherche ou milieu paysan, qui présentent chacun des avantages et des inconvénients.

En réponse à ces questionnements, notre travail de thèse a identifié **trois questions de recherche** concernant l'évaluation de schémas de création variétale participative décentralisés du sorgho dans le contexte du projet, qui sont les suivantes :

- ❖ **QR1**: Quelle est l'efficacité de la sélection conduite par les agriculteurs en milieu paysan *versus* celle d'un sélectionneur professionnel en station pour développer des variétés adaptées aux contraintes locales et acceptées par les producteurs?
- ❖ **QR2**: Quelle est l'efficacité de la sélection des agriculteurs *versus* celle d'un sélectionneur professionnel dans des schémas conduits en milieu paysan pour développer ce même type de variétés?
- ❖ **QR3**: Les populations synthétiques multi-parentales sont-elles appropriées pour conduire des schémas de création variétale participative décentralisée chez le sorgho?

Pour traiter ces questions de recherche, nous avons défini et mis en œuvre des schémas de sélection spécifiques et des protocoles d'évaluation des résultats qu'ils ont produit. Ces schémas et protocoles sont décrits en détail dans le chapitre **Matériel et Méthodes** du corps de thèse et dans les articles intégrés dans le chapitre **Résultats**. La réponse à ces trois questions de recherche constitue le fil directeur de cette thèse. Nous y reviendrons plus en détail dans la partie introductive du chapitre **Résultats**.

2. Présentation du cadre d'étude

2.1 Géographie et population du Nicaragua

Le Nicaragua est un des sept pays formant l'Amérique Centrale. Situé au centre de l'isthme centroaméricain entre les parallèles 10° 30' y 15° 10' Nord, il est limité au Nord par le Honduras et au Sud par le Costa Rica, bordé à l'Est par la mer Caraïbe et à l'Ouest par l'Océan Pacifique (Figure 1). Avec une superficie de 130 728 km², il est le pays d'Amérique Centrale le plus étendu. On y distingue trois grands ensembles géomorphologiques : les plaines d'origine volcanique de la frange Pacifique, la cordillère centrale et les plaines de la zone atlantique.



Figure 1: Situation géographique du Nicaragua en Amérique Centrale

Le climat du Nicaragua, de type tropical, est caractérisé par une saison des pluies de six à neuf mois et une saison sèche de trois à six mois. La pluviosité suit un gradient principal Est-Ouest déterminé par la direction des vents dominants qui apportent les masses d'air humides à partir de l'océan Atlantique vers l'intérieur des terres (Rapidel et Rodriguez, 1989). Ainsi les précipitations totales annuelles varient de 5000 mm pour la région Sud-Est (Rio San Juan) à 700 mm dans les parties les plus arides du Centre-Ouest et Nord-Ouest du pays.

Dans le dernier recensement général de population (INEC, 2005), le Nicaragua comptait 5,14 millions d'habitants dont environ 44% travaillait dans le secteur de l'agriculture.

2.2 L'agriculture du Nicaragua

Le produit intérieur brut (PIB) national du Nicaragua dépend largement du secteur primaire (agriculture, mines, pêche et exploitation forestière). La contribution de l'agriculture dans l'économie du pays oscille autour de 20% du PIB. Après avoir connu une période de croissance dans les années 60 et 70, la production agricole avait fortement chuté au cours des années 80 en raison des changements politiques, des conflits armés et du blocus économique subi durant cette période; elle est cependant repartie à la hausse à partir des années 1994-95. Selon les données statistiques del Banco Central de Nicaragua (Martinez, 2003), le café représente 21% du PIB agricole, les cultures vivrières (*granos básicos*) 20%, la canne à sucre 8% et l'élevage bovin 24%, en dépit des prix internationaux assez fluctuants et d'une forte décapitalisation durant les années de conflits. Les autres productions agricoles d'importance économique sont la banane (surtout de type plantain), le tabac, le sésame et les élevages avicoles et porcins. Selon les données du dernier recensement général de l'agriculture (INEC, 2001), la superficie agricole cultivée atteint environ 6,3 millions d'ha.

Au Nicaragua, comme dans la plupart des pays d'Amérique Latine, la structure des exploitations agricoles est très contrastée. Les grands propriétaires fonciers possèdent les trois quarts des terres cultivées alors que les *minifundistas* et les petits producteurs, qui représentent 75% des exploitations agricoles, exploitent seulement 18% des terres agricoles. Pourtant, ces derniers produisent 78% du maïs et 60% des haricots grain produits au niveau national. Pour les petits producteurs, les autres cultures d'importance sont le sorgho, le café et les musacées (plantain et banane dessert).

En 2001, 69% de la population rurale du Nicaragua était considérée en situation de pauvreté et 27 % en situation de sous-nutrition (FAO, 2003).

3. La production du sorgho au Nicaragua

3.1 Systèmes de production et usages

Le sorgho est considéré au Nicaragua comme une des quatre cultures vivrières de base (*granos básicos*) avec le maïs (*Zea mays*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*) et le riz (*Oriza sativa*). En considérant les dix dernières années (1999-2008), les superficies moyennes cultivées en sorgho ont été de 48 000 ha pour une production moyenne de 92 000 tonnes (FAOSTAT, 2009). Trois types principaux de sorgho y sont distingués dans les statistiques de production:

- *Industrial*: variétés hybrides de cycle court (3 à 4 mois), généralement à grain rouge, produites dans des systèmes de culture intensifiés et mécanisés en zones de plaines;

- *Millón*: variétés photopériodiques de cycle long (8-9 mois) à grain blanc ou jaune, généralement associées au maïs ou au haricot dans des systèmes de culture manuels sur les terres plus ou moins dégradées des zones de collines (*laderas*);
- *Tortillero*¹: variétés de cycle court (3 mois) à grain blanc, utilisées dans des systèmes de culture généralement d'intensification intermédiaire entre les deux types précédents.

La production des sorghos de types *millón* et *tortillero* joue un rôle important dans la sécurité alimentaire des familles paysannes de faibles ressources vivant dans les zones semi-arides.

Jusqu'aux années 40-50, seuls les sorghos *millón* de cycle long étaient cultivés au Nicaragua. Il existe très peu d'information sur l'origine et les dates d'introduction de ces sorghos dans la région. Pour une prospection de 48 variétés « criollas » réalisée en 1998 au Honduras, l'ICRISAT avait identifié 15 cultivars appartenant à la race durra, 11 caudatum, 1 kafir, 10 durra-caudatum, 6 guinea-caudatum, 4 kafir-durra et 1 kafir-caudatum (Martinez, 2003). En 2003, 14 cultivars de sorgho *millón*, collectés dans le département de Madriz durant la phase de diagnostic, ont fait l'objet d'une caractérisation morphologique et botanique (Trouche *et al.*, 2004). Au sein de ces 14 cultivars, nous avons identifié 3 durra-guinea, 3 kafir, 1 durra, 2 kafir-durra, 1 kafir-caudatum et 1 guinea-caudatum et 3 de type racial indéterminé. La diversité raciale de ces deux prospections laisserait envisager plusieurs origines géographiques et voies d'introduction de ces sorghos en Amérique Centrale. L'analyse génétique réalisée pour 12 des 14 cultivars nicaraguayens a montré que ces sorghos présentaient une diversité génétique limitée et formaient un groupe très structuré, génétiquement proche du groupe des guinea d'Afrique Australe (Annexe I).

A la suite de la première grande sécheresse ayant frappé le Nicaragua moderne (1972), les institutions de recherche et de vulgarisation ont commencé à introduire et diffuser auprès des petits agriculteurs cultivateurs, de nouvelles variétés de cycle court à grain blanc sans tannins et aptes à la préparation de tortillas, ainsi dénommées type *tortillero*. Dans la même période, le développement des élevages avicoles intensifs a conduit à l'utilisation de variétés hybrides à haut rendement, cultivées en conditions mécanisées sur les sols de bonne fertilité, pour fournir la matière première des aliments concentrés nécessaires pour ces élevages intensifs; ces sorghos hybrides ont ainsi été désignés sous le terme de *sorgo industrial*.

Selon les données statistiques du Ministère de l'agriculture (MAG-FOR), les sorghos *millón* et *tortillero* ont maintenu ensemble une tendance de croissance continue au cours des années 90, autant en termes de superficies que de rendement, à l'exception de certains cycles agricoles déficitaires comme 1992-93, 1995-96 et 1998-99, ce dernier sévèrement marqué par l'ouragan Mitch (Martínez, 2003). Au cours de cette dernière décennie, on observe une certaine stabilité des superficies occupées par les sorghos *millón* (environ 25 000 ha et 40% des superficies totales) et des fluctuations assez importantes pour les types *tortillero* et industriel, fonction des aléas climatiques et des prix d'achat proposés par la filière avicole (Tableau 1). La production totale de sorgho à grain blanc (*millón* + *tortillero*), principalement destinée à l'alimentation humaine, représente 68% de la production totale.

¹ Cette appellation dérive de « tortilla » (galette). La tortilla de farine de maïs constitue un aliment de base en milieu rural. Ce simple qualificatif appliqué au sorgho traduit immédiatement l'usage principal recherché.

Tableau 1: Répartition des superficies semées en sorgho au Nicaragua entre 2000 et 2008 en fonction des trois principaux types (en milliers d'ha)

Cycle agricole	<i>Millón</i>	<i>Tortillero</i>	<i>Industrial</i>	Total
2000-2001	29.9	25.1	22.7	77.7
2002-2003	24.2	8.8	31.3	64.3
2007-2008	24.6	13.3	16.3	54.3

Sources : INEC (2002) et MAG-FOR (2004 et 2009).

Selon plusieurs études, la région Amérique Centrale (AC) sera une des régions tropicales les plus affectées par les effets du changement climatique. En se basant sur l'index de changement climatique régional RCCI, Giorgi (2006) identifie la région AC comme *most prominent tropical Hot-Spot*, en prévoyant une diminution globale et un accroissement de la variabilité inter-annuelle des précipitations. Dans une autre étude sur l'évolution des ressources en eau pour l'agriculture, Arnell (2004) classe également la région AC parmi celles qui subiront une augmentation élevée des contraintes sur les ressources hydriques.

Dans les zones sèches où la production de maïs reste très aléatoire, les sorghos à grain blanc sont en premier lieu utilisés pour l'élaboration des tortillas. La tortilla est un aliment de base dans la diète des familles rurales nicaraguayennes. Selon diverses études, les variétés de sorgho à grain blanc sans tannins et endosperme semi-vitreux permettent de préparer des tortillas ayant des caractéristiques de couleur, flaveur et texture acceptables en comparaison aux tortillas de maïs (Fliedel *et al.*, 1996; Anglani, 1998). Selon une étude de l'Institut de Nutrition d'Amérique Centrale (INCAP) citée par Martínez (2003), les tortillas de maïs et de sorgho ont des valeurs nutritionnelles similaires. La tortilla de sorgho a une valeur énergétique équivalente à celle de maïs mais est plus riche en protéines et en minéraux, lorsque la cuisson est réalisé avec des cendres (forme la plus commune de préparer les tortillas en milieu rural au Nicaragua). Dans une autre étude, Serna-Saldivar et al. (1988) ont montré que les grains cuits (*nixtamal*) et la pâte (*masa*) de sorgho contiennent plus de protéines et fibres insolubles et moins de lipides que les mêmes produits élaborée avec du maïs. Au Nicaragua les consommateurs préfèrent les tortillas de couleur très claire, avec une texture et un goût ressemblant le plus possible à ceux des tortillas de maïs car la référence en qualité est la tortilla produite à partir de maïs blanc. Les grains de sorgho sont également utilisés pour élaborer d'autres produits alimentaires, dont certains sont illustrés en annexe II: les *turrone*s (type de nougat), les *rosquetes* et *masapanes* (gâteaux secs), la *chicha* (bière artisanale), l'*atol* et le *pinol* (boissons non fermentées). Toutefois, contrairement au cas de l'Afrique de l'Ouest, il n'y a pas de cultivars spécifiquement destinés à la préparation de la bière locale et des autres boissons. Les grains entiers et/ou les sons servent également à l'alimentation des volailles de ferme et des porcins (Annexe II). Après récolte des grains, les pailles des types *tortillero* et *industriel* sont utilisés comme fourrage de saison sèche pour l'alimentation des ruminants ; ces pailles peuvent être directement consommées par les animaux dans les champs ou être récoltées puis stockées à la ferme ou vendues aux éleveurs (Annexe II). Les tiges des sorghos *millón* sont quelquefois utilisées pour la construction de poulaillers et de hangars. Certaines variétés spécialisées dénommées *sorgho escoba* (sorgho à balais) sont utilisées pour la confection de balais artisanaux, pour un usage domestique et pour la vente sur les marchés urbains locaux (Annexe II).

3.2 Dynamique de la culture du sorgho dans la région Nord du Nicaragua

(tiré de l'article *Farmers and sorghum in Nicaragua's northern region*, G. Trouche et al., publié dans *LEISA Climate change and resilience*, Issue 24.4, septembre 2008).

Dans le département de Madriz, région Nord du Nicaragua, une étude réalisée en 2002 sur les systèmes de production agricole a mis en évidence que les agriculteurs pauvres cultivent de plus en plus le sorgho à grain blanc au détriment du maïs traditionnel. Ils acceptent et sont même très intéressés pour discuter avec les chercheurs des problèmes de production et des modes d'utilisation du sorgho dans leurs villages, ce qui contraste avec leur position antérieure, une vingtaine d'années auparavant, lorsqu'ils n'aimaient pas parler de cette culture avec des personnes étrangères à leur communauté. "*Es la primera vez*" raconte une productrice de la communauté de La Manzana à San Lucas "*que veo investigadores interesados en mejorar mi millón, cuando para mí este cultivo es mi seguro climático desde siempre*"². Pour ces agriculteurs, cultiver – et, pire encore, déclarer qu'ils consomment des tortillas de sorgho – était un signe trop évident de leur grande pauvreté. Dans cette étude ils retracent l'évolution de cette culture au cours des quarante dernières années (Martinez, 2003). Aujourd'hui en majorité ils cultivent des sorghos de cycle court désignés *tortillero*; les superficies sont en augmentation au détriment des sorghos *millón* traditionnels. Outre la précocité, ils apprécient la qualité des tortillas et la qualité fourragère des pailles de ces sorghos *tortillero*. Une autre étude souligne qu'au cours des vingt dernières années, ces agriculteurs ont massivement adopté différentes variétés de sorgho *tortillero*, en dehors de tout système de vulgarisation gouvernemental (Trouche *et al.*, 2006a). Cela témoigne du dynamisme et de la capacité d'innovations des agriculteurs de cette région. La culture du sorgho n'a jamais été prioritaire dans les actions des organismes de recherche et de vulgarisation. Cependant, selon les producteurs eux-mêmes, les variétés de sorgho *tortillero* qui ont été adoptées et les variétés locales de *millón*, qui se maintiennent dans les zones de collines, présentent certaines insuffisances. A l'occasion du travail de diagnostic, ils ont ainsi exprimé leur intérêt de les améliorer par le moyen d'une collaboration avec les chercheurs.

Les agriculteurs, qui vivent dans ces conditions difficiles, participent volontairement aux actions de sélection participative du sorgho, pris dans un cadre de recherche action, pour améliorer leurs conditions de vie, pour mieux s'adapter à un environnement climatique changeant et imprévisible dont ils identifient très bien les effets négatifs. Lorsqu'on analyse les critères que les agriculteurs utilisent pour définir les variétés recherchées, on peut mieux appréhender leur perception du changement climatique. Ils ne le mesurent pas par rapport à l'occurrence des catastrophes majeures (inondations, ouragans, sécheresses extrêmes). Au contraire, ils mettent l'accent sur l'alternance aléatoire de cycles climatiques, inter-annuels et intra-année, se traduisant par les périodes de déficit pluviométrique suivis par d'autres caractérisés par des excès de pluies. Leur réponse à cette instabilité du climat est d'utiliser une diversité appropriée de bonnes variétés pour les deux cultures offrant la meilleure adaptation et sécurité de production dans leur environnement, le sorgho et le haricot. Leur espoir est de trouver dans chaque variété une plasticité de comportement permettant de produire à peu près sous n'importe quelles conditions météorologiques. Le programme SP tente de répondre à leurs inquiétudes. Créer des variétés avec ces qualités est, pour ces agriculteurs, un moyen d'anticiper le changement climatique.

² C'est la première fois que je rencontre des chercheurs intéressés pour améliorer mon sorgho *millón*, alors que cette culture représente depuis toujours mon assurance face aux aléas climatiques.

CHAPITRE 1 : Revue de littérature

Chapitre I : Revue de littérature

A. La sélection participative

1. Historique et concepts

Dans un grand nombre de contextes de la production agricole des pays du Sud, en particulier dans les zones dites « marginales » et pour les systèmes de production à faibles intrants, l'expérience des 30 dernières années montre que la sélection moderne conventionnelle a trop rarement réussi à produire des variétés répondant aux attentes des petits agriculteurs. Ces environnements agricoles marginaux, qui n'ont pas ou peu été touchés par la révolution verte, sont prédominants en Afrique sub-saharienne, en Amérique centrale et zone andine et certaines parties de l'Asie. Les agro-écosystèmes de ces régions se caractérisent par une grande variabilité spatiale et/ou temporelle des conditions de production (sols, climat, contraintes biotiques, systèmes de culture...). De plus, dans le cas des cultures alimentaires traditionnelles, il existe une grande diversité dans les usages des produits de la culture et dans les critères de qualité des plats élaborés, en relation avec les diversités culturelle et sociale des communautés paysannes. Les programmes de sélection mis en œuvre selon les objectifs de la révolution verte ont trop souvent ignoré cette diversité des conditions de production et usages, en cherchant surtout à développer des variétés répondant à des scénarios d'intensification qui n'ont pas été réalisés. En conséquence, dans ces situations agricoles, les variétés modernes ont été très peu adoptées par les agriculteurs et ont eu un impact très limité sur la production agricole. Face à ce constat d'échec, il est apparu nécessaire de redéfinir les objectifs et les approches de la sélection variétale, surtout lorsqu'elle était destinée aux agricultures familiales dans des agro-systèmes non intensifiés et à fortes contraintes pédo-climatiques.

L'idée d'associer les agriculteurs dans le développement des nouvelles variétés de cultures vivrières en Afrique a été évoquée très tôt par les agronomes, par exemple par P. Viguié dès 1939. Mais le terme de sélection participative ou sa traduction en anglais (*participatory plant breeding* ou *participatory crop improvement*) et sa conceptualisation ne sont apparus dans la littérature scientifique qu'à la fin des années 80 et début des années 90. La remise en cause des objectifs et approches de la sélection variétale dans les pays du Sud est d'abord venue des chercheurs en sciences sociales et des agronomes. En Inde, Maurya *et al.* (1988) avaient constaté que les programmes d'amélioration variétale du riz pluvial étaient très fortement centralisés et produisaient un nombre limité de nouvelles variétés par rapport à la diversité des conditions de production. Les auteurs jugent alors que cette organisation est inappropriée pour répondre aux besoins d'une large proportion d'agriculteurs indiens situés dans des environnements agricoles hautement diversifiés. Ils proposent ainsi de suivre une stratégie de sélection alternative, plus participative et décentralisée, qui inclut le diagnostic des critères de sélection clé des agriculteurs pour l'adaptation des variétés à leurs systèmes de culture et aux contraintes de leur environnement, l'étude par les chercheurs des caractères adaptatifs des variétés de riz traditionnelles et la participation des producteurs à l'évaluation finale des variétés proposées. En 1993, Sperling *et al.*, proposent de redéfinir le rôle des agriculteurs, et surtout des femmes agricultrices, dans la conduite des programmes d'amélioration variétale du haricot au Rwanda. Des femmes *experts* provenant de différentes régions sont invitées à évaluer en station les nouvelles lignées de haricot développées par les chercheurs dans le but

de 1) mieux connaître les caractéristiques de la plante et les attributs de qualité du grain recherchés et 2) leur permettre de sélectionner les lignées répondant le mieux à ces critères. Dans les tests qui sont réalisés *in situ* dans le village d'origine des agricultrices *expertes*, ces lignées s'avèrent souvent plus productives et mieux acceptées que les nouvelles lignées choisies par les chercheurs. Ayant également observé que cette stratégie de sélection, qualifiée de *client-driven breeding program*, conduisait à augmenter la diversité génétique des variétés adoptables et à réduire les coûts de recherche, les auteurs recommandent son application au Rwanda. A partir du milieu des années 90, Witcombe *et al.* (1996) proposent de distinguer deux approches pour la sélection participative : la sélection variétale participative (*Participatory Variety Selection*, PVS), qui implique les agriculteurs dans l'étape d'évaluation et sélection du matériel végétal fixé, variétés ou lignées avancées, et la création variétale participative (*Participatory Plant Breeding* au sens strict, PPB), dans laquelle les agriculteurs interviennent dans l'étape de sélection dans les populations en ségrégation mais aussi les autres étapes amont et aval. Cette distinction, bien qu'assez artificielle et pas toujours pertinente selon les espèces considérées, reste très utilisée.

Au sein du système international de la recherche agricole, l'atelier « *Participatory Plant Breeding* » organisé à Wageningen, Pays-Bas, en 1995 a constitué un acte fondateur pour faire connaître les approches de sélection participative développées par certaines équipes de chercheurs « pionniers » dans ce domaine et promouvoir l'utilisation de cette stratégie de sélection (Eyzaguirre and Iwanaga, 1996). Dans la continuité de cet atelier, de grandes conférences régionales ont été organisées en Asie (Pokhara, 2000), Amérique Latine (Quito, 1999) et Afrique (Bouaké, 2001) à l'initiative du Programme *Participatory Research and Gender Analysis* (PRGA) du CGIAR. Ces conférences ont ainsi permis des échanges importants entre les chercheurs du système international et des SNRA³, et les techniciens de développement et vulgarisation sur les objectifs et les méthodes de la sélection participative, sur la base de l'expérience des projets conduits sur différents terrains et espèces.

Au Cirad, au sein d'un groupe de réflexion et animation sur la sélection participative mis en place en 2001, Lançon (2002) a proposé l'utilisation du terme d'Amélioration Génétique Participative (AGP) à la place de celui de sélection participative, car ce dernier pouvait être jugé restrictif à la seule étape du choix des génotypes. L'AGP est alors définie comme l'implication de tous les acteurs économiques et institutionnels d'une filière agricole, parmi lesquels se trouvent les agriculteurs, dans les différentes étapes du processus de développement des variétés.

Dans un article plus récent, Witcombe *et al.* (2005) considèrent que la stratégie de sélection participative devrait plutôt être désignée par sa finalité que par la façon dont elle est conduite et proposent ainsi d'utiliser le terme de *client-oriented breeding*. Les auteurs reconnaissent que tous les programmes de sélection sont implicitement orientés vers une demande des clients mais peu, surtout parmi les programmes publics dans les pays du Sud, utilisent explicitement les méthodes et techniques qui permettent de répondre effectivement aux besoins de ces clients.

Depuis le début des années 2000, les programmes d'amélioration variétale conduits selon des approches participatives sont en augmentation dans les pays du Sud. Dans un contexte de réduction des programmes publics de création variétale, ils surtout mis en œuvre par des collectifs associant des chercheurs des SNRA et des ONG⁴ et/ou des OP⁵ locales, qui très souvent en ont eu l'initiative et en financent les actions.

³ Systèmes Nationaux de Recherche Agricole.

⁴ Organisation Non Gouvernementale.

⁵ Organisation de Producteurs.

On constate cependant que la communauté des sélectionneurs-génétiens du domaine public est peu impliquée dans le développement de méthodes ou outils de sélection spécifiques à cette approche et/ou dans leur mise en œuvre sur le terrain. C'est d'autant plus regrettable que les progrès de la génétique moléculaire ont mis à la disposition des sélectionneurs de nouveaux outils qui mériteraient d'être repensés en fonction des objectifs et contraintes de la sélection participative.

2. Objectifs

Les programmes de sélection participative décentralisée poursuivent généralement un ou plusieurs des quatre objectifs principaux suivants :

- Développer des variétés de meilleure performance agronomique pour des environnements agro-climatiques souvent contraignants et/ou systèmes de culture spécifiques ;
- Développer des variétés qui répondent mieux aux critères de qualité exigés par les producteurs et les autres acteurs de la filière de production pour les différents usages de la culture ;
- Préserver et valoriser la diversité génétique existante *in* et *ex situ* dans un objectif d'agriculture durable ;
- Renforcer les capacités des agriculteurs et de leurs organisations pour jouer un rôle majeur dans les actions de recherche et de vulgarisation agricoles les concernant.

Dans les pays du Sud, les programmes de sélection participative décentralisée ont été essentiellement conçus pour les cultures vivrières produites dans des environnements à fortes contraintes et/ou des systèmes de culture à faibles intrants plus ou moins « spécifiques », dans le cadre d'une agriculture familiale. Pour être adoptée par les producteurs, une nouvelle variété doit au minimum produire aussi bien que les variétés traditionnelles dans les systèmes de culture existants, en apportant des qualités agronomiques et/ou des qualités de production intéressantes, tout en étant capable de répondre aux dynamiques locales d'intensification progressive de la production. Parmi les objectifs de sélection considérés dans les programmes de sélection participative décrits dans la littérature, on trouve ainsi, souvent en combinaisons multiples, l'adaptation à des contraintes bio-physiques telles que le froid, la sécheresse et l'irrégularité des pluies, et la faible fertilité des sols, les exigences des systèmes de culture, et la résistance à certaines maladies et ravageurs (Tableau 2). La qualité des produits, pour la consommation familiale ou pour le marché local, fait presque toujours partie de ces objectifs de sélection, même si elle est davantage mise en avant dans certains cas (Tableau 2). Ces programmes s'appuient d'abord sur un échange de connaissances et savoirs entre agriculteurs et chercheurs pour identifier les critères de sélection prioritaires et définir les idéotypes les plus appropriés par rapport aux conditions de production et aux utilisations de la culture.

Quelques expériences peu nombreuses concernent des cultures « industrielles » telles que le coton (Lançon *et al.*, 2004; Lançon *et al.*, 2006), ou des cultures vivrières majoritairement destinées au marché (Mengue Efanden *et al.*, 2006; Araya *et al.*, 2006; Belay *et al.*, 2006; Manu-Aduening *et al.*, 2006). Dans ces expériences, les acteurs intermédiaires et les transformateurs des filières concernées sont impliqués dans le processus de sélection.

Tableau 2: Principaux objectifs d'amélioration et caractères cibles des programmes de sélection participative conduits dans les pays du Sud

Objectif d'amélioration	Caractères cibles	Etudes de cas décrits dans la littérature
Adaptation aux contraintes biophysiques	Sécheresse	Mil : Weltzien <i>et al.</i> (1996) Sorgho: Multatu et Belete (2001) Orge : Ceccarelli <i>et al.</i> (2000 ; 2001 ; 2003)
	Forte irrégularité des pluies	Riz : Courtois <i>et al.</i> (2001)
	Sols de faible fertilité	Haricot: Sperling <i>et al.</i> (1993); Kornegay <i>et al.</i> (1995) Sorgho : Vom Brocke <i>et al.</i> (2008 ; 2010) ; Trouche <i>et al.</i> (2009) Riz : Joshi et Witcombe (1996) Orge : Ceccarelli <i>et al.</i> (2001 ; 2003)
	Froid	Riz : Sthapit <i>et al.</i> (1996) ; Gyawali <i>et al.</i> (2007) Orge : Ceccarelli <i>et al.</i> (2001)
Résistance aux facteurs biotiques	Maladies et ravageurs	Manioc : Manu-Aduening <i>et al.</i> (2006) Riz : Sthapit <i>et al.</i> (1996) Haricot : Rosas <i>et al.</i> (2003); Almekinders <i>et al.</i> (2006); Araya <i>et al.</i> (2006)
Exigences des systèmes de culture	Systèmes de culture à fortes contraintes techniques ou agronomiques	Maïs : Tiwari <i>et al.</i> (2009) Riz : Joshi <i>et al.</i> (2007) Haricot : Sperling <i>et al.</i> (1993)
	Type de plante	Blé : Thapa <i>et al.</i> (2009) Riz : Virk <i>et al.</i> (2003) ; Trouche <i>et al.</i> (2006) Haricot : Rosas <i>et al.</i> (2003)
Qualité des produits	Qualité de grain pour la consommation familiale et marchés locaux	Mil : Weltzien <i>et al.</i> (1996) Sorgho : Mulatu et Belete (2001) ; Nkongolo <i>et al.</i> (2008) ; Trouche <i>et al.</i> (2009) ; vom Brocke <i>et al.</i> (2010) Tef : Belay <i>et al.</i> (2006) Haricot : Kornegay <i>et al.</i> (1995) ; Rosas (2001) ; Almekinders <i>et al.</i> (2006) Manioc : Manu-Aduening <i>et al.</i> (2006)
	Qualité pour transformation ou marchés nationaux ou exportation	Coton : Lançon <i>et al.</i> (2004 ; 2006) Haricot : Araya <i>et al.</i> (2006) Manioc : Manu-Aduening <i>et al.</i> (2006) Banane Plantain : Mengue Efanden <i>et al.</i> (2006)

Dans les pays du Nord, la sélection participative a émergé dans un contexte plus radical afin de répondre à une demande sociale en faveur d'une agriculture plus ancrée dans les terroirs, plus respectueuse de l'environnement et plus soucieuse de la qualité de vie. Elle vise à retrouver des anciennes variétés reconnues pour leurs qualités gustatives notamment, ou à

développer des variétés mieux adaptées à des niches particulières, notamment celles de l'agriculture biologique. Le savoir-faire des agriculteurs du Nord en matière de sélection variétale ayant été perdu avec la modernisation et la spécialisation de l'agriculture, il est intéressant de voir comment certains agriculteurs cherchent aujourd'hui à se réapproprier une compétence en sélection variétale pour inventer de nouveaux modes de production, moins standardisés et préservant leur indépendance (Nolot, 2005).

3. Modes de participation

Depuis la fin des années 80 et l'émergence des concepts de recherche participative, plusieurs typologies ont été proposées pour définir le degré de participation des acteurs dans un processus. Biggs (1989) a proposé de distinguer quatre niveaux de participation: contractuel (agriculteurs sont payés pour gérer les essais des chercheurs *in situ*), consultatif (agriculteurs sont seulement consultés), collaboratif (agriculteurs sont des partenaires actifs du processus de recherche) et collégial (les agriculteurs sont les acteurs leaders du processus de recherche). Dans une autre typologie qui sert souvent de référence, Pretty (1995) propose une typologie avec sept types de participation. Les cinq premiers types «Participation de manipulation», «participation passive», «participation par consultation», «participation pour des bénéfices matériels» et «participation fonctionnelle» sont définis selon un degré d'implication croissant des utilisateurs ou bénéficiaires dans la réalisation du programme ou projet mais cela reste une démarche top-down et les prises de décisions restent le plus souvent prises par intervenants extérieurs. Dans les deux derniers types, la «Participation interactive» où les utilisateurs participent à l'analyse conjointe des problèmes à résoudre, au développement des plans d'action et de renforcement des institutions locales, et l'«Auto-mobilisation», où ils ont pris l'initiative de contacter des intervenants extérieurs pour obtenir des ressources et un appui technique à la réalisation d'objectifs qu'ils ont eux-mêmes définis, la tendance s'est inversée et les utilisateurs ont une voix prépondérante dans les prises de décisions. D'autres auteurs, comme Lilja et Ashby (1999), dont la réflexion est essentiellement focalisée sur les modes de collaboration entre chercheurs et agriculteurs dans un processus de recherche participative, identifient cinq types de participation selon le partage des prises de décision entre ces deux groupes : 1) « conventionnel » où les agriculteurs ne participent pas aux décisions, même s'ils peuvent être amenés à prêter leur terre et leur force de travail pour des expérimentations en milieu paysan, 2) « Participation consultative » où les agriculteurs sont consultés sur leurs préférences variétales et priorités d'amélioration par le moyen d'une communication organisée avec les chercheurs mais les décisions clés restent prises par ces derniers, 3) «Participation collaborative» où les prises de décisions au cours des différentes étapes du programme de sélection sont partagées entre agriculteurs et chercheurs, 4) « Participation collégiale » dans lequel le programme de sélection est géré par des petits groupes ou des agriculteurs individuels mais avec certaines prises de décisions collectives et une communication organisée avec les chercheurs. Les agriculteurs peuvent ou non prendre en compte les recommandations scientifiques de ces derniers pour prendre leurs décisions, et 5) "Expérimentation paysanne», où la recherche est gérée entièrement par les agriculteurs avec aucune concertation organisée avec les chercheurs. La plupart des chercheurs impliqués dans des processus de recherche participative s'accordent pour dire qu'il n'y a pas de formule pour décider quel niveau de participation est « meilleur ». Le degré de collaboration entre agriculteurs et chercheurs dépendra du contexte, des objectifs de la recherche, des aptitudes et motivations des participants des deux groupes, et des ressources disponibles et leur pérennité. On peut également reprocher à ces typologies une trop grande simplification et d'être définies essentiellement sur la base des collaborations entre les seuls agriculteurs et chercheurs alors que très souvent les programmes de sélection participative impliquent d'autres catégories

d'acteurs dont le rôle est primordial, notamment les techniciens et ingénieurs des ONG et OP locales. De plus pour un même programme de sélection, la participation des différents acteurs est rarement identique du début à la fin du processus et représente très souvent une combinaison multiple de ces différents types. Dans la plupart des publications concernant la sélection participative, le degré de participation des agriculteurs, lorsqu'il est précisé, se réfère à la typologie proposée par Biggs (1989).

Quelques exemples pris dans la littérature illustrent la difficulté de définir objectivement le degré de participation des agriculteurs et des chercheurs dans les programmes de sélection participative selon les typologies établies. En décrivant la méthodologie de création de la variété de riz Ashoka 200F, Virk *et al.* (2003) considèrent que cette variété résulte d'un processus de sélection collaborative, selon la typologie de Biggs. Dans la description des étapes de développement de la variété, on note cependant que la participation réelle des agriculteurs dans le travail de sélection se limite à UN cycle de sélection massale réalisé *in situ* par UN agriculteur sur un bulk F4, alors que toutes les autres étapes de sélection précédentes et suivantes ont été réalisées *ex situ* par les chercheurs sélectionneurs, certes en prenant en compte des critères d'adaptation et de qualité définis avec les agriculteurs mais sans leur participation aux prises de décision, ce qui correspond à la définition de la participation consultative. La difficulté de définir objectivement le degré de contribution des agriculteurs et des chercheurs ainsi que l'effet de la sélection des agriculteurs vs la sélection *in situ*, dans l'obtention de génotypes performants produits par la sélection participative apparaît dans l'analyse d'autres travaux publiés (Ceccarelli *et al.*, 2000; 2001).

Dans une analyse comparative basée sur l'expérience des travaux sur riz pluvial en Inde, Virk *et al.* (2003) concluent que la sélection collaborative (SCI) et la sélection consultative (SCs) donnent à peu près les mêmes résultats en rendement et qualité de grain (en comparant la meilleure lignée issue de chaque mode). Mais la meilleure lignée issue du mode SCs est plus tardive de 7 jours par rapport à celle issue du mode SCI. De plus les auteurs jugent le mode SCI plus couteux en ressources et en temps de travail du breeder que le mode SCs, ce qui ne semble pas vraiment convaincant dans le cas de la lignée « collaborative » Ashoka 200F.

4. Stade et degré d'implication des agriculteurs dans le processus de développement des variétés

4.1. Sélection variétale participative (PVS)

Dans la méthode PVS, les agriculteurs évaluent dans leurs conditions de culture une gamme diversifiée (large) de lignées fixées (ou presque fixées) existantes et sélectionnent au sein de celles-ci les meilleurs matériels (Witcombe *et al.*, 1996). Une grande majorité des programmes de sélection participative reportée dans la littérature a été conduit en suivant la méthode PVS. Pour démarrer un programme de sélection participative, la méthode PVS constitue une approche pragmatique, assez facile à mettre en œuvre et généralement de faible coût. En testant directement dans l'environnement et les systèmes de culture cibles un large panel de lignées améliorées et anciennes variétés déjà disponibles, où très souvent elles n'ont jamais été évaluées, et en évaluant leur acceptation par les agriculteurs, elle permet d'identifier des variétés de qualité ayant les caractères de rusticité, adaptation et résistance requis qui, parce qu'elles n'expriment les meilleurs rendements en conditions favorables n'auraient pas été retenues dans une approche conventionnelle.

En faisant une revue des résultats des programmes conduits selon cette approche, on observe qu'elle peut aboutir à l'identification de variétés montrant des gains de rendement de + 15 à 45% par rapport aux meilleures variétés paysannes, en apportant de plus des attributs de précocité, résistance aux maladies et qualité de grain qui sont recherchés par les agriculteurs (Tableau 3).

4.2. Création variétale participative (PPB)

La création variétale participative est souvent considérée comme une stratégie d'amélioration à plus long-terme qui vise à surpasser les performances des meilleures variétés identifiées selon la méthode PVS (Virk *et al.*, 2003). Elle s'applique souvent, bien que non exclusivement, pour des conditions de milieu et de culture très particulières et éloignées des environnements de sélection normalisés. Les programmes de sélection s'appuient sur une bonne connaissance préalable de la diversité et des caractéristiques d'adaptation et qualité des variétés locales cultivées dans les environnements cibles et l'exploitation des caractères de qualité du matériel local par croisements avec du matériel exotique apportant les caractères complémentaires recherchés. Les objectifs d'amélioration ne sont pas fondamentalement différents de ceux poursuivis par la méthode PVS. Dans cette stratégie PPB, l'objectif de valorisation ou conservation dynamique de la biodiversité locale est souvent clairement affiché (Trouche *et al.*, 2004).

4.2.1 Méthodes de création de la variabilité génétique

Dans une grande majorité des cas décrits dans la littérature, les schémas PPB sont construits à partir de populations F₂ dérivées de croisements simples (croisements 2 voies), réalisés entre une bonne variété locale adaptée à l'environnement cible et une variété exotique source de(s) caractère(s) à améliorer (Sthapit *et al.*, 1996; Virk *et al.*, 2003 ; Araya *et al.*, 2006 ; Ceccarelli *et al.*, 2001 et 2003).

En se basant sur la théorie de la sélection, Witcombe et Virk (2001) considèrent que des populations synthétiques à base génétique « ciblée » peuvent être une source de variabilité génétique appropriée pour conduire des programmes de création variétale participative. Sur cette base théorique, il est alors envisageable de rompre le paradigme entre progrès génétique et réduction de diversité génétique, en combinant les objectifs de l'amélioration variétale, moins standardisés et plus spécifiques, avec une conservation dynamique de la biodiversité locale. Cette approche innovante, qui intègre la création de populations composite à base génétique large d'origine locale et leur amélioration par la sélection récurrente, et l'extraction de lignées par la sélection généalogique, ces deux phases étant réalisées avec les agriculteurs, a été notamment appliquée sur le sorgho au Burkina Faso (vom Brocke *et al.*, 2008) et au Mali (Vaksmann *et al.*, 2008) et sur le riz au Nicaragua (Trouche *et al.*, 2008) et en Colombie (Vales *et al.*, 2002).

4.2.2. Méthodes de sélection

Les méthodes de sélection les plus communément utilisées dans les programmes conventionnels d'amélioration des plantes sont également utilisées dans les programmes de création variétale participative. Il s'agit en particulier des méthodes de sélection suivantes :

- massale: sélection massale classique sur riz en Inde à partir de bulks F₄ issus de croisements entre variété locale adaptée et variété améliorée (Virk *et al.*, 2003),

sélection massale stratifiée sur maïs au Brésil à partir de composite ou variétés populations *criollas* (Toledo-Machado *et al.*, 2006) ;

- généalogique ou pédigrée: méthode la plus communément utilisée, exemples nombreux dans la littérature ;
- *single seed descent* (SSD): testé sur haricot au Honduras (Rosas *et al.*, 2003) ;
- sélection sur ½ frères ou half-sib: sélection de plantes individuelles à partir de familles HS puis sélection clonale chez le manioc (Manu-Aduening *et al.*, 2003), sélection dans des populations *criollas* de maïs au Honduras (Rosas *et al.*, 2006).

4.2.3. Progrès génétiques obtenus sur différents terrains du Sud

Les tableaux 4 et 5 présentent les progrès obtenus, en matière de rendement et d'autres caractères agronomiques et de qualité en sélection, par une dizaine de programmes de création variétale participative dans lesquels les agriculteurs ont été impliqués dès les générations précoces ou plus tardivement à partir de bulks hétérogènes.

Le tableau 4 montre que les programmes de création variétale participative conduisent à des gains de rendement grains généralement compris entre 18 et 50% en comparaison avec les meilleures variétés locales et de 7 à 70% en comparaison avec meilleures variétés commerciales utilisées comme témoins. Le programme PPB riz d'altitude au Népal (Gyawali *et al.*, 2007) n'a pas apporté de gains en matière de rendement mais plutôt dans la combinaison rendement-durée de cycle-qualité des grains. Le programme PPB maïs au Brésil (Toledo-Machado *et al.*, 2006) se distingue par des gains de productivité très élevés par rapport aux variétés locales d'origine. Le tableau 5 résume les progrès ou améliorations obtenus par ces mêmes programmes pour divers autres caractères quantitatifs et qualitatifs en sélection. Ces progrès concernent très souvent la durée de cycle (gain de précocité) et la qualité des grains pour la vente et la consommation.

L'obtention de cultivars combinant de bons niveaux de rendement *in situ* avec une plus grande précocité, une bonne qualité de grain et un type de plante adéquat est très intéressant pour les agriculteurs des zones vulnérables car ces idéotypes sont rarement obtenus par les programmes de sélection conventionnels (Virk *et al.*, 2003). Des génotypes montrant cette combinaison de caractères sont assez souvent produits par les programmes PPB décentralisés (Virk *et al.*, 2003 ; Witcombe *et al.*, 2006 ; Trouche *et al.*, 2011).

Dans une étude sur le riz, Joshi *et al.* (2007) ont montré que des programmes PPB décentralisés, développés au Népal sur la base des préférences locales des agriculteurs, ont produit des variétés de large adaptation géographique, ce qui est conteste l'hypothèse d'une adaptation strictement locale des sélections PPB. Ainsi deux lignées développées en conditions d'altitude au Népal (Judi 582 et Judi 567) se révèlent également performantes au niveau de la mer au Bangladesh, que ce soit durant la saison T-Aman (mousson) ou la saison Aus (pré-mousson). De plus, elles montrent une grande plasticité de production sous différents niveaux d'intrants. Les auteurs associent ce résultat au mode de sélection de ces deux lignées: les cycles de sélection ont été conduits durant deux saisons de culture contrastées (irrigué et pluvial), chez plusieurs agriculteurs appliquant chacun ses propres pratiques culturales. La sélection ayant été conduite avec des quantités d'engrais azoté limitées, les auteurs supposent que les lignées créées dans ces conditions présentent un NUE⁶ élevé et répondent efficacement aux fortes doses d'azote apportées par les agriculteurs bangladais.

⁶ Nitrogen Use Efficiency

Tableau 3: Récapitulatif des expériences *successful* de sélection variétale participative les mieux décrites dans la littérature

Plante/pays	Références	Environnement cible	Nom de la variété	Acteurs impliqués	Gains en rendement	Autres qualités
Maïs/ Népal	Tiwari <i>et al.</i> , 2009	Collines d'altitude (1000-1700 m), association avec finger millet, faibles intrants (fumure organique)	Manakamana-3	CIMMYT, SNRA national (NARC), 5 ONG nationales, OP locales et agences de vulgarisation agric.	+ 52-21% vs variétés locales	Tolérance à la sécheresse au stade végétatif (stress fréquent), tolérance à la verse, résistance maladies foliaires, taille des épis, mais cycle + long
Riz/ Inde	Joshi and Witcombe, 1996	Divers niveaux de fertilité, faibles intrants, risques de sécheresse	Kalinga III	Gros projet de développement, ONG locale, groupes de producteurs	+ 46% vs variétés locales (landraces) pour 58 tests	Plus précoce à floraison et maturité, taille appropriée, meilleurs rendements en grains entiers et qualité du grain pour le marché.
Riz pluvial/ Nicaragua	Trouche <i>et al.</i> , 2006 ; INTA 2010	Systèmes de culture à faibles intrants, zones rizicoles marginales (risques de sécheresse)	WAB 758-1-1-HB-4 : INTA Fortaleza	Ciat-Cirad, SNRA, groupes locaux de producteurs de riz	+ 20 % vs variété locale	Excellent rapport entre productivité et durée de cycle, très précoce, qualité de grain, tolérance maladies
Sorgho <i>tortillero</i> / Nicaragua	Trouche <i>et al.</i> , 2008	Systèmes de culture manuels à faibles intrants	Blanco Tortillero	Cirad, 1 ONG nationale, SNRA, 4 coopératives, 1 réseau régional	+ 36 % vs cultivars des producteurs	Précocité, rusticité et tolérance sécheresse, stabilité du rendt, grosseur et qualité de grain
Sorgho <i>millón</i> / Nicaragua	Trouche <i>et al.</i> , 2008	Systèmes de culture manuels à faibles intrants, zones de collines	Coludo Nevado	Cirad, 1 ONG nationale, SNRA, 4 coopératives, 1 réseau régional	+15% vs variétés « criollas »	Tolérance à la sécheresse, rusticité, grosseur et qualité de grain
Sorgho/Burkina	Vom Brocke <i>et al.</i> , en preparation	Systèmes de culture en voie d'intensification par la culture cotonnière	Gnossiconi	Cirad + SNRA, 1 OP régionale, 1 gros projet SP	+ 40-30% vs variété locale	Précocité, bonne réponse aux engrais et culture associée, qualité du grain
Sorgho/ Ethiopie	Mulatu and Belete, 2001	Lowlands, culture associée sorgho-arachide, risques de sécheresse aux 3 stades, pression de ravageurs	Gambella 1107	SNRA, services de vulgarisation, paysans individuels	+ 9% en année normale, 1600 Kg/ha vs 0 en année déficitaire vs local landrace Chame	Précocité, meilleur aspect du grain (couleur, taille), qualité du plat (injera), facilité de décorticage, robustesse des tiges.

Tableau 4: Synthèse des gains de rendement obtenus par différents programmes de création variétale participative décrits dans la littérature

Plante/ pays	Variété(s)	Référence	Mode de collaboration avec les agriculteurs	Stade et méthode sélection appliquée	Gains de rendement versus parent local	Gains de rendement versus variété améliorée témoin
Riz pluvial/Inde	Ashoka 200F	Virk <i>et al.</i> , 2003	Collaborative	Un cycle de sélection massale <i>in situ</i> sur bulk F ₄	+ 19% *(dans 7 essais station)	+ 28%* vs BG 102 (dans 7 essais station) - 28 % vs Anada (dans 10 essais)
					+ 19% *(dans 40 tests mother <i>in situ</i>) + 25% * (dans 34 tests baby)	+ 51% * (dans 40 tests mother <i>in situ</i>)
Riz pluvial/Inde	Ashoka 228	Virk <i>et al.</i> , 2003	Consultative	Un cycle d'évaluation et sélection des meilleures lignées F ₄ en station	+ 18% * (dans 7 essais station)	+ 27% * vs BG 102 (dans 7 essais station) +0% vs Anada (dans 10 essais)
					+ 23% * (dans 40 tests mother <i>in situ</i>) + 18% * dans 69 tests baby	+ 56% * (dans 40 <i>mother trials in situ</i>)
Riz d'altitude/ Népal	Machlapuchhre-3	Sthapit <i>et al.</i> , 1996	Collaborative	3 cycles sélection massale par les SP _r pour tolérance au froid et résistance à SBR (F ₂ - F ₄) 1 cycle de sélection massale puis 1 cycle sélection pédigrée en altitude (>2000 m) géré par les producteurs	+ 24% à 1700 m, -12% à 2000m (1 année, tests chercheurs)	+ 24% à 1700 m et + 79% à 2000 m d'altitude vs 5 meilleures lignées du programme national conventionnel (1 année, tests chercheurs)
Riz d'altitude/ Népal	Judi 141F	Gyawali <i>et al.</i> , 2007	Collaborative	Un cycle d'évaluation <i>in situ</i> des F ₃ puis 4 cycles de sélection sur bulks F ₇ construits et avancés par les SP _r selon cycle/hauteur/type de grain		- 17%, -13% et 0% vs CH45 - 3% vs Judi 102 (sélection du breeder à partir du même bulk F7)
Manioc/ Ghana	29 clones sélectionnés par les agriculteurs dans 2 sites	Manu-Aduening <i>et al.</i> , 2006	Collaborative	Un cycle de sélection sur plantes HS		71% des accessions choisies par les agric sont supérieures à la moyenne de l'essai

Plante/ pays	Variété(s)	Référence	Mode de collaboration avec les agriculteurs	Stade et méthode sélection appliquée	Gains de rendement versus parent local	Gains de rendement versus variété améliorée témoin
Maïs/ Honduras	Capulin mejorado	Rosas <i>et al.</i> , 2006	Collaborative	3 cycles de sélection HS dans la variété <i>Capulin criollo</i>	+ 23% (1t/ha) pour tests de validation in situ dans 12 localités	
Haricot/ Costa Rica	Lignées MPCR-202	Araya <i>et al.</i> , 2006	Collaborative	F ₃ et F ₅ -F ₆ in situ	+ 28% pour la lignée la plus productive + 3% pour la lignée préférée : bonne architecture de plante (dressé), précoce et bonne couleur de grain	
Haricot/ Honduras	Série PPBY	Rosas <i>et al.</i> , 2003	Collaborative	Cycles de sélection pedigree in situ de F ₃ à F ₆		+ 29% pour la lignée + productive dans essais in situ + 7% pour la lignée avec meilleure qualité commerciale de grain
Maïs/ Népal	PM-7 et PM-5	Tiwari <i>et al.</i> , 2009	Collaborative	Sélection massale après croisements	+ 26%* et + 19%* pour PM-7 et PM-5 respectivement vs témoin local (mais plantes et épis + hauts et cycle + long que témoin)	
Maïs/ Brésil	Variétés locales et population composite améliorées	Toledo-Machado <i>et al.</i> , 2006	Collaborative	2 cycles de sélection massale in situ	+ 205 et + 26% pour les variétés criollas améliorées + 155% pour le composite	
Sorgho <i>tortillero</i> / Nicaragua	CIR-6/106P-1P-2P	Cipres 2010, Aguirre <i>et al.</i> , en préparation	Collaborative	Cycles de sélection in situ de F ₂ à F ₆	+ 48% vs parent local Sorgho Ligerio	+ 25 % vs Blanco Tortillero

*significativement supérieur selon test utilisé par les auteurs

Tableau 5 : Synthèse des gains obtenus pour d'autres caractères en sélection par différents programmes de création variétale participative décrits dans la littérature

Culture	Variété	Référence	Gains par rapport à parent local	Gains par rapport à variété améliorée témoin
Riz pluvial/Inde	Ashoka 200F	Virk <i>et al.</i> , 2003	Même durée de cycle à floraison Pas de comparaison directe pour paramètres de qualité de grain	+ précoce ⁷ de 3 jours à floraison Gain sur couleur et longueur de grain, aspect après cuisson et gout par rapport à une variété peu appréciée
Riz pluvial/Inde	Ashoka 228	Virk <i>et al.</i> , 2003	+ tardif de 7 jours pour le cycle à floraison Pas de comparaison directe pour paramètres de qualité de grain	+ tardif de 4 jours à floraison Gain sur couleur et longueur de grain, aspect après cuisson et gout par rapport à une variété peu appréciée
Riz d'altitude/ Népal	Judi 141F	Gyawali <i>et al.</i> , 2007	+ précoce de 3 jours vs Judi 102	+ précoce de 7-9 jours vs Judi 102 Légère préférence vs CH45 et meilleure combinaison entre précocité et caractères de qualité
Manioc/Ghana	plusieurs	Manu-Aduening <i>et al.</i> , 2006		Accessions choisies par les agriculteurs sont en moyenne moins résistantes au CMD ⁸ que celles choisies par pathologistes (2 zones)
Maïs/ Népal	PM-7 et PM-5	Tiwari <i>et al.</i> , 2009	Pas de gains en précocité ni sur morphologie de la plante	Pas de gains en précocité ni sur morphologie de la plante
Maïs	Capulin mejorado	Rosas <i>et al.</i> , 2006	Réduction de hauteur de plante et hauteur de l'épi (-0.40m) et des cycles à floraison et maturité (-7 et 10 jours)	
Sorgho tortillero Nicaragua	CIR-6/106P-1P-2P	Cipres 2010, Aguirre <i>et al.</i> , en préparation	Réduction de hauteur de plante	Réduction de hauteur de plante Qualité de grain et durée de cycle similaire
Haricot Costa Rica	MPCR-202-30-2	Araya <i>et al.</i> , 2006	Meilleure type de plante, plus précoce et meilleure valeur commerciale du grain pour la vente (couleur et forme)	Plus précoce et meilleure valeur commerciale des grains pour la vente (couleur x forme)

⁷ Dans tous les programmes de sélection concernés dans cette synthèse, la réduction de la durée du cycle (à floraison et/ou maturité) est considérée par les producteurs comme un caractère positif.

⁸ CMD : cassava mosaic disease

5. Principales questions de recherche concernant la sélection participative

5.1. Préservation de la diversité génétique

Comme indiqué plus haut, un des objectifs de la sélection participative est de contribuer à la préservation de la diversité variétale et génétique locale. L'effet de la sélection participative sur la diversité génétique a d'abord été discuté par certains auteurs sur une base théorique (Witcombe *et al.*, 1996) puis en se basant sur des données de terrain. Au Népal, Joshi et Witcombe (2003) concluent que l'adoption des deux variétés de riz issues de travaux PPB, M-3 et M-9, s'est faite au détriment des variétés dominantes (les plus cultivées dans les villages étudiés) et a eu peu d'effet sur les variétés dites mineures. A l'exception de deux villages, la diversité variétale gérée par les agriculteurs ayant adopté une variété PPB est restée stable ou s'est accrue, et la diversité génétique a globalement augmenté. Conscients que la poursuite de l'adoption des deux variétés dans cette région risque à moyen terme d'entraîner une réduction de la diversité variétale, les auteurs prédisent toutefois que la diversité génétique globale n'en sera pas pour autant significativement réduite. L'étude réalisée ultérieurement par Steele *et al.* (2009) tend à valider cette hypothèse. Au Bénin, Lançon *et al.* (2008) ont analysé l'évolution de la diversité génétique des populations de sélection de coton gérées dans le cadre d'un programme multi-local de création variétale participative. Ils observent que cette diversité se maintient à un niveau élevé mais décroît plus rapidement sous l'effet de la sélection des agriculteurs que sous l'effet des facteurs environnementaux. Dans le cadre d'un programme de sélection participative décentralisée de l'orge conduit en Jordanie, Fufa *et al.* (2007) n'observent pas globalement de différences significatives pour les fréquences alléliques entre les sélections réalisées par les agriculteurs et celles des sélectionneurs professionnels, après un cycle de sélection sur 104 lignées fixées et 77 populations en disjonction. Cependant, dans deux localités sur six, cette étude montre que dans le cas des populations en disjonction la sélection des agriculteurs a moins réduit le nombre d'allèles que celle des sélectionneurs professionnels.

5.2. Contrôle des effets d'interaction GxE

Pour nombre de sélectionneurs, un avantage majeur de la sélection **décentralisée** est de s'affranchir le plus possible des effets négatifs de l'interaction génotype-environnement (GxE) dans le processus de sélection des variétés (Ceccarelli *et al.*, 1994 ; Rosas *et al.*, 2001). Dans le cas des agricultures à faibles intrants du Sud, caractérisées par une grande variabilité spatio-temporelle des conditions pédo-climatiques et des pratiques de culture, ces effets d'interaction GxE sont souvent très forts et constituent une difficulté majeure dans l'identification des variétés de meilleure performance pour chacun des environnements cibles (Ceccarelli *et al.*, 1996 et 2000 ; Rosas *et al.*, 2001). Plusieurs études ont comparé l'efficacité des programmes de sélection décentralisés conduits en milieu paysan par rapport à des programmes centralisés conduits en station, sur la base de la théorie de la réponse à la sélection et de certaines expériences de terrain (Bänziger et Cooper, 2001; Atlin *et al.*, 2001; Ceccarelli *et al.*, 2003; Dawson *et al.*, 2008). Cependant très peu d'études ont analysé de manière complète des résultats obtenus dans le cadre de programmes de sélection finalisés conduits en partenariat et inscrits dans la durée.

Desclaux *et al.* (2008) proposent de réinterpréter les effets d'interaction GxE dans un programme de sélection, en fonction des environnements économiques et agronomiques cibles. Alors que le sélectionneur « moderne » s'évertuait à rendre minimale cette interaction GxE dans le contexte d'une agriculture standardisée intensive, les auteurs pensent que cette interaction peut devenir un objectif de sélection en soi, qu'il serait intéressant de prédire et maximiser localement dans le cas des agricultures à faibles intrants.

Peu d'études ont cherché à comparer la stabilité de rendement des variétés issues de programmes PPB décentralisés avec celle des variétés produites par la sélection conventionnelle en station. En analysant les résultats de onze essais en station et *in situ* de riz pluvial conduits à l'échelle d'un Etat d'Inde, Virk *et al.* (2003) constatent une stabilité de rendement équivalente entre deux variétés issues de programmes PPB et deux variétés locales améliorées. En considérant les résultats de dix essais du réseau national d'amélioration du riz pluvial, conduits en station et répartis dans sept Etats, les mêmes auteurs observent des effets d'interaction de type *cross-over* entre les deux mêmes variétés PPB et la variété améliorée témoin national (Virk *et al.*, 2003). Au Nicaragua, Trouche *et al.* (2011) constatent que les lignées issues d'une sélection réalisée *in situ* par les agriculteurs présentent globalement une meilleure stabilité de rendement par rapport aux lignées développées en station par un sélectionneur professionnel.

5.3. Progrès génétique réalisé par les programmes PPB par rapport à la création variétale conventionnelle

Les études analysant le progrès génétique réalisé par les programmes de création variétale participative décentralisés en comparaison à celui obtenu par des programmes de création variétale conventionnelle (en station) sont peu nombreuses. Plusieurs auteurs dont Witcombe *et al.* (2006) et Virk *et al.* (2003) décrivent la difficulté de comparer objectivement et rigoureusement les résultats des deux approches du fait que souvent le site et les acteurs de la sélection sont confondus. De plus, pour que la comparaison soit tout à fait pertinente, il faudrait que les programmes mis en œuvre bénéficient des mêmes niveaux de ressources (et encore qu'incluons-nous dans les ressources ?) et ne s'influencent pas mutuellement, ces deux conditions étant difficiles à obtenir.

Witcombe *et al.* (2006) ont néanmoins analysé les résultats produits par douze programmes PPB suffisamment documentés. Dans certaines expériences, toutefois minoritaires, les agriculteurs sont plus efficaces que les sélectionneurs professionnels pour sélectionner pour le rendement à partir de populations en ségrégation (Sperling *et al.*, 1993 ; Ceccarelli *et al.*, 2001). Dans une majorité d'expériences, la sélection des agriculteurs est supérieure à celle des sélectionneurs professionnels non pas pour le rendement seul mais pour la combinaison entre rendement et précocité (Gyawali *et al.*, 2002; Joshi *et al.*, 2002), ou entre rendement, précocité et type de plante ou grosseur de grain (Trouche *et al.*, 2011) ou entre rendement et qualité commerciale du grain (Kornegay *et al.*, 1995 ; Araya *et al.*, 2006).

En estimant un progrès génétique annuel (PGA) comme le gain de rendement par rapport à une variété témoin commune rapporté au nombre d'années écoulées entre les croisements de départ et les premières évaluations pour le rendement, Virk *et al.* (2003) déterminent, dans le cas de l'amélioration du riz pluvial en Inde, que le PGA obtenu pour le rendement en grains selon l'approche participative est quasiment deux fois supérieur à celui obtenu avec la sélection conventionnelle. Les gains de rendements sont à peu près identiques selon les deux approches (+20%) mais l'approche PPB présente l'avantage de réduire significativement le nombre d'années pris entre les croisements de départ et les premières évaluations pour le rendement (quatre ans pour l'approche PPB et sept ans pour l'approche conventionnelle).

Le temps de mise à disposition des lignées issues d'un programme PPB auprès des agriculteurs est également largement réduit par rapport à un programme de sélection conventionnel.

5.4. Apprentissage et renforcement de capacités

Certains auteurs considèrent que la participation des agriculteurs au cours de l'étape de création variétale n'est pas indispensable pour l'obtention du progrès génétique et/ou l'acceptation finale des variétés produites (Witcombe *et al.*, 2006). Mais en s'impliquant dans la durée dans des travaux de sélection variétale, les petits producteurs acquièrent de nouvelles connaissances et des compétences techniques dans les domaines de l'amélioration variétale et des semences, ce qui contribue au renforcement de leurs capacités individuelles et collectives dans un secteur stratégique de la production agricole. Ce renforcement de capacités, et la prise de confiance en soi qui l'accompagne, leur permet souvent de revendiquer un rôle plus important dans les actions de développement rural qui les concernent (Witcombe *et al.*, 2006; Hocdé, 2006 ; Trouche *et al.*, 2010).

Se basant sur l'analyse des actions de recherche participative, incluant les travaux de sélection participative du haricot et du maïs, conduites par les CIALs⁹ de la région de Yorito au Honduras, Classen *et al.* (2008) font le constat que le projet, qui à son démarrage était « confisqué » par les élites locales, a permis au cours du temps d'inclure les communautés les plus pauvres de cette région. Selon cette étude, les agriculteurs participant à ces actions, autant les hommes que les femmes, ont obtenu des améliorations significatives dans leur bien-être et leurs capacités par rapport aux non participants. Les auteurs concluent que pour parvenir à ce résultat les chercheurs doivent focaliser leur attention sur les contextes et les groupes locaux propices à lutter contre les inégalités sociales touchant ces communautés et mettre en œuvre les méthodes pour y parvenir.

6. Conclusion

Si on se réfère aux quatre objectifs principaux de la sélection participative, rappelés dans le paragraphe I.2, la plupart des publications sur cette thématique décrivent surtout les méthodes de sélection utilisées pour développer des variétés mieux adaptées aux environnements à fortes contraintes et/ou présentant les attributs de qualité requis par les agriculteurs et les consommateurs locaux et les résultats obtenus. Les publications sur les expériences de sélection variétale participative sont beaucoup plus nombreuses que celles sur les travaux de création variétale participative. Et parmi ces dernières, une minorité présente des résultats issus de programmes au sein desquels les agriculteurs ont été impliqués dès les premiers stades de sélection et pendant plusieurs cycles successifs de sélection. Depuis le milieu des années 2000, les programmes de création et sélection participative décentralisés concernent toutefois de plus en plus d'espèces dans des environnements divers et les progrès génétiques accomplis par l'application de ces approches sont mieux renseignés, au moins en ce qui concerne les gains de rendement et certains critères de qualité.

⁹ *Comités de Investigación Agrícola Local*: groupes locaux d'agriculteurs-chercheurs structurés et formés selon une méthodologie proposée par le CIAT dans les années 90.

L'objectif, souvent affiché pour la sélection participative, de contribuer au renforcement des capacités individuelles et collectives des petits producteurs impliqués dans cette recherche est assez souvent abordé dans les publications, mais généralement non pas comme un objet d'étude mais comme un élément de discussion dans les publications présentant avant tout des résultats de sélection.

Paradoxalement, bien que souvent cité comme l'objectif majeur de la sélection participative, il existe encore peu de travaux faisant le lien entre les actions de sélection participative et la préservation de la biodiversité locale. Par exemple, peu d'études ont mesuré précisément l'effet de différentes stratégies de sélection, participative ou conventionnelle, sur la diversité variétale et/ou génétique exploitée par les agriculteurs dans les zones cibles de ces programmes de sélection, ou sur l'évolution de la diversité génétique au sein des populations de sélection. De la même manière peu de travaux ont évalué l'effet réel de la diversité génétique et la forme selon laquelle elle peut être proposée aux agriculteurs par la sélection participative (diversité inter *versus* diversité intra-variétale), sur la productivité et la stabilité du rendement pour des agro-systèmes affectés par le changement climatique ou des transformations socio-économiques. Ce sont des questions sur lesquelles les sélectionneurs et les généticiens, en interaction avec les agronomes et les chercheurs en sciences sociales, seront certainement amenés à se pencher dans les années à venir.

B. Le sorgho

1. Origine

Le sorgho, *Sorghum bicolor* (L) Moench, est une des plus anciennes plantes cultivées. Selon divers auteurs (Harlan et De Wet, 1972; Doggett, 1988), le sorgho a été domestiqué entre 4000 et 6000 ans av. J-C dans les régions de savane de l'Afrique Orientale au Sud du Sahara, entre l'Ethiopie et le Soudan.

2. Production mondiale

Actuellement, le sorgho occupe le 5ème rang des céréales cultivées après le blé, le riz, le maïs et l'orge, bien que très loin des trois premières. En 2008, les superficies emblavées en sorgho ont atteint les 450 millions d'hectares (6.3% des superficies céréalieres) et la production mondiale a été de 65 millions de tonnes (2.6% de la production totale de céréales). L'Inde, le Nigéria et le Soudan sont les trois pays dominants en termes de superficies cultivées (respectivement 8,4, 7,4 et 6,7 millions d'ha) mais les Etats Unis arrivent au premier rang pour la production avec 13 millions de tonnes (FAOSTAT).

3. Taxonomie et organisation génétique

Le sorgho cultivé est une plante annuelle, qui appartient à la famille des Poaceae (ex-graminées), sous-famille des Panicoideae, tribu des Andropogoneae, et à la section sorghum du genre *Sorghum* (Figure 3). Toutes les variétés cultivées pour la production de grains appartiennent à l'espèce *Sorghum bicolor*, subsp. *bicolor*. C'est une plante préférentiellement autogame avec des taux d'allogamie variables suivant les types variétaux mais généralement compris entre 5 et 8% (Doggett, 1988). Ce taux d'allogamie diffère toutefois selon les types variétaux, allant de zéro pour certaines variétés complètement cléistogames (types membranaceum dont les longues glumes ne s'ouvrent pas à la floraison) jusqu'à 30% chez certains sorghos fourragers et certaines variétés de la race guinea (Chantereau et Kondombo, 1994).

La classification du genre *Sorghum* a fait l'objet de plusieurs évolutions depuis celle proposée par Snowden en 1936. Actuellement, au sein de la section Eu-Sorghum du genre *Sorghum* on reconnaît quatre espèces (*S. halepense*, *S. bicolor*, *S. propinquum* et *S. alimum*) dont le nombre de chromosomes de base est 10, les espèces *bicolor* et *propinquum* étant diploïdes et les deux autres (*halepense* et *alimum*) tétraploïdes (Figure 2). L'espèce *Sorghum bicolor* comprend elle-même trois sous-espèces, dont la sous-espèce *bicolor*, qui regroupe tous les sorghos de type cultivé (Figure 2). Au sein des sorghos cultivés, la classification botanique simplifiée proposée par Harlan et De Wet (1972), basée sur les caractères morphologiques des panicules, des épillets et des grains, distingue cinq races principales: *bicolor*, *guinea*, *durra*, *kafir* et *caudatum* (Figure 2). En outre cette classification différencie dix types raciaux intermédiaires, représentant les combinaisons deux à deux des races principales.



Figure 2 : Taxonomie du sorgho (adapté de Chantereau et al., 1997)

Depuis les années 90, l'utilisation des marqueurs moléculaires, de types RFLP, AFLP puis plus récemment SSR, a permis de préciser l'organisation de la diversité génétique des sorghos cultivés et mieux connaître les relations phylogénétiques avec les sorghos sauvages. Les travaux de Deu *et al.* (1994; 2006) ont montré que le sous-groupe margaritifera était très clairement différencié par rapport aux autres races de sorgho cultivé et notamment du groupe racial guinea, dans lequel il est intégré dans la classification de Harlan et de Wet. Ils ont également mis en évidence que les sorghos guinea, autres que les margaritifera, étaient structurés en trois groupes génétiquement différenciés, définis selon l'origine géographique: guinea d'Afrique de l'Ouest, Afrique australe et Asie. Ces études récentes confirment que la diversité génétique mondiale des sorghos est d'abord structurée selon une origine géographique puis selon le type racial.

4. Morphologie et physiologie

Le sorgho est une plante particulièrement bien adaptée aux régions tropicales semi-arides bénéficiant d'une pluviométrie comprise entre 400 et 1000 mm et des températures moyennes journalières entre 28 et 34 degrés.

A maturité, la plante de sorgho présente un système racinaire profond et dense, une tige principale constituée de nœuds et entre-nœuds avec un tallage basal et/ou axillaire variable mais généralement faible, des feuilles, un pédoncule prolongé par une inflorescence de type panicule qui porte les grains (Figure 3 et photo 1).

Pour toutes ces composantes de la plante, il existe une énorme diversité phénotypique principalement déterminée par la race botanique et le type variétal mais également influencé par les conditions du milieu:

- longueur de tige variant de 0,45 à plus de 4 m (Doggett, 1988) ;
- diamètre de la tige principale variant de 0,5 à 5 cm (House, 1987) ;
- nombre de feuilles de 7 à 30 avec une longueur et largeur du limbe entre 30 et 135 cm et 1.5 et 13 cm (Doggett, 1988) ;
- longueur de la panicule de 10 à 60 cm (House, 1987) ;
- grosseur de grain de 3 à 89 g pour 1000 grains (Data base germplasm Icrisat, 2010).

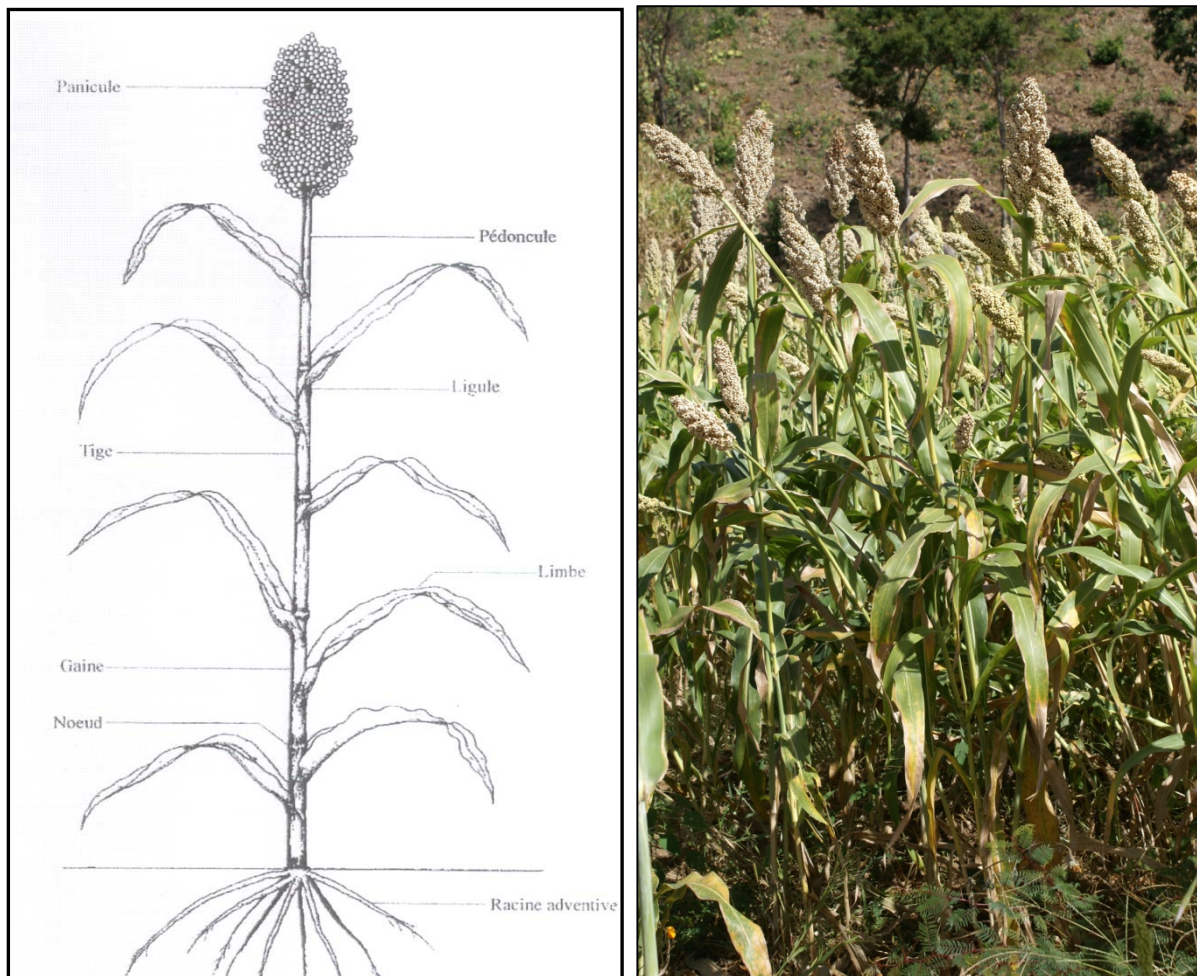


Figure 3: Morphologie de la plante de sorgho

à gauche, schéma indiquant les différents organes de la plante à maturité (d'après Lafarge, 1988) ; à droite, illustration photographique avec la variété Blanco Tortillero en champ paysan près de Somoto, Nicaragua.

Le cycle du sorgho se décompose classiquement en trois phases phénologiques, qui sont la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation. La phase végétative va de la germination à l'initiation paniculaire. La durée de la phase végétative dépend de l'interaction entre le comportement thermo-photopériodique de la variété et les conditions de température et de photopériode rencontrées durant le cycle de culture. La phase reproductive

débute à l'initiation paniculaire et se termine à l'anthèse; elle dure généralement de 30 à 40 jours. La phase de maturation s'étend de l'anthèse à la maturité physiologique des grains et dure de 30 à 45 jours selon la variété et les conditions climatiques (Doggett, 1988).

Le sorgho, plante de type C4, est une des céréales les plus efficaces dans l'utilisation de l'énergie solaire pour la production de carbohydrates (Doggett, 1988). Elle est également une des plus efficaces pour l'utilisation de l'eau (WUE) et de l'azote (NUE) du sol pour la production de biomasse. Son WUE élevé est lié à une très grande capacité d'extraction de l'eau du sol, grâce à un système racinaire profond, et à un faible taux de transpiration du système foliaire. Lorsque les conditions hydriques sont très défavorables, il a également la capacité d'interrompre son métabolisme et rester en latence durant une période prolongée. Grâce à ses caractéristiques, le sorgho est ainsi une plante rustique, qui utilise mieux les réserves en eau du sol que le maïs et le riz pluvial, par exemple.

Une autre particularité importante des sorghos tropicaux est leur réponse très fine à la photopériode. Ce comportement photopériodique leur confère une remarquable adaptation à la grande variabilité géographique et interannuelle des pluies qui caractérise les climats tropicaux semi-arides (Vaksmann *et al.*, 1996). Au Mali, il a été démontré que, pour chaque zone climatique, il y a une étroite synchronisation entre la floraison des variétés locales photopériodiques et la fin de la saison des pluies, qui intervient généralement à une date plus régulière que le début (Ouattara *et al.*, 1998). Ainsi, le caractère photopériodique des sorghos ouest-africains autorise une grande souplesse dans les dates de semis, selon la date d'arrivée des premières pluies et les priorités définies par les agriculteurs dans leurs calendriers culturels, tout en minimisant les risques de déficit hydrique en fin du cycle. Cette étroite relation entre la date de floraison des variétés traditionnelles de sorgho (type millon) et la fin de la saison des pluies a également pu être mise en évidence au Nicaragua (Martínez, 2003).

La variabilité phénologique et physiologique des sorghos a permis leur adaptation à une grande diversité de conditions de culture en zones tropicales et tempérées. La variabilité existante dans la composition biochimique des grains et des pailles permet également des usages très variés pour l'alimentation humaine et animale et bien d'autres usages. En Afrique, en Inde et plusieurs autres régions, le sorgho est d'abord produit pour l'alimentation humaine. Ainsi les grains sont utilisés pour élaborer des bouillies épaisses ou porridges (tô, ugali, sankati ..), des bouillies fermentées, des couscous, des galettes à partir d'une pâte non fermentée (tortillas, rôti) ou fermentée (injera, kiswa), des beignets et autres pâtisseries et enfin des boissons diverses, fermentées (bières) ou non. Les grains servent également à la fabrication d'aliments concentrés pour l'alimentation des volailles et porcins, notamment dans les pays tempérés et les pays émergents d'Amérique Latine et d'Asie. La plante entière ou seulement les pailles sont souvent utilisées en régions tropicales pour l'alimentation des ruminants, sous forme d'ensilage ou de foin. Les tiges des variétés sucrières (*sweet sorghum*), juteuses et riches en sucres solubles, servent à produire des sirops et dans plusieurs pays (Chine, USA, Inde) de l'éthanol carburant. Il existe également de multiples utilisations agro-industrielles pour les grains, surtout développées aux USA et en Asie : farines sans gluten, bières industrielles, pop-sorghum, produits extrudés, colles, emballages alimentaires biodégradables...

5. Amélioration du sorgho et sélection participative

En Afrique sub-saharienne, le sorgho reste un aliment de base dans la diète alimentaire des populations rurales à faibles revenus. Il y est encore largement cultivé selon des itinéraires culturels faiblement intensifiés, utilisant très peu d'engrais minéraux et peu de pesticides. En dépit de la mise en œuvre depuis les années soixante de programmes d'amélioration variétale, dans beaucoup de régions les agriculteurs préfèrent et utilisent encore largement les variétés traditionnelles, l'adoption des variétés modernes proposées par la recherche restant marginale (Ouedraogo, 2005 ; Yapi *et al.*, 2000) et limitée aux conditions les plus favorables (Mekbib, 2006) ou à des usages spécifiques. En Ethiopie, Mekbib (2006) observe que les variétés paysannes produisent en moyenne 32% de grains en plus que les variétés améliorées ; en outre ces variétés restent préférées par les agriculteurs pour leur valeur multi-usages. Un constat similaire a été fait par différents auteurs pour l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique australe (Kkongolo *et al.*, 2008).

Face à l'échec des programmes conventionnels de sélection, différentes approches de sélection participative décentralisée ont vu le jour dans différents pays à partir de la fin des années 90. Au Burkina Faso, qui est le deuxième plus grand producteur de sorgho d'Afrique de l'Ouest, les premiers travaux de sélection participative du sorgho ont démarré en 1998 (Trouche *et al.*, 2002). Après une phase de diversification des idéotypes variétaux devant apporter un meilleur équilibre entre productivité et qualité de grain au sens large (sanitaire, technologique et organoleptique), les sélectionneurs ont jugé nécessaire de tester la gamme de nouvelles lignées disponibles en milieu paysan en les faisant évaluer par les agriculteurs pour une dizaine de critères préétablis. En mesurant en même temps les performances agronomiques de ces lignées en conditions de bonne et faible fertilité et leur acceptation par les producteurs, ce travail a permis aux chercheurs de faire un choix plus pertinent des variétés de sorgho à vulgariser, comme par exemple Sariaso 14 (Trouche *et al.*, 2002).

A partir de 2001, dans le cadre du projet *Agrobiodiversité du sorgho* conduit au Mali et au Burkina Faso, l'utilisation de la sélection participative a été repensée pour répondre à un objectif principal de préservation et valorisation de la diversité génétique locale (Trouche *et al.*, 2004b). Au Mali, le programme de sélection était focalisé sur le développement de variétés photopériodiques à taille raccourcie et meilleur indice de récolte, répondant mieux à l'intensification progressive en place dans les zones cotonnières, avec une qualité de grain appropriée. La méthodologie de sélection proposée devait combiner de manière originale la sélection récurrente appliquée à des populations à large base génétique, surtout d'origine locale, et la sélection participative dans le milieu cible (Vaksmann *et al.*, 2008). Au Burkina Faso, suivant les zones d'intervention et le stade d'avancement du projet, différentes stratégies de sélection impliquant les agriculteurs ont été testées. La sélection variétale participative présentant aux agriculteurs une large gamme de variétés traditionnelles, issues de collectes *in situ* et des collection *ex situ*, et de variétés améliorées modernes a produit des résultats de sélection concluants notamment dans la région Boucle du Mouhoun (vom Brocke *et al.*, 2011). En outre, une diffusion significative des variétés issues de ce programme, dans la région d'intervention et au-delà, a été assurée par un appui des chercheurs à la mise en place d'une production de semences décentralisée sous la responsabilité de l'organisation paysanne partenaire (vom Brocke *et al.*, 2011). Dans deux autres régions du pays, des programmes de création variétale participative décentralisée, développés à partir des descendances F3 ou F4 issues de croisements simples, ont été conduits avec des collectifs locaux d'agriculteurs. L'analyse de ces travaux a mis en relief la cohérence des critères des agriculteurs dans la durée, la finesse de certains critères paysans tels que la précocité, la qualité de grain et la stabilité du rendement, et le haut niveau d'exigence des femmes sur les

critères définissant la qualité des grains avec des divergences d'appréciation sur ce point avec les hommes (vom Brocke *et al.*, 2010). Cette étude a aussi montré que les agriculteurs pouvaient conduire une sélection efficace dans des générations en ségrégation pour atteindre les objectifs fixés, notamment en termes d'adaptation au milieu (vom Brocke *et al.*, 2010). Enfin une stratégie de sélection innovante, basée sur la création de populations composites à large base génétique locale, intégrant un gène de stérilité mâle, et leur amélioration participative *in situ* par une sélection massale sur plantes mâle-stériles pour les adapter à des environnements cibles et aux caractères de qualité des agriculteurs, a été définie et appliquée dans les trois régions du projet (vom Brocke *et al.*, 2008). L'analyse des premiers résultats de ce travail a montré que les cycles de sélection massale appliqués ont contribué à améliorer qualitativement les populations de sélection par rapport aux attentes des agriculteurs (vom Brocke *et al.*, 2008).

Dans les autres pays d'Afrique, les expériences publiées de sélection participative du sorgho décrivent essentiellement des travaux de sélection variétale participative avec une attention particulière portée à la compréhension des savoirs et/ou critères de sélection paysans, par exemple en Ethiopie (Mulatu and Belete, 2001), au Malawi (Nkongolo *et al.*, 2008). En Ethiopie, d'autres auteurs (Mekbib, 2006) proposent un concept assez original de « sélection intégrée » spécifiquement défini pour les centres de diversité des espèces agricoles, qui combinerait la sélection réalisée par les agriculteurs avec la sélection conventionnelle des chercheurs.

En Amérique Centrale, Caraïbes et Amérique Andine, plusieurs travaux de sélection participative en relation avec la valorisation de la diversité génétique locale (*variedades criollas*), ont été mis en œuvre depuis la fin des années 90 par le CIAT, le CIP, divers SNRA, ONG et organisations paysannes, notamment sur le haricot, le maïs, la pomme de terre et le riz. Le projet de recherche CIAT-CIRAD a été toutefois le premier à appliquer des approches de sélection participative du sorgho dans cette région, qui n'est pas un centre d'origine de la plante.

CHAPITRE 2 : Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, le contenu du paragraphe 1 décrivant le partenariat et les dispositifs de collaboration entre chercheurs et agriculteurs a été extrait de la publication « Sélection participative des sorghos au Nicaragua : approche et dispositifs », (Trouche *et al.*, 2006b).

1. Partenariat et dispositif de recherche

1.1. Partenaires impliqués

Au départ, les chercheurs ont présenté leur proposition de recherche avec diverses organisations intervenant en appui à l'agriculture familiale : i) des ONG, ii) des Organisations de Producteurs, iii) des Institutions de Recherche et Universités.

L'institut de recherche agricole public INTA a été impliqué via des collaborations avec le programme national sorgho et les équipes régionales de recherche et de vulgarisation.

Ces discussions ont permis d'identifier une première liste de partenaires intéressés, de mieux connaître leurs méthodes de travail et terrains d'intervention, de cerner leurs éventuels intérêts à s'impliquer dans ce projet. En même temps, la littérature et les données statistiques existantes sur la production du sorgho au Nicaragua ont été analysées.

Sur la base d'expériences antérieures de recherche en sélection participative¹⁰ et tenant compte du contexte nicaraguayen, le projet s'est donné comme principe de travailler dès le début avec des groupes d'agriculteurs déjà organisés au niveau de leur communauté.

Sur chaque site d'intervention, un partenariat multiple Recherche-ONG-Groupe local de producteurs s'est donc mis en place au cours des deux premières années. Dans chacun de ces sites, des ressources humaines et financières ont été mobilisées.

1.2. Sélection des sites d'intervention

Le projet a sélectionné ses zones d'intervention sur la base de cinq critères, listés ci-dessous selon un ordre non hiérarchique:

- importance de la production de sorgho ;
- production principalement assurée par des petites et moyennes exploitations agricoles ;
- présence de groupes de producteurs localement organisés¹¹ ;
- complémentarité géographique et d'objectifs entre le projet et le dispositif de recherche national ;
- présence sur la zone d'un ou plusieurs interlocuteurs (institutions gouvernementales ou non) disposés à appuyer techniquement les activités du projet.

Dans chacune des zones pré-identifiées, l'équipe du projet a organisé, dans un village proposé par le partenaire local, un atelier où elle a présenté et discuté les objectifs du projet de recherche avec les producteurs. Ces ateliers ont permis de confirmer le choix de la zone et de sélectionner les sites¹² définitifs pour le démarrage des activités.

¹⁰ Projets Sélection Participative du haricot dans la région Brunca au Costa Rica et du sorgho au Burkina Faso.

¹¹ Ce critère a été particulièrement déterminant. En privilégiant l'entrée « acteurs », le projet a choisi parmi les zones de production de sorgho celles où des groupes d'agriculteurs avaient déjà une pratique de l'expérimentation paysanne et un intérêt marqué pour la proposition de recherche. En ce sens, cette option constitue peut être une originalité par rapport à d'autres projets de sélection participative.

¹² Site = zone spatiale d'intervention où sont installées les parcelles d'essai; un site correspond à un ou plusieurs hameaux (*comunidad* ou *comarca*) proches appartenant à un même village.

Au total, trois zones d'intervention ont été initialement retenues, situées dans les régions Nord, Centre et Ouest du pays (Figure 4) :

- Zone Nord, département de Madriz, *municipios*¹³ de Somoto, Totogalpa, San Lucas: zone de moyenne montagne, particulièrement diversifiée en ce qui concerne le climat, la topographie et les sols, les systèmes de culture et les populations. Quatre villages ont été initialement retenus afin de représenter au mieux la diversité des conditions de production du sorgho. Dans la deuxième et troisième année du projet, trois autres villages sites ont été ajoutés au dispositif.
- Zone Centre, département de Matagalpa, *municipios* de Ciudad Dario et San Dionisio: zone de basse montagne avec un relief ondulé, petites exploitations agricoles familiales.
- Zone Ouest, département de Chinandega, *municipio* de Villa Nueva : zone de plaine avec quelques légers reliefs, élevage prédominant, exploitations agricoles de taille moyenne. En 2005, le projet a intégré un autre *municipio* de cette zone, celui de Somotillo.

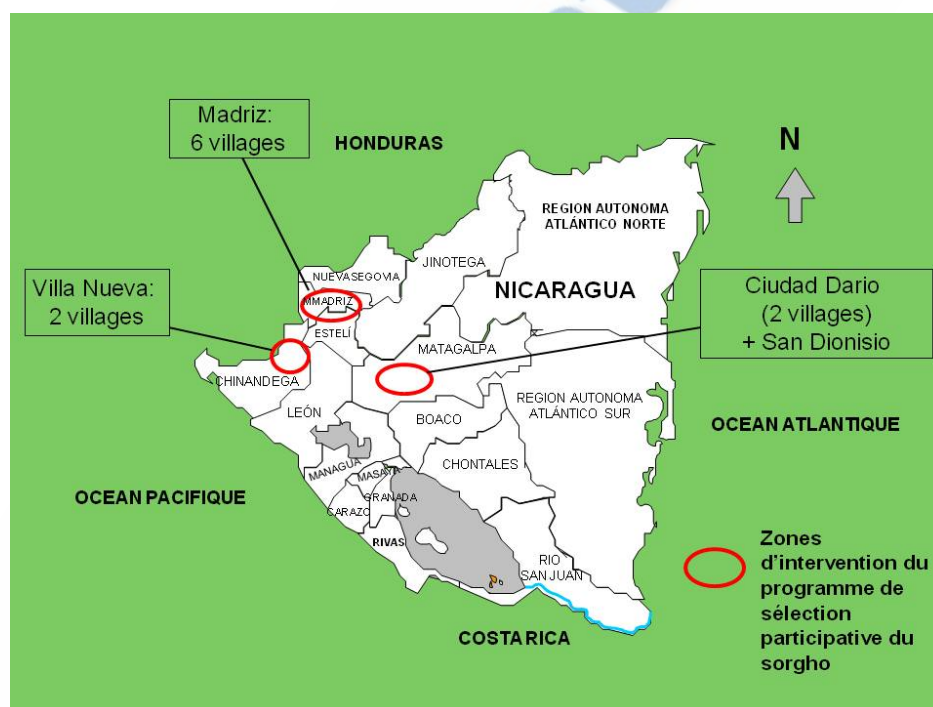


Figure 4 : Situation géographique des trois zones d'intervention du programme de sélection participative du sorgho

1.3. Mise en œuvre du projet

Dans chaque village site, la mise en œuvre des actions de recherche a suivi la démarche méthodologique présentée par la figure 5. Les différentes étapes et activités de cette méthodologie sont illustrées en annexe III.

Le travail de recherche a démarré par la réalisation d'un diagnostic visant à mieux connaître le contexte local de la production du sorgho : les systèmes de culture pratiqués, les variétés anciennes et actuelles avec leurs caractéristiques principales, les contraintes et objectifs de production, les utilisations du sorgho, les modes d'échanges et gestion des

¹³ Equivalent d'une commune en France.

semences, ... afin de déterminer les types de sorgho qui doivent être améliorés et les objectifs de leur amélioration. Dans les quatre villages sites initiaux de la zone de Somoto, ces diagnostics ont été réalisés par le moyen d'ateliers de groupe conduits avec l'ensemble des producteurs de la communauté, d'entretiens semi-structurés avec un échantillon ciblé de producteurs et des observations au champ dans les parcelles de production. Pour la conduite des ateliers, divers outils et supports pédagogiques ont été utilisés tels que les cartes d'utilisation des ressources et sols de la communauté, l'inventaire des variétés, le cycle de vie du sorgho dans la communauté, les typologies d'exploitations... (Martínez, 2003). Un diagnostic réalisé suivant le même protocole a été réalisé en 2003 dans deux autres sites du département de Madriz (Plessis, 2004) et dans la localité de Dulce Nombre de Jesus à Ciudad Dario (non publié). Dans la zone Nord (Madriz), les cultivars de sorgho recensés dans les villages sites durant le travail de diagnostic ont été collectés¹⁴ et inventoriés. Pour les autres villages sites, seuls des diagnostics rapides ont été entrepris sous la forme d'ateliers rassemblant les producteurs de la communauté, en utilisant les mêmes outils de communication mais sans recourir aux entretiens individuels et observations au champ.

Sur la base de l'information générée par ces diagnostics, des premiers essais variétaux dits exploratoires, proposant une gamme diversifiée de lignées fixées et variétés pouvant répondre aux objectifs d'amélioration définis avec les producteurs de la communauté, ont été mis en place *in situ*, sous la gestion d'Agriculteurs Expérimentateurs (AE) volontaires. Dans chaque essai, les chercheurs et techniciens mesurent les variables agronomiques classiques et les rendements en grains et en paille. Les lignées sont de plus évaluées au champ, à une période proche de la maturité, par un collectif de producteurs et productrices volontaires. Les meilleures lignées sont ensuite évaluées en tests culinaires pour apprécier la qualité technologiques des grains et leur aptitude à la fabrication des tortillas. L'analyse conjointe des résultats agronomiques et des évaluations faites par les producteurs permet aux chercheurs, d'une part de préciser les idéotypes pour chaque site et système de culture, et d'autre part d'identifier les lignées qui s'approchent le plus des idéotypes définis et les groupes génétiques d'intérêt. A partir de ces résultats, les orientations globales (poursuite des essais PVS et/ou lancement de programmes de création variétale participative), sont discutées et programmées avec les producteurs et les autres partenaires au cours d'un atelier annuel dit d'analyses de résultats et programmation des activités (Figure 5). Pour toute activité ainsi programmée, les responsabilités et les tâches de chaque participant et les moyens à mettre en œuvre sont précisées.

Dans le processus de sélection variétale participative PVS, le suivi des différentes étapes préalablement définies par l'équipe de recherche (essais préliminaires, essais de confirmation, tests de pré-validation et validation) est discuté puis validé par les agriculteurs. Parfois, dans une communauté, des AE souhaitent aller plus vite et sauter une étape, par exemple celle de pré-validation ; d'autres fois, certains demandent de répéter l'étape de confirmation sur un deuxième cycle. Ces choix sont débattus entre tous les participants du projet au moment des ateliers annuels de programmation des activités.

¹⁴ Echantillon d'environ 50 g de semences provenant du battage en vrac des panicules retenues comme semences (au Nicaragua les agriculteurs ne conservent pas leur production sous forme de panicules).

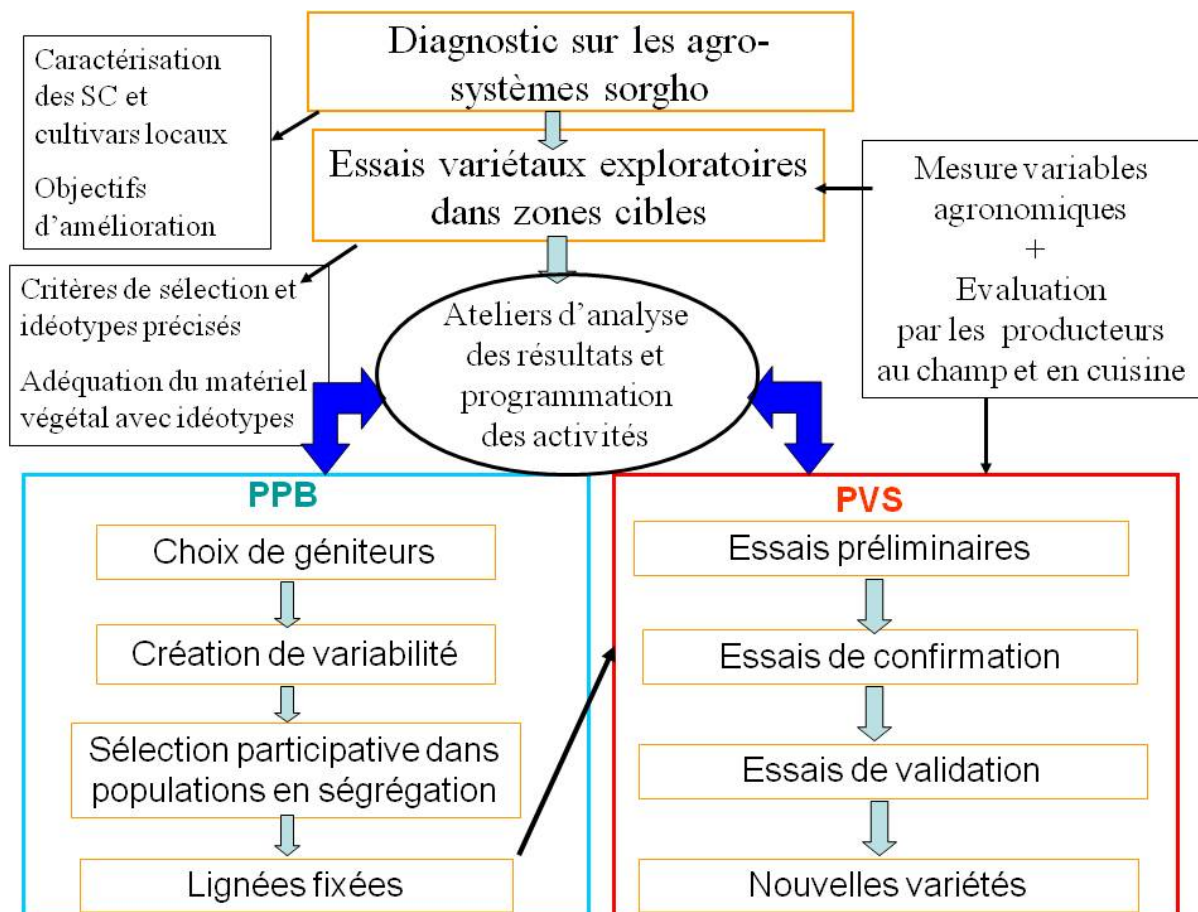


Figure 5 : Démarche méthodologique générale appliquée dans le projet de sélection participative du sorgho au Nicaragua.

Quelques chiffres illustrent la dynamique du processus sur les premières années du projet :

- Entre la première (2002) et la troisième campagne agricole (2004), le nombre d'AE impliqués dans le projet est passé de 8 (représentant 4 groupes locaux) à 122 (représentant 12 groupes).
- Sur cette même période, le nombre total d'essais variétaux conduits en milieu paysan est passé de 8 à 26.
- En 2006 (5^{ème} cycle agricole), 10 schémas de création variétale participative impliquant 11 groupes étaient mis en œuvre.

1.4. Rôle des différents participants

Pour chaque zone, un contrat informel établi entre l'équipe de Recherche, l'ONG ou l'OP partenaire et les agriculteurs définit la répartition des tâches et responsabilités. Au début du projet, il présentait le contenu suivant:

ONG ou OP:

- Propose les sites et les groupes d'agriculteurs volontaires pour s'impliquer dans le projet.
- Facilite la communication entre ces groupes et les chercheurs du projet (invitation des producteurs aux ateliers, ..).
- Réalise la mise en place et le suivi continu des essais avec les producteurs selon un protocole fourni par les chercheurs.

- Anime les exercices d'évaluation et de sélection des variétés au champ et en post-récolte (lorsque la méthode est bien maîtrisée).
- Co-anime avec les chercheurs les ateliers de restitution de résultats aux producteurs et ceux de programmation des activités.

Agriculteurs:

- Conduisent les expérimentations sur leurs parcelles¹⁵ selon un protocole fourni par les chercheurs, mais discuté et négocié (nombre de répétitions, dimensions des parcelles, nombre de variétés, etc...) auparavant au cours des ateliers de programmation. Ils y appliquent les techniques de préparation du sol et de semis (mode et écartements) qu'ils pratiquent usuellement dans leurs parcelles de production.
- Réalisent les évaluations des variétés au champ et en post-récolte (tests culinaires).
- S'engagent à ne pas diffuser « à grande échelle » les variétés préférées tant qu'elles ne sont pas « validées » par le projet.

L'équipe de chercheurs:

- Fournit les protocoles, les semences, les intrants (lorsque ceux-ci sont sollicités par les producteurs).
- Anime les ateliers d'évaluation et de sélection de variétés au champ (les deux premières années).
- Analyse les résultats agronomiques des essais et rédige les rapports (mémoires des ateliers et rapports annuels d'activités).
- Prépare et co-anime les ateliers d'analyse de résultats aux producteurs et de programmation des activités.
- Forme les techniciens d'ONG et les producteurs à la mise en place et au suivi des expérimentations et aux méthodes de sélection participative.
- Réalise les croisements permettant de créer la variabilité génétique utile pour les actions de création variétale participative.

Entre l'INTA et le projet CIAT-CIRAD, un contrat a été établi au moment du démarrage du projet au Nicaragua. Il prévoit, entre autres, un accès aux infrastructures des stations de recherche INTA pour l'équipe de recherche du projet, une mise en commun de toutes les informations relatives au projet (protocoles, résultats, publications), un échange facilité des semences entre les deux institutions pour le travail d'expérimentation, le suivi des réglementations officielles pour l'inscription des nouvelles variétés au Catalogue National. En juillet 2005, un autre contrat est signé avec l'ONG CIPRES pour la poursuite des activités de sélection participative sorgho dans les sites d'étude du département de Madriz + le *municipio* de Pueblo Nuevo. A partir de cette date, le financement des activités de recherche et de diffusion était principalement assuré par des projets obtenus et gérés par le CIPRES, dans un cadre national ou régional (financements de l'ONG norvégienne FDL au programme régional FP-MA)

¹⁵ Ils fournissent le terrain, du temps et de la force de travail.

1.5. Dispositifs de concertation

Faute de l'avoir raisonnée au moment de la conception du projet et pour des questions de coût, la coordination du projet n'a pas proposé la mise en place d'instance inter-institutionnelle de suivi du projet (comité de pilotage ou comité de suivi).

Dans ce projet, les ateliers d'analyse de résultats et de programmation d'activités, organisés annuellement dans chaque site d'intervention entre tous les acteurs impliqués, constituent le principal cadre de concertation entre les partenaires. Au cours de ces ateliers, la synthèse des résultats des essais du cycle agricole achevé est présentée et discutée puis sont planifiées de manière consensuelle les activités du cycle suivant.

Au cours de la phase de présentation des résultats, des AEs sont invités par l'équipe de recherche à exposer aux autres producteurs les objectifs, le dispositif expérimental, les résultats et leurs conclusions concernant un essai qu'ils ont conduit sur leur ferme. A leur tour, les chercheurs du projet présentent une synthèse des trois types de résultats générés (données agronomiques, appréciation et sélection des variétés par les agriculteurs au champ, et dans les tests culinaires) pour l'ensemble des essais conduits sur le site, plus éventuellement des résultats d'essais conduits dans d'autres sites proches. A cette étape, apparaissent parfois des contradictions entre les conclusions des chercheurs et celles des producteurs; il s'ensuit discussion, argumentations et confrontation¹⁶.

Finalement l'ensemble de ces résultats est discuté entre tous les participants afin de prendre des décisions collégiales sur les points suivants¹⁷ : variétés à retenir/écarter dans chaque essai, ajustements sur la gestion des essais, nouveaux thèmes d'expérimentation ou de formation à traiter, recommandations pour corriger ce qui n'a pas bien fonctionné et surmonter les problèmes rencontrés ...

1.6. Évolution du processus et des dispositifs

Suivant une logique de recherche action, les dispositifs initiaux évoluent tout au long du projet grâce aux interactions entre les acteurs. Des ajustements méthodologiques ont permis d'accroître l'efficacité et la stabilité du dispositif et de transférer la conduite de certaines activités aux producteurs et à leurs organisations. Par exemple à partir de la 2^{ème} année et surtout de la 3^{ème} année, les AEs ont acquis la capacité de mettre en place eux-mêmes les essais (en suivant un plan de semis fourni par les chercheurs), de réaliser certaines observations et récolter les parcelles d'essai. Les tests d'évaluation culinaire¹⁸ sont également rajoutés à partir de la 2^{ème} année. Des dynamiques d'échanges d'expériences entre les AEs de différentes zones sont lancées: invitations croisées aux ateliers d'analyse de résultats, visites d'autres projets de sélection participative, participation à des rencontres régionales d'AEs. A partir de la 3^{ème} année, l'agenda des ateliers d'analyse des résultats intègre obligatoirement des exposés réalisés par les AEs eux-mêmes, générant un effet d'entraînement qui débouche sur l'incorporation de nouveaux groupes d'agriculteurs¹⁹.

¹⁶ Exemple de contradiction (San Dionisio) : les agriculteurs annoncent qu'ils préfèrent des plantes de 1.5 m de hauteur mais les données de rendement indiquent clairement que les variétés de 2 m sont de loin les plus productives. Ils acceptent de modifier leur idéotype, à condition que les plantes résistent bien à la verse.

¹⁷ Certaines idées ou propositions en matière de sélection peuvent également surgir au cours des visites des essais chez les AEs et des ateliers d'évaluation participative de variétés au champ.

¹⁸ Tests culinaires de tortillas : la préparation est réalisée par les femmes, l'appréciation et la dégustation par un panel d'hommes et de femmes.

¹⁹ Lorsqu'un AE, ayant bien préparé son exposé avec l'appui des techniciens selon un format de présentation clair et précis (selon la méthode *experimentación campesina* développée par l'ONG Unicam), expose avec ses mots les résultats de « son essai », la compréhension de la démarche et l'appropriation des résultats par les autres

Toutes ces activités ont contribué à créer une interaction continue et une relation de confiance entre les agriculteurs et l'équipe de recherche (Trouche *et al.*, 2010). La richesse de l'interaction, dans le temps et sur le terrain, a permis de différencier, peu à peu et site par site, six objectifs d'amélioration du sorgho qui ont été travaillé entre 2003 et 2007 : i) sorgho à balai sur les terrains de collines, ii) sorgho double usage pour les zones assez favorables (sols de bonne fertilité), iii) sorgho à grain blanc très précoce pour les zones sèches, iv) sorgho à grain rouge pour la vente ou l'alimentation des volailles de la ferme, v) sorgho millon à meilleure qualité du grain et rendement, vi) sorgho adapté au système dit de « rebrote »²⁰. Il n'aurait pas été possible de formuler ces objectifs aussi précisément sur la seule base des diagnostics initiaux.

2. Stratégies et méthodes de sélection

Deux stratégies principales de sélection ont été appliquées dans le cadre de ce projet : la sélection variétale participative (sélection parmi du *matériel génétiquement fixé*) et la création variétale participative de lignées *dans des populations en ségrégation*. Leur définition, domaine d'application, avantages et inconvénients ont largement été présentés en détail dans le chapitre I. Revue de littérature.

2.1 Sélection variétale participative

Cette stratégie de sélection a cherché à tirer profit de la diversité variétale existante et disponible au début du projet, en l'occurrence des variétés et des lignées fixées de différentes collections ex situ, afin d'identifier rapidement des variétés répondant aux attentes des agriculteurs. Elle a été mise en œuvre dès la première année du projet.

Matériel végétal

Entre 1986 et 1988, un premier projet sur l'amélioration variétale des sorghos tortillero avait été conduit au Nicaragua par le CIRAD et le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire. Parmi les variétés introduites et testées dans ce projet, la variété IRAT 204 avait été sélectionnée pour les zones semi-arides. Cette variété, créée au Sénégal, apportait, par rapport aux premières variétés tortillero vulgarisées, un gain important en précocité (première variété de 90 jours) et en qualité de grain avec des rendements satisfaisants. Pour ces raisons, elle a été rapidement vulgarisée par l'INTA au début des années 90 sous le nom de Tortillero Precoz, et reste aujourd'hui encore la variété améliorée la plus demandée. Cette expérience positive de l'adaptation des variétés ouest-africaines de cycle court aux conditions du Nicaragua et la disponibilité de nouvelles lignées développées pour des agro-systèmes avec contraintes de sécheresse et/ou de fertilité des sols au Mali et Burkina Faso, ont incité l'équipe de recherche à recourir largement à du germoplasme ouest-africain pour démarrer ce nouveau projet. D'autres sources de germoplasme ont été également exploitées: cultivars locaux collectés durant le diagnostic, lignées introduites et/ou développées par l'INTA, lignées à double usage du programme ICRISAT-Latin America, lignées photopériodiques de taille courte provenant du programme INTSORMIL Amérique Centrale et variétés

agriculteurs est bien meilleure que lorsque l'exposé est réalisé par le chercheur ou le technicien d'ONG. En contrepartie, la préparation de ces exposés avec les producteurs demande un effort de formation et du temps.

²⁰ Système de culture utilisé dans certains villages de la zone Nord avec semis d'un sorgho de type tortillero en saison de primera, récolte des panicules et coupe des tiges à 10 cm du sol et gestion de la repousse au cours de la saison de postrera pour obtenir une deuxième récolte de grains et paille.

traditionnelles africaines photopériodiques de la collection de ressources génétiques sorgho du CIRAD. Le tableau 6 présente une synthèse du nombre de matériels introduits et testés par la stratégie de sélection variétale participative, suivant le type et l'origine géographique.

Tableau 6 : Nombre, types et origines géographiques des lignées et cultivars testés par l'approche de sélection variétale participative conduite au Nicaragua.

Type/origine	Afrique Ouest: majorité caudatum	Soudan: guinea-caudatum	Cameroun-Tchad: durra + durra-caudatum	Amérique centrale: divers
Tortillero (non photosensible)	80	/	/	30
Millón (très photosensible)	5	14	24	30



Matériel amélioré



Variétés traditionnelles

Dispositifs expérimentaux

Cette partie est décrite dans le matériel et méthodes de l'article Trouche *et al.* (2009).

Méthodes d'évaluation et sélection participative

L'évaluation participative des nouvelles lignées est conduite *in situ* par les agriculteurs, le technicien de l'ONG partenaire et les chercheurs. Elle se déroule en deux étapes: i) évaluation au champ à une étape proche de la maturité physiologique et sélection des lignées préférées, ii) évaluation après récolte de la qualité de grain des meilleures lignées par des tests culinaires. L'évaluation des lignées au champ est réalisée selon une méthode développée au Burkina Faso et adaptée aux conditions du Nicaragua. La méthode utilisée pour conduire les exercices d'évaluation au champ est également décrite dans matériel et méthodes de l'article Trouche *et al.* (2009). Comme principe directeur, les agriculteurs évaluent l'ensemble des lignées en test sur la base de leurs propres critères, pas à pas. Ces critères sont préalablement identifiés, discutés et hiérarchisés au cours d'une session de travail conduit sur le site même, avant l'évaluation au champ. Organisés suivant les cas en petits groupes de 3-6 ou individuellement, les producteurs participants évaluent toutes les lignées présentées dans l'essai, sur deux ou trois répétitions, pour les quatre critères de sélection de plus grande importance, identifiés dans l'étape précédente, ainsi que pour la valeur ou appréciation générale, selon une échelle de notation (score) à quatre niveaux : mauvais (1), passable (2), bon (3), excellent (4). A partir de cette évaluation détaillée, chaque groupe évaluateur désigne les lignées qu'il préfère, c'est à dire celles qu'il souhaite sélectionner pour l'étape suivante (en appliquant une intensité de sélection de l'ordre de 20 à 30 % par rapport aux nombre de lignées présentes dans l'essai).

Seules les meilleures lignées au champ, suivant les résultats agronomiques et l'évaluation des producteurs, sont ensuite évaluées par un panel de producteurs et consommateurs (hommes et femmes) pour divers critères de la qualité de grain, allant de

l'aptitude au battage jusqu'à l'élaboration des tortillas (suivant un protocole détaillé s'appuyant sur les méthodes locales de préparation) et l'aspect et la saveur de ces tortillas (au moyen de tests de dégustation).

2.2 Création variétale participative

Le volet création variétale participative conduit dans ce projet a impliqué un échantillon plus restreint d'agriculteurs volontaires. Il a été exclusivement conduit dans la région Nord parce que celle-ci présentait les meilleures conditions de partenariat, en termes de qualité et de stabilité. Les premiers schémas PPB ont démarré dès 2003 dans deux villages-site du département de Madriz. A partir de 2005, ils ont été étendus au village de Pueblo Nuevo, département d'Esteli, qui est le siège des programmes de l'ONG CIPRES dans cette région Nord. Deux méthodes de création de variabilité génétique et son exploitation pour le développement de lignées ont été appliquées: 1) croisements simples entre une variété locale et une variété introduite et 2) création de populations synthétiques multi-parentales.

2.2.1. Exploitation de la variabilité génétique issue de croisements simples: Stratégie PPBa

Ces croisements ont été réalisés, pour la plupart, entre une bonne variété locale²¹ et une variété exotique amélioratrice pour des caractères d'intérêt agronomique et/ou qualité (précocité, tolérance aux maladies et ravageurs, qualité de grain, qualité fourragère des pailles et potentiel de rendement). A partir de la génération F₂, le développement des lignées a été réalisé en appliquant la méthode de sélection généalogique, qui est classiquement la plus utilisée chez le sorgho pour l'obtention de variétés-lignées.

Dans ces schémas, les objectifs de sélection ont été définis ou co-définis avec des producteurs déjà impliqués dans les actions de sélection variétale participative. Le travail de sélection de plantes pour le développement des lignées est conduit *in situ* à partir de la génération F₂ avec un petit groupe stable d'Agriculteurs-Sélectionneurs (AS) motivés et préalablement « formés ». Les générations suivantes de sélection (F₃ à F₅) sont généralement conduites sur le même site avec le même groupe d'AS.

Objectifs de sélection

Les objectifs et priorités d'amélioration avaient été définis par les agriculteurs au moment de la phase de diagnostic réalisée dans les six villages sites du département de Madriz. Les critères de sélection ont ensuite été précisés grâce aux exercices d'évaluation participative des lignées incluses dans les essais PVS conduits dans cette zone.

Les principaux critères de sélection ainsi établis pour les sorghos de type *tortillero* et *millón*, sont les suivants :

- *tortillero* : cycle très court (90 jours ou moins entre le semis et la maturité), tolérance à la sécheresse, rendements en grain stables et pouvant atteindre 2 t/ha avec une fertilisation faible, adaptation aux sols pauvres, bon rendement et qualité fourragère des pailles, qualité

²¹ Initialement la « variété locale » était un cultivar bien apprécié par les agriculteurs dans un des villages d'étude et collecté au moment du diagnostic. Par la suite les croisements ont également considéré comme variété locale des variétés améliorées proposées par la recherche nationale. D'autres croisements ont été effectués entre des lignées introduites Cirad pour lesquelles les caractéristiques complémentaires avaient été mises en évidence dans les essais de sélection variétale participative conduits entre 2002 et 2004.

de grain appropriée pour la consommation en tortilla et la vente sur les marchés locaux (grains blancs non tâchés semi-farineux à semi-vitreux, sans couche brune, glumes non adhérentes, poids de 1000 grains > 28 g, aptes à l'élaboration des tortillas). Les critères définis pour la hauteur et l'architecture de la plante dépendent du système de culture cible (par exemple culture pure ou culture associée avec le haricot) et de la valeur d'utilisation ou commerciale des pailles ; en général l'objectif de hauteur fixé varie entre 1.5 et 2.2 m.

- millón : Réduction de taille et/ou résistance à la verse et à la casse, dates de floraison et maturité avancées de 7-10 jours par rapport aux variétés traditionnelles, amélioration de la qualité des pailles, augmentation de la grosseur et qualité de grain, productivité égale à celle des cultivars criollos (2-3 t/ha).

Réalisation des croisements et génération F1

Entre 2003 et 2005, 21 croisements ont été réalisés avec l'objectif de générer une variabilité génétique appropriée et nouvelle devant servir à développer du matériel génétique répondant aux besoins identifiés dans les villages d'étude. Neuf de ces croisements ont été utilisés pour conduire des schémas de création variétale participative en milieu paysan, les autres ayant été exploités pour des schémas conduits en station seulement. Pour chacun de ces schémas, les parents du croisement, les objectifs de sélection poursuivis et le site de sélection en milieu paysan sont donnés dans le tableau 1 de l'annexe IV.

Les croisements ont été effectués en station durant la saison sèche par le sélectionneur professionnel en utilisant la technique dite du « sachet plastique » pour stériliser les panicules²² utilisées comme parent femelle du croisement (House, 1987). La génération F₁ a également été conduite en station, en saison des pluies (primera ou postrera). La technique de stérilisation utilisée n'empêchant pas un certain taux d'autofécondation du parent femelle, un tri des hybrides F₁, distingués de leur parent femelle grâce à certains marqueurs morphologiques dominants provenant du parent mâle et à une certaine vigueur hybride, a été systématiquement réalisé au cours de cette génération.

Conduite des opérations de sélection

Sélection en station (*ex situ*)

Les travaux de sélection en station ont été conduits sur la station expérimentale du CNIA, près de Managua (12°08' N, 86°10' W, altitude 56 m) en saison des pluies (période de postrera). Cette station est la station principale du programme de recherche sur le sorgho de l'INTA sur laquelle sont réalisées les travaux de création (peu nombreux), les évaluations de lignées et hybrides introduits et les essais agronomiques. Les sols sont des andosols très profonds et d'excellente fertilité. Les pratiques culturales appliquées sur les parcelles de sélection sont celles recommandées par l'INTA pour la culture mécanisée du sorgho et celles appliquées par le programme national sorgho pour toutes leurs expérimentations: labour et préparation du lit de semis aux disques, écartements entre les lignes au semis de 0.75 m, application d'engrais complet 10-30-10 (128 kg/ha) et insecticide du sol au semis, application d'urée 46N environ 40 jours après semis, au buttage à la dose de 128 kg/ha. Le contrôle des mauvaises herbes est réalisé par le moyen de deux sarclages manuels et du buttage. Les parcelles de sélection ont bénéficié d'une irrigation d'appoint lorsque des périodes de déficit pluviométrique (essentiellement juste après semis pour assurer une levée homogène et durant la saison 2006 qui a été très déficitaire).

²² La très forte humidité maintenue à l'intérieur des sachets plastiques empêche la déhiscence des anthères et la libération du pollen ; cela conduit donc à une stérilisation (partielle) des organes mâles.

Les effectifs de plantes en F₂ ont varié entre 1000 et 2000 plantes. Chaque descendance F₃ a été semée sur une ligne de 8 m de long avec une variété témoin intercalée toutes les 10 lignes. A partir de la génération F₄, la longueur des lignes a été réduite à 6 m. A partir de la génération F₅, les plantes ont été autofécondées pour accélérer la fixation des lignées. La méthode de sélection appliquée est la sélection généalogique avec ses principes classiques, sélection des meilleures familles et des meilleures plantes à l'intérieur des meilleures familles.

Sélection en champs paysans (*in situ*)

Itinéraires culturaux

Par rapport aux conditions en station, les principales différences concernant la gestion des parcelles de sélection en champs paysans étaient les suivantes :

- aucune irrigation d'appoint ;
- préparation du sol par un labour aux bœufs ;
- écartements des lignes variant entre 0.55 m et 0.80 m, suivant les conditions de réalisation du labour et le choix d'écartement décidé avec l'agriculteur gérant la parcelle de sélection (*surcos seguidos o surcos de por medio*²³) ;
- application d'un insecticide du sol si attaques précoces de chenilles arpeuteuses ;
- fertilisation réduite : 1 qq/mz (64 kg/ha) de 10-30-10 juste après semis, 1 qq/mz (64 kg/ha) d'urée entre 30 et 45 jours après semis ;
- Sarclages manuels selon l'état d'enherbement.

Organisation du travail de sélection entre les agriculteurs, techniciens et chercheurs

Dans chaque site des producteurs se sont portés volontaires pour conduire ces travaux et sont ainsi considérés comme Agriculteurs-Sélectionneurs leaders (ASI). Cette responsabilité signifiait pour eux mettre en place et gérer chaque année les parcelles du schéma de sélection dont ils étaient responsables. Ces ASI bénéficiaient d'une reconnaissance et de bonnes relations au sein de leur communauté, avaient une bonne connaissance de la culture du sorgho, étaient motivés et avaient une vision claire de ce qu'ils attendaient de ce travail. La répartition des tâches entre les trois groupes d'acteurs a été définie comme suit :

- Le Sélectionneur Professionnel sorgho (SPr) a élaboré la partie technique des protocoles de sélection. Ensuite, les ASI, le SPr et le technicien ont défini ensemble les conditions expérimentales (choix de la parcelle, densités de semis, niveaux de fertilisation).
- Avant la période de semis, le technicien devait organiser une réunion pour expliquer le plan de semis, repréciser les arrangements de semis et les opérations culturales à réaliser sur la parcelle et si besoin distribuer l'engrais de fond; ensuite les ASI ont mis en place les parcelles de sélection, conformément à ce qui avait été défini.
- Les ASI et le technicien ont identifié ensemble dans le même village trois ou quatre autres producteurs d'expérience dans la culture du sorgho et identifiés comme compétents et sérieux pour les appuyer dans le travail de sélection.
- Avant de réaliser concrètement le travail de sélection de plantes aux générations F₂ et F₃, le SPr et le groupe des AS ont confirmé ensemble les critères de sélection et les types de plantes recherchés. Dans les générations suivantes, les critères convenus au début du travail ont été rappelés aux AS et parfois de légers ajustements ont été effectués. Toujours

²³ *Surcos seguidos* : semis dans chaque sillon successif produit avec le labour; *surcos de por medio* : semis dans un sillon sur deux.

à ce stade, le SPr a organisé des ateliers de formation des AS sur les principes de base de l'amélioration des plantes et l'héritabilité des caractères en sélection.

- Les AS et le SPr ont réalisé la sélection des plantes au champ à un stade proche de la maturité physiologique. Les plantes choisies ont été marquées avec des ficelles de couleur²⁴, le SPr et les AS marquant chacun son tour les plantes sélectionnées (le SPr passant après les AS pour ne pas influencer leurs choix). Cette sélection séparée a été appliquée dans les premières générations de sélection (F₂-F₄). Aux stades plus avancés (F₅-F₆), lorsque le nombre de descendances en sélection et la diversité intra-lignée sont plus faibles, le SPr, le technicien et les AS ont cherché à effectuer des choix consensuels.
- Le technicien réalise les récoltes des plantes sélectionnées avec leur identification.
- A la fin de chaque cycle, par sécurité, les semences ont été conservées *ex situ* par l'équipe de recherche

2.2.2. Exploitation de la variabilité génétique issue de populations synthétiques à base génétique large: stratégie PPBb

Cette stratégie a été choisie pour explorer une base génétique plus importante, pouvant offrir de nouvelles recombinaisons alléliques pour les caractères d'intérêt en sélection. Le développement de lignées a été réalisé par la méthode généalogique.

Pour ce volet, compte tenu des contraintes de temps et ressources du projet, le choix a été fait d'appliquer un schéma rapide pour la création de deux premières populations synthétiques (PCR-1 et PCR-2) et de démarrer aussitôt un travail de développement de lignées *in et ex situ* à partir de la génération S₀. Toutefois, en parallèle un deuxième schéma de création de populations incluant un cycle de rétrocroisement sur les lignées parentales et l'enrichissement en variétés locales a été appliqué pour développer les populations PCR-3 et PCR-4, destinées à d'autres schémas de sélection *ex et in situ* visant le plus long terme. Les populations PCR-1 et PCR-3 ont été formées pour un objectif prioritaire de production de grain de qualité « tortillera » et secondairement de fourrage pour des systèmes de culture à très faibles intrants en conditions défavorables (stress hydrique et sols pauvres). Les populations PCR-2 et PCR-4 ont été créées pour un objectif de double usage (grain + fourrage) pour des systèmes de culture à niveaux d'intrants intermédiaires en conditions assez favorables.

Les populations synthétiques initiales PCR-1 et PCR-2 ont été soumises à un cycle de sélection récurrente sur descendances S₁₋₂ avec deux cycles de recombinaison, dont au moins un réalisé *in situ* afin d'améliorer l'adaptation et la qualité de ces populations.

Objectifs de sélection

Pour ce travail, les objectifs et critères de sélection ont été rediscutés et précisés avec les groupes d'AS de chaque site de travail. La liste des critères de sélection établis pour les deux programmes PPB conduits à partir des populations PCR-1 et PCR-2 est donnée dans le tableau 1 de l'article Trouche *et al.* (2011)

Formation des populations synthétiques

Chaque population a été formée par l'incorporation puis l'intercroisement de 6 à 8 lignées ou variétés élités choisies pour apporter chacune un ou deux caractères d'intérêt pour répondre aux contraintes et préférences des producteurs de la zone ciblée. Pour chaque

²⁴ Dans ce travail, des ficelles de couleurs différentes ont été utilisées pour distinguer les plantes choisies par les AS et celles choisies par le SPr.

caractère retenu, ont été choisies les meilleures lignées disponibles parmi celles ayant un bon niveau d'adaptation générale aux environnements cibles.

Les étapes de création des populations PCR-1 et PCR-2 (méthode sans rétrocroisement sur les parents) et PCR-3 et PCR-4 (méthode avec phase de rétrocroisement) sont résumées dans les figures 1 et 2 de l'annexe IV. La réalisation pratique des croisements entre les géniteurs parentaux et la population source du gène de stérilité mâle ms_3 ²⁵ puis de la phase de recombinaison aboutissant à la formation des populations PCR-1 et PCR-2, est décrite dans le matériel et méthodes de l'article Trouche *et al.* (2011). La composition finale de ces deux populations avant sélection est présentée dans le tableau 2 de cette même publication.

Conduite des opérations de sélection

Les schémas de sélection appliqués en station et en milieu paysan à partir des populations synthétiques PCR-1 et PCR-2 dans le cadre de ce travail de thèse ont été résumés dans la figure 1 et le tableau 3 de l'article Trouche *et al.* (2011).

2.3 Evaluation des lignées produites par la création variétale participative

Entre 2006 et 2008, les lignées issues des schémas de création variétale participative (deux programmes PPBa + deux programmes PPBb) et des schémas apparentés conduits selon une approche conventionnelle ont été évaluées en milieu contrôlé (station expérimentale du CNIA) et en milieu paysan afin de 1) mesurer les performances agronomiques de ces lignées par rapport à des variétés témoin 2) comparer les performances et l'acceptation finale des lignées issues des différents modes et méthodes de sélection.

Les protocoles expérimentaux utilisés à cet effet sont décrits en détail dans les chapitres III-4 et III-5 de la thèse. De plus nous donnons en annexe V le modèle du protocole type défini pour l'évaluation des lignées en champs paysans, lequel précise le dispositif expérimental et les modalités de mesures des variables agronomiques observées.

Les analyses de variance ont été réalisées avec la procédure GLM du logiciel SAS (essais 2006 et 2007) et la même procédure GLM du logiciel Minitab version 15 (essais 2008), en ayant bien vérifié sur les jeux de données de deux essais 2007 que les deux analyses donnaient les mêmes résultats.

Le modèle d'analyse de la variance utilisé pour traiter les essais en alpha-lattice était le suivant : $Y_{ijk} = \mu + G_i + r_j + b_{jk} + e_{ijk}$ où μ , G_i , r_j , b_{jk} , représentent les effets respectifs de la moyenne générale, du génotype i , de la répétition j , et du bloc incomplet k inclus dans la répétition j , et e_{ijk} est le terme d'erreur ou effet résiduel.

Pour l'ensemble des essais d'évaluation de lignées inscrits dans le protocole de thèse et mis en place sur le terrain entre 2006 et 2008, les paramètres de l'analyse de variance et les valeurs d'héritabilité au sens large calculées à partir de ces paramètres, pour les variables agronomiques cycle semis-floraison, hauteur de plante, rendement grains et poids de 1000 grains, sont présentées dans l'annexe VI. Pour chaque caractère l'héritabilité a été calculée à partir de l'équation suivante : $h^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_e^2)$ avec $\sigma_g^2 = (CMg - CMe)/k$ et $\sigma_e^2 = CMe$, où k est le nombre de répétitions et CMg et CMe sont les carrés moyens des facteurs génotypes et résidus fournis par l'analyse de variance.

²⁵ Dans ce système de stérilité mâle de type nucléaire, le facteur de stérilité est récessif. Le gène ms_3 est le plus utilisé car il son expression est stable dans la plupart des conditions de milieu.

CHAPITRE 3 : Résultats

Chapitre III : Résultats

Le chapitre résultats de cette thèse est structuré en six sous-chapitres:

- un court sous-chapitre d'articulation entre les résultats de recherche présentés ;
- quatre articles de revues scientifiques (trois publiés + un accepté pour publication) ;
- un sous-chapitre final comparant les résultats obtenus par les trois stratégies de sélection appliquées dans ce projet de sélection participative du sorgho au Nicaragua.

Chaque article et le dernier sous-chapitre cherchent à répondre à des questions de recherches sur la méthodologie de la sélection participative concernant une des cinq étapes du schéma général de développement d'une variété, rappelées dans la figure 6 ci-dessous.

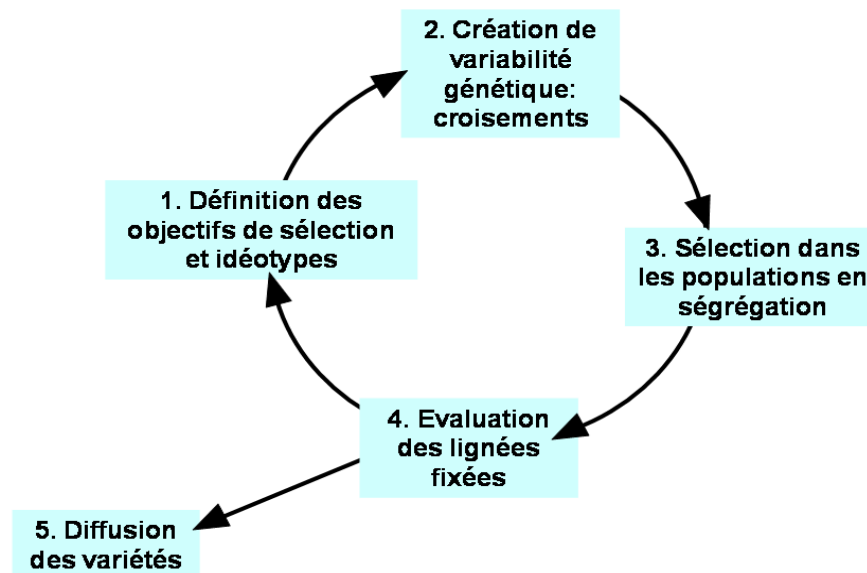


Figure 6 : Les cinq étapes du schéma du développement des variétés dans un processus d'amélioration variétale (adapté de Lançon et Hocdé, 2006).

L'objet du premier article s'inscrit dans l'étape 1 de ce schéma. Il décrit la démarche de recherche ayant permis d'acquérir une compréhension fine des systèmes de culture sorgho et de leur dynamique dans la principale zone d'intervention de notre étude, et de faire émerger les objectifs d'amélioration qui sont traités dans les étapes suivantes. Le deuxième article se situe aux étapes 1 et 4 du schéma. Il présente les résultats des programmes de sélection variétale participative décentralisés mis en œuvre dans trois régions cibles, en termes de connaissance approfondie des critères paysans de sélection et de développement variétal. Les articles 3 et 4 répondent à des questions de recherche sur les méthodes de sélection et les conditions de leur application pour la réalisation du progrès génétique; ils sont centrés sur la 3^{ème} étape du schéma mais considèrent également les étapes 1, 2 et 4. En proposant une analyse comparative des résultats produits par les stratégies de sélection PVS et PPB mises en œuvre, le thème du dernier chapitre se situe entre les étapes 3 et 4.

1. Articulation des résultats présentés dans la thèse

Le premier chapitre intitulé « Dynamiques paysannes et sélection participative: le cas des sorghos à grain blanc (*Sorghum bicolor*, L. Moench) dans la région Nord du Nicaragua » (Trouche *et al*, 2006, *Agronomia Mesoamericana* 17 (3), 407-425) est consacré à l'analyse du contexte de la culture du sorgho dans la principale zone d'intervention de ce travail de thèse. Il présente l'historique de la production du sorgho dans cette région et souligne les changements variétaux intervenus au cours des vingt dernières années. Il décrit la diversité des systèmes de culture et des pratiques de semis, les différentes utilisations de la plante, la diversité variétale gérée par les agriculteurs, les pratiques et les réseaux de production et d'échange des semences. Il précise enfin les attentes des agriculteurs pour l'amélioration des trois types de sorgho cultivés dans cette région. En identifiant les objectifs d'amélioration et les caractères variétaux d'adaptation et de qualité répondant aux attentes des producteurs, ce travail de diagnostic a constitué une première étape essentielle pour la définition et la mise en œuvre des actions de sélection participative qui ont suivi.

Le deuxième chapitre intitulé “Giving new sorghum variety options to resource-poor farmers in Nicaragua through participatory varietal selection” (Trouche *et al.*, 2009, *Experimental Agriculture* 45, 451-467) présente les résultats obtenus par les actions de sélection variétale participative mises en œuvre avec des groupes locaux de petits producteurs dans trois régions du Nicaragua. Il décrit les méthodes et outils développés dans le projet pour identifier, comprendre et hiérarchiser les critères de sélection des agriculteurs, et pour conduire, selon ces critères, les évaluations participatives des nouvelles lignées présentées aux agriculteurs. L'article analyse ensuite les corrélations existantes entre les évaluations visuelles des agriculteurs et les mesures faites par les chercheurs pour les caractères clé, tels que le rendement, la précocité et la qualité des grains, ainsi que le poids de chaque critère dans la décision finale de sélection ou rejet d'une lignée. Cette analyse fine de l'aptitude des producteurs, hommes et femmes, à évaluer avec une bonne précision des caractères complexes comme le rendement, a permis d'identifier les situations favorables et les groupes d'agriculteurs qui pouvaient être impliqués dans des programmes de création variétale décentralisés. L'article présente enfin les performances agronomiques et autres qualités des meilleurs cultivars exotiques sélectionnés avec les producteurs, notamment en termes de gains pour le rendement en grains, la précocité et la grosseur des grains par rapport aux cultivars locaux, et discute les avantages de cette stratégie par rapport à la sélection conventionnelle.

Les **articles 3 et 4** constituent les deux parties d'une étude cherchant à comparer les résultats produits par la création variétale participative décentralisée avec ceux obtenus par la création variétale conventionnelle en station. Ils essaient de répondre à deux questions de recherche majeures concernant le degré d'implication des agriculteurs et le lieu de la sélection dans les programmes de création variétale participative :

- 1) Quelle est l'efficacité des schémas de sélection participatifs conduits en milieu paysan par rapport aux mêmes schémas conduits de manière conventionnelle en station, pour développer des lignées performantes dans des environnements à fortes contraintes locales et acceptées par les agriculteurs?
- 2) Quelle est l'efficacité de la sélection des agriculteurs par rapport à celle d'un sélectionneur professionnel dans des schémas de création variétale développés en milieu paysan?

Pour tenter de répondre à ces deux questions, ces deux articles analysent le progrès génétique réalisé selon deux angles de vue, la performance agronomique et l'acceptation par

les agriculteurs, dans trois programmes de création variétale du sorgho *tortillero* conduits selon trois modes de sélection : sélection du sélectionneur professionnel en station, sélection des agriculteurs en milieu paysan et sélection du chercheur professionnel en milieu paysan.

L'article **Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: I. Agronomic performance** (Trouche et al., 2011, *Field Crops Research*, 121, 19-28) compare l'effet de ces trois modes de sélection sur les paramètres suivants :

- la variabilité phénotypique des lignées produites ;
- les gains réalisés pour la durée de cycle, la hauteur de plante, la grosseur des grains et le rendement en grains ;
- la stabilité de rendement ;
- la combinaison des caractères agronomiques.

Les résultats obtenus pour le rendement grain ont été confrontés à la théorie de la réponse à la sélection, notamment par rapport aux effets respectifs de deux de ses composantes, l'héritabilité du caractère en station et en milieu paysan, et la corrélation génétique entre le milieu de sélection et l'environnement cible. Certaines dérives de la sélection des agriculteurs, découlant de leurs préférences pour certains types de plante ou en faveur de la précocité, ainsi que les biais résultant de la période de sélection, sont également soulignés et discutés dans cet article.

L'article **Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: II. Farmer acceptance and index of overall value** (Trouche et al., accepté dans *Field Crops Research*) complète l'étude précédente en analysant l'effet des trois modes de sélection sur l'acceptation *ex post* des lignées produites par les agriculteurs. Il cherche ensuite à déterminer quels sont les caractères quantitatifs et qualitatifs qui déterminent le mieux les préférences des agriculteurs. Pour estimer une valeur globale des lignées produites, il propose l'élaboration d'un index de sélection composite combinant la performance agronomique et l'appréciation des agriculteurs pour les critères qualitatifs clés. Cet index est utilisé pour évaluer le progrès génétique global obtenu par chaque mode de sélection. Enfin l'article dégage les principaux enseignements tirés de sa mise en œuvre de ces schémas PPB et cherche à identifier les raisons pour lesquelles une telle approche n'est pas plus souvent suivie par les sélectionneurs.

Le dernier sous-chapitre intitulé **Bilan des deux stratégies de création variétale participative décentralisée testées dans cette étude** propose tout d'abord une analyse comparative globale des résultats obtenus par quatre programmes PPB conduits presque simultanément dans la région Nord du pays, deux d'entre eux représentant la stratégie PPBa (création variétale à partir de croisements simples entre variétés locales et variétés exotiques) et les deux autres la stratégie PPBb (création variétale à partir de populations synthétiques multi-parentales). Cette analyse cherche à répondre à une troisième question de recherche définie pour cette thèse : les populations synthétiques, formées par l'intercroisement de 6-8 lignées élites sont-elles appropriées pour développer des schémas de création participative décentralisée chez le sorgho? Cette comparaison est réalisée sur la base de 1) gains réalisés pour le rendement grains et l'acceptation par les producteurs par rapport à des variétés de référence et 2) performances relatives des meilleures lignées issues des différentes stratégies évaluées dans des essais communs. En deuxième partie, ce chapitre présente et discute les performances agronomiques, la stabilité du rendement et les autres attributs de qualité des lignées développées par les agriculteurs avec la stratégie PPBb à partir des deux populations PCR-1 et PCR-2.

DINÁMICAS CAMPESINAS Y FITOMEJORAMIENTO PARTICIPATIVO: EL CASO DE LOS SORGOS BLANCOS (*Sorghum bicolor*, L. Moench) EN LA REGIÓN NORTE DE NICARAGUA¹

Gilles Trouche², Henri Hocdé³, Silvio Aguirre-Acuña⁴, Felipe Martínez-Sánchez⁵, Nury Gutiérrez-Palacios⁶

RESUMEN

Dinámicas campesinas y fitomejoramiento participativo: el caso de los sorgos blancos (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la región norte de Nicaragua. En las regiones secas de Nicaragua, los sorgos blancos representan un grano básico cada vez más importante para las familias campesinas pobres. Desde 2002, el CIRAD y el CIAT manejan en colaboración con ONGs y grupos de productores experimentadores un proyecto de fitomejoramiento participativo de los sorgos dirigido a los pequeños productores. En esta publicación, los autores describen el arranque de este proyecto en el departamento de Madriz, norte de Nicaragua, e indican los resultados más originales de esta fase inicial. Ésta empezó con un diagnóstico intenso sobre los sistemas de cultivos, las variedades, los problemas de producción, los usos del sorgo y una predefinición de los objetivos de selección. Se identificaron los actores y las prácticas de la producción y los intercambios de semillas. Paralelamente, las variedades locales de sorgo tortillero y millón fueron caracterizadas morfo-agronómicamente. Como resultados, se resaltan los cambios recientes en las variedades y los sistemas de cultivo, la adopción rápida de los sorgos de ciclo corto “tortillero” mediante procesos informales de intercambios de semillas; las características notables de las variedades locales de sorgo tortillero y millón fueron cuantificadas. Estos datos sirvieron para implementar las actividades de selección participativa e identificar los progenitores y cruzamientos para los esquemas de fitomejoramiento participativo. Como perspectivas, los autores proponen insertar más este proceso de fitomejoramiento participativo en los proyectos endógenos fortaleciendo la agricultura familiar con un enfoque agroecológico y extenderlo a otros temas, cultivos y zonas en un marco interinstitucional de investigación-acción para pequeños agricultores en zonas marginales.

Palabras claves: Sorgos de grano blanco, zonas secas, innovaciones, objetivos de selección, fitomejoramiento participativo.

ABSTRACT

Farmers dynamics and participatory plant breeding: the case of white grain sorghums in the Northern region of Nicaragua. In the dry areas of Nicaragua, white grain sorghums are an important food crop for the poor farmers. Since 2002, CIRAD and CIAT manage in collaboration with NGOs and local experimenter farmers' groups a research project on sorghum participatory breeding addressed to the low-resources farmers. In this paper, the authors describe the start of the project in the Madriz department, North of Nicaragua, and indicate the most relevant results of this preliminary phase. This work started with an intensive participatory diagnostic about the cropping systems, the varieties, the production constraints, the sorghum utilizations and a pre-definition of the breeding objectives. The participants and practices of the seed production and exchanges were identified. At the same time, the local varieties of tortillero and millón sorghum were characterized for morphological and agronomic traits. Among the results emerge the recent changes concerning the varieties and the cropping systems, the rapid adoption of the short-cycle “tortillero” sorghum by the mean of informal processes of seed exchanges; the original traits of the millón varieties, like their extreme sensitivity to photoperiod, have been quantified. These data were used for implementing the activities of participatory variety selection and for choosing the parents and crosses for the participatory breeding schemes. As perspectives, the authors propose to integrate more this process of participatory breeding within the endogenous projects strengthening the family agriculture with an agro-ecological focus and extend it to other themes, crops and areas in an inter-institutional framework of research-action for small farmers in marginal areas.

Key words: White-grain sorghum, dry areas, innovations, breeding objectives, participatory plant breeding.

¹ Recibido: 4 de julio, 2006. Aceptado: 20 de setiembre, 2006.

² Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement CIRAD - Centro Internacional de Agricultura Tropical -CIAT, AA 6713, Cali, Colombia. Correo electrónico: g.trouche@cgiar.org.

³ Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Département Territoires, Environnements et Acteurs, CIRAD-Tera, 73 rue Jean-Francois Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, Francia. Correo electrónico: henri.hocde@cirad.fr

⁴ Centro para la Investigación, la Promoción y el desarrollo Rural y Social-CIPRES, Pueblo Nuevo, Nicaragua.

⁵ Hydros-Novotecn S.A., Colonia Escalón, 79 avenida norte, casa No. 422, San Salvador, El Salvador. Correo electrónico: felipe.Martinez@sgnicaragua.com

⁶ Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Nacional de Investigación Agraria CNIA, km 10 Carretera Norte, Managua, Nicaragua.

INTRODUCCIÓN

En Nicaragua el sorgo ocupa el cuarto lugar entre los granos básicos, con un área sembrado promedio de 75,000 hectáreas. Se siembran principalmente tres tipos de sorgo que son:

- Sorgo millón: sorgo de ciclo largo sensible al fotoperíodo (Cuadro 1), comúnmente cultivado en asocio con el maíz o el frijol, en sistemas manuales de bajos insumos; se utiliza para el consumo humano y animal.

- Sorgo tortillero (o sorgo blanco o maicillo): sorgo de grano blanco, de ciclo corto e insensible al fotoperíodo (Cuadro 1), introducido en la región en los años setenta pero ampliamente difundido a partir de la segunda mitad de los años ochenta. Se cultiva en diversas condiciones, desde los sistemas manuales de bajos insumos hasta los sistemas tecnificados, y se utiliza para el consumo humano y animal.

- Sorgo industrial: generalmente híbridos comerciales de ciclo corto y de grano rojo, cultivados en sistemas tecnificados mecanizados; los granos son utilizados en la fabricación de concentrados balanceados para la alimentación de los pollos y cerdos.

En las zonas más secas del país, los sorgos tortillero y millón se siembran principalmente para el consumo humano y por consecuente juegan un papel importante en la seguridad alimentaria de los pequeños productores en estas regiones desfavorecidas. Además de estos tres tipos, que ahora se distinguen en las estadísticas agrícolas nacionales, se siembran también en áreas de menor importancia, más localizadas, el sorgo escobero y en las zonas ganaderas el sorgo forrajero.

En mayo del 2002, el CIAT⁷ y el CIRAD⁸ iniciaron un proyecto de investigación en fitomejoramiento participativo (FP) de los sorgos, dirigido a los pequeños productores de las zonas secas y pobres de

Cuadro 1. Características fisiológicas y agronómicas de los sorgos tortillero y millón de Nicaragua (Síntesis del autor a partir de los resultados del proyecto y los trabajos de Martínez 2003 y Vaksman *et al.* 1996).

Tipo	Respuesta al fotoperíodo*	Consecuencias agronómicas
Sorgo tortillero o maicillo	Insensible: la inducción de la floración no es determinada por el fotoperíodo; la duración de la fase emergencia-floración (DEF) depende solamente de la suma de temperaturas disponibles.	Es generalmente de ciclo corto: 55-65 días de la germinación hasta floración, 85-95 días hasta madurez. Durante la época lluviosa que cuenta con temperaturas casi constantes, los ciclos a floración y madurez están estables y no varían con la fecha de siembra. Por su ciclo corto, generalmente escapa al déficit hídrico de fin de la época lluviosa pero es muy susceptible a las sequías que pueden ocurrir durante su fase reproductiva.
Millón	Sensible al fotoperíodo: necesita días cortos (menos de 11 h 30') para que su floración se induzca; la duración de la fase DEF depende de la fecha de siembra y la suma de temperaturas disponibles.	Es de ciclo largo (7-8 meses con una siembra normal en mayo-junio) y se cosecha entre diciembre y enero. Cualquiera sea la fecha de siembra (temprana o atrasada en primera o en postrera), florecerá siempre entre final de octubre y el 15 de noviembre. Esta época de floración coincide con las últimas lluvias del invierno, cuando todavía hay agua disponible en el suelo. Por su fotoperiodismo y su sistema radicular muy profundo, es muy resistente a las sequías en todas las fases de desarrollo, excepto en el estado plántula. El millón se puede sembrar muy temprano, cuando llegan las primeras lluvias; consecuentemente su cobertura contribuye a proteger los suelos de laderas de la erosión, asimismo las plantas de millón aprovechan bien la mineralización biológica de la materia orgánica

* Duración diaria de la luz expresada en horas o tiempo de horas de luz.

⁷ CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

⁸ CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-Francia.

Nicaragua. Entre las tres zonas de intervención del proyecto, se escogió el departamento de Madriz, ubicado en el norte del país, por ser uno de los más áridos con un alto grado de pobreza, con predominio de los pequeños productores, y por supuesto por ser productor importante de sorgo blanco (5590 ha, 10% del área sembrado en el país) (Datos del ciclo agrícola 2000-2001 del III CENAGRO, INEC 2002). Para empezar el proyecto en esta zona, debido a la poca información disponible sobre este rubro y al carácter pionero de esta investigación, el equipo de investigación decidió realizar un diagnóstico intenso abarcando los temas siguientes: condiciones y problemas de producción de los diferentes tipos de sorgo, usos de la producción, origen, diversidad y características de las variedades actuales y antiguas, prácticas de producción e intercambio de las semillas, entre otros. Al final se pretendía identificar con los agricultores los tipos de sorgo a mejorar y los objetivos y prioridades de mejoramiento de éstos en la zona; sobre esta base se planeó y se inició el trabajo de fitomejoramiento participativo (Figura 1). El objetivo del presente trabajo es presentar una síntesis de los resultados originales obtenidos en la fase de diagnóstico del proyecto y examinar en qué grado esta información específica, orientó las actividades de fitomejoramiento participativo de los sorgos tortillero y millón, así como la futura difusión de las variedades generadas.

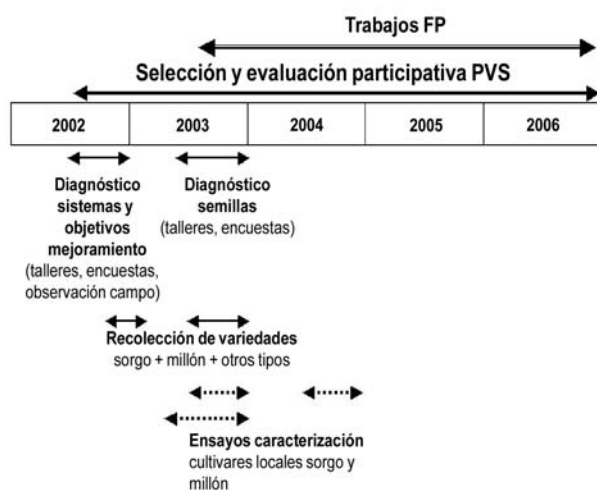


Figura 1. Esquema de las etapas de implementación del proyecto Fitomejoramiento Participativo en sorgo, Nicaragua.

Este artículo es parte de un conjunto de varias publicaciones que presentan la experiencia y los resultados del proyecto FP sorgo y arroz en Nicaragua (Hocdé 2006; Lhomme 2005; Trouche *et al.* 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

El departamento de Madriz se encuentra ubicado en la región norte de Nicaragua (Figura 2) entre los grados 13° 15' y 13° 40' de latitud norte y 86° 05' y 86° 45' de longitud oeste. Tiene un relieve accidentado conformado con laderas, valles y llanos con un rango de altitud entre 400 y 1.490 msnm. El departamento pertenece a la franja seca de Nicaragua (trópico-seco) y cuenta con precipitaciones anuales entre 650-800 mm para los municipios más secos y 1.200-1.400 mm para los más lluviosos. La estación lluviosa se extiende de la última década de mayo hasta la primera década de noviembre, definiendo dos épocas de cultivo, la primera y la postrera, separadas por un periodo seco entre el 15 de julio y el 15 de agosto conocido como canícula o veranillo. En el municipio de Somoto, la canícula es calificada de severa con precipitaciones menores a 75 mm en 5 años entre 10 (Martínez 2003). Además, el régimen de lluvia se caracteriza por la irregularidad de las precipitaciones dentro de cada época de cultivo, dado que se presentan a menudo tres pentadas consecutivas sin lluvia (Rapidel y Rodríguez 2000). Madriz está catalogado como uno de los departamentos más pobres del país. La actividad económica más importante es la agricultura, principalmente la producción de granos básicos como maíz, frijol y sorgo. El 81 % de las fincas se pueden calificar de pequeñas (< 3,5 ha) o medianas (3,5-14 ha) y producen granos básicos destinados al autoconsumo y la venta en los mercados locales. Por las características de las fincas y la topografía, la siembra de sorgo industrial es casi inexistente; considerando el área sembrada así como la producción, el sorgo tortillero ahora predomina sobre el millón (60% versus 40%).

Diagnósticos

Entre junio y noviembre del 2002, en el marco de su tesis de maestría en agronomía, Felipe Martínez

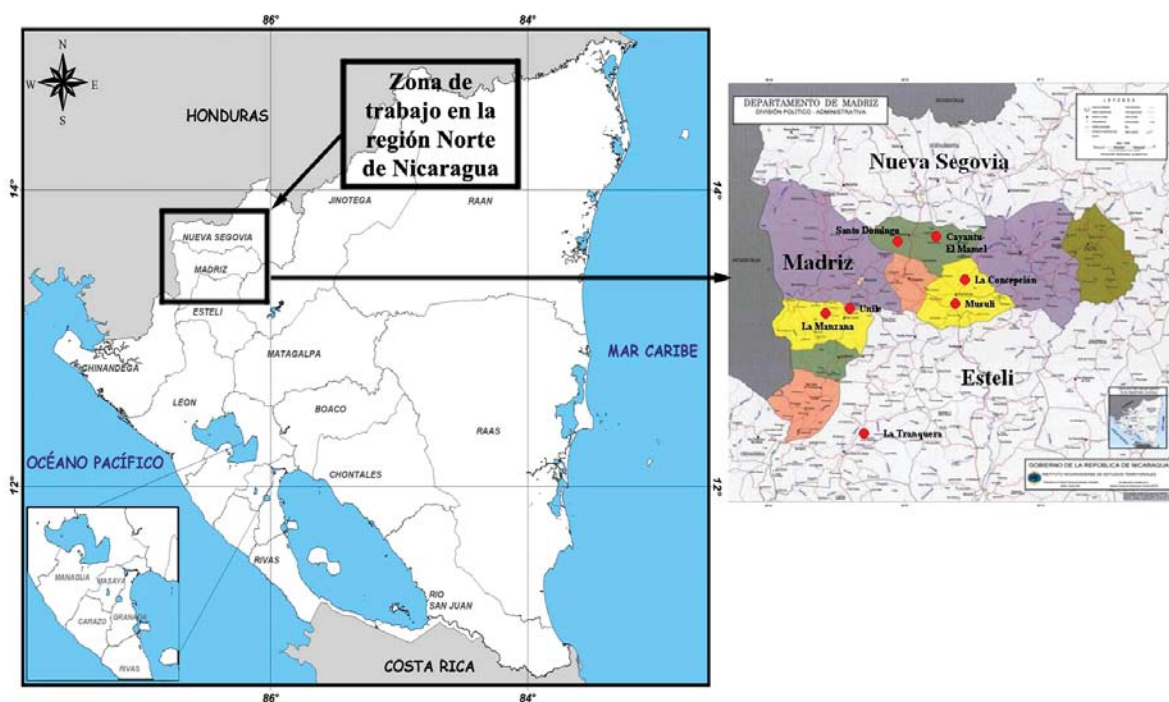


Figura 2. Zona y localidades de trabajo del proyecto FP sorgo en la región Norte de Nicaragua.

realizó un diagnóstico formal sobre los sistemas de cultivo de sorgo en cuatro localidades representativas de la diversidad de las condiciones de producción de los sorgos en el departamento de Madriz (Martínez 2003). Este diagnóstico se desarrolló en seis etapas conforme a la metodología descrita a continuación:

- Revisión de literatura y contactos con las instituciones locales para una preselección de los sitios de estudio.
- Visita de las comunidades preseleccionadas para hacer una selección final.
- Taller público en cada comunidad con 20-30 productores y productoras: presentación del estudio a realizar y los objetivos del proyecto FP, diagnóstico participativo para describir la comunidad y sus agricultores así mismo como la historia y la situación actual del cultivo de sorgo (sistemas de cultivo, variedades actuales y abandonadas, usos y limitantes de la producción). Para este propósito, se utilizaron herramientas como el mapeo de los recursos naturales y usos de los suelos en la comunidad, la línea del tiempo, los inventarios de variedades y prácticas, y la tipología de los agricultores de la comunidad. Al final del taller, se estableció la lista de los productores a entrevistar en la siguiente etapa. También se organizó con los productores participantes una recolecta de semillas de las variedades de sorgo cultivadas en la comunidad.
- Entrevistas a productores(as) con un cuestionario semi-abierto (10-12 agricultores por comunidad) y observaciones en campo.
- Procesamiento y análisis de los datos de las entrevistas.
- Taller de retro-información y discusión de los resultados del estudio en cada comunidad para su validación.

Para verificar los objetivos de mejoramiento indicados por los productores durante el diagnóstico formal y definir los criterios de selección con más precisión, también identificar variedades interesantes y/o progenitores para los futuros cruzamientos, se establecieron en 2002 y en 2003 ensayos de prueba de nuevas variedades y líneas avanzadas.

Un año después, entre junio y diciembre del 2003, otros dos estudiantes⁹ llevaron a cabo un estudio para complementar y ampliar a nivel geográfico el trabajo anterior, con un enfoque en la comprensión de los mecanismos y actores involucrados en la producción, los intercambios y la difusión de semillas de sorgo en la región (Plessis 2004). También ellos complementaron la recolecta de las variedades locales y realizaron una caracterización preliminar de éstas. Dicho estudio se realizó en seis comunidades (tres incluidas en el estudio de 2002 y tres nuevas). Para realizar los talleres públicos en las tres comunidades nuevas, se aplicó la misma metodología utilizada por F. Martínez en 2002. A continuación de los talleres, en cada comunidad, 10-12 productores (as) fueron entrevistados entre septiembre y octubre de 2003.

Caracterización de las variedades locales recolectadas

Para realizar estos trabajos de caracterización fenotípica, los protocolos experimentales aplicados fueron los siguientes:

1. Caracterización agromorfológica y fisiológica de 11 variedades locales de millón y tres variedades africanas sensibles al fotoperíodo: experimento realizado en la estación experimental del CNIA, Managua entre mayo de 2003 y enero de 2004. Diseño de campo en parcelas subdivididas (split-plot) con tres fechas de siembra en parcelas grandes (30 de mayo, 4 de julio y 2 de septiembre) y los 14 genotipos en parcelas pequeñas (Cuadro 2), con cuatro repeticiones; las parcelas elementales fueron de dos surcos de seis metros de largo. Se midieron 15 variables (Gutiérrez 2004). Para los análisis estadísticos de los datos, se utilizaron los software Mstac (análisis bi-factorial) y Xlstat (análisis por fecha). Para la separación de las medias, se utilizó la prueba de Newman-Keuls al 5%.
2. Descripción de 41 variedades locales de sorgo tortillero en comparación a cinco variedades mejoradas testigo: ensayo realizado en parcela campesina en Somoto entre septiembre y diciembre de 2003 (postrera). Diseño sin repetición, parcelas experimentales de dos surcos de cinco metros de largo

Cuadro 2. Nombre y origen de las variedades de millón recolectadas en el año 2002 en Madriz, Nicaragua y caracterizadas en el año 2003.

Número ensayo	Número colección	Variedad	Origen
1	4	Riñón	Sto Domingo Totogalpa
2	5	Mano de piedra	Sto Domingo Totogalpa
3	12	Indio	Cayantu Totogalpa
4	9	Amarillo	Cayantu Totogalpa
5	10b	Salvadoreño	Cayantu Totogalpa
6	18	Tortillero temprano	Cayantu Totogalpa
7	1	Estopa Negra	Cuje, Totogalpa
8	24	Guansapo	Unile Somoto
9	21a	Santa Cruz	La Manzana San Lucas
10	22	Colapanda	La Manzana San Lucas
11	2	Maicillón ligero	Sto Domingo Totogalpa
12		Souroukougou	Mali
13		Wassoulou	Mali
14		G 1581	Camerún

3. Caracterización de 35 variedades locales de sorgo tortillero (32 comunes con el estudio de 2003) y tres variedades testigo (Cuadro 3): ensayo realizado en parcela campesina en Palacaguina entre septiembre y diciembre de 2004 (Postrera). Diseño en Bloques Completos al Azar con tres repeticiones, parcelas experimentales de dos surcos de cinco metros de largo, 18 variables medidas. El análisis de clasificación jerárquica se realizó con base en 12 variables cuantitativas y dos variables cualitativas transformadas en binarias (compactación de las panojas y pigmentación de las plantas) con el software Xlstat 13.3, utilizando la distancia euclidiana y el método de Ward como criterio de agregación.

RESULTADOS

Diversidad de los sistemas de cultivo a base de sorgo

En su estudio realizado en 2002, F. Martínez (2003) identificó en cuatros localidades de Madriz doce sistemas de cultivo principales, entre los cuales solo dos no incluyen algún tipo de sorgo (Figura 3). Cinco sistemas de cultivo incluyen el sorgo millón, cuatro con una siembra en primera y uno con una siembra

⁹ Justine Plessis, estudiante de l'ISTOM, Cergy-Pontoise Francia y Jairo Izaguirre, estudiante de la UCATSE, Estelí Nicaragua.

Cuadro 3. Nombre local y origen de las variedades de sorgo tortillero recolectadas entre 2002 y 2003 en Madriz y Limay, Nicaragua y caracterizadas en el año 2004.

Número entrada	Número de recolecta	Nombre local de la variedad**	Comunidad de origen***	Número entrada	Número de recolecta	Nombre local variedad	Comunidad de origen
1	7	Tortillero E rosada	St Domingo	21	58	Tortillero precoz	Concepción
2	16	Blanco	Cayantu	22	59	Amarillo crema	Tranquera
3	17	Amarillo	Cayantu	23	60	Tortillero	Musuli
4	19	Guatemala	La Manzana	24	61	Tortillero	Musuli
5	20	Tortillero chelito	La Manzana	25	63	S. tortillero	Musuli
6	25	Tortillero	Uniles	26	65	Amarillo 1/2 alto	Cayantu
7	29	Ligero	St Domingo	27	66	Blanco tortillero	Cayantu
8	30	Estopa negra	La Manzana	28	67	Tortillero	Cayantu
9	31 ^a	Tortillero	St Domingo	29	68	Tortillero	Cayantu
10	32	S. tortillero	St Domingo	30	70	Tortillero	La Manzana
11	34	Estopa negra	La Manzana	31	73	Tortillero precoz	Uniles
12	37	Tortillero	St Domingo	32	74	Tortillero E blanca	Uniles
13	40	Tortillero	St Domingo	33	75	Blanco alto	Cayantu
14	41	Sorgo	St Domingo	34	76	Carta Blanca	Sn Dionisio
15	45	Tortillero pinolero	St Domingo St	35	77	Crema	Limay
16	46	Tortillero	Domingo				
17	47	Tortillero	St Domingo	T1		Tortillero precoz	INTA/CIRAD
18	50	Tortillero	St Domingo	T2		INTA Ligero	INTA
19	56	Tortillero	Concepción	T3		Pinolero 1	INTA
20	57	Tortillero	Concepción				

* En negrilla las variedades comunes en los dos estudios de 2003 y 2004.

** E= estopa (gluma); ***St= Santo

tardía en postrera (millón para forraje). Cinco sistemas diferentes incluyen el sorgo de tipo tortillero: dos sistemas buscan dos cosechas al año, con una siembra en primera que da una primera cosecha de grano en septiembre, seguida de un corte del rastrojo para favorecer el retoño y una segunda cosecha en diciembre. Entre los diez sistemas incluyendo el sorgo, solo cuatro son sistemas de monocultivo de millón o sorgo tortillero, siendo los demás asociados de dos, tres o cuatro cultivos. Entre los sistemas reportados, lo más común fue el sorgo tortillero sembrado en postrera.

Para cada sistema de cultivo, se aplican diferentes formas y arreglos de siembra, los cuales están determinados principalmente por la estructura física de los suelos y la topografía (pendiente) y por los recursos económicos y equipamientos de los productores. Así en la comunidad de Unile (Somoto) los terrenos planos permiten el uso del arado egipcio y la siembra en surcos; caso contrario se encuentra en la comunidad de Cayantu (Totogalpa) donde por su topografía muy escarpada, no hay trabajo del suelo y se siembra sólo al espeque.

Una síntesis de las formas y arreglos de siembra utilizados en los principales sistemas de cultivo incluyendo el sorgo se presenta en el Cuadro 4.

Las labores culturales, entre las cuales la más importante para el éxito de la cosecha es el control de malezas, dependen del arreglo de siembra aplicado.

Diversidad de utilización de los sorgos

El principal empleo del grano de los sorgos blanco, millón o tortillero, es el consumo familiar en forma de tortilla; también juega un papel importante en la alimentación de las aves de corral y cerdos de la finca, que son los suplidores de las proteínas animales.

El destino del sorgo en las comunidades de descendencia indígena (Cayantu y Santo Domingo de Totogalpa), es el autoconsumo y solamente pequeñas cantidades son vendidas (Cuadro 5). Es diferente en

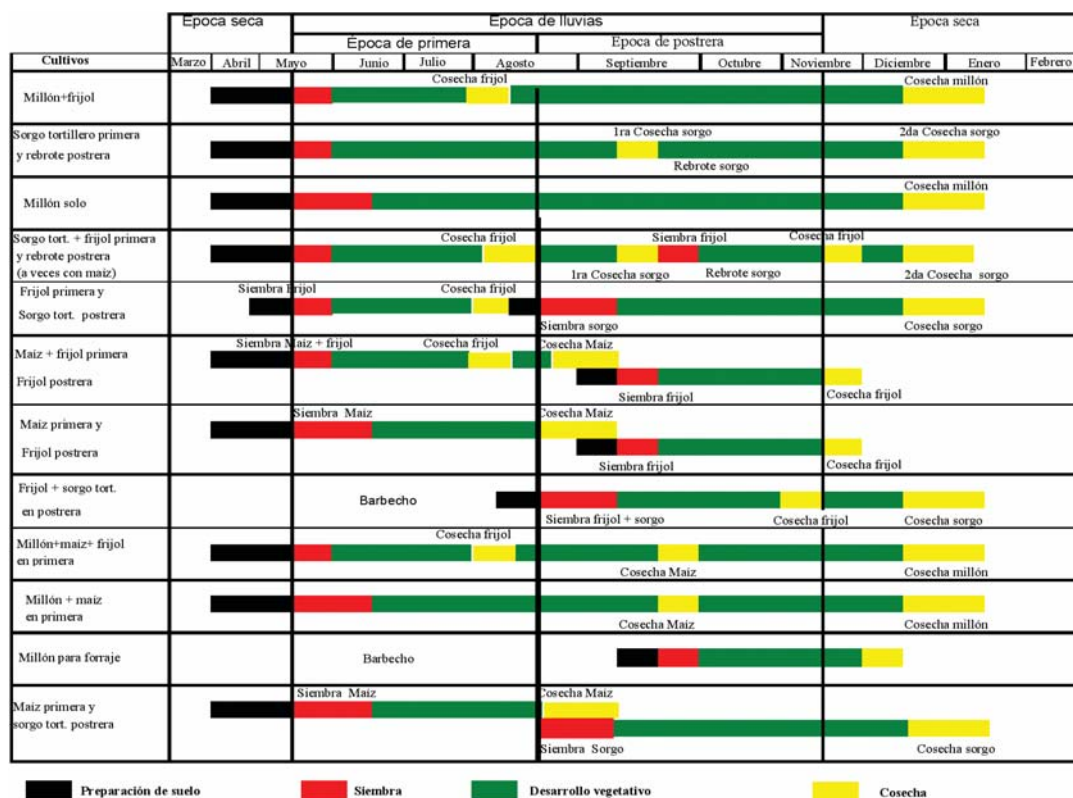


Figura 3. Sistemas de cultivo identificados en Madriz, Nicaragua (Martínez 2003).

Cuadro 4. Forma y arreglos de siembra aplicados en los principales sistemas de siembra de sorgo en cuatro sitios de Madriz, Nicaragua (Martínez 2003).

Sistema	Forma de siembra	Arreglos más utilizados	Contexto físico y socio-económico de aplicación
Millón + maíz (primera)	Espeque	Golpe a golpe: golpes de maíz alternados con los golpes de millón en el mismo surco	Pendientes, comunidad indígena
Millón o sorgo tortillero + frijol (primera o postrera)	Espeque o a chorrillo	Callejoniado y al tramo: frijol sembrado en un callejón de dos o tres surcos entre dos surcos de millón, sorgo o maíz, éstos solos o asociados	Pendientes y planos, productores con limitación de terreno
Sorgo escobero + millón o sorgo tortillero (primera o postrera)	Espeque	Niztamaliado: diversas plantas en mismo golpe	Pendientes y planos
1. Sorgo tortillero solo (para producción de grano y forraje) 2. Millón en postrera para forraje	A chorrillo con arado de bueyes	Surcos seguidos: se siembra en cada surco "abierto" por el arado	Planos o ligeramente ondulados
1. Sorgo tortillero solo 2. Millón solo en primera para grano	A chorrillo con arado de bueyes	Surcos de por medio: se deja un surco libre "muerto" entre cada surco abierto por el arado	Planos o ligeramente ondulados

las comunidades de Unile y La Manzana, de población mestiza, donde la venta del sorgo tortillero es señalada como importante (Cuadro 5); ésto denota una lógica más comercial de los productores, donde incluso se almacena el grano para pagar la mano de obra contratada temporalmente.

Cuadro 5. Utilización de la producción de sorgo en cinco localidades de Madriz, Nicaragua (Martínez 2003).

Utilización del grano	Cayantu ¹	Sto Domingo ¹	Unile ¹	La Manzana ¹
Tortilla y otros platos	100%	100%	72%	100%
Alimento aves y cerdos	100%	60%	100%	80%
Venta	50%*	40%*	72%	70%
Pago mano obra	-	-	16%	20%

¹ Porcentaje de los agricultores (as) dedicando su producción de grano de sorgo para este propósito.

* Se venden pequeñas cantidades.

Además de la tortilla, los granos de sorgo se usan para elaborar diferentes platos y bebidas. Algunos son específicos del tipo de sorgo: con el millón elaboran la chicha, alborotos, concentrados para animales, y con el sorgo tortillero, rosquetes, nacatamal, atolillo, entre otros. En su estudio, Martínez (2003) reporta que algunas mujeres mencionan que en comparación al millón, los granos de sorgo tortillero necesitan más tiempo de cocción (y por lo tanto mayor cantidad de leña) y dan menos tortillas para una misma cantidad de grano (“millón es más rendidor en tortilla”).

Con respecto al sabor de la tortilla, la referencia es siempre la tortilla de maíz blanco con una preferencia siempre a su favor. Al profundizar entre las tortillas de los diferentes tipos y variedades de sorgo, el color, la textura y la presentación son criterios determinantes, los productores entrevistados prefieren la tortilla de sorgo tortillero, por ser más blanca que la de millón¹⁰ y aseguran que en sabor no existe gran

diferencia. Sin embargo, en pruebas culinarias posteriores evaluando varias variedades con diferentes calidades de grano, los agricultores catadores pudieron identificar diferencias importantes de sabor.

Otro producto importante del sorgo es el rastrojo o la planta entera utilizada como forraje. La importancia de su utilización depende de la presencia de ganado mayor en la finca; en las comunidades con menor presencia de animales el rastrojo se utiliza más para la incorporación al suelo. En esta región de Nicaragua, los agricultores lo llaman guate o rastrojo, según si se recolecta en la parcela o no. El guate representa los restos de las plantas una vez cortadas las panículas a madurez, o la planta entera en el caso de la siembra del millón en octubre, que son recolectados secos y trasladados a la casa para conservarlos en montón colocado encima de un techo o en manojos en las condiciones ambientales normales; el guate se suministra a los animales, generalmente sin ningún aditivo, entre los meses de febrero y mayo (época seca) mientras se recuperan los pastizales; son pocos los agricultores que pican este guate en trozos pequeños. El “rastrojo” representa los mismos restos de las plantas después de la cosecha de grano, pero se quedan en la parcela y los animales se alimentan de éstos mediante el pastoreo. En las comunidades con mejor comunicación vial, los productores elaboran pequeños manojos de guate de cinco libras que luego son vendidos a los ganaderos en la época seca.

La diversidad de variedades

Inventario de las variedades de millón y tortillero (Plessis 2004)¹¹

En la actualidad, los agricultores de esta región siembran todavía una docena¹² de variedades locales de millón (Figura 4). Varios cultivares son calificados por los productores como rústicos por su adaptación a suelos pobres de laderas, a un manejo mínimo (sin fertilizante, una sola deshierba) y por una alta tolerancia a la sequía. El millón indio o lerdo es la variedad más

¹⁰ Antes, un campesino nunca decía que consumía tortilla de sorgo porque era admitir que era pobre. Ahora ya no es vergüenza para él comentar las diferencias de calidad de las tortillas de sorgo. ¿Será también una prueba que la calidad de la tortilla de sorgo mejoró? ¿Hasta qué punto el sorgo cambió de estatus en la mente de los campesinos? Todavía las poblaciones urbanas tienen esta imagen negativa del sorgo para el consumo humano.

¹¹ Resultados de las entrevistas de 62 productores (48 hombres y 14 mujeres) entre septiembre y octubre 2003 en las seis comunidades estudiadas por J. Plessis y J. Izaguirre.

¹² En total se reportaron entre 13 y 15 variedades de millón (algunas identificaciones de variedades causan problemas), tres de estas han desaparecido de la zona según los productores.

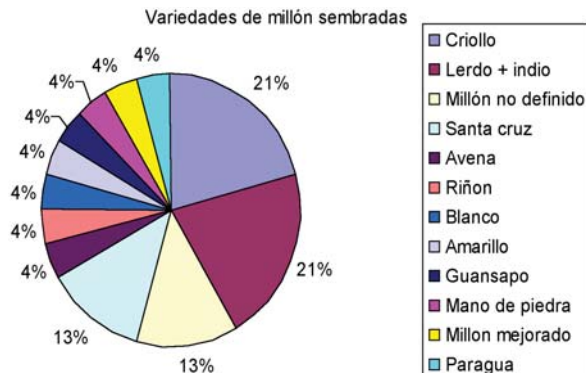


Figura 4. Las variedades de millón cultivadas en Madriz y Limay, Nicaragua (Plessis 2004).

antigua en la región, se caracteriza por ser tardía y tener rendimientos bastante bajos (menos de 1,5 t/ha). En general, los nombres de algunas variedades se refieren a la forma de la panoja (riñón, mano de piedra), del pedúnculo (encurvado en Paragua o Colapanda) o al color y forma de grano (blanco, amarillo, avena). Actualmente, fuera del conjunto de variedades calificadas indio o lerdo o criollo, la variedad más sembrada en la región de Estelí y Madriz es la variedad Santa Cruz (Martínez 2003).

Solamente 3% de los agricultores declaran cultivar varias variedades de sorgo tortillero al mismo momento. Casi 75% de los productores siembran una variedad llamada «Tortillero»; en realidad este calificativo no identifica una variedad precisa sino que define más que todo una variedad con granos blancos no manchados y glumas claras (plantas canelas) cuyos granos sirven para elaborar tortillas de calidad. Además, fueron reportadas variedades llamadas Sorgo Estopa Negra, Sorgo Crema, Pinolero, Sorgo Ligero, Sorgo Blanco Alto, Sorgo Amarillo, Sorgo Guatemala y Tortillero Precoz (IRAT 204)¹³. La variedad Crema

¹³ Los agricultores de las seis localidades estudiadas enumeraron 23 variedades de sorgo tortillero, introducidas por diferentes instituciones o productores y sembradas durante algún tiempo en su comunidad; indicaron que 12 de éstas habían desaparecidas (pérdida de semilla por sequía) o habían sido abandonadas (por baja productividad o mala calidad de grano).

se encuentra solamente en el valle de San Juan de Limay donde ocupa casi todo el área en sorgo.

Caracterización morfológica y agronómica de las variedades de millón y sorgo tortillero recolectadas

Del trabajo de caracterización fisio-morfoagronómica de 11 variedades locales de sorgo millón en tres fechas de siembra, comparados a tres variedades africanas sensibles al fotoperíodo, los resultados más sobresalientes fueron los siguientes (Cuadro 6):

- A pesar que se recolectaron en la misma latitud en localidades que tienen condiciones pluviométricas bastante similares, existe una variación significativa en las fechas de floración y madurez fisiológica entre las variedades locales estudiadas (rango de variación de 15 días para la fecha de floración y 20 días para la fecha de madurez fisiológica). La variedad Santa Cruz es la más precoz en floración mientras Salvadoreño y Estopa Negra son las tardías; en comparación las tres variedades africanas probadas son más precoces, florecen casi dos semanas antes del millón Santa Cruz, en el caso de Souroukoku y G 1581 (Gutiérrez 2004).
- Los sorgos millón de Nicaragua son extremadamente sensibles al fotoperíodo: sembrados en dos fechas separadas de 36 días (30 de mayo y 4 de julio), despliegan su hoja bandera y luego florecen casi el mismo día, esto es indicado por los valores muy cerca de 1 del coeficiente de respuesta al fotoperíodo K_p ¹⁴. Estos sorgos millones responden de manera más fina a los cambios de fotoperíodo que las variedades africanas Souroukoku y Wassoulou (Gutiérrez 2004), esta última siendo clasificada entre las más fotoperiódicas en Mali (Chantereau *et al.* 1998).
- En altura de planta, Souroukoku se diferencia significativamente de las demás variedades, siendo la única de porte más bajo.

¹⁴ Razón entre la reducción de duración de la fase germinación-despliegue de la hoja bandera entre dos fechas de siembra y la diferencia de tiempo entre las dos fechas, estas duraciones se calculan en suma de temperaturas medianas.

Cuadro 6. Descripción morfo-fisiológica de 11 cultivares locales de millón y tres variedades africanas sensibles al fotoperíodo. Madriz, Nicaragua. 2006.

Variedades	Fecha floración ¹	Kp ²	Número hojas ¹	Altura planta ³ (cm)	Compactación de la panoja	Rendimiento grano ³ (kg/ha)	Índice de cosecha ^{3,4}	Peso 1000 granos ³ (g)	Número granos por panoja ³
Riñon	23 nov. b ⁵	1,09	35	489 ab	Abierta	2.468	7	25 d	1.882
Mano de piedra	18 nov. bc	0,98	35	448 b	Cerrada	2.538	13	28 cd	1.735
Índio	20 nov. bc	1	34	476 ab	Cerrada	2.838	7	24 d	2.198
Amarillo	20 nov. bc	1	34	457 b	Semi cerrada	2.485	11	23 d	2.021
Salvadoreño	29 nov. a	1,07	36	503 ab	Semi cerrada	1.467	3	24 d	1.164
Tortillero temprano	19 nov. bc	0,98	34	501 ab	Semi cerrada	2.565	7	24 d	1.978
Estopa Negra	29 nov. a	0,99	36	431 b	Semi cerrada	2.582	8	23 d	2.143
Guansapo	20 nov. bc	0,98	35	458 b	Semi cerrada	1.773	5	24 d	1.380
Santa Cruz	14 nov. cd	0,96	36	502 ab	Cerrada	2.760	9	27 d	1.957
Colapanda	22 nov. b	0,98	34	453 b	Semi cerrada	2.562	10	28 cd	1.760
Maicillón ligero	23 nov. b	1,06	35	503 ab	/	2.462	6	26 d	1.802
Souroukoku	28 oct. e	0,85	33	326 c	Cerrada	3.138	22	31 c	1.898
Wassoulou	12 nov. d	0,95	33	542 a	Abierta	2.569	14	34 b	1.410
G 1581	1 nov. e	0,91	33	505 ab	Semi cerrada	3.459	11	54 a	1.213
Media	22 nov.		38	471		2546	9,4	28	1.753
CV	1,8		4,7	6,5		20,0	17,9	7,7	22,0
F var	34,6 **		1,9Ns	11,3**		3,7**	16 **	55**	3 **
Se	2,2		1,3	21,6		361	1,2	1,5	273

¹ Resultados con la fecha de siembra del 30 de mayo.

² Kp: coeficiente de fotoperiodismo que varía de 0 (insensible) a 1 (fuertemente fotosensible).

³ Resultados para la fecha de siembra del 4 de julio.

⁴ Índice de cosecha IC= (biomasa económica (grano)/biomasa total de la planta) x 100 (Paul 1990).

⁵ Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de separación de media de Newsman-Keuls al 5%. Ns, ** : Valor de F no significativo y significativo al 1%, respectivamente.

- G 1581 y Souroukoku fueron las más productivas sobre todo por efecto del componente peso de 1.000 granos, ya que superaron significativamente a las otras variedades;
- Con respecto al índice de cosecha, Souroukoku fue significativamente superior a todas las otras variedades.

En el primer estudio de caracterización morfológica de 41 cultivares locales de sorgo tortillero conducido en 2003 (Plessis 2004), se determinó que 32 de los cultivares recolectados en la zona de estudio (seis localidades mencionadas anteriormente) fueron diferentes de las dos variedades oficialmente liberadas en la región por el INTA (Tortillero Precoz y Pinolero 1) y de las otras tres variedades ampliamente difundidas en los países vecinos e introducidas en esta región de Nicaragua por instituciones gubernamentales u ONG (Sureño, CENTA S-2 y Dorado). Entre los 38 cultivares descritos a madurez, identificamos tres veces el CENTA

S-2 (llamado por los productores “Sorgo Estopa Negra”) y una sola vez Dorado (con el nombre “Chacopan”), Tortillero Precoz y Pinolero.

En el segundo trabajo de caracterización agro morfológica de 35 cultivares locales de sorgo tortillero y tres variedades testigo INTA, el análisis de clasificación jerárquica realizada, estructura los 38 cultivares estudiados en seis grupos bien identificados (Figura 5); entre éstos, solo dos grupos (ubicados en la extrema derecha del dendrograma) con un total de seis cultivares, reúnen las variedades mejoradas de INTA y los cultivares probablemente derivadas de éstas:

- Grupo de cultivares emparentados a Pinolero 1, caracterizados por un ciclo largo, altura de planta de 1,7 m, panojas alargadas, granos pequeños y bajos rendimientos (en las condiciones del ensayo sufrieron de estrés hídrico): cultivares 9 y 10 más la variedad original Pinolero 1.

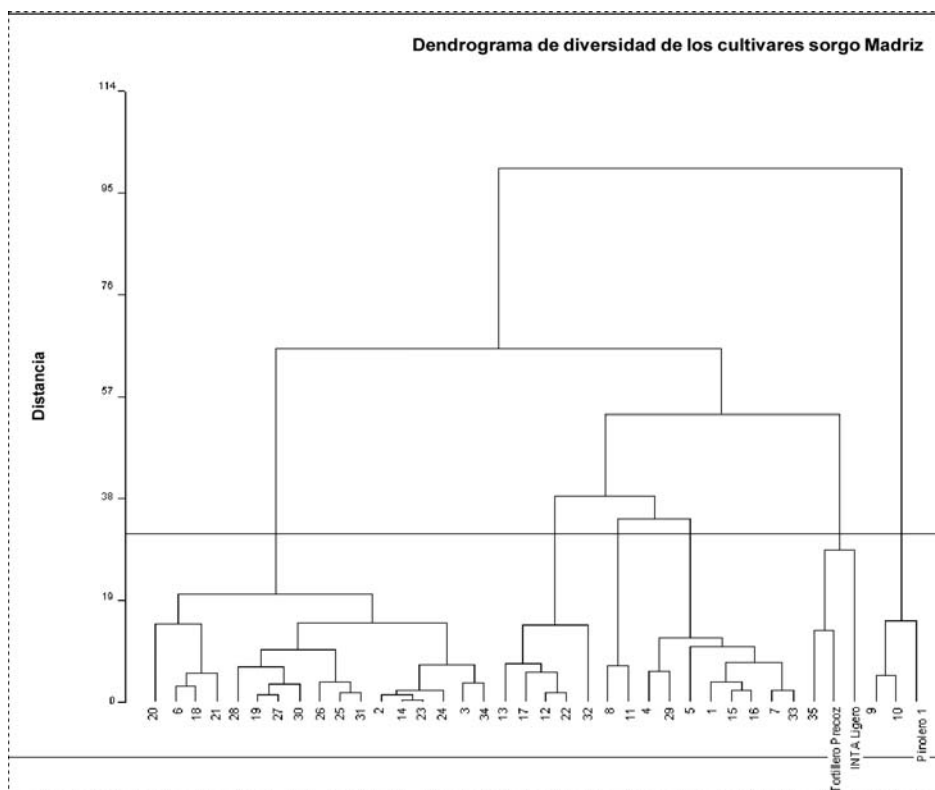


Figura 5. Dendrograma de diversidad morfoagronómica de 35 cultivares de sorgo tortillero recolectados en siete localidades de Madriz y Estelí, Nicaragua. 2006.

- Grupo de cultivares precoces y porte bajo donde se encuentran las variedades INTA Tortillero Precoz e INTA Ligero más el sorgo crema de Limay, pero este grupo no aparece muy consistente.

Un grupo de dos cultivares (números 8 y 11) aparece bien individualizado y corresponde a versiones acriolladas de CENTA S-2 con las características principales de la variedad original: porte alto, panoja abierta, planta de color púrpura y glumas de color negro y grano grueso.

El grupo N° 4, con ocho cultivares reúne los cultivares con mejores rendimientos en rastrojo y granos (alto número de granos por panoja y pesos de mil granos superiores a los 32 gramos); en este grupo encontramos los cultivares Sorgo Ligero (7) y Sorgo Blanco alto (33), que son los más sembrados en las localidades de Santo Domingo y El Mamel de Totogalpa, respectivamente, y parecen tener un mismo origen. Estos cultivares, con un ligero trabajo de depuración y

selección, son interesantes para usar como variedades en esta región y como progenitores de cruzamientos.

Este análisis confirma también que la gran mayoría (85%) de las variedades de sorgo tortillero cultivadas y mantenidas por los pequeños productores de la zona: i) tiene otro origen que las variedades liberadas por el INTA o por organizaciones oficiales, ii) presenta bastante diversidad y deja a entender que llegaron a los productores por canales informales.

Una evolución reciente: la sustitución del millón por el sorgo tortillero

En un periodo de 30-40 años, las áreas sembradas en sorgo en el departamento de Madriz pasaron de 100% millón hasta un 40 % millón y un 60 % sorgo tortillero. Por supuesto esta evolución no fue igual en todos los municipios del departamento (Figura 6). Por ejemplo el millón ha sido casi abandonado en Palacagüina



Figura 6. Esquema de evolución de los sorgos en Madriz, Nicaragua (Martínez 2003).

(4% del área en sorgo) pero se mantiene muy fuerte en San José de Cuzmapa (90% del área) (Cuadro 7).

Prácticas de selección, multiplicación y conservación de las semillas de sorgo

En la zona de estudio, 95% de los productores dijeron que multiplicaban y conservaban su propia semilla de sorgo tortillero y millón para cubrir sus necesidades de siembra del año siguiente. Sin embargo, ellos manejan a menudo esta semilla a “flujo tendido” es decir que conservan sólo la semilla necesaria para una sola siembra (Plessis 2004). En caso que fracase esta siembra por efecto de sequía o ataques de plagas, deben conseguir semilla fuera de la finca; así en 2003, 55% de los productores de sorgo tortillero

Cuadro 7. Proporción del área sembrada en millón en el área total de sorgo en los municipios sorgueros de Madriz, Nicaragua Nicaragua (Fuente: III CENAGRO, INEC 2002).

Municipios	% del área total de sorgo sembrada con millón (solo + asociado)
Telpaneca	39
Palacagüina	4
Totogalpa	44
San Lucas	52
Yalagüina	23
Somoto	33
San José de Cuzmapa	90

entrevistados utilizaron su propia semilla (de finca) pero 45% tuvieron que conseguir esta semilla de otro modo (40% la compraron, 3% pidieron prestado y 2% intercambiaron en forma de trueque). Entre los diferentes modos de conseguir semilla afuera, la mitad compró su semilla a otros “buenos” productores de la comunidad, el tercio la compró a comerciantes de grano y 12% recibieron esta semilla como ayuda. En el caso de los productores de millón, 60% utilizaron su propia semilla y 40% tuvieron que comprar su semilla.

Para los sorgos, por lo general, no existe una cultura fuerte de selección de la semilla para mantener la pureza y las cualidades de su(s) variedades o mejorarla(s); 80% de los productores dicen que para usar como semilla seleccionan las panojas de mayor tamaño con los granos más blancos y gruesos pero en mayoría lo hacen después de la cosecha y no toman en cuenta las otras características de la planta. En el caso del sorgo millón, muy a menudo se observan parcelas muy infestadas por el carbón cubierto del grano (*Spacelotheca sorghi*); lo que significa que los productores no hacen una selección estricta de su semilla en campo, asimismo no conocen y/o no aplican los tratamientos de semilla para controlar esta enfermedad.

Redes de intercambio de semillas de sorgo

En el estudio realizado en 2003, Justine Plessis ha podido determinar los mecanismos y actores de los intercambios de semillas de sorgo en las seis localidades estudiadas. De este trabajo, la información más sobresaliente es la siguiente:

- Por su ubicación geográfica pero también por el dinamismo de sus productores, en la localidad de Unile se intercambia bastante semilla dentro de la comunidad y con el exterior; la comunidad recibe semilla de variedades mejoradas de las instituciones (proyecto Libra por Libra del gobierno o donaciones de INTA), compra semilla (grano) en el mercado de Somoto pero sobre todo vende o intercambia semilla con productores de al menos otras seis localidades del departamento.
- En Santo Domingo, los intercambios de semilla se dan dentro de los sectores de la comunidad pero muy poco entre sus sectores. La gran mayoría de los productores suelen comprar semillas en la localidad vecina de San Juan de Somoto con algunos productores dedicados a la producción artesanal de semilla de sorgo que tienen capacidades para depurar y seleccionar semilla en campo.
- Por su ubicación geográfica y proximidad con diferentes instituciones de apoyo, Musuli y la Tranquera reciben a menudo donaciones de semilla de variedades mejoradas; existen muchos intercambios de semillas entre agricultores de la comunidad pero muy poco con productores de otras comunidades.
- En El Mamel, los intercambios de semilla se hacen casi solamente intra-comunidad (por el motivo de aislamiento y solidaridad indígena), hay muy pocos intercambios con el exterior cuando se debe conseguir semilla afuera, compran grano en el mercado de Ocotal.
- En cada localidad, se identificaron los productores claves en los intercambios de semilla de sorgo dentro y afuera de la comunidad.

Objetivos de mejoramiento de los sorgos

Los objetivos de mejoramiento del millón y sorgo tortillero indicados por los agricultores durante el trabajo de diagnóstico realizado en 2002 son resumidos en el Cuadro 8.

Los agricultores insistieron también sobre otra característica de los sorgos, el problema de “aguante”¹⁵ que causa picazón en el cuerpo, irritación en los ojos

¹⁵ Polvo de pedazos de florecilla, pluma y arista que quedan suspendidos en el aire durante el desgrane.

y hasta problemas respiratorios y, por ello buscan variedades que carezcan de dicho carácter.

Para los agricultores los objetivos de mejoramiento propuestos no son alcanzables si no se pone en marcha un programa de capacitación enfatizando los temas siguientes: 1) Identificación, control de plagas y enfermedades del cultivo, 2) Mejoramiento de las técnicas de manejo agronómico (vía intercambios entre productores), 3) Manejo de malezas en las primeras etapas de vida del cultivo, 4) Obtención de semilla de siembra de calidad.

DISCUSIÓN

Diversidad de los sistemas de cultivo y usos de los sorgos blancos

Este trabajo confirma que los sorgos blancos, millón y tortillero, son cultivos multipropósito de gran importancia social y económica en la zona.

La diversidad de los sistemas de cultivo responde a la gran diversidad de las condiciones agroecológicas de esta región norte de Nicaragua (topografía, suelos, temperaturas y pluviosidad). Revela también diferencias de estrategias y prioridades de producción entre los sitios y entre los productores de un mismo sitio (Martínez 2003; Plessis 2004). Las asociaciones de cultivo predominantes son una estrategia para reducir los riesgos frente a una pluviosidad irregular y para suplir el déficit de tierra disponible en América Central (Paul *et al.* 1985). También los socios de cultivo merman la población de malezas y reducen los trabajos de deshierba (Paul 1990). Es probable que algunos sistemas no tradicionales, como el socio sorgo tortillero con frijol en primera y rebrote del sorgo en postera, revela una cierta cultura de innovación impulsada por algunos proyectos en la zona (proyecto experimentación campesina Unicam).

Sustitución rápida del millón por el sorgo tortillero

Este cambio rápido revela un verdadero dinamismo de los productores de la zona para adaptarse a nuevas condiciones climáticas (sequías más frecuentes y

Cuadro 8. Objetivos de mejoramiento definidos por los agricultores en la fase de diagnóstico. Madriz, Nicaragua. 2002.

Localidades	¿Qué mejorar del millón?	¿Qué mejorar del sorgo tortillero?
El Mamel	1)* Mejorar el rendimiento: llegar a 2,1 t/ha** sin fertilizante, en asocio con maíz 2) Más resistente a las plagas en el almacenamiento 3) Más resistente a la sequía en la fase de floración y reducir el tiempo entre la floración y la cosecha 4) Mejorar la calidad del grano: grano más blanco, de mayor peso NB: Mejorar la calidad del rastrojo no es una prioridad	1) Más resistente a las plagas: chinches y “picudo” 2) Más resistente a la sequía en la floración 3) Plantas bajas o con tallos fuertes para resistir al acame y facilitar la cosecha
Santo Domingo	1) Que sea más ligero, madurez en noviembre y más resistente al verano 2) Mejor calidad de rastrojo, más hojas y mejor calidad 2) Grano blanco para la tortilla y obtener mejor precio 2) Más agresivo y resistente a malezas 3) Altura de dos metros 3) Más resistente a plagas	1) Más rápido, menos de 90 días de la siembra hasta la cosecha. 2) Más productivo, con panojas más grandes: 2 t/ha 3) Grano más grande y más redondo, de igual peso que el grano de millón 4) Mayor producción de rastrojo para la venta 5) Que sea adaptado a la zona (clima y suelo)
Unile y La Manzana	1) Más rápido (un mes antes), floreciendo a finales de octubre, que se coseche en diciembre 1) Resistente a las sequías (en fase vegetativa y floración) 2) Color del grano blanco, sin manchas rojas 2) Altura de planta más baja de dos metros comparada a la de las variedades criollas 3) Más producción de follaje	Unile 1) Más rápido: 80 días de la siembra hasta la madurez 2) Más follaje y más hojas como IRAT 204 3) Mejor rendimiento grano: alcanzar los 1,6 t/ha 4) Resistencia a la sequía en floración 5) Resistencia a plagas: chinches, gusanos medidor y cogollero 6) Altura de planta = 1,5 metros La Manzana 1) Mayor rendimiento grano: 2,4 t/ha 2) Altura de planta más baja (=1 metro) pero con bastante follaje para el ganado 3) Aumentar el peso del grano 4) Resistente a sequía cuando inicia la floración

* el número indica el grado de prioridad expresado por los productores.

** conversión en t/ha de los objetivos de rendimientos expresados por los agricultores en quintales de libras por manzana o arrobos por manzana.

severas desde 1972) y responder a nuevos objetivos de producción (grano de sorgo más consumido, rastrojo más necesario para alimentar los bueyes y el ganado mayor en época de verano). Este resultado muestra una fuerte capacidad de innovación de los agricultores para probar y adoptar nuevas variedades y desarrollar o adaptar sistemas de cultivo que convienen para estas variedades. Este cambio responde a la función “seguridad alimentaria” dado el consumo directo por la familia y el suministro de alimentos, grano y forraje, a los animales de la finca. Por su ciclo corto el sorgo tortillero asegura una cosecha tres meses después de la siembra, así tiene un retorno sobre inversión más rápido.

¿Cómo explicar esta intrusión tan rápida del sorgo tortillero? Los agricultores nos proporcionan tal vez la respuesta a través del nombre que atribuyen a las nuevas variedades de sorgo: entre las 45 variedades recolectadas entre los años 2002 y 2003, el 70% tiene en su nombre el calificativo « tortillero »; eso significa que este tipo de sorgo es buscado para la elaboración de tortillas, alimento cotidiano en el campo que tiene una alta importancia nutricional y cultural. Como ya se indicó, por su color más blanco, textura, sabor y aspecto, la tortilla de sorgo tortillero es más parecida a la tortilla de maíz y más atractiva que la tortilla de sorgo millón. En definitiva, podemos concluir que la

investigación en sorgo ha elaborado variedades de calidad, a tres niveles: i) del punto de vista alimentario humano, ii) agronómicamente y económicamente y iii) ofreciendo un forraje de mejor calidad y palatabilidad en comparación a la del sorgo millón.

Sin embargo, existe una fuerte diferenciación geográfica del equilibrio entre millón y sorgo en las áreas sembradas. El millón predomina todavía en las zonas de laderas y las zonas altas y más frescas de la región donde se adapta mejor que el sorgo tortillero (San José Cuzmapa, Comunidades de Cayantu y Cuje de Totogalpa). Con los ensayos manejados en este proyecto, se ha comprobado que en estas zonas, las variedades existentes de sorgo tortillero crecen mal y tienen un desarrollo atrasado y no compiten en rendimiento con el millón (Trouche *et al.* 2005). Al contrario, en las zonas bastante planas donde es posible el arado con bueyes y/o con problemas de sequías muy agudos, el sorgo tortillero ocupa casi todo el área (gran parte de Somoto, Palacagüina, Yalagüina, valle de Limay) porque responde mejor, agronómicamente y económicamente, a estas condiciones.

¿El punto de equilibrio sorgo tortillero-millón ya está alcanzado? En nuestra opinión, la respuesta es positiva. Muy probablemente el millón se va a mantener en las parcelas de laderas con fuertes pendientes que no se pueden trabajar con arado, en los suelos más pobres o degradados, y en las zonas altas y frescas, excepto si se logra hacer un trabajo exitoso de mejoramiento genético del tipo tortillero para estas condiciones específicas.

Origen de las variedades de sorgo tortillero adoptadas en la región

Los resultados de los estudios de caracterización de las variedades de sorgo recolectadas en la zona indican claramente que más de 80% de estas variedades no son variedades oficialmente liberadas y no llegaron hacia los productores por los canales formales (oficiales) de difusión. La amplia y rápida difusión del sorgo tortillero en la zona resulta más que todo de un proceso de intercambio informal (monetario u otro) de semillas y granos de campesino a campesino (por los desplazamientos comunes de ellos dentro de la región y las redes sociales asimismo, por las migraciones laborales hacia los países vecinos) y/o de

comerciantes a campesinos. Estas variedades desconocidas proceden muy probablemente de El Salvador. Según las observaciones de una muestra de 12 variedades realizadas por investigadores del CENTA en El Salvador, las variedades liberadas CENTA Oriental (liberada en 1989 en la zona Central) y CENTA Jocoro (liberada en 1997 en la ciudad de Jocoro, Oriente) podrían ser las variedades fuentes de varios cultivares recolectados en la zona (Clara 2005¹⁶).

Sin embargo, este resultado muestra algunas contradicciones. En su mayoría, los productores no tienen un verdadero hábito de selección y conservación a largo plazo de la semilla de sorgo. Sin embargo, algunos productores más expertos y cuidadosos multiplican y conservan las variedades de sorgo tortillero adoptadas en la región para sus necesidades en semillas y/o para vender, y han logrado mantener bastante uniformes estas variedades. Pero a mediano plazo podemos temer una cierta degeneración de estas variedades. Frente a esta situación, las respuestas de los productores son un poco ambiguas: algunos no se preocupan porque para ellos todas las variedades de sorgo tortillero se valen y siempre se podrá conseguir semilla, otros confían en que siempre van a recibir donaciones de semilla del gobierno u ONG.

Producción e intercambios de semillas

El estudio realizado por Plessis e Izaguirre permitió identificar diferencias entre las comunidades con respecto a la producción y los intercambios de semillas de sorgo; algunas comunidades son más receptoras de semillas, otras más proveedoras, otras casi autónomas. También se identificaron las comunidades junto con los productores más involucrados y dinámicos en cuanto a los intercambios de semillas. Dos comunidades representan casos muy interesantes al respecto: Unile y San Juan de Somoto. En la primera entran de afuera (instituciones y comerciantes) cantidades importantes de semillas de sorgo tortillero y a la vez Unile difunde muchas semillas hacia otras comunidades. San Juan de Somoto es una comunidad especializada en la producción artesanal de semilla de sorgo que abastece a las comunidades vecinas.

¹⁶ CLARA, R. 2005. Identificación variedades de sorgo tortillero recolectadas en la región de Somoto. CENTA, San Salvador, El Salvador (correo electrónico). Comunicación personal.

Objetivos de mejoramiento

Para los sorgos millón, los objetivos de mejoramiento comunes a las cuatro localidades son: una floración más precoz (para escapar a posibles problemas de sequía de fin del ciclo, asimismo permitir una cosecha en diciembre), una reducción de altura de planta (para resistir al acame y facilitar la cosecha), una mejor calidad de grano para el consumo familiar y la venta (grano más blanco, no manchado, de mayor tamaño y peso volumétrico) y una mayor resistencia a plagas, principalmente a la chinche, los insectos de almacenamiento y la mosquita¹⁷. Superar los rendimientos de las variedades criollas existentes no aparece como un objetivo muy claro a pesar de ser citado (en general solo pretenden alcanzar los rendimientos potenciales de los millones criollos con mas regularidad). Mejorar la producción y calidad del rastrojo del millón no es un objetivo común en todas las comunidades.

Teniendo como base esta información, el proyecto ha buscado en varias direcciones germoplasma de sorgo sensible al fotoperíodo que podía ajustarse a estos objetivos; esta búsqueda ha permitido encontrar tres fuentes de germoplasma:

- millones mejorados procedentes de una selección masal dentro de las mejores variedades locales en El Salvador buscando un porte más bajo y una mejor productividad (CENTA).
- líneas seleccionadas resultantes de trabajos de retrocruzamientos entre cultivares centroamericanos de millón (utilizados como padres recurrentes), trayendo el carácter sensible al fotoperíodo y el adaptación al medio, y variedades de sorgo insensibles al fotoperíodo de porte bajo y color de planta canela. El objetivo era desarrollar líneas fotosensibles de porte bajo, mejor índice de cosecha, con granos blancos no manchados (proyecto INTSORMIL/EAP Zamorano).
- variedades africanas disponibles en el banco de germoplasma del CIRAD (2000 accesiones) y

¹⁷ Stenodiplosis (=Contarinia) sorghicola, Coquillet: los productores no mencionaron esta plaga como tal pero hemos comprobado la existencia de esta plaga en la zona, y por experiencia sabemos que los agricultores pueden confundir el vaneamiento (abortos) debidos a ataques de mosquitas con los efectos de la sequía.

caracterizadas en Burkina Faso¹⁸, buscando variedades con posible adaptación, utilizando los criterios de selección siguientes:

En 2002: muestra de 21 variedades floreciendo después del 1 de octubre, con grano blanco o amarillento sin testa y buen comportamiento agronómico;

En 2003: 18 variedades adicionales procedentes de Camerún, Chad o Sudán (mejores orígenes identificadas en 2002) con una fecha de floración después del 15 de octubre, grano blanco o amarillento de buen grosor, altura inferior a los 3,50 m, buen comportamiento agronómico.

Con respecto al sorgo tortillero, los objetivos formulados por los agricultores en las cuatro localidades corresponden a: incrementar el potencial de rendimientos en grano, acortar el ciclo total a 90 días o menos, reducir la altura de planta, ser más tolerante a la sequía en fase de floración, mejorar la resistencia a las plagas y la calidad forrajera (más hojas en la madurez). De manera sorprendente, no resaltan el interés de mejorar la calidad de grano (probablemente los productores están satisfechos de la calidad de grano de las variedades de sorgo que tienen y quizás pensaban que no se puede obtener algo mejor¹⁹). Para responder a los objetivos definidos, el proyecto introdujo variedades y líneas avanzadas desarrolladas por el CIRAD y sus socios en África del oeste (en mayoría de Burkina Faso pero también de Mali, Senegal y Níger) e incorporó también algunas nuevas líneas del INTA.

Consecuencias para la investigación FP

Dos años después del diagnóstico inicial, con base en los trabajos de evaluación participativa *in situ* de estas nuevas líneas y variedades de millón y sorgo tortillero, investigadores y campesinos lograron co-seleccionar cultivares promisorios como BF 89-12/1-1-1 y BF 89-18/133-2-1 (tortillero, CIRAD-INERA Burkina), EIME 119 y 99 PREEIME 119 (millón mejorado,

¹⁸ Tomando en cuenta que la latitud y pluviosidad de esta región Norte de Nicaragua (entre 13° y 14° de latitud norte, 600-800 mm) se acerca a las de la estación de Saria en Burkina Faso (12° 38' N, 800 mm).

¹⁹ Esta apreciación cambió en los años 2003-2004 cuando ellos vieron en las nuevas variedades experimentadas un rango de diversidad de calidades de grano que ellos desconocían hasta la fecha.

INTSORMIL/EAP Zamorano), PI 569438 y G 1583 (millón, colección CIRAD). En 2005, estos materiales estaban en fase de validación. Estos cultivares promisorios y varios otros evaluados con los productores, fueron utilizados como progenitores de cruza (por ejemplo, Souroukougou en millón, variedades locales Sorgo Estopa Negra y Sorgo Ligero). Las descendencias de estas cruza son utilizadas en los esquemas de fitomejoramiento participativos impulsados con varios grupos de productores mejoradores (siete grupos en seis localidades en 2005). Los resultados de estos últimos trabajos FP serán presentados en una publicación futura.

CONCLUSIONES

Los estudios de diagnósticos y caracterización de las variedades locales de sorgo recolectadas en el departamento de Madriz demostraron que:

- Hubo en los últimos veinte años un cambio muy importante en las variedades utilizadas y los sistemas de producción de sorgo.
- La realidad del proceso de adopción de variedades mejoradas de sorgo tortillero, que por gran parte no proviene del sistema formal de difusión de variedades liberadas en el país, era desconocido por la investigación nacional y las instituciones locales.

Este contexto de fuerte capacidad de innovación de los agricultores conduciendo a una difusión amplia y eficiente de nuevos tipos de sorgo planteó desde el inicio cuestiones para la investigación. ¿Estas zonas marginales secas, pobres pero dinámicas, constituyen un terreno adecuado para desarrollar un proyecto FP? ¿Se debía iniciar el trabajo con el grano básico menos atendido en la región (el sorgo) para agregar luego otros rubros y temas de investigación participativa a medida que se fortalezcan las alianzas entre actores?. ¿Qué estrategia se debía escoger para desarrollar el proyecto FP sorgo en esta zona? ¿Se debía trabajar solamente sobre el tipo de sorgo moderno y exitoso (tortillero), o sobre los millones antiguos que se mantienen en las condiciones más desfavorables, o considerar ambos tipos y más eventualmente otros (escobero, rojo)?

En definitiva, entre 2002 y 2005, el proyecto FP CIAT-CIRAD decidió invertir la mayor parte de sus

esfuerzos sobre el mejoramiento de los sorgos, considerando tres tipos (tortillero, millón y escobero), y desarrolló las actividades con las orientaciones siguientes:

1. Identificación de las buenas variedades locales de sorgo tortillero, las cuales:
 - con un trabajo mínimo de depuración y selección, pueden beneficiar mejor y a más productores: trabajo realizado entre 2003 y 2005 con Sorgo Ligero (Santo Domingo), Sorgo Blanco alto (El Mamel) y Crema (Limay).
 - pueden servir como progenitores en cruza simples y múltiples (creación de poblaciones sintéticas con el gen *ms3* de androesterilidad) utilizadas en esquemas fitomejoramiento participativo o convencional.
2. Énfasis como criterio de primera prioridad en la calidad de grano que sea para el autoconsumo humano (calidad tortillera) o para la venta; a mediano plazo trabajo, los criterios podrán integrar atributos relacionados con la calidad de los productos derivados con una transformación artesanal (rosquetes, atol, pinol).
3. Implementación del FP para los sistemas de cultivo o de producción predominantes (millón-maíz, sorgo solo o con frijol en postrera, sorgo en primera con rebrote) y otros sistemas para generar trabajos e ingresos en época seca (sorgo escobero).

PERSPECTIVAS

Para el equipo de investigación las perspectivas de continuación de las actividades FP sorgo y los próximos retos a enfrentar son los siguientes:

1. Encontrar las formas adecuadas para valorizar este dinamismo y potencial de innovación campesina lanzando actividades de FP acompañando los esfuerzos impulsados por un conjunto de ONG en la región²⁰.

²⁰ PcaC y su proyecto de biodiversidad de las semillas, Unicam y su proyecto de banco de semillas, CIPRES y su trabajo FP en frijol y maíz.

2. Encontrar los mecanismos adecuados para insertar la tecnología de producción y difusión de semillas de las variedades identificadas o generadas por el proyecto FP en los sistemas y redes informales ya existentes²¹.
3. Aprovechar esta experiencia, y el conocimiento generado, el germoplasma identificado o en vía de desarrollo, los mecanismos y dispositivos operativos implementados para intervenir en otras zonas secas y marginales y así obtener más impacto.
4. Insertar las actividades FP sorgo en un marco interinstitucional más amplio de investigación-acción participativa para los pequeños agricultores de las zonas marginales, abarcando diferentes cultivos de interés y otros temas de investigación complementarios del FP (manejo del cultivo, semillas, transformación y comercialización de los productos).

AGRADECIMIENTOS

A todos los productores y productoras experimentadores, evaluadores y mejoradores quienes han participado en esta investigación en los diferentes sitios. También agradecemos a los responsables y técnicos de CIPRES, UNICAM, UNAG/PCaC Madriz y ASO-PROT quienes han apoyado de una manera u otra en la ejecución de este proyecto, a los ingenieros Rafael Obando y Manual Morales (INTA) por su apoyo a esta investigación y al Ing. René Clara del CENTA El Salvador, por su revisión del documento.

LITERATURA CITADA

CHANTEREAU, J.; VAKSMANN, M.; KOURESSY, M. 1998. Analyse diallele de la réponse photopériodique d'écotypes maliens guinéa de sorgo. *In*: Bacci L.,

Reyniers F.-N. eds. The future of photoperiodical cereals for sustainable production in the semiarid tropics of Africa. CeSIA, Florence, Italy y CIRAD, Montpellier, France. p. 209-224.

GUTIÉRREZ, N.D. 2004. Caracterización del fotoperiodismo y agromorfología de 14 variedades de sorgo millón (*Sorghum bicolor* [L] Moench) en tres épocas de siembra en el CNIA, Managua. Tesis para obtener el diploma de ingeniero agrónomo generalista de la Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 51 p.

HOCDE, H. 2006. Mejoramiento participativo de cultivos alimentarios en Centro-América: panorama, resultados y retos. Un punto de vista externo. *Agronomía Mesoamericana* (CR) 17(3): 291-308.

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) de Nicaragua. 2002. Resultados del Tercer Censo Nacional Agropecuario (III CENAGRO). (en línea). Managua. INEC. Disponible en: <http://www.inec.gob.ni> (Estadísticas/Censos)

LHOMME, A. 2005. Creating varieties together. A technological account of partnerships in three Participatory Crop Improvement projects in Nicaragua. Tesis of Master of technology and agrarian development MAKS 18. Wageningen University. 163 p.

MARTÍNEZ, F. 2003. Análisis de los sistemas de cultivo a base de sorgo para la construcción de un programa de mejoramiento genético participativo en el departamento de Madriz, Nicaragua. Tesis de Master of Science en "Développement Agricole Tropical", CNEARC, France. 128 p.

PAUL, C. L. 1990. Agronomía del sorgo. ICRISAT-CLAIS. El Salvador. 240 p.

PLESSIS, J. 2004. Vers la compréhension de la gestion locale des semences de sorgho : une aide à la diffusion des variétés générées par un programme de sélection participative. Etude réalisée dans la zone nord du Nicaragua. Tesis de ingeniero ISTOM, Cergy-Pontoise France. 83 p.

RAPIDEL, B.; RODRÍGUEZ, R.J. 1990. Zonificación agrometeorológica de las lluvias en Nicaragua. CATIE, Turrialba, 24p.

²¹ Se debe reflexionar de nuevo acerca de la estrategia para escoger: i) estimular a los agricultores para que produzcan su propia semilla de calidad (luego, con las redes informales, la difusión se dará por su propia cuenta), ii) organizar (en cooperativas o otra forma) y capacitar ciertos grupos de productores voluntarios interesados en la producción de semillas de calidad que colocaran en el mercado local, iii) otra forma.

- TROUCHE, G.; CHOW, Z.; AGUIRRE, S. 2005. Informe de las actividades en fitomejoramiento participativo de los sorgos en Nicaragua, ciclo agrícola 2004-2005. 24 p.
- TROUCHE, G.; HOCDE, H.; AGUIRRE S. 2006. Sélection participative des sorghos au Nicaragua : approche et dispositifs. *In*: Lançon J., Weltzien E., Floquet A. eds. Gestion du partenariat dans les projets de sélection participative. Proceedings de un taller de capacitación organizado del 14 al 18 de marzo del 2005, Cotonou, Benin: 159-173.
- TROUCHE, G.; NARVÁEZ ROJAS, L.; CHOW WONG, Z.; CORRALES BLANDÓN, J. 2006. Fitomejoramiento participativo del arroz de secano en Nicaragua: metodologías, resultados y lecciones aprendidas. *Agronomía Mesoamericana (CR)* 17(3): 307-322.
- VAKSMANN, M.; TRAORE, S.; NIANGADO, O. 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et Développement (FR)* 9: 13-18.

2. Dynamiques paysannes et sélection participative : le cas des sorghos à grain blanc dans la région Nord du Nicaragua.

Conclusion

Cet article présente les éléments essentiels du contexte de la production du sorgho dans la région Nord du Nicaragua, principale zone d'intervention de notre étude. Un diagnostic intensif réalisé dans six villages de cette région a mis en évidence les faits marquants suivants 1) en deux décennies, les sorghos à grain blanc de cycle court *tortillero* ont largement remplacé les sorghos photopériodiques de cycle long *millón* dans les situations les plus favorables, 2) ce changement variétal rapide a été réalisé essentiellement grâce à des réseaux informels transfrontaliers d'échange de semences, entre producteurs et de commerçants à producteurs, et traduit la grande capacité d'innovation des agriculteurs, 3) les producteurs gèrent souvent leurs semences de sorgho « à flux tendus » et en conséquence, en cas de perte de leurs premiers semis, ils doivent chercher des semences auprès d'autres producteurs, sur les marchés ou auprès des institutions locales; en général, pour leur autoproduction de semences, ils ne sélectionnent pas les plantes au champ mais seulement les plus belles panicules après la récolte 4) les systèmes de culture à base de sorgho sont très diversifiés en ce qui concerne la période de culture, le mode et les arrangements de semis, l'association avec d'autres cultures et les objectifs de production, 5) face à cette diversité des systèmes de culture et des usages, la diversité variétale et génétique gérée par les agriculteurs s'avère très limitée. Selon les producteurs, la productivité en grains et la stabilité du rendement, la précocité (*tortillero*) ou le degré de réponse à la photopériode (*millón*), l'architecture de plante, la qualité du grain pour la consommation locale (tortillas) et la valeur fourragère des pailles sont les caractères clés à améliorer pour répondre aux objectifs de production du sorgho dans cette région.

GIVING NEW SORGHUM VARIETY OPTIONS TO RESOURCE-POOR FARMERS IN NICARAGUA THROUGH PARTICIPATORY VARIETAL SELECTION

By GILLES TROUCHE^{†,‡,§}, KIRSTEN VOM BROCKE[¶],
SILVIO AGUIRRE^{††} and ZILDGHEAN CHOW^{‡‡}

[†]*CIRAD-CIAT, Central America Regional Office, LM-172, Managua, Nicaragua*, [‡]*CIRAD, UPR Adaptation Agroécologique et Innovation Variétale, Avenue Agropolis, F-34398 Montpellier, France*, [¶]*CIRAD, UPR Adaptation Agroécologique et Innovation Variétale, posted to ICRISAT, BP320 Bamako, Mali*, ^{††}*CIPRES, Pueblo Nuevo, Nicaragua* and ^{‡‡}*CIAT, Central America Regional Office, LM-172, Managua, Nicaragua*

(Accepted 17 June 2009; First published online 28 August 2009)

SUMMARY

In the dry areas of Nicaragua, white-grain sorghum is an important subsistence crop for resource-poor farmers. From 2002 to 2007, participatory varietal selection (PVS) was implemented in three regions with the aim of identifying new varieties matching small farmers' needs. This paper describes the general approach, the partnership and the methods used to identify farmers' selection criteria (FSC), as well as the evaluation of new germplasm using the scoring method. Data analysis involved relating farmers' evaluation data to agronomic data and farmers' selection decisions (FSD), using Spearman correlations and the chi-square test. In the three regions, higher grain yield and good grain quality for making tortillas were identified as the two main FSCs for both the 'tortillero' and 'millón' sorghum types; the ranking of the other important FSC differed between the sites and the sorghum types. Our data shows that farmers' scores for earliness were highly correlated with breeder's observations while farmers' assessments of grain yield were correlated with measured yield in half the cases, depending on their knowledge of the crop. The study shows that in evaluating grain quality the farmers used several specific traits which were not considered by breeders. Overall appreciation, grain yield and grain quality were the key farmers' criteria that contributed to FSD. The PVS work enabled breeders to obtain a better understanding of farmers' criteria as well as identifying new progenitors, which should be useful for the sorghum breeding schemes in Central America in the future. Furthermore, by exploring wide genetic diversity, it was possible to release several farmer-preferred and high-performing varieties within a fairly short period.

INTRODUCTION

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is an important multi-purpose crop in the dry areas of Central America. In the dry marginal areas of Nicaragua, where maize production is uncertain due to irregular and erratic rainfall, white-grain sorghum is an essential subsistence crop for resource-poor farmers. Here, farmers traditionally grow two sorghum types for human consumption. The 'millón' sorghums are tall and photoperiod-sensitive landraces with white or yellow grains which are generally intercropped with maize on hillsides. The 'tortillero' sorghums are white-grain, short-cycle improved varieties that are commonly grown in semi-intensified cropping systems on flatlands. Farmers

§Corresponding author: gilles.trouche@cirad.fr

have been cultivating the millón sorghums in Central America since the sixteenth century (Quinby and Martin, 1954). Extensive breeding activities were carried out in Honduras and El Salvador with the aim of reducing plant height and increasing the harvest index of the best local landraces. The adoption rate of these modern height-reduced millón varieties has been low. This can be attributed firstly to unfavourable traits, as these varieties do not adapt well to the low-fertility soils of hillsides, are less photoperiod-sensitive than local landraces and have small grain size. Inadequate seed production and distribution strategies have also been connected with the low adoption rate. Tortillero sorghum is a more recent introduction to the Central American region. In Nicaragua, this new type has largely been adopted by small- and medium-scale farmers, who first started using it in the early 1990s. In contrast to millón, the tortillero varieties offer the advantages of early maturing (necessary for coping with increasing drought conditions), better fodder quality and generally better grain quality for making tortillas, the typical unleavened bread of Central America and Mexico, traditionally made with white-grain maize. Dissemination of the tortillero cultivars grown in northern Nicaragua has been accomplished largely through informal cross-border seed exchange from Honduras and El Salvador (Trouche *et al.*, 2006a). Nevertheless, farmers emphasized that the tortillero varieties currently available need to be improved in order to adapt to low-fertility soils and post-flowering drought. The essential traits to be improved are earliness, grain and fodder yield, plant type and grain size (Martínez Sánchez, 2003).

In light of these insufficiencies, in particular the failure of the modern millón varieties, breeders began considering participatory plant breeding as an alternative approach to sorghum improvement in Nicaragua. Participatory breeding aims to develop varieties better adapted to farmers' needs (i.e. a more client-orientated approach) by involving farmers at key stages of variety development and by promoting interaction between breeders and farmers in the research processes (Sperling *et al.*, 2001, Witcombe *et al.*, 2005). Moreover, by working directly in the target environments, participatory breeding takes into account specific agro-climatic constraints as well as local cropping practices, resulting in more effective selection for those conditions (Ceccarelli *et al.*, 2001; Simmonds, 1991). Participatory breeding is commonly divided into participatory varietal selection (PVS), where farmers are involved in the evaluation and selection of finished or near finished breeding products, and participatory plant breeding in the narrow sense (PPB), where farmers participate in the selection work in segregating generations (Witcombe *et al.*, 1996).

The research project on participatory breeding of sorghum in Nicaragua was geared towards resource-poor farmers in dry vulnerable areas. CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) and CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) agreed to jointly manage a research project on participatory breeding of upland rice and sorghum for small- and medium-scale farmers in Central America. This research has been in operation in Nicaragua since 2002 in three areas of the dry belt; each of these areas represents one or more villages/communities situated in a delimited geographical region. The current paper describes the PVS work launched to improve farmers' variety options

for tortillero and millón sorghums and to simultaneously learn about farmers' selection criteria. The results acquired on germplasm selection and capacity building, as well as feedback for future breeding work, both conventional and participatory, are analysed.

MATERIALS AND METHODS

Partnership

The project activities were conducted in collaboration with the Nicaraguan agriculture research institution (INTA) and with various national non-governmental organisations (NGOs) working for family agriculture enhancement and their associated farmer groups. As an entry point, the project team decided to work with farmer groups that had already benefited from training in previous farmer research¹. The roles and responsibilities of each group of participants in this research are described in a previous paper (Trouche *et al.*, 2006b). The research team for this project included one INTA and one CIRAD sorghum breeder, a CIAT agronomist and the technician(s) of the locally involved NGO.

Research sites

The PVS activities were started in 2002 in six villages located in three provinces (Figure 1). Five more villages were incorporated into the project in 2004 (Table 1). All sites were chosen in dialogue with the project partners. In the study areas, the rainy season has a bimodal distribution and extends from May to November with two crop seasons, the *primera* (May–August) and the *postrera* (August–November), separated by a short dry season of irregular intensity and length (generally between mid-July and mid-August) called the *canícula*. Rainfall is low and highly variable (geographical and inter-annual variations), between 650 and 1200 mm for the entire season (Rapidel and Rodríguez, 1989). Millón sorghums are planted during the *primera* season and harvested in December or January. Tortillero sorghums are mainly grown during the *postrera* season.

Genetic materials

The germplasm resources used in the PVS work comprised inbred lines developed in Burkina Faso by the CIRAD-INERA joint programme, photoperiod-sensitive African landraces from the CIRAD sorghum collection, improved photoperiod-sensitive lines developed in the region (INTSORMIL-EAP Zamorano Honduras and CENTA El Salvador), and local millón and tortillero cultivars collected and described during the diagnostic work, in addition to inbred lines and commercial varieties from the Nicaraguan research institute INTA.

¹From previous efforts of institutions such as CIAT, UNICAM/INSFOP and Pcac/UNAG: UNICAM = Universidad Campesina, Pcac/UNAG = Programa Campesino a Campesino de la Union Nacional de los Agricultores y Ganaderos de Nicaragua.

Table 1. Total sorghum area, partners and duration of the research at the study sites of the sorghum PVS work in Nicaragua.

Province	Municipality	Tortillero and millón area (ha and % of the total area cultivated with grain crops)	Study villages	Partners	Duration of the PVS phase
Madriz	Somoto	1911 (31)	Uniles	INTA, CIPRES, UNAG, UNICAM-INSFOP, local farmer groups and cooperatives	2002–2007
	Totogalpa	1065 (29)	Santo Domingo and El Mamel		
	San Lucas Palacaguina	770 (26) 880 (30)	La Manzana Musuli La Concepción		
Matagalpa	Ciudad Dario	2202 (16)	Dulce Nombre de Jesús and El Guineo	ACTED-UCA, local farmer cooperative	2003–2006
	San Dionisio	47 (1)	San Dionisio		
Chinandega	Villa Nueva	1984 (27)	Cayanlipe and Los Laureles	INTA, NITLAPAN, local farmer groups	2002–2005

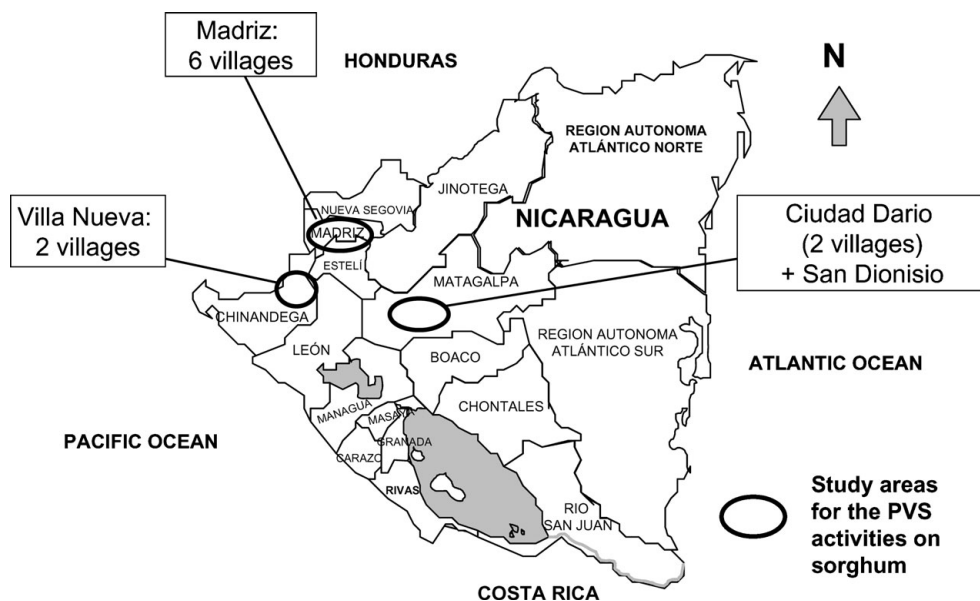


Figure 1. Location of the study areas for the sorghum PVS research in Nicaragua.

Presenting and testing new diversity with farmers

Figure 2 summarizes the general approach used for implementing the sorghum PVS work in each study village.

In an initial diagnostic phase, priority setting for the sorghum improvement programme was conducted with farmers via group discussions, participatory rural appraisal tools such as land-use charts, village historical calendars (including dates of

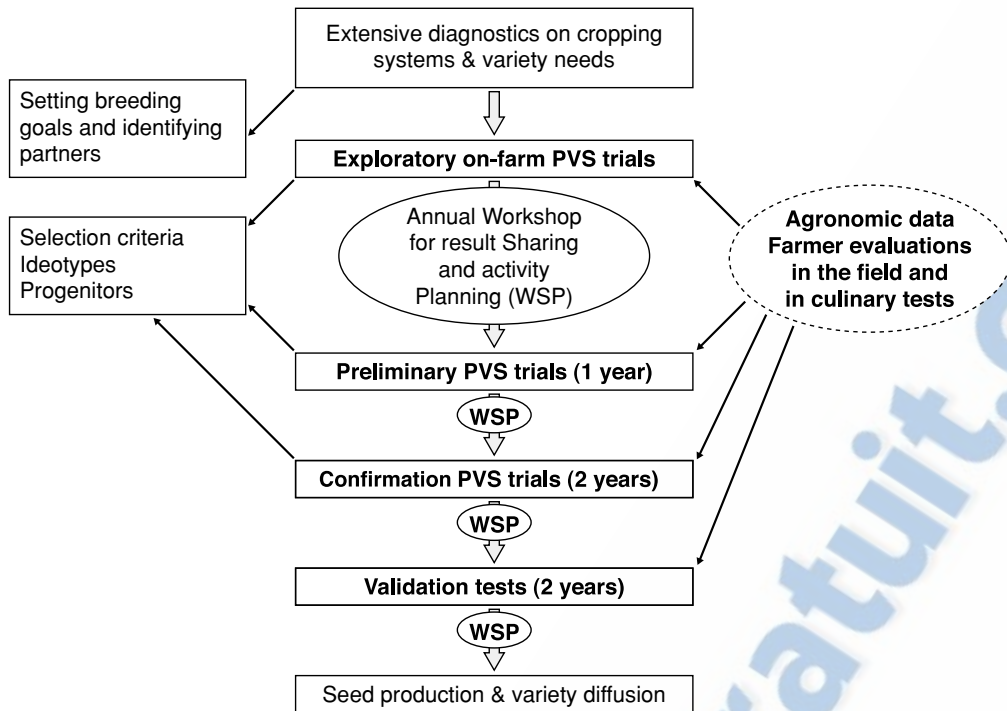


Figure 2. General scheme used for implementing the PVS sorghum work in Nicaragua.

the sorghum crop's greatest changes) and diversity inventories (Pasolac, 2001). Semi-structured individual interviews and field observations were also used in one study area (Martínez Sánchez, 2003).

In addition to this diagnostic work, exploratory on-farm trials with diverse sorghum cultivars, chosen for possessing one or more of the principal plant traits mentioned by farmers during the diagnosis, were established in each village in the course of the first year, and evaluated by farmers by means of individual trait scoring and ranking exercises. These exploratory trials were designed, on the one hand, to evaluate farmers' preferred key traits and how they are assessed by farmers, and on the other hand, to test the capacities of the 'exotic' genetic material to adapt to the local agro-climatic conditions and farming practices. From this diversity, farmers chose the best entries suited to their needs. At the same time, the research team carried out observations on the most important agro-morphological traits, such as flowering date, plant height, disease and pest resistance, grain and fodder yield, and 1000-grain weight. The preferred and best-performing entries were subsequently included in a large-scale three-stage participatory evaluation scheme, which incorporated preliminary, confirmation and validation tests, as shown in Figure 2. This evaluation scheme was specifically designed for this project as a participatory and decentralized adaptation of the national evaluation scheme. The approach is, however, in line with other PVS approaches, such as the mother and baby trials scheme (Snapp, 1999), as the

preliminary and confirmation trials were similar to mother trials and the validation trials could be compared to baby trials, as farmers individually selected the lines to be planted on their farm. As in baby trials the validation plots are managed according their own cropping practises and without any research orientations, except the expected plot area.

More and more farmers volunteered to join the programme each year, managing PVS trials on their own farms and participating in the evaluation exercises (Trouche *et al.*, 2006b).

Randomized complete block (RCB) designs with two or three replications planted in the same farmer's field were commonly used for the preliminary PVS trials. The same RCB design was applied to the confirmation PVS trials, but with 3–8 replications per village, and each farmer managing one replication. The preliminary and confirmation trials contained 8–18 lines with harvested plot sizes of 8–12 m² and 28–50 m² respectively. The trials were managed according to customary farming practices, including traditional soil preparation, sowing mode and distances, and typically without chemical fertilizer. These cropping conditions were determined in collaboration with the research farmers during the planning meetings. The validation trials included two to five lines compared with a variety control in production plots of 200–500 m².

Identifying farmers' criteria and carrying out evaluation and selection of new lines

Evaluation and selection of lines were carried out in field workshops during the crop maturity phase. In addition to the research farmers, other farmers from the same village and the vicinity interested in new sorghum varieties were also invited to participate. Anywhere from 10 to 20 male and female farmers participated in any one workshop. As most of the farmers were literate and had some experience in managing agricultural experiments, dialogue with the research team was direct and fairly interactive in the course of the workshops. These PVS field workshops comprised three steps:

1. *Identification and classification of farmers' criteria:* An open group discussion was held in order to identify farmers' selection criteria for accepting a new variety. Firstly, each participating farmer wrote down what he/she considered the five or six most important criteria for each sorghum type, sometimes giving some quantification (i.e. for yield, height or earliness objectives). In a further group discussion, the identified criteria were ranked according to the frequency at which they had been mentioned, with the farmers being encouraged to explain their criteria. The final ranking of the reported criteria had to be consensually approved by the group, especially if various criteria were ranked at the same frequency. Then the group proceeded to choose the four most relevant criteria to be used for subsequent germplasm evaluation in the field. This choice depended on the specific agronomic and climatic conditions faced by the trial, and here the research team gave adequate information about how the trials were managed up to that date; then a first brief visit to the trial plots was also often necessary to give the farmers a general overview

of trial conditions. The feasibility of evaluating the criteria-related traits in the field was also considered. Here, the breeder stimulated the discussions and gave certain necessary explanations about possible interactions between the identified criteria. The same criteria were used as a basis for discussion in the workshops held in subsequent years at the same site.

2. *Evaluation and selection based on farmers' criteria:* The performance of each entry in the trial was scored on a scale of 1 (bad) to 4 (excellent) for the four most important criteria rising from the open discussion. With the aim of understanding farmers' priorities better, a score for the 'overall appreciation' of each entry was included in the exercise. The farmers took part in this evaluation exercise individually or in small groups of 3–6 people. An NGO technician or a research team representative helped the farmer groups to enter the scores given for each criterion and the overall appreciation as well as relevant comments on an evaluation sheet. The evaluation exercise was usually performed in two or three replications of the trial. After completing the evaluation of the trial, farmers were asked to select their preferred entries in each observed replication.
3. *Synthesis of the exercise:* During a final group dialogue a synthesis of the exercise was held to share and to discuss common ground or differing opinions of the evaluation and selection work.

Culinary tests for evaluating tortilla quality were carried out only with the best entries identified at the confirmation stage during the dry season. These tests included identification of the selection criteria concerning the cooking process and tortilla quality, definition of the cooking conditions and the evaluation of each entry based on further criteria by 10–20 female and male farmers.

Decision-making

The decision-making process for identifying the best entries for progressing to the following stage was based on four principal components: agronomic data analysis, farmers' evaluations (scoring), farmers' selection in the field and farmers' selection during culinary tests. The results of all these components were presented and discussed between scientists and farmers during the annual result-sharing and activity-planning workshops (Figure 2). Final decisions on the entries to be selected or discarded were formulated in a collegiate manner.

Statistical analysis

The data (agronomic and scoring) were statistically analysed with XLSTAT 13.3 2005 software. The correlation tests between farmers' trait scorings and trait measurements were performed using the correlations/associations test procedure. Chi-square tests were performed in order to quantify the contribution of each individual selection criterion in regard to the farmers' selection decisions, using the data description/contingency tables and chi-square procedures of the programme. Chi-square values were calculated from contingency tables created by crossing farmers'

selection decisions (selected or not selected) with farmers' scores (1–4) for each criterion.

RESULTS

Precision of the on-farm trials

To assess the precision of the on-farm trials evaluated by farmers, analysis of variance (ANOVA) was performed for the measured quantitative traits from seven on-farm preliminary PVS trials (four tortillero and three millón) conducted in six villages during the 2003 rainy season. Considering the observed coefficient of variation (CV) and repeatability values, all the trials displayed good precision for the traits 'days to flowering' (CV and repeatability values of 1.4–4.7% and 0.66–0.94, respectively) and '1000-grain weight' (5.4–8.7% and 0.56–0.94), except one tortillero trial. For grain and fodder yield, the results were more heterogeneous. For grain yield, the CV and repeatability values ranged from 20 to 29% and 0.21 to 0.82, respectively, with the exception of two trials. Compared with the observed results in nine on-station (tortillero) trials with similar designs and numbers of lines, the on-farm trials showed globally higher CV and lower repeatability values, albeit still in range. Fodder yield generally showed lower CV and higher repeatability values compared with grain yield.

Assessment of relevant selection criteria

The most important selection criteria for adopting a new variety of tortillero or millón sorghum were arrived at through group discussions and ranking exercises with farmers in their villages. These are listed in Table 2.

In all three regions, enhanced grain yield and adequate grain quality for family consumption were the two main selection criteria for tortillero sorghum. Fodder production and quality was another key criterion. In Madriz and Villa Nueva, farmers ranked earliness in second or third place, looking for very early maturing varieties (90 days from planting to harvest), whereas in the Matagalpa area farmers placed less importance on this characteristic. The short plant height criterion was ranked in fourth place in Matagalpa and Villa Nueva with a view to facilitating harvest operations and permitting higher density with fewer lodging problems.

For millón sorghum, higher grain yield compared to traditional cultivars was the first selection criterion in both Madriz and Matagalpa and ranked second in Villa Nueva. The villages differed in opinion, however, when it came to ranking the other traits. For instance, in Matagalpa and Villa Nueva farmers valued plant height and/or grain quality for commercialization; in this region, particularly in the Ciudad Dario area, grains of millón type are more commercialized than in the northern region. In contrast, in Madriz priority was given to grain quality for family consumption and tolerance to mid-season drought during the *canícula*.

Correlations between agronomic observations and farmers' scores

Correlations between the measured duration of the growing cycle (number of days from sowing to flowering) and farmers' scoring of earliness were relatively high

Table 2. Ranking of the most relevant plant traits used as selection criteria for accepting a new variety as identified in open-ended discussions and confirmed with the first evaluations performed by farmers in the three study areas in Nicaragua.

Sorghum type	Main selection criteria	Rank		
		Madriz [†]	Matagalpa [‡]	Villa Nueva [§]
Tortillero	Higher grain yield under drought and low fertility conditions (retaining panicle size and weight) compared to existing cultivars	1	1	1
	Good grain quality for family-consumption (mainly for corn-like tortillas)	2	2	2
	Earliness (90 days or less from planting to maturity)	3	5	2
	High fodder productivity and quality (high leaf yield with high leaf : stem ratio)	4	3	3
	Resistance to lodging (strong stems)	5	6	4
	Short plant height (1.4–1.8 m)	5	4	4
	Suitable grain quality for commercialization	6	5	5
	Resistance to diseases and pests (including storage pests)	7	7	5
Millón	Higher grain yield under drought and low fertility conditions (focusing on higher panicle weight) compared to local cultivars	1	1	2
	Good grain quality for family-consumption (mainly for corn-like tortillas)	2	4	1
	Suitable grain quality for commercialization	8	3	nm
	Good fodder quality (more green leaves at harvest time)	5	6	3
	Earlier flowering date compared to local millón (close to November 1st)	4	5	2
	Plant height under 2.5 m and/or resistance to lodging (strong stems)	3	2	2
	Drought tolerance (mid-season stress)	2	8	4
	Easy threshing	6	nm	nm
	Resistance to diseases and pests (covered kernel smut, insects and storage pests)	6	7	nm
Stem useful for building	7	nm	nm	

[†]Overall ranking for 4 villages; [‡]Overall ranking for 2 villages; [§]Overall ranking for 2 villages; nm: trait not mentioned.

and significant. Farmers' evaluation of earliness was the most confident among the evaluated traits, for both sorghum types, with correlation coefficients between -0.43 and -0.77 (Table 3).

As regards the tortillero type, concordance between farmers' scores for grain yield and measured grain yield varied greatly between sites and farmer groups (Table 3). In most cases, the correlations were significant at El Mamel and Unile for the 2003 evaluations. For the Unile-2002 and San Dionisio-2003 trials, all the correlations were non-significant. Farmers' scoring of grain quality was only linked to the 1000-grain weight – the only grain-quality-related field observation available – in one case, San Dionisio–2003.

At El Mamel, where farmers are very familiar with the millón type, high and significant correlations between measured data and farmers' scoring were found for yield and grain quality in the two evaluation years (except for one group in both years).

Table 3. Spearman correlation coefficients between farmers' scores and agronomic observations calculated for eight different PVS trials.

Sorghum type	Trial location	Number of observations	Scoring	Earliness/ days to flowering	Productivity/ grain yield	Grain quality/ 1000-grain weight
Tortillero	Unile 2002	20	Single groups	-0.36 to -0.60**	0.12 to 0.25	-
		40	Total 2 groups	-0.48**	0.18	-
	Unile 2003	24	Single groups	-0.73** to -0.83**	0.34 to 0.54*	-0.29 to 0.36
		73	Total 3 groups	-0.77**	0.44*	0.06
	El Mamel 2003	20	Single groups	-	0.30 to 0.56** [†]	0.08 to 0.26
		80	Total 4 groups	-	0.34** [†]	0.10
	San Dionisio 2003	30	Single groups	-	-0.40 to 0.23	-0.16 to 0.35
		90	Total 3 groups	-	0.01	0.22*
	Ciudad Dario 2004	16	Single groups	-0.49* to -0.58*	0.06 to 0.42	-
		32	Total 2 groups	-0.52**	0.29	-
Millón	El Mamel 2003	19	Single groups	-0.35 to 0.79**	0.20 to 0.74** [†]	-0.16 to 0.59** [†]
		57	Total 3 groups	0.43**	0.42**	0.27*
	El Mamel 2004	16	Single groups	-	0.07 to 0.78** [†]	0.22 to 0.41
		48	Total 3 groups	-	0.57**	0.31*
	Villa Nueva 2003	21	Single groups	-	0.37 to 0.38	0.18 to 0.58**
		42	Total 2 groups	-	0.38*	0.44**

[†]Values correspond to women's group evaluations.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

At Villa Nueva, correlations for yield assessment were lower but still significant. At El Mamel, women's evaluations of grain yield and grain quality in terms of size gave the highest correlation values with the measured data when compared with the men's evaluations for both the tortillero and millón types.

Correlations between fodder suitability and fodder yield were almost always low and non-significant (data not shown). Regarding this trait, farmers preferred plant types with a high proportion of leaves and thin stems, regarded as of interest for cattle feed, whereas measured fodder yield is greatly influenced by the relative importance of the thickness and length of the stems.

Contribution of the selection criteria to the farmer's selection decisions

Except for one farmer group in the El Mamel 2003 millón trial, 'overall appreciation' was always significantly linked to farmer's selection decisions (FSD) (Table 4). Grain yield and grain quality appreciation also significantly influenced the FSD in half or more of the cases (Table 4). Female farmers' assessment of grain quality contributed most to the FSD for both tortillero and millón sorghum. Fodder quality was only a significant contributing trait to the FSD on two occasion (two farmer groups at San Dionisio where the main use of sorghum was for cattle feed). Plant height scoring only once made a significant contribution to the FSD for tortillero type, at the San Dionisio site. Although plant height appeared to be a major selection criterion for millón

Table 4. Chi-square values from contingency tables crossing the single selection criteria, including the overall appreciation, and farmer's selection decisions calculated for four PVS trials in 2003.

Trial location	Farmer group	Grain yield	Grain quality	Earliness	Fodder quality	Plant height	Overall appreciation
San Dionisio 2003 (tortillero)	La Cuchilla	16.1**	5.3	ne	15.2**	3.9	26.0**
	San Cayetano	4.9	5.3*	ne	6.3*	8.9*	13.7**
	CIALs females	6.9*	6.3*	ne	3.7	0.6	8.3*
El Mamel 2003 (tortillero)	Las Cruces	9.9**	7.0*	ne	0.5	ne	12.8**
	El Mamel-men	8.8**	4.1	ne	1.6	ne	12.8**
	El Mamel-women	6.3*	8.6**	ne	2.5	ne	5.5*
Unile 2003 (tortillero)	Unile	11.5**	5.7*	4.4	3.6	ne	9.2**
	La Grama	4.9*	3.5	5.7*	1.9	ne	18.0**
	Pueblo Nuevo	0.2	0.7	2.8	1.3	ne	0.8
El Mamel 2003 (millón)	Las Cruces	0.02	1.4	1.0	ne	0.3	0.3
	El Mamel-men	5.1	1.3	6.5*	ne	0.1	8.1*
	El Mamel-women	8.9*	10.4**	10.4*	ne	0.4	10.4*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

ne: trait not evaluated by farmer.

sorghum during the diagnosis and subsequent selection criteria assessment work, the farmers did not place any great emphasis on this trait when it came to selecting or discarding a line in the field.

New experimental breeding lines identified with new traits or trait combinations

Table 5 presents the potential area of adaptation, the main beneficial traits and the average grain yields of the best performing lines selected with farmers during the PVS process. Table 6 summarizes the farmers' overall appreciation in the field and appreciation of grain quality for making tortillas, as evaluated during the culinary tests using the four most promising white-grain lines.

For the tortillero type, the BF 89-12/1-1-1 line, officially registered in 2007 with the local name *Blanco Tortillero*, was the best performer for the low-input cropping systems of the driest areas. Its main qualities are a very short cycle, stable and good productivity under low fertility and drought conditions, high disease resistance, and excellent grain quality for both tortilla preparation and commercialization. BF 89-18/133-2-1 (*Oro Alto*) exhibited almost the same qualities as the previous line, with a slightly longer cycle and higher yield potential under favourable conditions, and was thus preferred by farmers in the more favourable areas. For the millón cropping systems, two African landraces, PI 569438-*Coludo Nevado* (Sudan) and 1583-*Rojito Gigante* (Cameroon), demonstrated high drought tolerance and adaptation to low-fertility soils, as well as producing better yields than local landraces and better grain quality (colour, size and/or tortilla quality). These two African landraces also displayed greater flexibility than the local landraces for the planting date, giving fairly good yields when sown in August when the first rainy season failed. The reduced plant-height lines EIME 119, 99 PREEIME 119 and 99 PREEIME 117, promise higher yield

Table 5. Main traits, days to flowering, plant height and average yields of the most promising lines identified from the PVS approach.

Genotype	Area of adaptation	Important traits	Date and/or days to 50% flowering	Plant height (cm)	Average yield (kg ha ⁻¹)	Yield advantage (%) [†]
BF 89-12/1-1-1 = Blanco Tortillero (tortillero)	Dry areas (250–400 mm during the <i>postrera</i> rainy season)	Very short cycle, drought tolerant, good yield stability under low rainfall, excellent grain quality for making tortilla and commercialization	60 ± 2.5	172 ± 15	2295 [‡]	+32
					(1743)	+36
BF 89-18/133-2-1 (tortillero)	Semi arid areas (300–500 mm during the <i>postrera</i> rainy season)	Short cycle, high yield potential, excellent grain quality for making tortillas	61 ± 4.9	169 ± 31	1426 [¶]	+6
					(1342)	
EIME 119 (white-grain millón)	Dry hillsides (< 800 mm for entire rainy season)	Reduced height, excellent adaptation to maize-sorghum intercropped systems, high yield potential, acceptable grain quality	4–16 Nov (163 ± 6)	227 ± 40	1672 ^{††}	+16
PI 569438 (white-grain millón)	Dry hillsides (<800 mm for entire rainy season)	Tall, high drought tolerance, adaptation to low fertility soils on hillsides, high ratooning ability, excellent grain quality for making tortillas and commercialization	5–17 Nov (164 ± 6)	374 ± 52	1657 ^{††}	+15
G 1583 (red-grain millón)	Dry hillsides (<800 mm for entire rainy season)	Tall, drought tolerant, large grains good for farmer poultry	1–6 Nov (156 ± 3)	322 ± 43	2561 ^{†††}	+34
					(1907)	
BF 97-5/2N-5-2-1-1 (red-grain sorghum)	Dry areas (250–400 mm during the <i>postrera</i> rainy season)	Short cycle, adaptation to mechanized harvest (low plant height), stay-green, high yield potential, great ratooning ability	57 ± 2.5	128 ± 33	4652 ^{§§}	+13
					(4121)	

[†]Yield advantage over mean of the variety control.

[‡]Mean of 10 on-farm trials with small plots (8–12 m²) carried out in the northern region 2002–2004; in brackets, the mean of the commercial variety Tortillero Precoz.

[§]Mean of 21 on-farm validation trials, 2005/2006 (plots of 200–500 m²); in brackets, the mean of the farmers' variety.

[¶]Average yields for 15 on-farm validation trials, 2005/2006 (plots of 200–500 m²); in brackets, the mean of the farmers' millón cultivar.

^{††}Average yields for 12 on-farm validation trials, 2005–2007 (plots of 100–500 m²); in brackets, the mean of the farmers' millón cultivar.

^{†††}Average yields for six on-farm validation trials, 2005–2007 (plots of 100–500 m²); in brackets, the mean of the farmers' millón cultivar.

^{§§}Average yields for two on-station trials, 2005; in brackets, the mean of the red-grain commercial variety INTA SR 16.

Table 6. Synthesis of farmers' evaluations of four promising lines in the field and in the tortilla culinary tests.

Genotype	Average score for overall appreciation [†]	Average score for grain appearance [†]	Culinary tests	Average farmers' score for tortilla quality traits [‡]			
				Colour	Taste	Texture	Overall [§]
BF 89-12-1-1-1	3.3 (2.9)	3.20 (2.80)	4	2.8 (3.0)	3.0 (2.5)	2.8 (1.8)	2.9 (2.8)
BF 89-18-133-2-1	2.6 (2.6)	2.93 (3.08)	3	3.3 (3.0)	2.7 (2.7)	3.0 (1.7)	2.9 (2.8)
EIME 119	3.5 (2.7)	3.0 (3)	3	2.3 (2.3)	2.7 (2.7)	1.3 (3.0)	2.4 (2.75)
PI 569438	2.9 (2.7)	3.5 (3)	3	3.0 (2.3)	3.7 (2.7)	3.0 (3.0)	3.1 (2.75)

[†]Farmers' evaluation in the field using a 1–4 scale where 1 = bad; 2 = acceptable; 3 = good; 4 = excellent.

[‡]Farmers' evaluation in the culinary tests using a 1–4 scale where 1 = bad; 2 = acceptable; 3 = good; 4 = excellent.

[§]Synthetic index for seven tortilla quality and yield criteria.

In brackets, value of the respective best variety control.

potential and improved fodder production, and were thus good options for hillsides with intermediate fertility conditions.

As regards the red-grain germplasm, the farmer groups at the Chinandega sites first expressed the need for new varieties as well as defining the expected plant-type. The following selection generations and the first yield trials were managed on-station. The best line derived from this work, BF 97-5/2N-5-2-1-1, later aroused interest among farmers from other regions.

DISCUSSION

Learning about selection criteria

Establishing a list of relevant selection criteria with farmers is a relatively straightforward matter, yet breeders need to be aware that understanding how farmers assess these criteria may be more complex than the breeders' definition of the criteria. This was highlighted in additional discussions with farmers during or after the evaluation work which indicated that farmers' assessment of grain quality includes various traits. While breeders, for instance, generally observe colour, endosperm texture and grain size (by measuring the 1000-grain-weight) for grain appearance evaluation, Nicaraguan farmers also assess colour and size but have no real preference for endosperm texture, simply discarding completely floury grains for being more susceptible to storage pests. Instead, they consider other characteristics of the grain and spikelet: shape, taste (sweet or bitter) and suitability for manual threshing. As regards manual threshing, important characteristics are easiness, non-adherent glumes, and low production of *ajuate* (the dust irritation to the eyes and skin produced by some varieties during the manual threshing process, depending on glumes types). Indeed, farmers use a set of fairly precise sub-criteria for assessing grain quality, which should be complementary to the standard breeders' observations. This tallies with several studies carried out on sorghum for human consumption in Africa (Mulatu and Belete, 2001; vom Brocke, unpublished data). For the tortillero type, fodder quality is a selection criterion needing greater attention from breeders, in particular for those areas where

farmers are looking for dual-purpose varieties. Given the farmers' priorities, grain value for the market and resistance to storage pests should also be considered in breeding schemes.

Quality of the farmers' evaluation

When considering the correlation results between farmers' scores and agronomic observations, we noted that farmers' assessments of earliness were generally highly correlated with breeders' observations of days to 50% flowering. We deduce that farmers and breeders have the same definition of earliness, even though varying responses to photoperiod existed in the evaluated lines. This stands in contrast with results for sorghum in Burkina Faso, where a different understanding of the earliness trait was observed between farmers and breeders, resulting in divergent evaluation (vom Brocke, personal communication). However, several other studies agree that the earliness trait is generally well assessed by farmers, as reported by authors working on rice (Joshi and Witcombe, 1996) and maize (Mulatu and Zelleke, 2002). For yield assessment, our results were variable between sites and farmer groups. Farmers' knowledge of the different sorghum types and/or their motivation for the evaluation exercise appeared to affect the quality of the scoring results. For example, at the San Dionisio site, the relatively limited knowledge of farmers on the sorghum crop may have been the cause of the inconsistency between assessed and measured yield. At this site, which had moderate fertilizer application, the tall phenotypes (2–2.5 m) turned out to be those with the highest yields (up to 5.5 t ha⁻¹). Farmers on the other hand, influenced by their preference for short phenotypes with dense foliage, assessed the short lines very positively and the tall lines negatively. The correlations between yield scores and measured yields were higher and often significant at the Unile 2003 and El Mamel sites, an old sorghum-growing area where farmers have a broad knowledge of the crop. The divergence between the 2002 and 2003 results at the Unile site could therefore have been due to a learning process. At the El Mamel site, the women's group assessment of yields was closer to the measured yields. Although women in this region do not usually manage the sorghum crops directly, they do harvest the sorghum whenever the men leave to take part in coffee bean harvesting at the time of sorghum maturity. In this way the women have acquired a certain amount of knowledge for evaluating the crop production in the field.

Generally, farmers' scores of grain quality and 1000-grain weight were poorly correlated; this result confirms that for farmers this trait includes several distinct components, of which large grain size may be important but not decisive.

The selection decision

Testing the relationship between farmers' scoring data for each trait and their selection decision in the field, depending on the locality and the evaluating farmer groups, may be helpful for indicating the weight of the different selection criteria. This would help to pinpoint possible geographical or gender priorities.

Our data shows that overall appreciation, grain yield and grain quality are the farmer's major criteria for selecting a line. Despite the great importance given by farmers in the diagnosis phase, fodder quality for the tortillero type and intermediate height for the millón type did not play a major role in the actual selection exercises in the field. A key example of the changing importance of plant height preference is the farmers' willingness to accept the African cultivar PI 569438, which grows up to 3.5 m high (however, it has long bending panicles), when previously they expressed preferences for the intermediate height of 2–2.5 m. Similar results were highlighted by Mulatu and Belete (2001) studying sorghum, although in the opposite direction (initial preference for the high phenotypes preferred for different stalk uses but ultimate acceptance of short-type varieties presenting other important traits including earliness). We interpret these lacks of agreement between expressed preferences on fodder quality or plant height and actual varietal choices as showing that farmers cannot find among the germplasm tested the adequate combinations of these traits with earliness, high grain yield and good grain quality characteristics.

Some other interesting information from this data analysis was the observation of divergences between farmer groups at the same sites. This may have been due to different production constraints or objectives, thus leading to different priorities between the traits (if a group had more interest in a specific criterion, it generally had higher expectations and scoring was more discriminating) or distinct preferences for one trait (e.g. for grain quality or plant height), as reported by other authors (Crossa *et al.*, 2002; Mulatu and Belete, 2001). It may also indicate differing knowledge about the crop and/or differing capability to conduct the evaluation exercise.

Identification of preferred and high-performing lines

This PVS strategy was based on early involvement of farmers in defining their selection criteria, an exploration of large but pre-focused genetic and phenotypic diversity, rigorous farmer evaluations and agronomic data through adequate designs and methods, in addition to continuous dialogue with farmers during all evaluation steps. This approach enabled rapid identification of high-yielding and well-appraised lines with relatively low research costs. After six years, around 8–10 lines are now in the process of being adopted by the research farmers, who are also now disseminating those to other farmers via informal seed exchange. Furthermore, the strong involvement of the main NGO partner CIPRES (Centro para la Promoción, la Investigación y el Desarrollo Rural y Social) led to formal registration of the *Blanco Tortillero* variety and the initiation of a decentralized seed production capacity managed by farmer co-operatives formed with the research farmers. This type of support ensured a wider diffusion of the new varieties even beyond the initial target regions. Compared to a conventional breeding process, this strategy also made it possible to gain at least three years for registering a new variety and achieving appreciable adoption, as reported in other studies (Pandey and Rajatasereekul, 1999; Joshi *et al.*, 2007). The tortillero germplasm selected with farmers in northern Nicaragua is also performing well under low-input cropping systems in other dry regions of Nicaragua and Honduras. It

thus confirms that PPB approaches, contrary to certain preconceptions, can develop germplasm with fairly wide adaptation, as supported by Joshi *et al.* (2007).

Outputs for both participatory and conventional breeding: a win-win experience

The germplasm evaluations with farmers provided relevant inputs for further conventional and participatory sorghum breeding programmes, in Nicaragua and more widely in the Central America region. This included the incorporation of new progenitors and selection criteria (e.g. the farmers' grain quality components) into the mating designs and adjusting the relative weight of some traits (e.g. earliness and fodder quality). Such a progenitor identified with the PVS work was Souroukoku, an African dwarf late photoperiod-sensitive landrace, which performs well in the sorghum–maize intercropped cropping systems of Nicaragua but presents a deficient grain quality for direct use (very floury grain with testa). New dwarf photoperiod-sensitive lines are now being developed from crosses between Souroukoku and some high-grain quality landraces.

Research farmers involved in the project acquired a better understanding of the sorghum crop and improved their ability to manage trials and evaluate germplasm. This know-how is now being applied to other crops such as bean and maize. Moreover, the farmers now have access to new variety options, which helps reduce production risks in their very variable climatic environments, in other words, improved food security. New income sources are expected for the local farmer organizations through their involvement in seed production and commercialization of the released varieties. The PVS phase also helped to consolidate capacities in farmer groups and organizations, as well as strengthening ties between them, NGOs and INTA, for implementing future PPB work.

Acknowledgements. The authors are grateful to Rafael Obando (INTA) for logistical support at the CNIA station and seed delivery, René Gomez (NITLAPAN), German Díaz (ACTED-UCA) and the San Dionisio CIAT team for their support at the Villa Nueva, Ciudad Dario and San Dionisio sites respectively and to Myriam Duque and James Silva (CIAT Colombia) and Philippe Letourmy (CIRAD) for their support for statistical analysis; and to P. Biggins and T. McGowan for their helpful suggestions and revision of the English. We sincerely thank all the research farmers involved in this study in Nicaragua for their essential contribution.

REFERENCES

- Ceccarelli, S., Grando, S., Tutwiler, R., Baha, J., Martini, A. M., Salahieh, H., Goodchild, A. and Michael, M. (2000). A methodological study on participatory barley breeding. I. Selection phase. *Euphytica* 111:91–104.
- Crossa, J., Bellon, M. R. and Franco, J. (2002). A quantitative method for classifying farmers using socioeconomic variables. In *Quantitative Analysis of Data from Participatory Methods in Plant Breeding* (Eds M. R. Bellón and J. Reeves). Mexico: CIMMYT.
- Joshi, A. and Witcombe, J. R. (1996). Farmer participatory crop improvement. II. Participatory varietal selection, a case study in India. *Experimental Agriculture* 32:461–477.

- Joshi, K. D., Musa, A. M., Johansen, C., Gyawali, S., Harris, D. and Witcombe, J. R. (2007). Highly client-oriented breeding, using local preferences and selection, produces widely adapted rice varieties. *Field Crops Research* 100:107–116.
- Quinby, J. R. and Martin, J. H. (1954). Sorghum improvement. *Advanced Agronomy* 6:305.
- Martínez Sánchez, F. (2003). *Análisis de los sistemas de cultivo a base de sorgo para la construcción de un programa de mejoramiento genético participativo en el departamento de Madriz, Nicaragua*. MSc thesis, CNEARC, Montpellier, France.
- Mulatu, E. and Belete, K. (2001). Participatory varietal selection in lowland sorghum in eastern Ethiopia: impact on adoption and genetic diversity. *Experimental Agriculture* 37:211–229.
- Mulatu, E. and Zelleke, H. (2002). Farmers' highland maize (*Zea mays* L.) selection criteria: implication for maize breeding for the Hararghe highlands of eastern Ethiopia. *Euphytica* 127:11–30.
- Pandey, S. and Rajatasereekul, S. (1999). Economics of plant breeding: the value of shorter breeding cycles for rice in Northeast of Thailand. *Field Crops Research* 64:187–197.
- Pasolac (2001). *Diagnóstico Rural Participativo DRP. Una guía metodológica basada en experiencias en Centroamérica*. Managua: Pasolac.
- Rapidel, B. and Rodríguez, R. J. (1989). *Zonificación agrometeorológica de las lluvias en Nicaragua*. Turrialba: CATIE.
- Snapp, S. (1999). Mother and baby trials: A novel trial design being tried out in Malawi. *Target Newsletter of the Southern Africa Soil Fertility Network* 17:8
- Sperling, L., Ashby, J. A., Smith, M. E., Weltzien, E. and McGuire, S. (2001). A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results. *Euphytica*, 122:439–450.
- Simmonds, N. W. (1991). Selection for local adaptation in a plant breeding programme. *Theoretical Applied Genetics* 82:363–367.
- Trouche, G., Hocdé, H., Aguirre Acuña, S., Martínez, F. and Gutiérrez Palacios, N. (2006a). Dinámicas campesinas y fitomejoramiento participativo: el caso de los sorgos blancos (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la region norte de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 17:407–425.
- Trouche, G., Hocdé, H. and Aguirre, S. (2006b). Sélection participative des sorghos au Nicaragua: dispositifs, principaux résultats et enseignements. In *Gestion du partenariat dans les projets de sélection participative*, 159–173 (Eds J. Lançon, E. Weltzien and A. Floquet). Montpellier:Cirad.
- Witcombe, J. R., Joshi, A., Joshi, K. D. and Sthapit, B. R. (1996). Farmer participatory crop improvement, I: Varietal selection and breeding, methods and their impact on biodiversity. *Experimental Agriculture* 32:443–460.
- Witcombe, J. R., Joshi, K. D., Gyawali, S., Musa, A., Johansen, C., Virk, D. S. and Sthapit, B. R. (2005). Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. I. Four indicators of client-orientation. *Experimental Agriculture* 41:299–319.

3. Fournir de nouvelles variétés de sorgho aux producteurs nicaraguayens de faibles ressources grâce à la sélection variétale participative.

Conclusion

En ayant recours à une diversité génétique raisonnée en majorité d'origine africaine, une méthode d'évaluation rigoureuse et formalisée de ces nouveaux matériels basée sur les critères de sélection définis par les producteurs eux-mêmes, et des mécanismes de concertation appropriés, les programmes de sélection variétale participative mis en œuvre dans trois régions du Nicaragua ont permis d'identifier au bout de cinq ans une dizaine de variétés performantes et de qualité. Ces variétés répondent aux attentes des agriculteurs car elles s'adaptent bien aux systèmes de culture locaux, sont plus productives et en général plus précoces que les cultivars existants et présentent une excellente qualité de grain pour l'élaboration des tortillas. Parmi celles-ci, la lignée améliorée caudatum BF 89-12/1-1-1 originaire du Burkina Faso, pour le type *tortillero*, et le cultivar guinea-caudatum PI 569438 originaire du Soudan, pour le type *millón*, renommés respectivement Blanco Tortillero et Coludo Nevado, sont celles qui réunissent les meilleures performances agronomiques et attributs de qualité du grain. Pour cette raison elles connaissent une diffusion rapide auprès des producteurs des régions semi-arides du Nicaragua.

Ces travaux de sélection participative ont également permis de préciser et hiérarchiser plus finement les critères de sélection pour les deux types de sorgho. Par des tests de corrélation, nous avons également mesuré la précision et la cohérence des évaluations qualitatives réalisées au champ par les différents groupes d'agriculteurs-évaluateurs (AE), mises en relation avec les variables agronomiques mesurés dans les mêmes essais. Il en ressort que les AE ont une bonne capacité d'évaluation visuelle de la précocité et de la productivité en grains des matériels testés, avec toutefois pour ce dernier caractère, des résultats variables selon leur niveau de connaissance de la culture. Cette analyse a également confirmé que les critères d'appréciation de la qualité des grains utilisés par les AE sont divers et ne correspondent que partiellement avec ceux habituellement mesurés par les sélectionneurs. Par le moyen de tests du khi-2, nous avons vérifié que, parmi les critères de sélection majeurs, la précocité de floraison, le potentiel de rendement en grains, la qualité des grains, ainsi que le critère « valeur générale » sont ceux qui ont le plus de poids dans la décision finale de sélectionner ou rejeter une variété.



Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: I. Agronomic performance

Gilles Trouche^{a,*}, Silvio Aguirre Acuña^b, Blanca Castro Briones^b,
Nury Gutiérrez Palacios^c, Jacques Lançon^d

^a CIRAD–CIAT Collaborative Project on Sorghum and Rice Participatory Breeding, CIAT Central America Regional Office, LM-172 Managua, Nicaragua

^b CIPRES, Pueblo Nuevo, Nicaragua

^c INTA, CNIAB, km 10.5 carretera Norte, Managua, Nicaragua

^d CIRAD UR SCA, Institut National de Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 884 Cotonou, Benin

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 August 2010

Received in revised form

10 November 2010

Accepted 12 November 2010

Keywords:

Participatory breeding

Decentralized farmers' selection

Synthetic populations

Index of agronomic suitability

Sorghum

ABSTRACT

Few studies have assessed the effective gains achieved by collaborative decentralized participatory breeding, in terms of yield and other agronomic traits, in comparison with centralized conventional breeding using the same breeding schemes. Our study concerned an experience of participatory improvement of *tortillero* sorghum for low-input cropping systems in northern Nicaragua. It set out to compare the effect of two breeding schemes simultaneously managed on-station and on-farm. Two synthetic populations were used as sources of genetic variability. The study was designed to distinguish between three “selection modes”: farmers' selection on-farm (FoF), breeder' selection on-station (BoS) and breeder's selection on-farm (BoF). After two selection cycles, we found that FoF selection reduced phenotypic variability as much as BoS selection. In general, BoS selection produced higher-yielding lines under the target on-farm conditions. But FoF selection was more effective in promoting lines with higher values for an index of agronomic suitability (IAS), expressing a better balance between earliness, plant height, grain size and yield. Such genotypes might cope more easily with local environmental constraints and farmers' preferences. BoF selection did not prove to be effective for either yield or IAS. This research shows the need for close collaboration between farmers and breeders as well as complementarities between the selection phases managed on-farm and on-station, to make breeding for difficult environments fully efficient.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Participatory breeding has been suggested as an effective strategy for developing varieties combining productivity gains, adaptation to particular cropping systems and quality traits for subsistence agriculture in marginal environments. This approach emerged in the late 1980s and early 1990s (Maurya et al., 1988; Sperling et al., 1993), and has been widely implemented over the last decade in various social contexts and physical environments. Until now, most experiences described in the literature have referred to participatory varietal selection (PVS), i.e. participatory evaluation and selection of fixed or almost fixed genetic material. In various crops and contexts, PVS has proved to be efficient for (i)

quick identification of new varieties which perform well under the target stress conditions and show high farmer acceptance, (ii) faster release and greater adoption by farmers of these varieties, and (iii) being more cost-effective, when compared to conventional breeding (FB) programmes (Joshi et al., 1997; Mulatu and Belete, 2001; Ceccarelli and Grando, 2007; Tiwari et al., 2009).

There are still few examples of participatory selection in segregating populations, known as participatory plant breeding *sensu stricto* (PPB). Using the typology proposed by Biggs (1989), the way farmers participate in these programmes is often collaborative, in some cases it is collegial or consultative. In a majority of documented PPB programmes, farmers have been involved at an advanced stage (F₅ to F₇) in the actual breeding process (i.e. selection work in segregating generations), after previous and *presumably not intensive* selection by breeders, as described for rice (Sthapit et al., 1996; Joshi et al., 2007; Gyawali et al., 2007). Nevertheless, the number of PPB programmes involving farmers in the early segregating generations has increased in the last decade. Of them, several interesting experiences were conducted in Latin America with resource-poor farmers in marginal environments; the breeding schemes were commonly developed from crosses

* Corresponding author at: CIRAD, UPR AIVA, Avenue Agropolis, F-34398 Montpellier, France. Tel.: +33 467614469; fax: +33 467615742.

E-mail addresses: gilles.trouche@cirad.fr (G. Trouche), silvioacua@yahoo.com (S. Aguirre Acuña), segoviasciprespn@yahoo.com (B. Castro Briones), nury.gutierrez@yahoo.es (N. Gutiérrez Palacios), jacques.lancon@cirad.fr (J. Lançon).

between “criolla” cultivars and exotic lines bringing disease resistance, and decentralized farmers’ selection started in the F₂ to F₄ generations or equivalent, as was done in Nicaragua (Almekinders et al., 2006), Costa Rica (Araya-Villalobos and Hernández-Fonseca, 2006), Honduras (Rosas et al., 2003) or Colombia (Kornegay et al., 1996). Nevertheless, except for the last case, these works published in Spanish are generally not cited in the Anglophone literature. In other still rare PPB programmes, farmers participated in the selection process from the earliest stages, exploring broader genetic variability, as illustrated for maize in India (Virk et al., 2005), cotton in Benin (Lançon et al., 2004), sorghum in Burkina Faso (vom Brocke et al., 2008) or cassava in Ghana (Manu-Aduening et al., 2006).

In such collaborative works, it was often difficult to distinguish between the effect of farmers’ selection and environmental effects, and generally it was not designed to allow effective comparisons with breeders’ selection. Analysing the results of several collaborative plant breeding programmes, Witcombe et al. (2006) concluded that to achieve highly client-oriented breeding, farmers’ participation in plant selection in segregating generations should be considered as an option, not a principle, unless the main objective was farmer empowerment. Based on selection theory, Atlin et al. (2001) argued that effectiveness of any selection environment is determined by both the genetic correlation between genotype performance in the selection and target environments and the heritability of genotypic differences in the selection environment. Based on both selection theory and two case studies on maize and wheat, Bänziger and Cooper (2001) concluded that significant productivity gains under low-input conditions could be better achieved with formal breeding programmes, when the breeders make use of appropriate genetic variation, multi-environment trials data representative of the main stress factors, and indirect selection for adequate secondary traits. In this case, farmers should play a major role in identifying target selection environments, evaluating the germplasm under selected stress conditions and balancing the various qualitative and quantitative traits considered for adaptation in each target environment. For these authors, on-farm farmers’ selection alone cannot identify the best genotypes with the expected trait combinations for these stressful environments, subjected to large genotype × site × year interactions. However, after an extensive review of the literature, Dawson et al. (2008) concluded that breeding programmes for low external-input cropping systems are more efficient when decentralized and when they involve farmers at the early stages of selection.

In Nicaragua, from 2005 to 2008, breeders, agronomists and local farmer groups implemented simultaneous on-station and on-farm breeding schemes on tortillero sorghum. White-grain sorghum is an important staple crop for the drought-prone areas of Central America (CA), particularly for the CA dry belt, extending from Nicaragua to Guatemala. Food sorghums, to be distinguished from red-grain industrial sorghum produced for the poultry industry, are commonly separated into millón (photoperiod-sensitive) and tortillero (early insensitive) types. In Nicaragua, both types are mainly produced by resource-poor farmers under low-input cropping systems in marginal areas including hillsides. Yields are generally low and highly variable depending on the annual rainfall and field fertility. Given the poor agronomic performances under such stressful conditions, deficient grain and fodder quality and ill-adapted seed distribution strategies, the adoption rate for the national modern tortillero varieties remains very low (Trouche et al., 2006). Decentralized participatory variety selection research managed with local NGOs and farmer groups in the northern and central regions from 2002 to 2006 led to the identification of several tortillero varieties of West African origin that performed well and were well accepted, of which Blanco Tortillero was the first to be released at the end of 2007 (Trouche et al., 2009). However, from 2003 to 2004, some leading farmers and the main NGO partner

expressed their interest in creating new sorghum varieties, aiming at better adaptation to particular cropping systems or a better combination of appropriate grain and fodder quality traits with productivity and earliness. For the research team, it was an opportunity for developing and testing breeding strategies and tools adapted to farmer participation, based on concrete queries.

This paper compares the results of three selection modes, i.e. on-farm farmers’ selection (FoF), on-station breeder’s selection (BoS) and on-farm breeder’s selection (BoF). These selection modes were applied to two breeding populations designed for developing improved tortillero varieties for two main sorghum ecosystems of northern Nicaragua. The same senior sorghum breeder carried out selection either on-station or on-farm, while small farmer groups carried out selection on-farm. The effect of the three selection modes were analysed regarding four issues:

- Phenotypic variability
- Gains for agronomic traits and yield
- Yield stability
- Combination of traits

A second publication will analyse the gains achieved in farmers’ acceptance and overall performance of the same selection modes.

2. Materials and methods

2.1. Target and breeding environments

The two target areas considered in this study were located in the northern region of Nicaragua, where the research project could develop a strong and stable partnership with locally organized farmer groups and the Cipres NGO (Trouche et al., 2009). The Totogalpa area (13°33’N, 86°29’W, altitude 750–800 m) is home to two of the sites where the sorghum project started its activities in 2002 after intensive diagnostic work (Martínez Sánchez, 2003). This hill-sides area corresponds to manual cropping systems under highly vulnerable conditions, where crops face two major constraints: low soil fertility and recurrent drought (average rainfall lower than 800 mm with high intra-season and inter-annual variability). The Pueblo Nuevo area (13°23’N, 86°29’W, 600 m) was added to the research project in the course of its third year, in response to a Cipres and Cosenu local farmer organization request for suitable dual purpose (grain and forage) varieties for this zone. This area is characterized by fairly fertile soils and more favourable rainfall conditions (800–1000 mm) as well as an intermediate degree of intensification (use of animal traction for land preparation).

The selection work was conducted in a farmer’s field located in each of the target areas, as well as at the Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (CNIA) (12°08’N, 86°10’W, altitude 56 m), near Managua and about 200 km from the on-farm sites. The on-farm fields were owned and managed by members of a regional network of sorghum and bean research farmers. The sorghum research programme of the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) is based at CNIA, which hosts most of the breeding and early evaluation work. The environmental conditions (average annual rainfall = 1230 mm, fertile deep soils, high leaf disease incidence) and cultural practices applied for sorghum experimentation differ significantly from the common growing conditions of tortillero sorghum.

2.2. Breeding goals

An iterative interaction process between the local farmer groups and the research team led to the identification of breeding goals and selection criteria, as described by Trouche et al. (2009). At each

Table 1
Selection criteria defined by the participant farmer-breeders for the Tototalpa and Pueblo Nuevo target areas.

Target area	Breeding population	Selection criteria
Tototalpa area	PCR-1	Early (60 days to flowering and 90 days to maturity), drought tolerance, adaptation to low soil fertility, yield stability and enhanced yield, good grain appearance for the local market and high quality for tortilla (white semi-vitreous large grains)
Pueblo Nuevo area	PCR-2	Intermediate cycle (70 days to flowering and 100–105 days to maturity), adaptation to intermediate soil fertility, height = 1.5–1.8 m, improved fodder quality, high grain yield, grain appearance for the local market (including poultry) and high quality for tortilla (white semi-vitreous large grains)

on-farm breeding site, selection criteria were refined through a discussion between the future farmer breeders and the research team (Table 1).

2.3. Genetic material

Two synthetic populations segregating for the ms_3 genetic male-sterility gene, PCR-1 and PCR-2, were used as the source of genetic variability to implement the two breeding schemes. PCR-1 was created for grain production in unfavourable environments characterized by drought stress and low soil fertility. PCR-2 was developed for dual purpose production in semi-favourable agroclimatic conditions.

The PCR-1 population was created by the introgression of six elite lines, chosen as having one or two important traits for the target environment and/or production goal (Table 2), associated with good agronomic adaptation and acceptance by farmers, identified from the previous PVS phase. We used synthetic population PP34 from Purdue University as the source of the ms_3 male-sterility gene. Seeds of this population were provided by R. Clara, coordinator of the Intersoil Central America programme based in El Salvador, where the population underwent several cycles of random mating. Introgression crosses were produced on-station during the 2004 off-season between male-sterile (MS) plants (genetically $ms_3 ms_3$) identified in PP34 and each selected parental variety, used as male. In the fertile F_1 generation, six plants per cross were self-pollinated and then harvested in bulk to obtain F_2 seeds. After threshing, seeds of the 2–3 F_2 s progenies derived from a specific parent were equally bulked, and the six mono-parent bulks chosen were then equally mixed to produce PCR-1 initial bulk as detailed in Table 2. This bulk was planted on-station during the 2005 off-season in an isolated plot of approximately 3000 plants, for random intercrossing through open-pollination. At maturity, 250 MS plants previously tagged at anthesis were harvested, discarding plants showing very poor phenotype, and individually threshed. The base population PCR-1 was formed by bulking 10 g of seeds from each of the chosen MS plants. The PCR-2 population was created from the introgression of six other elite lines (Table 2), using the same method and agenda described for PCR-1.

2.4. Breeding schemes and selection modes

The breeding schemes developed on-station and on-farm for each population are described in Fig. 1. Initially both schemes were designed to distinguish the three selection modes previously defined: on-farm farmers' selection (FoF), on-station breeder's selection (BoS) and on-farm breeder's selection (BoF). Unfortunately for the PCR-2 population, the S_1 progenies derived from the

BoF selection mode were lost during the 2006 rainy season because of a very severe drought.

The breeder was a professional sorghum breeder with about 20 years' experience in sorghum breeding in tropical environments (West Africa and Central America). The farmer-breeders (FBs) were experienced farming men and women, involved in the research activities conducted during the PVS phase, chosen for having the necessary skills for performing a selection work: good knowledge of the crop, high aptitude for observation and trait evaluation, and great motivation for this project. All were resource-poor farmers with similar social profiles.

The PCR-1 and PCR-2 populations (S_0 generation) were planted during the 2005 *postrera*¹ rainy season, both at the CNIA station and in a farmer's field, using similar plot sizes and seed quantities. FBs were given a training course on the principles of genetics and plant breeding, as well as indications of the heritability of the main traits under selection. Before each selection cycle, they were invited to reconfirm the selection criteria in order to make sure they maintained constant selection pressure throughout the process. Following these criteria, three FBs at Tototalpa and four FBs at Pueblo Nuevo carried out their own selection along with the professional breeder, but independently, with the breeder tagging "his" selected plants after the farmers to avoid influencing them. On the research station, the breeder used the same selection criteria and applied the same selection intensity as those used at the corresponding on-farm site. Table 3 summarizes the total number of plants used in the S_0 generation, the number of selected plant-progenies at the S_1 and S_2 generation stages, and selection intensity.

From the S_1 s to S_3 s generations, breeding work was consistently carried out by the same breeder and FBs. In the S_1 and S_2 generations, common selection pressure was exerted by both the breeder and the FBs, although less strictly by the FBs: about 40% of the less attractive progenies were completely discarded, one to two plants were selected in the 40% "acceptable to good" progenies and four to five plants in the top 20% progenies.

From 2005 to 2007, the rainy seasons were highly contrasting, for both the total amount of rain and rainfall distribution, particularly at the on-farm breeding sites. At Tototalpa and Pueblo Nuevo, the *postrera* rainy season was very wet in 2005 and 2007 (420–700 mm and 540–630 mm respectively) while very dry in 2006 (190 and 300 mm, respectively).

2.5. Evaluation of the progenies for yield and other agronomic traits

Yield trials were set up during the 2007 and 2008 *postrera* season at the CNIA station (for both populations) and at the on-farm breeding locations (Tototalpa for PCR-1 and Pueblo Nuevo for PCR-2) to assess the agronomic performance of the lines derived from the three selection modes.

In 2007, the PCR-1 trials included 30 lines from each selection mode, representing the 10% top lines according to the 2006 evaluation, and a random 50% of the remaining progenies, and four released varieties or elite lines used as controls. The PCR-2 trials included 60 lines from each selection mode, the 10% top lines of the 2006 evaluation, a random 40% of the remaining progenies, and four controls.

The 2008 trials evaluated the 20% top lines for each selection mode, according to a *global* selection index integrating agronomic performance (the IAS index further explained) and farmer (for on-farm selection) or breeder acceptance (for on-station selection).

¹ Second rainy season (August–November) when tortillero sorghum is mainly grown.

Table 2
Parents of the PCR-1 and PCR-2 populations with their relative contribution.

Synthetic population	Parent	Criteria of choice	% of each parent in the population
PCR-1	CIRAD 438	Short plant height, panicle shape, tan plant colour	8.3
	BF 94-6/41K-2F-1K-2K	Midge resistant, earliness	8.3
	BF 96-2/46-1K-1K-1K	Midge resistant, stay green, and fodder quality	8.3
	CIRAD 437	Earliness, high yield potential, disease resistance	8.3
	BF 89-12/1-1-1 (CIRAD 492)	Grain appearance (intense white colour) and weight, drought tolerance, tan plant colour	8.3
	INTA Ligero	Short plant height, grain size, high leaf/stem ratio	8.3
	PP34 (population source of <i>ms₃</i> gene)	Pre-adapted population, good grain quality	50
PCR-2	BF 94-6/46K-1K-1K-1F	Midge resistant, short plant height, good panicle exertion, sweet stems	8.3
	BF 96-2/56-1K-2K-1K	Midge resistant, tan plant colour	8.3
	BF 89-18/133-2-1	Grain aspect (colour and texture) and weight, high yield potential and stability	8.3
	Africana	Yield stability, good plant type with high leaf/stem ratio	8.3
	INTA CNIA	Broad adaptation, panicle shape	8.3
	ICSR 20	Good plant type, disease resistance, fodder quality	8.3
	PP34 (population source of <i>ms₃</i> gene)	Pre-adapted population, good grain quality	50

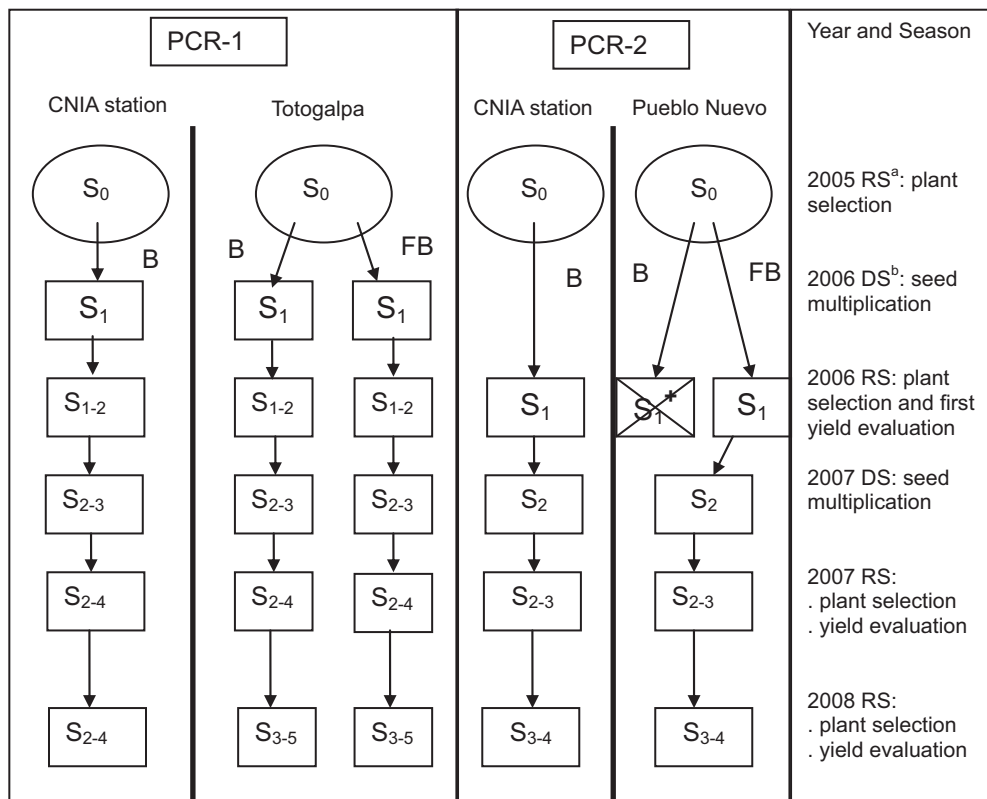
These trials were set up again in their respective on-farm and on-station breeding environments, as well as at a second on-farm site.

Alpha-lattice designs with three replications were used for these evaluation trials. For each genotype, the harvested plot sizes were generally of 4–8 m² (2 or 3 rows 4–6 m long).

The research team measured the following agro-morphological traits in the trials: days to 50% flowering (DF), plant height (PHT), disease and pest resistance, stay-green trait, panicle type (compact, semi-compact, loose), panicle number and panicle weight per plot, grain humidity at harvest stage and 1000-kernel weight (TKW).

The average grain weight of one panicle (GW1P) and grain yield (GRY) were calculated from the panicle weight per plot, applying a standard 0.80 coefficient (Paul, 1990), and were assessed at 14% moisture. Fodder yield and the leaf/stem ratio were measured for the 2007 CNIA trials only.

An “index of agronomic suitability” (IAS) was defined for combining four quantitative agronomic traits measured in the trials (DF, PHT, TKW and GRY), related to farmers’ preferences identified during the previous PVS work (Trouche et al., 2009). It was computed as following:



^a RS = rainy season = *postrera* season

^b DS = dry season (irrigated)

⁺ In the PCR-2 population, S₁s from BoF selection were planted on-farm during the 2006 rainy season but the material was lost because of drought

Fig. 1. History of the centralized (CNIA station) and decentralized (Totogalpa and Pueblo Nuevo) breeding schemes developed from the PCR-1 and PCR-2 populations.

Table 3
Plant number and selection intensity applied on-farm and on-station in the PCR-1 and PCR-2 populations.

Breeding population	PCR-1			PCR-2	
	BoS	FoF	BoF	BoS	FoF
Plant number in the S_0 generation at maturity phase	1250	1500	1500	2400	2350
S_1 plant-progenies selected	62	62	62	124	118
Selection intensity (%)	5	4	4	5	5
S_2 plant-progenies selected	73	76	68	110	169

Index of agronomic suitability for the line i :

$$IAS_i = \sum_j a_j * \left[\frac{x_{ij} - m_j}{s_j} \right]$$

where x_{ij} is the phenotypic value of the line i for trait j , m_j the mean performance and s_j the standard deviation of all lines for trait j , a_j is the relative weighting of trait j in the index, where $j = 1-4$ (1 = DF; 2 = PHT; 3 = TKW; 4 = GRY).

In our study, a specific IAS was defined for each target ecosystem. The respective weightings of traits in each specific IAS were based on the preferred ideotypes by local farmers, mitigated with their agronomic value in their environment according to the breeder's experience.

Thus, the respective weightings for the four traits were defined as follow:

IASe (Totogalpa ecosystem): $a_1 = -3$; $a_2 = -2$; $a_3 = 3$ and $a_4 = 4$;

IASm (Pueblo Nuevo ecosystem): $a_1 = -2$; $a_2 = -4$; $a_3 = 2$ and $a_4 = 3$

2.6. Statistical analyses

To compare the phenotypic variability of the lines derived from the studied selection mode, a factorial discriminant analysis (FDA) was performed on a set of six and seven agro-morphological traits observed in the 2007 on-station yield trials, for the PCR-1 and PCR-2 lines respectively.

To analyse the grain yield stability of the different families of lines, we performed a standard regression analysis of the yield of individual lines over the trial mean, from the data for the common five PCR-1 and nine PCR-2 lines evaluated at both on-station on-farm locations from 2006 to 2008. These common lines represented the 20% top lines selected in the 2007 trials as explained earlier, after discarding lines showing germination problems or excessive heterogeneity in the 2008 evaluation.

ANOVAs were based on a fixed effects model and were performed with the SAS Statistical Software Package using the GLM procedure. FDA and regression analysis were performed using XLstat software version 2009 6.02.

3. Results

3.1. Phenotypic variability

The FDA did not display any significant difference between the selection modes for global phenotypic variance at the S_2 generation stage. As for single trait variability, they expressed significant differences for TKW in the PCR-1 population only, with BoF lines presenting higher variability than FoF and BoS lines (data not shown).

Analyzing the PCR-1 population, the centres of gravity which represents the average phenotype produced by each selection mode, clearly showed distinct coordinates (Fig. 2). Regarding both

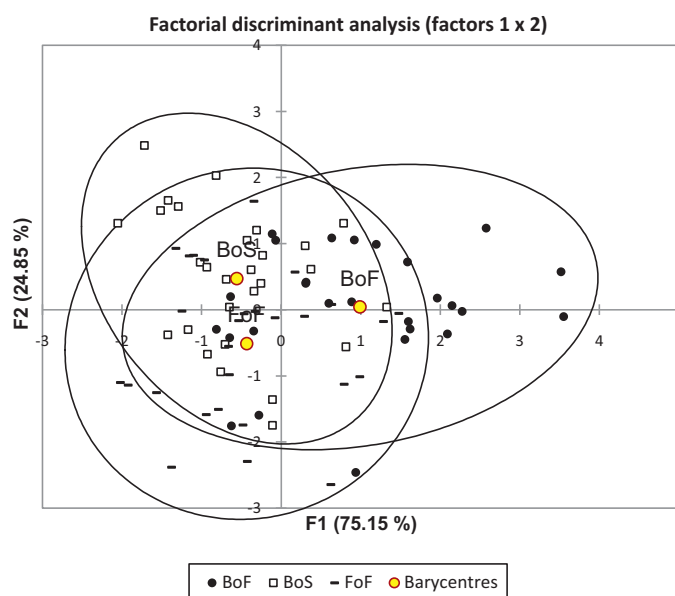


Fig. 2. FDA plot for 30 S_{2-4} lines derived from the three selection modes applied to the PCR-1 population, characterized for six agro-morphological variables evaluated on-station in 2007.

populations, their position resulted from different selection pressures applied to individual single traits, i.e. DF, PHT, TKW and GW1P in PCR-1, DF and panicle type in PCR-2 (Table 4).

Moreover, we observed at the S_0 generation stage that there was an agreement between FoF and BoF in the selection of 15 plants (24% of total selected plants) and 52 plants (43%) for PCR-1 and PCR-2 respectively. Overall, FoF selection decreased phenotypic diversity as much as BoS selection, but it produced divergent “average phenotypes” especially marked for earliness.

3.2. Heritability of the agronomic traits measured in the on-station and on-farm trials

The ANOVA results for the on-station and on-farm trials in 2007 and 2008 revealed significant differences between genotypes for 81% of the traits in the harvested trials (data not shown). Table 5 presents the basic statistical parameters derived from the ANOVA for the four most important agronomic traits measured. In on-station and on-farm trials, the observed values of the coefficient of variation (CV) varied from good to fair; they were within the range of CVs commonly observed for sorghum trials under tropical conditions. The CV values of the on-farm trials were understand-

Table 4

Inter-mode divergences computed by the FDA for six and seven agro-morphological traits measured in the 2007 on-station trials on the S_2 lines derived from the PCR-1 and PCR-2 populations.

Population	Comparison	Inter-mode differences ^a	Traits contributing with significant differences between selection modes
PCR-1	Global (3 modes together)	**	DF, PHT, TKW and GW1P
	FoF vs. BoF	**	
	FoF vs. BoS	ns	
	BoS vs. BoF	**	
PCR-2	FoF vs. BoS	**	DF and panicle type

ns: non significant, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

^a Significance of Wilks' lambda likelihood ratio used to test the equality of the mean vectors of the selection modes in comparison.

Table 5
Coefficient of variation and heritability values of the traits measured in the trials evaluating the lines derived from the PCR-1 (S_{2-4} generation) and PCR-2 (S_{2-3} generation) populations, managed on-station and on-farm.

Population	Trait	Coefficient of variation (%)		h^2		
		On-station	On-farm ^a	On-station	On-farm ^a	On-farm mean for other yield trials in the target environment
PCR-1	DF	2.1	2.5 (2.4–2.6)	0.82	0.40 (0.18–0.63)	0.70
	PHT	6.4	9.1 (7.3–11.0)	0.85	0.56 (0.44–0.68)	0.52
	TKW	5.9	5.2 (2.7–7.6)	0.80	0.61 (0.31–0.91)	0.65
	GRY	13.2	25.1 (21.6–28.6)	0.57	0.19 (0.10–0.28)	0.21
PCR-2	DF	1.9	3.0 (2.5–3.5)	0.67	0.71 (0.63–0.78)	0.61
	PHT	6.2	7.6 (7.1–8.1)	0.73	0.59 (0.44–0.78)	0.62
	TKW	5.4	6.8 (3.9–9.8)	0.81	0.78 (0.69–0.87)	0.66
	GRY	14.6	20.2 (19.1–21.3)	0.47	0.31 (0.17–0.44)	0.36

DF, days from sowing to 50% flowering; PHT, plant height (m); TKW, 1000-kernel weight (g); GRY, grain yield ($t\ ha^{-1}$).

^a Mean value and range.

ably higher than those obtained on-station, the largest differences being observed for grain yield. The Totogalpa-2008 trial evaluating PCR-1 lines was discarded for lack of precision.

Broad sense heritability was high for all variables in the on-station trials, and especially for the simple traits DF, PHT and TKW as compared with GRY. Heritability values were less consistent on-farm. They were very close to those observed on-station for TKW, about 25% lower for DF and PHT, and only half for GRY. Heritability was particularly low at Totogalpa in 2007 and Palacagüina in 2008 for GRY, and at Pueblo Nuevo in 2008 for DF. In general, heritability estimates were higher in the PCR-2 trials compared with those assessing PCR-1 lines.

3.3. Simple traits

In both populations, FoF selection produced earlier and shorter lines with slightly heavier kernels than BoS selection did (Table 6). The difference in earliness was significant both on-station and on-farm for the two populations. Differences in plant height were only significant for PCR-2 population (on-farm data). Between these two modes, we did not observe significant difference in kernel weight. There was also no difference between BoS and FoF selection regarding fodder yield and leaf/stem ratio, two important traits for dual-purpose sorghum which was a priority of the PCR-2 population (data not shown). Compared to FoF selection, BoF selection in the PCR-1 population significantly reduced plant height and increased cycle duration, with no effect on kernel weight.

3.4. Grain yield

3.4.1. On-station yields

In both schemes, BoS lines persistently produced higher yields than FoF or BoF lines (Table 7). In the PCR-1 population, BoS lines

outyielded FoF lines by 6% and BoF lines by 17%. The difference was 5 and 10% respectively when comparing the top 20% lines of each mode. BoF selection was significantly less effective than BoS selection. BoS lines also outyielded FoF lines by 12% in the PCR-2 population, considering all lines or the 20% top yielding lines.

3.4.2. On-farm yields

Grain yields were high at Pueblo Nuevo in 2007 compared to the other on-farm sites because the experimental plot combined fertile soil, favourable rainfall, high planting densities and high fertilization decided by the local FB group. BoS lines globally outyielded FoF lines in both breeding schemes, although the advantage was somehow less consistent than we observed on-station (Table 8). In the PCR-1 population, BoS lines were not significantly better than FoF lines and there was no significant difference between BoF and FoF selection. In the PCR-2 population, BoS selection was more consistently better than FoF selection, although the difference was only significant for the 20% top-yielding lines at Pueblo Nuevo in 2007 (data not shown). In general, BoS selection for yield looked more efficient than FoF selection, when the lines were tested under favourable conditions, and at least equally efficient when they were tested under less favourable conditions.

3.4.3. Yield stability

On average, the regression coefficients of BoS lines were higher than FoF lines, though not significantly, while the main BoS lines showed regression coefficients above 1 (Table 9).

In the PCR-1 population, the average grain yield of the top five BoS lines ($3.56\ t\ ha^{-1}$) was 16% higher than the FoF lines ($3.08\ t\ ha^{-1}$) and 29% higher than the BoF lines ($2.75\ t\ ha^{-1}$). On average, BoS lines performed better than FoF and BoF lines in more favourable environments and also in less favourable to very low-yield environments (lower than $0.5\ t\ ha^{-1}$) (Fig. 3). We did not observe cross-over interaction between the three selection modes

Table 6
Performance of lines derived from PCR-1 (S_{2-4} generation) and PCR-2 (S_{2-3} generation) for simple traits depending on the selection mode (station and on-farm trials, 2007).

Population	Treatment	CNIA station (2007)			On-farm environment (2007)		
		DF	PHT	TKW	DF	PHT	TKW
PCR-1	FoF	59.6	1.96	29.8	64.3	1.52	28.3
	BoS	61.9	2.06	29.8	65.6	1.56	27.8
	BoF	61.7	1.69	27.3	66.5	1.35	27.8
	Isd (5%)	1.37	0.13	1.99	1.18	8.31	1.49
	Check ^a	61.5	2.25	35.3	64.6	1.65	31.6
PCR-2	FoF	62.6	1.93	32.0	63.7	1.86	32.3
	BoS	63.7	1.99	31.0	65.4	1.96	31.1
	Isd (5%)	0.66	0.08	1.33	1.11	0.07	1.26
	Check ^a	65.1	1.74	29.0	70.4	1.65	28.5

DF, days to 50% flowering; PHT, plant height (m); TKW, 1000-kernel weight (g); FoF, farmers on-farm; BoS, breeder on-station; BoF, breeder on-farm.

^a Blanco Tortillero for PCR-1 and MACIA for PCR-2.

Table 7Grain yield (t ha^{-1}) of the S_2 lines derived from the PCR-1 and PCR-2 populations depending on the selection mode (on-station trials, 2007–2008).

Treatment	Grain yield (t ha^{-1})			
	PCR-1		PCR-2	
	CNIA-07 all ($n = 28$)	CNIA-07 20% top ($n = 6$)	CNIA-07 all ($n = 60$)	CNIA-07 20% top ($n = 12$)
FoF	5.08	6.19	4.87	5.92
BoS	5.41	6.48	5.44	6.61
BoF	4.62	5.91	–	–
<i>lsd</i> (5%)	0.47	0.22	0.31	0.30
Check ^a	6.22	6.22	5.20	5.20

n: number of lines compared for each selection mode.

FoF, farmers on-farm; BoS, breeder on-station; BoF, breeder on-farm.

(–) The lines were not evaluated.

^a Blanco Tortillero for PCR-1 and MACIA for PCR-2.

Table 8Grain yield (t ha^{-1}) of the S_2 lines derived from the PCR-1 and PCR-2 populations depending on the selection mode (on-farm trials, 2007–2008).

Treatment	Grain yield (t ha^{-1})						
	PCR-1			PCR-2			
	Totogalpa-07 ($n = 28$)	CECOOP-08 ($n = 5$)	Mean	Pueblo Nuevo-07 ($n = 60$)	Unile-08 ($n = 11$)	Palacagüina-08 ($n = 11$)	Mean
FoF	1.98	1.23	1.63	4.36	1.53	2.35	2.75
BoS	1.95	1.64	1.79	4.64	1.86	2.41	2.97
BoF	1.79	1.24	1.53	–	–	–	–
<i>lsd</i> (5%)	0.15	0.59	0.29	0.29	0.38	0.39	–
Check ^a	1.85	1.70	1.78	3.08	1.61	1.81	2.17

n: number of lines compared for each selection mode.

FoF, farmers on-farm; BoS, breeder on-station; BoF, breeder on-farm.

(–) The lines were not evaluated.

^a Blanco Tortillero for PCR-1 and MACIA for PCR-2.

in the range of the tested environments. However, as regards the performance of individual lines, FoF selection succeeded in providing the best yielding (and more stable) line in the range of 1–3 t ha^{-1} .

In the PCR-2 population, the average grain yield of the top nine BoS lines (4.04 t ha^{-1}) was also 17% higher than the FoF lines (3.46 t ha^{-1}). On average, BoS lines showed higher yield than FoF lines in favourable and intermediate environments. Cross-over interaction between two modes was observed at 1.1 t ha^{-1} (Fig. 3).

3.5. Agronomic suitability

In both schemes, the FoF lines globally achieved better IAS values (Table 10). The only exception concerned the results of CECOOP-08 for the PCR-1 lines. The superiority of FoF selection was more obvious in the case of the 20% top-IAS lines in the 2007 trials, which included a larger number of lines. FoF selection gave better results with the PCR-2 population than the PCR-1 population (based on the comparison of gains with BoS as well as the control varieties). The performance of the BoF lines was poorer than that of the FoF and BoS lines.

Table 9

Yield stability over environments of the lines derived from the PCR-1 and PCR-2 populations depending on the selection mode, measured by average value for regression coefficient and proportion of lines with regression coefficient above 1.

Selection mode	Average <i>b</i> value		<i>b</i> > 1 ^a	
	PCR-1 lines	PCR-2 lines	PCR-1 lines	PCR-2 lines
FoF	0.997 a ⁺	0.889 a	3/5	2/9
BoS	1.124 a	1.113 a	4/5	6/9
BoF	0.880 a	–	1/5	–

^a Proportion of selected lines with $b > 1$.

⁺ Means with the same letter are not significant different at $p = 0.05$ (Tukey test).

4. Discussion

4.1. Phenotypic variability

For both breeding schemes considered in this study, FoF selection carried out on-farm at on-site reduced the initial phenotypic variability as much as BoS selection. In a PPB work on cotton in Benin, Lançon et al. (2008) had shown the effectiveness of FoF selection in decreasing the genetic variability of a segregating population. However, in an earlier paper based on selection theory, Witcombe et al. (1996) predicted that PPB would better maintain or even increase genetic diversity under most circumstances. However, more recent field studies supported our results. Virk and Witcombe (2007) did not find that the rice cultivars A228 (derived from consultative PPB) and A200F (derived from collaborative PPB) conserved more intra-variety genetic diversity than varieties derived from conventional breeding. Analysing the effect of one cycle of selection, Fufa et al. (2007) concluded that there was no difference in allelic frequencies found in heterogeneous populations of barley bred by either farmers or breeders at six locations. In our work, the groups of FBs involved were fairly uniform and this limited the possibility of divergent selection between the farmers. In fact, the farmers were representatives of a broader target group farming in a small region, the size of a “municipio”, with fairly similar cropping systems. For some traits, BoF selection maintained greater phenotypic diversity between the lines produced than BoS and FoF. We predicted that BoF was less able than FoF to provide consistent selection under poor conditions, low soil fertility and heterogeneous plots.

4.2. Gains in simple traits

Despite the use of common breeding goals and criteria, FoF and BoS selection ended up with different average phenotypes. In particular, FBs tended to select earlier materials than the breeder

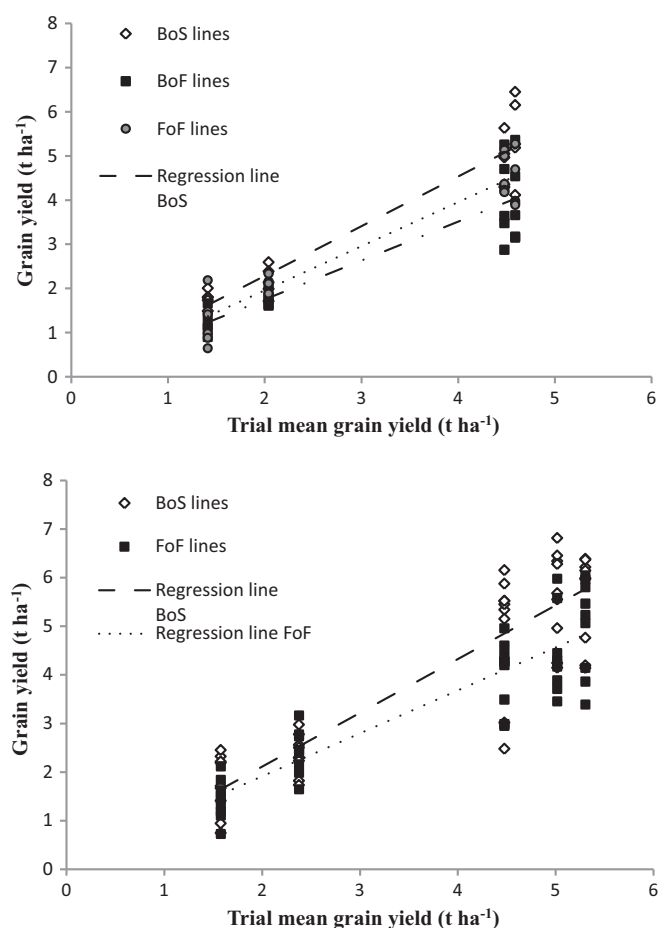


Fig. 3. Grain yield (t ha^{-1}) of individual lines at various yield levels indicated by trial means. Top: 15 PCR-1 lines tested in four on-station and on-farm environments (2006–2008). Down: 18 PCR-2 lines, tested in five on-station and on-farm environments (2007–2008).

did on-station and on-farm. Several studies showed that earliness could easily be assessed by farmers (Joshi and Witcombe, 1996; Mutatu and Zelleke, 2002; Trouche et al., 2009). As PCR-1 was targeted for the driest areas, an intense focus of FBs in favour of earliness was in line with the priorities defined initially as well as the farmers' preferences expressed during the PVS phase in this region (Trouche et al., 2009). Similar inclinations were highlighted in other farmers' breeding work implemented in drought-prone environments (Virk et al., 2003; vom Brocke et al., 2010). However, regarding the PCR-2 population, the FBs' focus on earliness was not fully in line with previously defined breeding goals and actual climatic need. Excessive focus of farmers on earliness is a frequent

bias observed in participatory breeding as already stated in various papers (Lançon et al., 2006; Sissoko et al., 2008). Often, choosing a date for a collective evaluation needs a compromise between participants' agendas: at the end, farmers can only evaluate what they see when the exercise takes place. In our experience, evaluation was generally performed before the breeding materials were fully mature. The FBs explained that they selected mature early plants, because yield and grain appearance were already settled and guaranteed at that time. They preferred not to take a bet that later varieties would have greater yield potential with adequate grain quality. On the other hand, the breeder was less attentive to earliness for at least two reasons. First, the breeder has a more in-depth and general experience of the crop and he can better predict the potential of sorghum lines at various stages. Also, he has many opportunities, especially on station, for assessing the breeding materials at the most relevant periods of their development.

In addition, our study highlighted that FoF selection was effective for decreasing plant height and, to some degree, increasing kernel size. As shown before, these two traits are highly heritable and their expression is thus little affected by on-farm conditions. In general, farmers prefer a reduced plant height that makes manual cutting of panicles easier. Where fodder use is given a high priority, as in Pueblo Nuevo area, farmers consider that shorter plants, with a high proportion of green leaves at maturity, provide fodder of higher quality.

4.3. Gains in grain yield: response to selection

The selection theory (ST) model proposed by Falconer (1989) and adapted by Bänziger and Cooper (2001) could be used as a guideline to understand the yield results observed in this study. It proposes to compute the response to selection R_T as the product between the genetic variance of the population under selection (σ_G^2), selection intensity (i), heritability in the selection environment (H_{se}^2) and the genetic correlation between selection and target environments (r_G).

In our study, the selection intensity and genetic variance were common to the three selection modes and both populations. According to the ST model, differences in responses to selection could only be attributed to differences in H_{se}^2 or r_G . As far as heritability for yield was concerned, our data indicated that it was low in the Totogalpa environment (PCR-1), intermediate in the Pueblo Nuevo environment (PCR-2) and high in the CNIA station environment. The r_G coefficient is expected to be high (close to 1) when selection and target environment are very similar and low when the two environments display large differences (considering soil fertility, climatic constraints and input levels). In our study, the r_G between on-station and on-farm environments were thus expected to be lower for the Totogalpa target environment than for the Pueblo Nuevo environment.

Table 10

IAS index of the S_2 lines derived from the PCR-1 and PCR-2 populations depending on the selection mode (on-farm trials, 2007–2008).

Treatment	Index of agronomic suitability IAS						
	PCR-1			PCR-2			
	Totogalpa-07: top 20% (n=6)	CECOOP-08 (n=5)	Mean	Pueblo Nuevo-07: top 20% (n=12)	Unile-08 (n=11)	Palacagüina-08 (n=11)	Mean
FoF	10.19	0.31	5.25	7.37	0.26	2.66	3.43
BoS	7.91	3.01	5.46	5.04	-0.92	-1.60	0.84
BoF	6.97	-1.98	2.50	-	-	-	-
<i>lsd</i> (5%)	3.08	5.75		0.58	3.42	4.72	
Check ^a	2.69	6.20	4.45	-4.20	-0.89	4.17	-0.31

n: number of lines compared for each selection mode.

FoF, farmers on-farm; BoS, breeder on-station; BoF, breeder on-farm.

(-) The lines were not evaluated.

^a Blanco Tortillero for PCR-1 and MACIA for PCR-2.

In comparison with the model, our results, which denoted a fairly consistent superiority of BoS over FoF selection for yield, showed that heritability values were highly critical in determining R_T and the r_G value between the on-station and Totogalpa environments was not as low as expected, notwithstanding the environmental differences between sites. Rationally, the calculation of narrow sense heritability values for yield in each selection environment would have provided more accurate results in predicting response to selection. Unfortunately, our study did not allow us to make these calculations. Moreover our experience let us believe that the relative importance of additive genetic variance in the total genetic variance should not be biased by the selection environment or who made the selection, thus we think that our conclusions remain valid.

This observation does not question the ability of farmers to visually identify high-yielding genotypes in stressful environments. On-farm selection for yield could probably be more advantageous when target and station environments were drastically different, as shown in participatory breeding on barley by Ceccarelli et al. (2000) or on rice by Sthapit et al. (1996).

4.4. Yield stability

Our data showed that FoF selection produced lines with globally better yield stability than those developed by BoS selection. This was in agreement with theory (Simmonds, 1991) as well as some experimental results (Ceccarelli et al., 2003; Virk et al., 2003).

In both the PCR-1 and PCR-2 populations, there was a cross-over interaction between BoS and FoF lines, showing that lines derived from FoF selection were more productive at low yield levels and less productive at high yield levels. However, for the PCR-2 lines, the cross-over point was equivalent to about 1 t ha^{-1} , which was in range with the usual yields obtained by farmers in their own fields ($0.7\text{--}2.2 \text{ t ha}^{-1}$), while it was much lower for the PCR-1 lines. In both cases, BoS selection produced higher-yielding lines, but their superiority decreased in unfavourable environments. This reminds us that breeding for productivity can be effectively conducted on-station, as long as the essential yield components for the target environment are properly expressed. Sthapit et al. (1996) reported a case in Nepal where this minimum requirement was not met. As the main station for rice breeding is situated at a low elevation, where no cold constraint exists, the conditions were too distant from the target crop environment of the highlands to be effective for breeding. To develop suitable varieties for this highland environment, breeders decided to implement an *in situ* participatory selection programme instead of opening a new station at a higher elevation.

4.5. Gains in appropriate combination of traits

Based on the IAS index, FoF selection produced a larger number of lines with a good balance between earliness, grain yield and grain size in the PCR-1 population, and between plant height and grain yield in the PCR-2 population, comparing to BoS selection. We can consider that FoF maintained the selection priorities they had initially fixed, despite some bias, such as an excessive focus on earliness in PCR-2. BoS selection tended to be more focused on grain yield and more lenient with plant height or grain size. This is in phase with the results of other studies. Gyawali et al. (2007) reported that farmers' selection lead to a superior combination of yield and earliness on rice in Nepal. In other cases, farmers' selection achieves superior combination of yield and grain quality for the market on bean in Colombia and Costa Rica (Kornegay et al., 1996; Araya-Villalobos and Hernández-Fonseca, 2006). In fact, farmers generally look for good yield in well-defined phenotypes in combi-

nation with eliminatory quality traits, as underlined by Atlin et al. (2001).

BoF selection in PCR-1 was no more successful for the IAS index than it was for yield. We think that the formal breeder was not prepared to select plants in heterogeneous plots and low-fertility soils (as occurred in the PCR-1 on-farm breeding plots). In an unfamiliar environment, a breeder cannot fully reconstruct the history of a plant and properly evaluate its genetic potential. In our case, the breeder unintentionally placed the emphasis on low plant height at the expense of productivity, because of the over-selection of short but weak plants with nice grains identified under the low-fertility soil conditions, while in this area this criterion was not so important for farmers (low weighting in the IAS index).

5. Conclusion

The main three results of these two PPB programmes on sorghum in Nicaragua could be summarized as follows:

- After two selection cycles, the selection made on-farm by farmer-breeders reduced phenotypic variability as much as the selection carried out on-station by the breeder.
- Overall, BoS selection produced lines with better yield potential even in the target environment.
- FoF selection produced more balanced genotypes, with a combination of earliness, plant height, grain size and yield closer to what was expected by farmers for coping with the local constraints.

In addition, under heterogeneous and highly restrictive conditions, BoF selection did not prove to be as effective as FoF selection, for either yield or for the IAS index.

Three lessons can be drawn from this study. Firstly, our results support the idea that a professional breeder can do a good job on-station as long as he cares understanding the constraints of target cropping systems and farmers' objectives, in order to accurately identify the resulting breeding goals and selection criteria. Secondly, we have to bear in mind that breeding on-farm faces several limitations. The participants had little control over two of those limitations, perhaps the most acute: (i) in semi-arid areas, very strong inter-annual rainfall variability may affect the accuracy or even relevance of plant selection and (ii) for complex traits such as yield, heritability is particularly low in farmers' fields. On the other hand, the study also highlighted that FBs cannot always devote enough time to this selection activity, and that the period for assessing the genetic material was fixed by compromise, what could bias its evaluation. In ideal conditions, this should be improved by a touch of FB professionalization conducive to greater autonomy for planning and managing evaluation and selection activities. Lastly, FBs may face problems in handling large segregating populations. In particular, we observed that the S_1 generation, which included a great number of progenies with high intra and inter-genetic variability, has been difficult to manage on-farm, and difficult to assess for farmers. Probably it would be more efficient if this phase was managed on-station by a professional breeder.

These limitations and the lessons we drew from them all tend to support the need of closer and more interactive collaborations between farmers and breeders. Looking for complementarities and continuous dialogue could be the best insurance for developing varieties better adapted to stress and/or specific production systems and more accepted by farmers.

Acknowledgments

We are grateful for the contribution of all the farmers who participated in these PPB activities, especially Ruben Inestroza,

Enrique Inestroza, Maria Herlinda Mejía, Juan Carlos López, Santos Luis Merlo, Ervin Morales and Santos Pleytes from the villages of Totogalpa and Pueblo Nuevo. Special thanks to Rafael Obando and Octavio Menocal of INTA, Zildghean Chow Wong of CIAT, Javier Pasquier and Irma Ortega of Cipres. We further thank Peter Biggins for the English editing of the manuscript, and Brigitte Courtois, Lauriane Rouan and François Bonnot for their scientific advices.

References

- Almekinders, C., Molina-Centeno, J., Herrera-Torrez, R., Merlo-Olivera, S.L., González-Suárez, J.M., García-Carrasco, J., 2006. Experiencias y aprendizajes del desarrollo de variedades de frijol de manera participativa en el Norte de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 17, 327–336.
- Araya-Villalobos, R., Hernández-Fonseca, J.C., 2006. Mejora genética participativa de la variedad criolla de frijol "Sacapobres". *Agronomía Mesoamericana* 17, 347–355.
- Atlin, G.N., Cooper, M., Bjørnstad, Å., 2001. A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica* 122, 463–475.
- Bänziger, M., Cooper, M., 2001. Breeding for low input conditions and consequences for participatory breeding: examples from tropical maize and wheat. *Euphytica* 122, 503–519.
- Biggs, S.D., 1989. Resource-poor farmer participation in research: a synthesis of experiences from nine national agricultural research systems. In: OFCOR-Comparative Study Paper N(3). Special series on the organization and management of On-farm client oriented research (OFCOR). International Services for National Agricultural Research, The Hague.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Tutwiler, R., Baha, J., Martini, A.M., Salahieh, H., Goodchild, Michael, M., 2000. A methodological study on participatory barley breeding. I. Selection phase. *Euphytica* 111, 91–104.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Singh, M., Michael, M., Shikho, A., Al Issa, M., Al Saleh, A., Kaleonij, G., Al Ghanem, S.M., Al Hasan, A.L., Dalla, H., Basha, S., Basha, T., 2003. A methodological study on participatory barley breeding. II. Response to selection. *Euphytica* 133, 185–200.
- Ceccarelli, S., Grando, S., 2007. Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* 155, 349–360.
- Dawson, J.C., Murphy, K.M., Jones, S.S., 2008. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. *Euphytica* 160, 143–154.
- Falconer, D.S., 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*, third ed. Longman Scientific and Technical, Burnt Mill, Harlow, England.
- Fufa, F., Baum, M., Grando, S., Kafawin, O., Ceccarelli, S., 2007. Consequences of a decentralized participatory breeding programme on changes in SSR allele frequency and diversity in one cycle of selection. *Plant Breeding* 126, 527–532.
- Gyawali, S., Sunwar, S., Subedi, M., Tripathi, M., Joshi, K.D., Witcombe, J.R., 2007. Collaborative breeding with farmers can be effective. *Field Crops Res.* 101, 88–95.
- Joshi, A., Witcombe, J.R., 1996. Farmer participatory crop improvement II. Participatory varietal selection, a case study in India. *Exp. Agric.* 32, 461–477.
- Joshi, K.D., Subedi, M., Rana, R.B., Kadayat, K.B., Sthapit, B.R., 1997. Enhancing on-farm varietal diversity through participatory varietal selection: a case study for Chaite rice in Nepal. *Exp. Agric.* 33, 335–344.
- Joshi, K.D., Musa, A.M., Johansen, C., Gyawali, S., Harris, D., Witcombe, J.R., 2007. Highly client-oriented breeding, using local preferences and selection, produces widely adapted rice varieties. *Field Crops Res.* 100, 107–116.
- Kornegay, J., Beltran, J.A., Ashby, J., 1996. Farmer selections within segregating populations of common bean in Colombia. In: Eyzaguirre, P., Iwanaga, M. (Eds.), *Participatory Plant Breeding*. 26–29 July 1995, Wageningen, The Netherlands, IPGRI, Rome, Italy. Proceeding of a workshop on Participatory Plant Breeding, pp. 99–116.
- Lançon, J., Lewicki, S., Djaboutou, M., Chaume, J., Sekloka, J., Farmer-Breeders, Assogba, L., Takpara, D., Orou Moussé, B.I., 2004. Decentralized and participatory cotton breeding in Benin: farmer-breeders' results are promising. *Exp. Agric.* 40, 419–431.
- Lançon, J., Lewicki, S., Viot, C., Djaboutou, M., Cousino, J.C., Sekloka, E., 2006. Recréer du lien dans les filières cotonnières: la sélection participative au Bénin et au Paraguay. *Cah. Agric.* 15, 92–99.
- Lançon, J., Pichaut, J.P., Djaboutou, M., Lewicki-Dhainaut, S., Viot, C., Lacape, M., 2008. Use of molecular markers in participatory plant breeding: assessing the genetic variability in cotton populations bred by farmers. *Ann. Appl. Biol.* 152, 113–119.
- Manu-Aduening, J.A., Lamboll, R.I., Ampong Mensah, G., Lamptey, J.N., Moses, E., Dankyi, A.A., Gibson, R.W., 2006. Development of superior cassava cultivars in Ghana by farmers and scientists: the process adopted, outcomes and contributions and changed roles of different stakeholders. *Euphytica* 150, 47–61.
- Martínez Sánchez, F., 2003. Análisis de los sistemas de cultivo a base de sorgo para la construcción de un programa de mejoramiento genético participativo en el departamento de Madriz, Nicaragua. MSc thesis "Développement Agricole Tropical", CNEARC, Montpellier, France. 128 p.
- Maurya, D.M., Bottrall, A., Farrington, J., 1988. Improved livelihoods, genetic diversity and farmer participation: a strategy for rice breeding in rainfed areas of India. *Exp. Agric.* 24, 311–320.
- Mulatu, E., Belete, K., 2001. Participatory varietal selection in lowland sorghum in eastern Ethiopia: impact on adoption and genetic diversity. *Exp. Agric.* 37, 211–229.
- Mutatu, E., Zelleke, H., 2002. Farmers' highland maize (*Zea mays* L.) selection criteria: implication for maize breeding for the Hararghe highlands of eastern Ethiopia. *Euphytica* 127, 11–30.
- Paul, C.L., 1990. *Agronomía del sorgo*. Icrisat. CENTA, El Salvador.
- Rosas, J.C., Gallardo, O., Jiménez, J., 2003. Mejoramiento genético del frijol común mediante enfoques participativos en Honduras. *Agronomía Mesoamericana* 14, 1–9.
- Simmonds, N.W., 1991. Selection for local adaptation in a plant breeding programme. *Theor. Appl. Genet.* 82, 363–367.
- Sissoko, S., et al., 2008. Prise en compte des savoirs paysans en matière de choix variétal dans un programme de sélection. *Cah. Agric.* 17, 128–133.
- Sperling, L., Loevinsohn, M.E., Ntabomvura, B., 1993. Rethinking the farmer's role in plant breeding: local bean experts and on station selection in Rwanda. *Exp. Agric.* 29, 509–519.
- Sthapit, B.R., Joshi, K.D., Witcombe, J.R., 1996. Farmer participatory crop improvement. III. Participatory plant breeding, a case study for rice in Nepal. *Exp. Agric.* 32, 479–496.
- Tiwari, T.P., Virk, D.S., Sinclair, F.L., 2009. Rapid gains in yield and adoption of new maize varieties for complex hillside environments through farmer participation. I. Improving options through participatory varietal selection (PVS). *Field Crops Res.* 111, 137–143.
- Trouche, G., Hocké, H., Aguirre-Acuña, S., Martínez-Sánchez, F., Gutiérrez-Palacios, N., 2006. Dinámicas campesinas y fitomejoramiento participativo: el caso de los sorgos blancos (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la región norte de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 17, 407–425.
- Trouche, G., vom Brocke, K., Aguirre, S., Chow, Z., 2009. Giving new sorghum variety options to resource-poor farmers in Nicaragua through participatory varietal selection. *Exp. Agric.* 45, 451–467.
- Virk, D.S., Singh, D.N., Prasad, S.C., Gangwar, J.S., Witcombe, J.R., 2003. Collaborative and consultative participatory plant breeding of rice for the rainfed uplands of eastern India. *Euphytica* 132, 95–108.
- Virk, D.S., Chakraborty, M., Ghosh, J., Prasad, S.C., Witcombe, J.R., 2005. Increasing the client orientation of maize breeding using farmer participation in eastern India. *Exp. Agric.* 41, 413–426.
- Virk, D.S., Witcombe, J.R., 2007. Trade-offs between on-farm varietal diversity and highly client-oriented breeding—a case study of upland rice in India. *Genet. Resour. Crop Evol.* 54, 823–835.
- vom Brocke, K., Trouche, G., Zongo, S., Abdramane, B., Barro Kondombo, C.P., Weltzien, E., Chantereau, J., 2008. Création et amélioration de populations de sorgho à base large avec les agriculteurs au Burkina Faso (Development and improvement of broad based sorghum populations with farmers in Burkina Faso). *Cah. Agric.* 17, 146–153.
- vom Brocke, K., Trouche, G., Barro Kondombo, C.P., Gozé, E., Chantereau, J., 2010. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: farmers' selection and farmers' criteria. *Field Crops Res.* 119, 183–194.
- Witcombe, J.R., Joshi, A., Joshi, K.D., Sthapit, B.R., 1996. Farmer participatory crop improvement, I: varietal selection and breeding, methods and their impact on biodiversity. *Exp. Agric.* 32, 443–460.
- Witcombe, J.R., Gyawali, S., Sunwar, S., Sthapit, B.R., Joshi, K.D., 2006. Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. II. Optional farmer collaboration in the segregating generations. *Exp. Agric.* 42, 79–90.

4. Comparaison de la création variétale participative décentralisée avec la création conventionnelle en station : I. Performance agronomique.

Conclusion

Cet article analyse et discute le progrès génétique réalisé pour des caractères agronomiques simples et le rendement grains par deux programmes de création variétale participative mis en œuvre en milieu paysan, en comparaison à celui obtenu par des programmes de sélection conventionnels. Notre étude a ainsi distingué trois modes de sélection: sélection des agriculteurs en champs paysans (FoF), sélection d'un sélectionneur professionnel (*breeder*) en station (BoS) et sélection du même breeder en champs paysans (BoF). Après deux cycles de sélection, la sélection FoF a autant réduit la variabilité phénotypique des populations de sélection que la sélection BoS. En moyenne, la sélection BoS a produit les lignées qui réalisent les meilleurs rendements en grain, à la fois en conditions favorables (station) et à un degré moindre dans les environnements paysans cibles. Ces résultats ont été confrontés à la théorie de la sélection, qui définit la réponse à la sélection selon l'équation $R_T = \sigma_G^2 \cdot i \cdot H_{se}^2 \cdot r_G$. La variance génétique de la population source σ_G^2 et l'intensité de sélection i ne variant pas entre les modes de sélection étudiées, nous en concluons que pour le caractère de rendement, les faibles valeurs d'héritabilités H_{se}^2 observées en parcelles paysannes, dues aux hétérogénéités de sol et des pratiques, pénalisent largement l'efficacité de la sélection pour ce caractère. De plus les écarts d'héritabilité entre les milieux station et champs paysans ne semblent pas « compensés » par les écarts de r_G , exprimant la corrélation génétique entre le milieu de sélection et le milieu cible, entre les deux situations de sélection, ces écarts étant probablement moins importants que ce qui était attendu. Toutefois, surtout dans le cas du schéma PCR-2, cette conclusion doit être nuancée car, dans leur sélection, les agriculteurs ont largement privilégié les plantes de taille réduite et la précocité de maturation, ce qui a été au détriment du rendement grains. Nos résultats indiquent cependant que, comparé à la sélection BoS, la sélection FoF a produit des lignées qui en moyenne montrent une meilleure stabilité de rendement dans les environnements test et obtiennent des valeurs plus élevées pour l'index *d'aptitude agronomique* (IAS), qui exprime l'équilibre recherché par les agriculteurs entre les objectifs de précocité, hauteur de plante, taille des grains et rendement grain. La sélection du breeder en milieu paysan (BoF) ne s'est pas avérée efficace que ce soit pour le rendement grains ou l'index IAS.

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://SciVerse.ScienceDirect.com)

Field Crops Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fcr

Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: II. Farmer acceptance and index of global value

G. Trouche^{a,*}, J. Lançon^b, S. Aguirre Acuña^c, B. Castro Briones^c, G. Thomas^d

^a CIRAD, UMR AGAP, Avenue Agropolis, F-34398 Montpellier, France

^b CIRAD c/o ICRAF, P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya

^c CIPRES, Pueblo Nuevo, Nicaragua

^d AGROCAMPUS OUEST, 65 rue de Saint Brieuc, CS 84215, F-35042 Rennes, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 April 2011

Received in revised form

29 September 2011

Accepted 30 September 2011

Keywords:

Participatory breeding

Farmer evaluation

Quality traits

Selection index

Sorghum

ABSTRACT

Participation of farmers in the genetic improvement of staple crops in vulnerable environments is now widely accepted as a necessary approach for enhancing the acceptance of improved varieties. Our study set out to assess the genetic gains achieved by collaborative decentralized participatory breeding programmes in comparison with those obtained by conventional breeding. The gains were estimated on farmer acceptance and combination of agronomic and quality-related traits, from three breeding programmes on *tortillero* sorghum for low-input cropping systems in northern Nicaragua. In each programme, three selection modes were compared: selection by the farmers on-farm (FoF), by the breeder on-station (BoS), and by the breeder on-farm (BoF). Our results showed that the lines produced by FoF selection were more praised by the farming community, compared to BoS and BoF selection. Comparative advantage of FoF selection was to develop higher proportion of lines with an adequate balance between agronomic traits, and with better quality traits related to grain appearance and plant type. A composite selection index, ISFA, was computed for each line as a combination of agronomic performance in the target environment, and *ex post* farmer appraisal. Based on this index, FoF selection proved again to be more efficient than BoS and BoF selection. We propose that such a selection index be used in participatory breeding programmes to improve their efficiency.

© 2011 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

For low-input agriculture in vulnerable environments whose products are generally earmarked for family consumption, the success of a new variety depends on its agronomic performance in the existing cropping systems and a combination of traits related to plant type and product quality. Farmer preferences for specific plant types, e.g. associated with adaptation to certain cropping systems or local environmental constraints, vary depending on the local production systems. Likewise, if grains or tubers are concerned, quality is a multi-component trait, including appearance (colour, shape and size), conservation and processability, and the culinary value for various local dishes. These components are often influenced by local features. This makes farmer preferences for

these quality traits and, even more so for trait combinations, difficult to assess and to integrate in a formal breeding programme. Thus, under these conditions, intense participation of farmers in the selection process is now widely considered as essential for developing appropriate varieties (Morris and Bellon, 2004; Witcombe et al., 2005; Ceccarelli and Grando, 2007).

In this respect, decentralized participatory variety selection (PVS) has proved to be highly effective for providing enhanced varieties which combine superior agronomic performance and adequate quality traits, in a shorter time and at low cost (Joshi and Witcombe, 1996; Tiwari et al., 2009; Trouche et al., 2009). However, few studies have measured the real effectiveness of decentralized breeding programmes managed by farmers from early selection generations, compared with centralized conventional breeding. In a review of twelve participatory plant breeding (PPB) programmes, Witcombe et al. (2006) concluded that collaboration with farmers at the selection stage globally showed favourable results. In comparison with formal programmes managed on-station by professional breeders, the PPB programmes seldom produced genotypes with significant higher yield, but more often with an improved balance between earliness and yield, or between yield and grain quality.

* Corresponding author. Tel.: +33 467614469; fax: +33 467615742.

E-mail addresses: gilles.trouche@cirad.fr (G. Trouche), jacques.lancon@cirad.fr (J. Lançon), segoviasciprespn@yahoo.com (S. Aguirre A.), gregoire.thomas@agrocampus-ouest.fr (G. Thomas).

¹ Previously CIRAD-CIAT collaborative project on sorghum and rice participatory breeding, CIAT Central America Regional Office, LM-172, Managua, Nicaragua.

In general, a major key to the success of a plant breeding work lies in a combination of relevant quantitative traits such as yield, cycle duration, disease and pest resistance, which contribute to agronomic performance, and farmers' criteria regarding specific quality traits, which guarantee ultimate acceptance of the variety. This issue may be addressed through the elaboration of a selection index, attributing appropriate weights to the various key traits. Such an approach has been more extensively explored for animal breeding than for plant breeding. It was first proposed by Smith (1936) and then generalized in plant breeding programmes from the eighties onwards, especially for perennial plant improvement. Selection indices are often used in single trait selection, integrating data from related traits to increase selection effectiveness for the target trait. However, when selecting for multiple traits, significant difficulties arise in assigning economic weights to the various traits (Sölkner et al., 2008). In a comparative review of selection for multiple traits in plant and animal breeding, Sölkner et al. (2008) observed that plant breeders often use non-formalized ways of combining selection pressure on various traits. For these authors, this is because it is generally difficult to estimate the economic value of each trait, as well as the genetic variances and co-variances of the traits considered. Nevertheless, empirical weighting, if judiciously applied, has also proved to be effective for meeting the selection objectives. In one of the few papers linking a selection index and farmer preferences, Sharma and Duveiller (2006) reported that a selection index, when applied in a wheat breeding programme managed on-station, based on resistance to a major disease, early maturing and high kernel weight, could simultaneously improve yields and farmer acceptance under on-farm conditions.

Beginning in 2003, several participatory sorghum breeding programmes were initiated in Nicaragua under a CIRAD-CIAT project managed in collaboration with Nicaraguan partners (Trouche et al., 2009). They set out to develop more suitable sorghum varieties for the low-input farming systems of the Northern Region, which is characterised by a semi-arid climate with highly variable rainfall, and poor soil fertility (Trouche et al., 2011). This research was conducted between professional breeders, agronomists and local farmer groups. Three of the breeding schemes were designed and implemented simultaneously by way of three selection modes: selection by a professional breeder on-station (BoS), by a professional breeder on-farm (BoF) and by farmer-breeders on-farm (FoF). In a previous paper, the agronomic performance of lines derived from these three selection modes was compared and discussed (Trouche et al., 2011). This paper first looks at *ex post* acceptance by farmers of the lines developed from each selection mode with two central questions: (i) are the lines created by FoF selection also those that are preferred by a larger community of farmers in the same region? and (ii) which agronomic and quality traits might help to explain these possible preferences? It then proposes the use of a composite selection index, combining agronomic performance and farmer acceptance, for defining the global value

of the lines derived from each selection mode, and finally discusses the advantages of such an index.

2. Materials and methods

This study considered three breeding schemes implemented to improve white-grain, non photoperiodic *tortillero* sorghum, each developed from a distinct segregating population, called PCR-1, PCR-2 and CIR-6. For simplicity, the three breeding schemes will be identified hereafter by their respective population names. Each of them was implemented by way of the three selection modes, FoF, BoS and BoF, as described above.

2.1. Partners

The participants in the sorghum breeding programmes included a professional sorghum breeder from CIRAD, two agronomists from the Cipres NGO, and three farmer-breeder groups, members of local farmer organizations, who had also participated in the PVS phase of the research project.

2.2. Breeding objectives

An iterative interaction process between the local farmer groups and the research team led to the identification of breeding goals and a ranking of the selection criteria, as described in a previous publication (Trouche et al., 2009). At each on-farm site, selection criteria were refined through discussions between the local farmer-breeders and the research team. For the breeding schemes involving the PCR-1 and PCR-2 populations, the selection criteria were detailed in a previous paper (Trouche et al., 2011). Table 1 summarizes the breeding goals defined for the target ecosystems, the sites of selection and the main selection criteria of the three breeding schemes considered in this study.

2.3. Description of the breeding schemes

A complete description of the two breeding schemes developed from the PCR-1 and PCR-2 populations was given by Trouche et al. (2011). The third breeding scheme, identified as CIR-6, was developed from a single cross made between a well-adapted local cultivar, *Sorgo Ligero*, and an improved inbred line developed in Burkina Faso, BF 94-6/11-1K-1K, selected for giving short plant type and enhanced fodder quality, as well as midge resistance (Dakouo et al., 2005). Table 2 summarizes the history and the general design of all three breeding scheme studied. In each scheme, the same quantity of seed and similar plot area were used both on-station and on-farm. At the on-farm selection sites, three to four farmers, previously involved in the PVS phase of the project, were invited to participate in the breeding programme. In Totogalpa, the selection activities of the CIR-6 and PCR-1 schemes were managed in two districts of the village with two distinct farmer groups. Before

Table 1
Breeding goals, target ecosystems, sites of selection and main selection criteria of the three breeding schemes considered in this study.

Breeding goal and target ecosystem	Schemes	Sites of selection	Selection criteria of higher priority
Grain production under low inputs cropping systems in dry areas	CIR-6 and PCR-1	CNIA station + Totogalpa	Early cycle (90 days to maturity) with drought tolerance Adaptation to low soil fertility Grain yield up to 2 t ha ⁻¹ Grain quality for auto-consumption (Tortillas and others)
Grain + fodder under intermediate intensification in more favourable areas	PCR-2	CNIA station + Pueblo Nuevo	Intermediate cycle (100–110 days to maturity) Good response to semi-intensified cropping systems Plant height = 1.5–1.8 m High fodder production with improved quality (high leaf/stem ratio) Grain yield up to 3 t ha ⁻¹ Grain quality for auto-consumption and sale

Table 2
History and design of the three breeding schemes PCR-1, PCR-2 and CIR-6.

Scheme	Source of genetic variability	Number of parents	Selection modes in comparison	Cycles of selection achieved per mode
CIR-6	Single cross	2	BoS, BoF, FoF	3: F ₂ to F ₅
PCR-1	Synthetic population	6	BoS, BoF, FoF	2: S ₀ to S ₂₋₄
PCR-2	Synthetic population	6	BoS, FoF	2: S ₀ to S ₂₋₃

BoS = breeder on-station; FoF = farmers on-farm, BoF = breeder on-farm.

starting the first selection cycle, the farmer–breeders (FB) followed a training course on the basic principles of plant breeding, as well as indications of the heritability of the main traits under selection. At the same time the FBs were also invited, in a group discussion, to define precisely the selection criteria and preferred plant types for the selection work considered. In the following cycles, these criteria were reminded in order to maintain coherence throughout the selection process. Based on these criteria, the FBs carried out their own selection along with but independently from the professional breeder (PB), who applied his own criteria defined from his knowledge of what sorghum growers need and prefer in this region. On-station, the PB used the same selection criteria and applied a similar selection intensity to that used at the on-farm sites.

2.4. Evaluation for agronomic traits of the lines derived from the three selection modes

For the three breeding schemes CIR-6, PCR-1 and PCR-2, yield trials were set up during the *postrera* season on-station and on-farm to assess the agronomic performance and farmer acceptance of the lines derived from each selection mode. In 2006 and 2007, these trials included all the progenies derived from the breeding scheme involved, or a large sample of them (up to 50%); they were planted at the CNIA station and at their respective on-farm breeding locations (Totogalpa for PCR-1 and CIR-6, and Pueblo Nuevo for PCR-2). Based on the 2007 evaluations, the 20% top lines for each selection mode were identified according to a selection index integrating agronomic performance and farmer (for on-farm selection) or breeder acceptance (for on-station selection). Only these top lines and three variety controls were included in the 2008 on-farm yield trials. For each breeding scheme, those trials were established at two sites but two of them were lost because of livestock damages. Table 3 gives a summary of the number of lines and the localization of all the on-farm yield trials managed for this study during the period 2006–2008.

The yield trials were planted in alpha-lattice designs with three replications. The harvested plots measured 4–9 m² per genotype, i.e. two 4–5-m long rows in 2007, three or four 5–6-m long rows in 2008, at the farmers' spacing.

The research team measured the following agro-morphological traits in the trials: days to 50% flowering (DF), plant height (PHT), disease and pest resistance, stay-green trait, panicle type (compact, semi-compact, loose), panicle number and panicle weight per plot, grain humidity at harvest stage and 1000-kernel weight (TKW). Grain yield (GRY) was calculated from the panicle weight per plot,

Table 3
Summary of the on-farm yield trials evaluating the lines derived of the selection modes in comparison in each breeding scheme.

Scheme	Year	Generation	Number of lines per mode	Sites of evaluation
CIR-6	2006	F ₄	18–42–22 ^a	CNIA station ^b
	2007	F ₅	10–17–12 ^a	Totogalpa
	2008	F ₅	4	San Lucas
PCR-1	2007	S ₂₋₄	30	Totogalpa + CNIA station
	2008	S ₂₋₅	6	CECOOP
PCR-2	2007	S ₂₋₃	60	Pueblo Nuevo + CNIA station
	2008	S ₂₋₄	12	Unile + Palacagüina

^a For BoS, FoF and BoF, respectively.

^b Only on-station trial used in our study because the same trial managed on-farm failed because of drought.

applying a standard 0.80 coefficient (Paul, 1990), and were assessed at 14% moisture.

2.5. Farmer evaluation and selection among lines in the yield trials

At the maturity phase, male and female farmers with recognized knowledge in sorghum production and ability to conduct careful lines evaluations were picked from the same locality and neighbouring villages as Farmer–Assessors (FA). In the first year (2007), respectively three, five and four *expert* FAs evaluate individually the complete set of lines derived from the CIR-6, PCR-1 and PCR-2 programmes included in the respective on-farm yield trials. In the second year (2008), 29 FAs participated in the lines evaluation in the field and 13 FAs (11 females and 2 males) evaluated grain quality aspects at post-harvest stage. The FBs accounted for half of the FAs in 2007, but they were a small minority in 2008. At maturity phase, the FA groups were invited to evaluate all the lines included in the trial. For this purpose, it was used a scoring method based on farmers' selection criteria as previously described by Trouche et al. (2009). In the 2007 evaluation exercises, because of the large number of lines to be assessed, the research team proposed that the FAs should only assess quality-related traits, i.e. plant type, grain appearance and forage quality. In addition they were invited to assess the overall appreciation of each line. Each line was thus scored for each of these traits on a scale of 1 (bad) to 4 (excellent), by each FA. In 2008, as fewer lines were included in the yield trials, their evaluation was carried out by small groups of 3–4 FAs. Immediately after completing the evaluation, FAs were asked to select their preferred lines. During these evaluation exercises, they had, of course, no information on the origin of the lines in assessment.

2.6. Elaboration of a composite selection index

A composite selection index, called the Index of agronomic Suitability and Farmer Acceptance (ISFA), was defined and tested in this study. It combined four quantitative agronomic traits (DF, PHT, TKW and GRY) which were quoted as most important by small sorghum growers for the target environments (Trouche et al., 2009). It also included two key qualitative variables based on farmer assessments of the lines in the yield trials: farmers' scores for the first sorghum quality trait, grain appearance in the Totogalpa area and fodder quality in the Pueblo Nuevo area as the first variable, and

Table 4

Respective weights defined for the agronomic and quality-related traits included in the calculation of the ISFAe (Tototalpa area) and ISFAM (Pueblo Nuevo) selection indices.

Index	DF	PHT	TKW	GRY	FSF	GQS	FQS
ISFAe	-3	-2	3	5	4	4	0
ISFAM	-2	-3	2	5	4	0	2

DF, days to flowering; PHT, plant height (m); TKW, thousand kernel weight (g); GRY, grain yield (t ha⁻¹); FSF, farmer selection frequency (%); GQS, grain quality score (1–4 scale) evaluated by FAs; FQS, fodder quality score (1–4 scale) evaluated by FAs; ISFA, Index of agronomic suitability and farmer acceptance.

as the second variable the frequency with which farmers selected a specific line (FSF). This index was computed as:

$$ISFA_i = \sum_j a_j * \left[\frac{x_{ij} - m_j}{s_j} \right]$$

where *i* was the line number, *x_{ij}* the phenotypic value of line *i* for trait *j*, *m_j* the mean performance and *s_j* the standard deviation of all lines for trait *j*, *a_j* is the relative weighting of trait *j* in the index, where *j* = 1–6 with 1 = DF, 2 = PHT, 3 = TKW, 4 = GRY, 5 = grain quality score (GQS, Tototalpa area) or fodder quality score (FQS, Pueblo Nuevo area) and 6 = FSF.

The weights allocated to each trait were firstly defined based on their relative importance for the adaptation to the target ecosystems and their relative importance for farmer acceptance assessed in previous studies (e.g. earliness gets a higher weight for the dry ecosystem of Tototalpa area, compared to that of Pueblo Nuevo). In the case of Pueblo Nuevo ecosystem, because of the negative correlations between the plant height preferred by farmers and the yield performance and the high positive correlation between PHT and FQS, we had to adjust the weights of GRY, PHT and FQS traits by iterative tests in order to maximize the correlation of the ISFA index with all the constitutive traits. Ultimately the final weights allocated to each trait have been arbitrated by the professional breeder. Table 4 presents the final weights defined for each agronomic and quality trait included in the ISFAe and ISFAM indices respectively, defined for the Tototalpa and Pueblo Nuevo environments.

2.7. Statistical analyses

ANOVAs based on a fixed effects model were performed with the SAS Statistical Software Package using the GLM procedure to calculate the adjusted means of the agronomic variables measured for the yield trials.

The differences between the selection modes in the proportion of the most preferred lines by farmer-assessors were tested using the Rao-Scott Chi-2 test, with the SURVEYFREQ procedure of the SAS program.

Table 5

Origin of the lines preferred by farmer-assessors, for their overall value in the field at maturity and for their grain appearance at the post-harvest stage, in the on-farm yield trials (2007–2008).

Breeding scheme	Trial	Stage of farmer evaluation	Number of lines evaluated	Number of most preferred lines ^a	Origin of most preferred lines (%)		
					BoS	FoF	BoF
CIR-6	Tototalpa_2007	Field	39	8	25	62.5	12.5
	San Lucas_2008	Field	12	3	0	66	33
PCR-1	Tototalpa_2007	Field	90	18	28	44	28
	CECOOP_2008	Field	18	5	40	20	40
Average on CIR-6 and PCR-1 schemes				34	26.5	47*	26.5
PCR-2	Pueblo Nuevo_2007	Field	120	24	42	58	NA
	Unile_2008	Field	24	6	33	67	NA
	Palacaguina_2008	Field	24	6	50	50	NA
Average on PCR-2 scheme				36	42	58*	-
PCR-1	Tototalpa_2008	Post-harvest	18	5	40	40	20
PCR-2	Unile_2008	Post-harvest	24	6	50	50	NA

BoS, breeder on-station; FoF, farmers on-farm; BoF, breeder on-farm; NA, not applicable.

^a 20% and 25% most preferred lines by farmer-assessors, for the 2007 and 2008 trials respectively.

* Significant differences between the compared selection modes detected according the Rao-Scott Chi-2 test

A correlation analysis was performed between the agronomic traits measured and the quality-related traits assessed by FAs, and calculated ISFA indices from the results of the 2007 yield trials evaluating the PCR-1 and PCR-2 lines, in order to verify the relationships between these variables in each target area.

The *t*-test of Student was used to test quantitative differences between mean values of the farmers' preferred lines and those of the BoS and FoF lines for the DF, PHT and TKW traits. The Tukey-test was used to perform mean comparisons of the 10% superior lines selected on the basis of the three selection criteria tested, GRY, FSF and ISFA, regarding performance for grain yield. For performing the correlation analyses as well as the *t*-test and Tukey-test, we have used the Xlstat statistical software, version 2009 6.02.

3. Results

3.1. Farmer evaluation of the lines derived from three different selection modes in on-farm yield trials

In the on-farm yield trials evaluating the lines created in each breeding scheme, the lines with high farmer selection frequency (FSF) scores were identified by their selection mode (Table 5).

The preferences displayed by the farmer-assessors (FAs) were globally consistent with the selection work carried out by the farmer-breeders (FBs). In six out of seven trials subjected to field evaluation, the FAs chose a larger proportion of lines derived from FoF selection (Table 5). In only one case, the CECOOP_2008 trial, did they select more lines of BoS origin. Analysing together the CIR-6 and PCR-1 trials and PCR-2 trials for all sites, significant differences were detected between the selection modes according to the results of the Rao-Scott Chi-2 test. BoS selection provided an average 23% of the CIR-6 and PCR-1 lines selected by farmers in the yield trials. It also provided 42% of the PCR-2 selected lines (resulting from only two selection modes). Based on the appraisals of CIR-6 and PCR-1 lines only, BoF selection obtained similar results to BoS selection.

In the post-harvest evaluations of threshed grains, we did not observe any difference between FoF and BoS lines for grain quality,

Table 6
Mean values and standard deviation of the 20% most preferred lines by farmer–assessors for three phenotypic traits, compared with the average BoS and FoF lines, in the yield trials evaluating the F₄ CIR-6, S₂₋₄ PCR-1 and S₂₋₃ PCR-2 lines derived from these three breeding schemes.

Breeding scheme and year	Category	DF		PHT		TKW	
		Mean ± sd	Δ ^a	Mean ± sd	Δ ^a	Mean ± sd	Δ ^a
CIR-6 (2006)	Most preferred	61.7 ± 1.4		2.04 ± 0.22		34.1 ± 3.2	
	BoS	61.9 ± 1.6	ns	2.08 ± 0.24	ns	32.8 ± 1.9	ns
	FoF	62.8 ± 1.9	ns	2.03 ± 0.26	ns	34.7 ± 2.9	ns
PCR-1 (2007)	Most preferred	63.9 ± 1.6		1.39 ± 0.17		28.6 ± 2.5	
	BoS	65.6 ± 2.4	**	1.56 ± 0.12	**	27.8 ± 2.6	ns
	FoF	64.3 ± 1.8	ns	1.52 ± 0.18	*	28.3 ± 2.5	ns
PCR-2 (2007)	Most preferred	64.1 ± 3.2		1.79 ± 0.22		31.4 ± 3.9	
	BoS	65.4 ± 3.1	ns	1.96 ± 0.21	**	31.1 ± 3.3	ns
	FoF	63.7 ± 3.0	ns	1.86 ± 0.19	ns	32.3 ± 3.6	ns

DF, days to flowering (days); PHT, plant height (m); TKW, thousand kernel weight (g); BoS, breeder on-station; FoF, farmers on-farm; BoF, breeder on-farm.

^a Comparison of the mean of most preferred lines with the mean of BoS and FoF selection modes based on *t*-test for samples of unequal size.

* *p* < 0.05.

** *p* < 0.01.

which was assessed by a group of female and male farmers through five criteria of grain appearance and hardness (Table 5).

3.2. Quantitative traits explaining farmer preferences

Table 6 compares the performance of the 20% most preferred lines (i.e. 20% top FSF lines) to the average BoS and FoF lines at the F₄ or S₂ generation stage.

Highly significant differences were observed between the mean values of 20% most preferred lines and BoS lines on DF and PHT traits and on PHT trait, respectively for the PCR-1 and PCR-2 programmes (Table 6). Significant differences between the mean values of 20% preferred lines and FoF lines were only recorded for PHT trait in the PCR-1 programme. The three categories of lines did not deviate significantly for the TKW trait. These results show that, on average, farmer–assessors, farmer–breeders and the professional breeder did not diverge much in prioritizing selection and evaluating the criteria that affected each of these quantitative traits.

Nevertheless, as regards all three breeding schemes, FAs tended to select earlier lines with reduced plant height, compared to the average phenotypes produced by BoS selection. All traits combined, the lines most appreciated by FAs looked phenotypically closer to those produced by FoF selection.

3.3. Qualitative traits related with farmer preferences

For the three breeding schemes, FoF lines were given the highest proportion of good or excellent scores for most of the qualitative traits evaluated (Table 7). Compared to BoS selection, this advantage of FoF selection was more obvious for more defined traits such as grain appearance and plant type than it was for the complex overall appreciation trait (Table 7).

Table 7
Proportion of lines with a score equal to or over 3, on a scale of 1–4, for four qualitative criteria assessed in the 2007 farmer evaluations in the on-farm trials.

Qualitative trait	Population source	Site/year	Number of lines tested per mode	Origin of lines (%)		
				BoS	FoF	BoF
Grain appearance	CIR-6	Tototalpa-2007	10–16	65	86	76
	PCR-1	Tototalpa-2007	30	42	48	39
	PCR-2	Pueblo Nuevo-2007	60	48	60	NA
	Together			51	65	–
Plant type	PCR-2	Pueblo Nuevo-2007	60	35	47	NA
Fodder quality	PCR-2	Pueblo Nuevo 2007	60	52	53	NA
Overall appreciation	CIR-6	Tototalpa-2007	10–16	43	35	38
	PCR-1	Tototalpa-2007	30	26	33	29
	PCR-2	Pueblo Nuevo-2007	60	17	23	NA
	Together			29	30	–

BoS, breeder on-station; FoF, farmers on-farm; BoF, breeder on-farm; NA, not applicable.

FoF lines were favoured by FAs for different reasons depending on the breeding scheme. In CIR-6, FoF lines were most praised for their grain appearance, as well as their fodder aspect (not shown). In PCR-1, FoF lines were preferred for their grain appearance (mainly size, colour and glume openness) and the combination of earliness, grain aspect and grain yield, which mainly determined the overall appreciation score. In PCR-2, the preference in favour of FoF lines was mainly due to a superior plant type and a better balance between agronomic and quality-related traits, as expressed by the overall appreciation score.

3.4. Combining quantitative and quality traits in a selection index

In order to combine agronomic performance and farmer preferences on quality-related traits in a single parameter, we computed the ISFA selection index as described in Section 2.

The correlation analysis performed for the variables measured in the 2007 PCR-1 and PCR-2 yield trials indicated that the farmer preference score for a line, expressed by FSF, was not correlated with the measured grain yield (Table 8). FSF was correlated with plant height (PHT) and with the farmers' appreciation scores for grain and fodder quality in both PCR-1 and PCR-2, and with the cycle to flowering (DF) for PCR-1 only. For both PCR-1 and PCR-2, the ISFA indices were closely linked with all the agronomic and quality traits, except with PHT for PCR-1 and thousand kernel weight (TKW) for PCR-2. This was consistent with previous observations which identified PHT and TKW as secondary selection criteria for the Tototalpa and Pueblo Nuevo areas respectively.

Table 9 compares the average grain yield and the proportion of the 10% most preferred lines, depending on the use of three selection variables: grain yield, FSF and the ISFA index. These data were obtained from the 2007 on-farm yield trials and combined

Table 8

Phenotypic correlations between three candidate selection variables, GRY, FSF and ISFA index and seven quantitative and qualitative traits measured in the 2007 on-farm yield trials evaluating the PCR-1 and PCR-2 lines.

Selection variable	DF	PHT	TKW	GRY	FSF	GQS	FQS
GRY	ns\ ns	ns\ 0.47**	ns\ ns	1	ns\ ns	ns\ ns	no\ ns
FSF	-0.39**\ ns	-0.32**\ -0.28**	ns\ ns	ns\ ns	1	0.52**\ 0.49**	no\ 0.36**
ISFA index	-0.60**\ 0.22*	ns\ -0.39	0.43**\ ns	0.46**\ 0.36**	0.72**\ 0.67**	0.76**\ 0.50**	no\ 0.49**

Correlations on the left correspond to PCR-1 lines and correlations on the right correspond to PCR-2 lines. no = trait not observed, ns = correlation not significant. DF, days to flowering; PHT, plant height (m); TKW, thousand kernel weight (g); GRY, grain yield ($t\ ha^{-1}$); FSF, farmer selection frequency (%); GQS, grain quality score (1–4 scale) evaluated by FAs; FQS, fodder quality score (1–4 scale) evaluated by FAs; ISFA, Index of agronomic suitability and farmer acceptance.

* $p < 0.05$.

** $p < 0.01$.

the various selection modes in each breeding scheme. Using grain yield as the selection variable would lead to yield improvement but it would not capture most of the farmers' preferred lines, i.e. none of the 10% most appreciated lines from PCR-1 programme and only one out of five and two out of twelve in the case of the CIR-6 and PCR-2 programmes. Conversely, using only FSF to select lines would cause a significant yield reduction in the selected lines in two of the three breeding schemes, compared to the grain yield variable (average 22% loss). On the other hand, the ISFA variable would limit the yield reduction to about 10% while retaining 50–60% of the farmers' preferred lines. Finally, based on the relevance of the ISFA selection index demonstrated by the preceding correlation results, we found that FoF selection gave persistently the higher proportion of the 10% top-ISFA lines in the three breeding schemes (Fig. 1).

4. Discussion

In a previous paper, which dealt with a comparison of the agronomic performance of lines developed on-farm by farmer–breeders (FBs) versus lines developed, both on-station and on-farm, by a professional breeder, Trouche et al. (2011) concluded about the breeding schemes managed from both the PCR-1 and PCR-2 populations that: (1) the breeder's selection on-station produced lines with higher grain yield even in the target environments, (2) the farmers' selection on-farm produced lines with a combination of earliness, plant height, grain size and grain yield corresponding more to the farmers' expectations for coping with local constraints, (3) the breeder's selection on-farm did not perform as well as the farmers' selection, for either grain yield alone or for agronomic trait combination.

The discussion of this paper focuses on two more relevant results based on *ex post* evaluation of the lines by farmer–assessors (FAs) and a final combination of agronomic and quality-related traits, for the three breeding schemes analyzed: (1) the concordance of

selection criteria used by FAs and FBs and (2) the effectiveness of on-farm FB selection for combining the relevant quantitative agronomic traits and quality related traits.

4.1. Coherence of farmer–breeders' selection with farmer–assessors' preferences

The FAs chose more lines from those derived from FB selection than those derived from the professional breeder's selection. Thus, the selection performed on-farm by small groups of experienced FBs was more coherent with the preferences expressed by FAs, which represented a larger number of male and female farmers representative of the target regions. vom Brocke et al. (2010) reached the same conclusion in another PPB sorghum programme developed in Burkina-Faso: they found that FAs clearly preferred the progenies selected by FBs on-farm in the preceding cycle, compared to the progenies selected by a professional breeder on-station. The authors attributed it to divergent selection preferences for plant and panicle types as well as grain appearance between the professional breeder and farmers.

However, in one situation of our study, the PCR-1 CECOOP.2008 trial, FAs mostly selected lines which did not derive from FB selection. Such a divergence may have been due to high environmental differences between the evaluation and selection sites, the Togo-galpa area (selection site) being drier and less fertile than the Pueblo Nuevo area (evaluation site) and the hierarchy of criteria also being fairly different between the two sites. On the other hand, despite these global trends, BoS or BoF selection should not be considered any less, as they both provided superior lines for grain yield and some of the lines most preferred by the farmers.

In the case of Burkina Faso, vom Brocke et al. (2010) described sorghum grain quality as complex, variable and difficult to assess by scientists and emphasized that the usual traits formal breeders observe do not fully correspond to farmers' perceptions of grain quality. In our study, FA assessment of grain quality revealed differences in the field evaluations but did not show any difference in the post-harvest evaluations between the BoS and FoF lines. However, the second evaluation, while being more complete, only concerned the few best lines derived from each selection mode, which probably explains this absence of differences. Moreover, the professional breeder in this study had long-standing interactions with farmers and had thus the opportunity to obtain good knowledge of farmer preferences, which favoured the development of lines presenting an adequate grain quality.

4.2. Effectiveness of farmer–breeders in selecting for the expected combination of quantitative agronomic and quality-related traits

For both the PCR-1 and PCR-2 schemes, FoF selection proved to be more efficient than BoS selection in developing the specific sorghum morphotypes expected by farmers (Trouche et al., 2011). Such phenotypes need to combine adequate earliness to mitigate drought risk, moderate plant height to ease harvest and prevent

Table 9

Average grain yield and percentage of the 10% most preferred lines identified on the basis of (i) grain yield, (ii) FSF, or (iii) ISFA selection variables (calculated from the 2007 on-farm yield trials evaluating the CIR-6, PCR-1 and PCR-2 lines).

Breeding programme	Selection variable for identifying the 10% superior lines	GRY ($t\ ha^{-1}$)	% Lines among the 10% most preferred
CIR-6	Grain yield	1.90 a*	1/5
	FSF	1.61 a	5/5
	ISFAe	1.69 a	3/5
PCR-1	Yield	2.45 a	0/9
	FSF	1.86 b	9/9
	ISFAe	2.12 b	5/9
PCR-2	Yield	6.10 a	2/12
	FSF	4.56 b	12/12
	ISFAm	5.51 a	6/12

GRY, grain yield ($t\ ha^{-1}$); FSF, farmer selection frequency (%); ISFA, index of agronomic suitability and farmer acceptance.

* Means with the same letter are not significantly different based on Tukey test ($p < 0.05$).

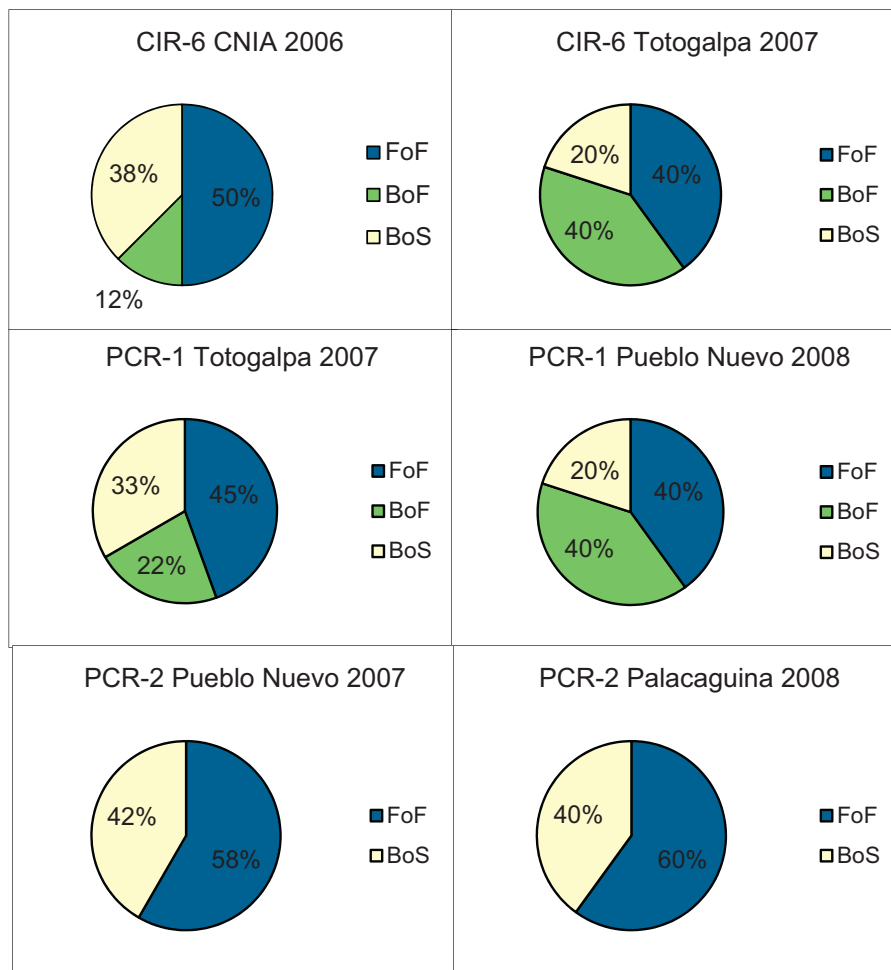


Fig. 1. Origin of the 10% top lines considering the ISFA selection index, computed from the results of the yield trials evaluating the lines derived from the CIR-6, PCR-1 and PCR-2 breeding schemes. BoS, breeder on-station; FoF, farmers on-farm; BoF, breeder on-farm. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of the article.)

lodging, and good yield potential. Even when applying the same selection objectives, differences between the PB and the farmers remain, in particular for the release threshold that is set for their respective selections. The PB hesitates to discard plants or progenies which are higher or which are later than the target phenotype, especially when they show excellent productivity, whereas the farmer has less qualms about discarding progenies. Our paper adds that FoF selection was also the most efficient for taking into account grain appearance as a whole at field level. Preferred grains have a good size (up to 30 g for TKW), a white or cream colour, little grain discoloration, good openness of glumes with low adherence with grains, and no “aguante” dust as described by Trouche et al. (2009). Preferred plant traits for use as fodder include stems of intermediate thickness, high leaf/stem ratio with dense foliage. For the professional breeder, even after several years with a close collaboration with farmers, some of these traits, e.g. the last two components of grain aspect, were difficult to assess on a single plant basis. This might explain the superiority of farmer selection for these traits. Finally, for each of the three breeding schemes considered in our study, FoF selection produced a higher proportion of lines with high ISFA values, i.e. adequately combining agronomic traits and farmers' final acceptance.

Our study is in line with several others. Kornegay et al. (1996) reported that farmer selection in early segregating generations produced bean lines with a superior combination of productivity and

quality for the market. In a participatory breeding scheme conducted on-farm from the F_3 generation onwards, Araya-Villalobos and Hernández-Fonseca (2006) reported that farmers obtained a bean line with improved plant architecture, better adapted to humid conditions and cultural practises, an earlier cycle, better grain appearance for market requirements and slightly higher yield than the local cultivar Sacapobre, from which it was derived. Manu-Aduening et al. (2006) noticed also that farmer selection in half-sib families of cassava was equal or better than the breeder's selection for yield and quality components. Contrary to the present study, Ceccarelli et al. (2001) found in Syria that selection for yield was more efficiently done on-farm by farmers than on-station by professional breeders. We think that this result could be attributed to much greater divergence between on-station and on-farm growing conditions than in our case.

4.3. Advantages of a composite selection index for balancing agronomic performance and farmer acceptance

The elaboration and use of selection indices in plant breeding are increasingly common. Based on key physiology, phenology and/or resistance traits which are low susceptible to genotype-by-environment interactions, such selection indices can make selection more efficient for enhancing yield under stressful environments (Chandra et al., 2003; Sharma and Duveiller, 2006; Iqbal

et al., 2007). Nevertheless, in stress prone marginal environments, farmers' cropping systems and production goals are diverse and, as a consequence, their preferences for quality traits are also diverse. Despite all the care taken to understand farmers' preferences in such environments, a professional breeder may experience more difficulties than expert farmers in evaluating specific traits related to grain quality or plant type. In fact, it is a true challenge for a professional breeder to integrate into a conventional breeding programme the diversity of quality-related traits that may arise from various cropping systems and production goals. Decentralized and participatory breeding can be very helpful in addressing this diversity. With such an approach, the use of a selection index combining agronomic performance and farmer preferences for key qualitative traits could considerably improve the accuracy of lines selection, especially at the stage of preliminary yield trials managed on-farm. Indeed, those often evaluated a high number of lines on small plots under relatively heterogeneous soil conditions, which can lead to inaccurate yield estimation. In this project, we have observed that, in these heterogeneous conditions, local farmers identify quite well, and probably better than the breeder, what is the effect of the microenvironment and what is the effect of the genotype for achieving yield performance. By rebalancing the measurements of yield and other quantitative traits, by farmer appreciation, we think that ISFA index could also help to identify more accurately the best materials at this stage. This emphasizes again the virtue of collaboration between scientists and farmers. Both mobilize different kinds of knowledge and they take advantage to share it for producing better cultivars than either group cannot produce alone.

4.4. Lessons of these experiences and implications for future participatory breeding programmes managed on-farm

Several lessons can be drawn from these decentralized PPB experiences conducted on sorghum as a food-feed crop in Nicaragua.

In our opinion, a key factor explaining the success of the PPB programmes in Nicaragua was the quality and more the stability of a close collaboration between the local farmer groups, the NGO agronomists, and the professional breeders, supported by stable funding. In that case this collaboration lasted about eight years, exceeding the usual term of most research projects in this area. Furthermore all partners showed high continuous motivation for conducting this research. The initial choice made by the scientists to implement this project with farmer groups previously organized and presenting strong experience in agronomic experimentation probably explain their capacity to appropriate the issues of the programme and thus their permanent motivation. The permanent support of the INTA national sorghum programme, through agreements with both the CIAT-CIRAD project and CIPRES institution, for the on-station breeding activities as well as in the formal process of variety registration was determinant for both scientific and impact issues.

Until to date few professional breeders (PB) of the public institutions are involved in PPB programmes. The majority of these breeders still consider the decentralized PVS approach, using advanced lines or varieties developed on-station under controlled conditions, to be more efficient and cost-effective than the on-farm PPB approach. The latter represents, in their view, situations with excessive vulnerability respect to risks of various kinds (e.g. climatic accident, animal damages or human error), as well as selection environments with low heritability, what would always limit the expected genetic gains on complex trait such as yield. We hope that our results, as well as those of other recent documented PPB programmes, will help change these views and the image of PPB approach in general. Other reasons why PBs are less likely to be involved in PPB programmes may be that managing

PPB programmes with farmers requires more time and sometimes more funds, at least at the beginning, than the equivalent on-station breeding programmes, e.g. for travels to the on-farm sites, meetings and training sessions with the farmer–breeders. Furthermore, PBs engaged in PPB research often face difficulties in getting their original scientific papers published as well as lesser opportunities for fund-raising, which are currently mainly geared towards molecular biology and genomics. It is hoped that these two last constraints will be exceeded in the near future.

5. Conclusion

The selection work carried out on-farm by small groups of farmer–breeders (FoF) in three *tortillero* sorghum breeding programmes, focused on well-defined breeding goals, has been evaluated by analysing the ultimate acceptance by farmers and the combination of agronomic and qualitative traits. Three major results deserve attention. The lines developed by FoF received better acceptance from a wider group of farmers compared to those developed by the breeder on-station and on-farm. These lines generally showed a better combination of major agronomic traits, depending on environmental constraints and production priorities, and also specific quality traits related to grain appearance and plant type. Lastly, they also performed better for the ISFA selection index, which combined agronomic performance in the targeted cropping conditions with the farmers' ultimate acceptance.

In breeding for marginal stress prone environments, as was the case in our study, the use of such a composite selection index should help in identifying genetic material responding both to agronomic gains and farmer acceptance. The individual traits included in the index should reflect the range of sometimes contradictory breeding goals, such as productivity, adaptation to environmental or cropping constraints, and typical quality requirements. The weights given to the traits should take into account their agronomic, cultural and economic value.

Finally, it should be remembered that PPB programmes need long-term institutional commitment and continuous dialogue between scientists, NGOs and farmers in order to achieve successful results and a positive impact as shown by Vaughan and Lançon (2010), for example. This is particularly difficult to achieve with very poor communities, as their contribution in labour, land or inputs during the research process might be very limited. In this case, external resources will have to be found to ensure their long-term commitment.

Acknowledgments

We are grateful for the contribution of all the farmers who participated in these PPB activities, especially Ruben Inestroza, Enrique Inestroza, Maria Herlinda Mejía, Juan Carlos López, Narciso Perez, Armando García, Enrique Lopez, Domingo Gomez, Santos Luis Merlo, Ervin Morales and Santos Pleytes from the villages of Totogalpa and Pueblo Nuevo. Special thanks to Rafael Obando and Nury Gutiérrez of INTA, Zildghean Chow Wong of CIAT, Javier Pasquier and Irma Ortega of CIPRES. We further thank Peter Biggins for the English review of the manuscript, and Kirsten vom Brocke, Jacques Chantreau and Tuong-Vi Cao-Hamadou for their scientific advice.

References

- Araya-Villalobos, R., Hernández-Fonseca, J.C., 2006. Mejora genética participativa de la variedad criolla de frijol Sacapobres. *Agron. Mesoamer.* 17, 347–355.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Bailey, E., Amri, A., El-Felah, M., Nassif, F., Rezgui, S., Yahyaoui, A., 2001. Farmer participation in barley breeding in Syria, Morocco and Tunisia. *Euphytica* 122, 521–536.

- Ceccarelli, S., Grando, S., 2007. Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* 155, 349–360.
- Chandra, S., Nigam, S.N., Cruickshank, A.W., Bandyopadhyaya, A., Harikrishna, S., 2003. Selection index for identifying high-yielding groundnut genotypes in irrigated and rainfed environments. *Ann. Appl. Biol.* 143, 303–310.
- Dakouo, D., Trouche, G., Bâ, N.M., Neya, A., Kabore, B.K., 2005. Lutte génétique contre la cécidomyie du sorgho, *Stenodiplosis sorghicola*: une contrainte majeure à la production du sorgho au Burkina Faso. *Cah. Agric.* 14, 201–208.
- Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D.F., Yang, R.-C., Spaner, D., 2007. Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. *Plant Breed.* 126, 244–250.
- Joshi, A., Witcombe, J.R., 1996. Farmer participatory crop improvement. II. Participatory varietal selection, a case study in India. *Exp. Agric.* 32, 461–477.
- Kornegay, J., Beltran, J.A., Ashby, J., 1996. Farmer selections within segregating populations of common bean in Colombia. In: Eyzaguirre, P., Iwanaga, M. (Eds.), *Participatory Plant Breeding. Proceeding of a Workshop on Participatory Plant Breeding*, 26–29 July 1995, Wageningen, The Netherlands, IPGRI, Rome, Italy, pp. 99–116.
- Manu-Aduening, J.A., Lamboll, R.I., Ampong Mensah, G., Lamptey, J.N., Moses, E., Dankyi, A.A., Gibson, R.W., 2006. Development of superior cassava cultivars in Ghana by farmers and scientists: the process adopted, outcomes and contributions and changed roles of different stakeholders. *Euphytica* 150, 47–61.
- Morris, M.L., Bellon, M.R., 2004. Participatory plant breeding research: opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica* 136, 21–35.
- Paul, C.L., 1990. *Agronomía del sorgo*. Icrisat, CENTA, El Salvador.
- Sharma, R.C., Duveiller, E., 2006. Farmer participatory evaluation confirms higher grain yields in spring wheat using a selection index for spot blotch resistance, maturity and kernel weight. *Euphytica* 150, 307–317.
- Smith, H.F., 1936. A discriminant function for plant selection. *Ann. Eugen.* 7, 240–250.
- Sölkner, J., Grausgruber, H., Mwai Okeyo, A., Ruckebauer, P., Wurzinger, M., 2008. Breeding objectives and the relative importance of traits in plant and animal breeding: a comparative review. *Euphytica* 161, 273–282.
- Tiwari, T.P., Virk, D.S., Sinclair, F.L., 2009. Rapid gains in yield and adoption of new maize varieties for complex hillside environments through farmer participation. I. Improving options through participatory varietal selection (PVS). *Field Crops Res.* 111, 137–143.
- Trouche, G., vom Brocke, K., Aguirre, S., Chow, Z., 2009. Giving new sorghum variety options to resource-poor farmers in Nicaragua through participatory varietal selection. *Exp. Agric.* 45, 451–467.
- Trouche, G., Aguirre Acuña, S., Castro Briones, B., Gutiérrez Palacios, N., Lançon, J., 2011. Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: I. Agronomic performance. *Field Crops Res.* 121, 19–28.
- Vaughan, G., Lançon, J., 2010. Participatory depression: a caveat for participatory research approaches. In: *ISDA 2010, Innovation et développement durable dans l'Agriculture et l'Agroalimentaire*, Montpellier, France, 28 juin – 1er juillet 2010, Cirad.
- vom Brocke, K., Trouche, G., Weltzien, E., Barro Kondombo, C.P., Gozé, E., Chantereau, J., 2010. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: farmers' selection and farmers' criteria. *Field Crops Res.* 119, 183–194.
- Witcombe, J.R., Joshi, K.D., Gyawali, S., Musa, A.M., Johansen, C., Virk, D.S., Sthapit, B.R., 2005. Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. I. Four indicators of client-orientation in plant breeding. *Exp. Agric.* 41, 299–320.
- Witcombe, J.R., Gyawali, S., Sunwar, S., Sthapit, B.R., Joshi, K.D., 2006. Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. II. Optional farmer collaboration in the segregating generations. *Exp. Agric.* 42, 79–90.

5. Comparaison de la création variétale participative décentralisée avec la création conventionnelle en station : II. Acceptation par les agriculteurs et index de valeur globale.

Conclusion

En analysant le progrès génétique réalisé par trois programmes de création variétale participative en milieu paysan sous l'angle de l'acceptation *ex post* par les producteurs et d'une valeur globale des lignées produites, ce projet d'article constitue le complément de l'article précédent. Il montre que la sélection des agriculteurs-sélectionneurs en milieu paysan (FoF) a généré la plus grande proportion des lignées préférées par une communauté plus large d'agriculteurs-évaluateurs, par rapport aux sélections du sélectionneur professionnel en station (BoS) et en milieu paysan (BoF). Cette préférence pour les lignées FoF est notamment expliquée par de meilleures qualifications pour le type de plante et l'aspect du grain. Pour recombinaison la performance agronomique dans les conditions de culture cible et l'appréciation des agriculteurs, un index de sélection composite ISFA a été élaboré. Cet index intègre quatre variables agronomiques, la durée de cycle, la hauteur de plante, la grosseur des grains et le rendement grains, ainsi que deux variables qualitatives d'importance majeure et régulièrement évaluées par les agriculteurs dans les essais variétaux de rendement, une note de qualité des grains (région de Totogalpa) ou de valeur du fourrage (région de Pueblo Nuevo) et la fréquence de sélection par les agriculteurs (FSF). Les coefficients attribués aux différentes variables prises en compte dans l'index ont été déterminés empiriquement par le sélectionneur, sur la base de leur contribution relative pour atteindre les objectifs d'adaptation, de performance et de qualité définis par les agriculteurs pour les deux agrosystèmes étudiés. Sur la base de cet index ISFA, qui prétend estimer un progrès génétique global, la sélection FoF a de nouveau montré son efficacité en produisant la plus haute proportion des lignées de meilleures valeurs d'index, c'est-à-dire celles qui s'approchent de la combinaison recherchée entre la performance agronomique et les critères de qualité requis par les agriculteurs.

6. Bilan des deux stratégies de création variétale participative décentralisée testées

6.1. Analyse comparative des résultats obtenus par les deux stratégies de création variétale participative

Comme détaillé dans le chapitre matériels et méthodes, le projet de recherche sur la sélection participative du sorgho conduit dans la région Nord du Nicaragua a successivement testé trois stratégies de sélection conduites selon une approche participative et décentralisée:

- la sélection variétale participative exploitant une gamme diversifiée de lignées améliorées et cultivars traditionnels exotiques, en majorité d'origine africaine (PVS) ;
- la création variétale participative développée à partir de croisements simples entre des cultivars locaux et des lignées africaines (PPBa) ;
- la création variétale participative développée à partir de populations synthétiques formées par l'intercroisement de 6-8 cultivars élites (PPBb).

Dans ce chapitre nous proposons une analyse comparative des résultats obtenus par les deux stratégies PPB sur la base des données disponibles à la fin de la campagne agricole 2008. Cette analyse est effectuée selon deux points de vue :

- gains génétiques apportés par les meilleures lignées issues de chaque stratégie par rapport à des variétés témoin ;
- comparaison directe, dans des essais communs, de la performance moyenne des 20% meilleures lignées produites par chaque stratégie.

Il convient de préciser ici que les résultats complets et détaillés issus des programmes PPBa considérés dans notre étude ainsi que certains enseignements tirés de ces travaux, ne sont pas inclus dans le cadre de cette thèse car ils seront présentés dans un article dont le premier auteur sera Silvio Aguirre du CIPRES, à soumettre en 2011 à la revue *Agronomía Mesoamericana*.

Matériel et méthodes

Evaluation du progrès réalisé par les stratégies PPB et PVS par rapport à des variétés témoin

Pour les lignées issues des programmes PPBa et PPBb, les données utilisées dans cette analyse proviennent des essais préliminaires de rendement mis en place au cours des cycles agricoles 2007 et 2008, selon un plan expérimental alpha-lattice avec trois répétitions. Comme élément de référence, car une analyse comparative directe ne nous a pas semblé très pertinente, nous avons également mis en relation les résultats des programmes PPB avec ceux atteints avec la stratégie PVS développée de 2002 à 2005. Pour cela, nous avons exploité des données provenant de deux types d'essais : i) les essais de rendement en petites parcelles (6 à 20 m²), de taille comparable à celles des essais évaluant les lignées PPB en 2007 et 2008, implantés selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec deux à trois répétitions semées dans le même champ (période 2002 à 2005) et ii) les parcelles de validation en grandes parcelles (200 à 500 m²) conduites en blocs dispersés (1 champ = 1 bloc).

Comparaison des lignées issues des deux stratégie PPB à partir d'essais communs

Les données exploitées proviennent de trois essais implantés dans deux localités de la région Nord en 2007 et 2008. Pour ce travail, au total cinq essais avaient été mis en place mais deux d'entre eux ont été éliminés de cette analyse à cause de leur manque de précision (hétérogénéités de développement dues à des pluies très abondantes juste après les semis). En 2007, ces essais ont inclus les 20% meilleures lignées, issues des programmes PCR1 (génération S_{2-4}), CIR-1 (génération F_6) et CIR-6 (génération F_5), tous mis en œuvre par les agriculteurs en milieu paysan dans le département de Madriz, en comparaison avec trois variétés commerciales utilisées comme témoins (Blanco Tortillero, Sorgo Ligero et Tortillero Precoz). Pour chaque programme, les 20% lignées supérieures avaient été identifiées sur la base de la valeur de l'index de sélection composite ISFA, calculé à partir des données agronomiques et évaluations par les producteurs mesurées dans les essais conduits en 2006. En 2008, ces essais comparatifs incluaient les cinq meilleures lignées des trois programmes précédents plus celles du programme PCR-2, à nouveau identifiées sur la base de la valeur de l'index de sélection ISFA, cette fois-ci calculé à partir des résultats des essais 2007. Le dispositif expérimental utilisé pour ces essais comparatifs était un alpha-lattice avec 3 répétitions, avec des parcelles élémentaires utiles de 2 lignes de 5 m (5×12 m² suivant les écartements appliqués).

Pour tous ces essais, les caractères agronomiques mesurés ont été la durée de cycle à floraison (jours), la hauteur de plante (m), la résistance aux maladies et à la verse, le rendement en grains (tha^{-1}) et le poids de 1000 grains (g). En complément, les lignées ont été systématiquement évaluées par un panel d'agriculteurs et agricultrices-évaluateurs, à une période comprise entre le stade grain pâteux et la maturité physiologique.

Résultats

Le tableau 6.1 présente le rendement en grains et la fréquence de sélection (FSP) moyens obtenus par les trois meilleures lignées issues des quatre programmes PPB étudiés. Le tableau 6-2 présente les résultats moyens des 20% meilleures lignées issues des trois programmes PPB mis en œuvre dans le département de Madriz (sites Totogalpa + Somoto) pour cinq variables mesurées dans des essais communs conduits en milieu paysan en 2007 (1 essai) et 2008 (2 essais).

Tableau 6-1: Rendement grains (t ha⁻¹) et gain de rendement moyens par rapport à des variétés témoins, et valeurs FSP des lignées produites par quatre programmes PPB conduits dans la région Nord du Nicaragua.

Stratégies/programme	Identification des lignées	Nombre de comparaisons	Rendement grain (t ha ⁻¹)		FSP (%)	
			Moyenne	Gain versus témoin (%) ^a	Moyenne	Valeur du témoin ^a
PVS	Blanco Tortillero	21 validat. 14 essais	1.70 2.35	+36 +16	ne 94	ne 42
	Oro Alto	17 validat. 5 essais	1.36 2.64	+9 +23	ne di	ne di
	CIR-1/OG2-4G-1P	5	3.06	+43	50	6
	CIR-1/GT1-1G-1P CIR-1/OG6-3P-1P Moyenne	4 5	2.62 2.97 2.88	+34 +39 +39	66 45 54	
PPBa/ CIR-6	CIR-6/106P-1P-2P	3	2.02	+16	74	11
	CIR-6/1P-1P-1P	4	2.20	+26	49	
	CIR-6/27P-1P-1P	4	2.07	+19	61	
	Moyenne		2.10	+20	61	
PPBb/PCR-1	PCR-1>39P	5	2.09	+21	22	17
	PCR-1>52P	5	1.99	+15	34	
	PCR-1>60P	5	2.10	+22	24	
	Moyenne		2.06	+20	27	
PPBb/ PCR-2	PCR-2>19P-2-M	3	3.03	+40	53	62
	PCR-2>82P-1-M	3	3.02	+39	22	
	PCR-2>74P-1-M	3	2.31	+6	60	
	Moyenne		2.79	+28	45	
Moyenne stratégie PVS			2.50	+20	94	
Moyenne stratégie PPBa			2.49	+30	58	
Moyenne stratégie PPBb			2.43	+24	36	

^a variété commerciale témoin INTA : Tortillero Precoz et Macia (seulement pour PCR-2) ; ne= non évalué ; di : données incomplètes
FSP= fréquence moyenne de sélection de la lignée par les producteurs évaluateurs dans les essais en milieu paysan

Tableau 6-2: Rendement grain (t ha⁻¹), durée de cycle à floraison (j), poids de 1000 grains (g) et valeurs FSP et ISFA des 20% meilleures lignées issues de trois programmes PPB conduits dans la région Nord du Nicaragua, mesurés dans des essais communs (2007-2008).

Caractères	Année et nombre d'essais	Effectifs lignées par prog.	CIR-1	CIR-6	PCR-1	Témoins	Valeur F du facteur <i>programme</i>
Rendement grain (t ha ⁻¹)	2007 : 1	8	2.98	2.78	2.60	2.43	1.03 ns
	2008 : 2	4	2.23	1.98	1.89	1.86	0.42 ns
	Moy. 3 essais		2.48	2.24	2.13	2.05	1.61 ns
Cycle à floraison (jours)	2007 : 1	8	69.5 b!	66.0 a	63.0 a	64.1 a	10.52 **
	2008 : 2	4	64.4	62.2	62.8	62.0	1.23 ns
	Moy. 3 essais		66.1 b	63.5 a	62.8 a	62.7 a	5.03 **
Poids de 1000 grains (g)	2007 : 1	8	36.1 a	32.7 ab	31.2 b	35.2 ab	4.27 *
	2008 : 2	4	34.1 a	30.2 b	30.6 b	31.9 ab	4.90 *
	Moy. 3 essais		34.8 a	31.0 b	30.8 b	33.0 ab	6.62 **
FSP (%)	2007 : 1	8	28 ab	38 a	5 b	52 a	4.61 *
	2008 : 2	4	44 ab	58 a	13 b	9 b	6.98 *
	Moy. 3 essais		36	48	9	59	1.63 ns
Index de sélection ISFA	2007 : 1	8	3.60 a	0.04 ab	-5.26 b	7.82 a	3.28 *
	2008 : 2	4	4.08	3.06	-2.41	4.12	1.99 ns
	Moy. 3 essais		3.92 a	2.05 ab	-3.36 b	1.48 ab	2.89 *

FSP= fréquence moyenne de sélection de la lignée par les producteurs évaluateurs dans les essais en milieu paysan

! les traitements présentant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Tukey au seuil de probabilité alpha=5%

Les principaux enseignements qui ressortent de cette analyse comparative sont les suivants :

- l'analyse de variance des résultats obtenus dans les essais communs ne montre pas de différences significatives entre les trois programmes étudiés pour la variable rendement grains (tableau 6-2)
- les lignées issues des programmes CIR-1 et CIR-6 (stratégie PPBa) ont toutefois montré de manière persistante une meilleure productivité moyenne que les lignées dérivées du programme PPBb/PCR-1 (tableaux 6-1 et 6-2). En particulier, les trois meilleures lignées du programme CIR-1 réalisent un gain moyen de rendement de +39% par rapport à la variété commerciale Tortillero Precoz (tableau 6-1). Selon les résultats d'autres essais conduits dans la même zone, ces trois lignées CIR-1 apportent également des gains significatifs de rendement par rapport à la variété Blanco Tortillero, avec une hauteur de plante inférieure (Trouche et al., 2010).
- le programme CIR-1 a conduit à la création des lignées les plus tardives et de meilleurs poids de 1000 grains (Tableau 6.2).
- l'acceptation *ex post* des lignées par les agriculteurs, exprimé par le FSP, différencie assez bien les deux stratégies PPB testées (Tableau 6-2). Ainsi on observe que 1) pour les deux années d'évaluation, les lignées PPBa/CIR-6 sont les mieux acceptées par les agriculteurs, en étant significativement supérieures pour ce caractère aux lignées

PPBb/PCR-1 (tableau 6-2) et 2) dans l'ensemble, la stratégie PPBa a produit des lignées recevant une meilleure acceptation de la part des producteurs par rapport à celles issues de la stratégie PPBb (tableaux 6-1 et 6-2).

- sur la base de l'index de sélection composite ISFA, les lignées CIR-1 et CIR-6 se montrent régulièrement supérieures aux lignées PCR-1 (Tableau 6-2).

6.2. Performances des lignées produites par la stratégie PPBb

L'utilisation de populations synthétiques multi-parentales comme source de variabilité génétique pour développer des programmes de création variétale participative décentralisés est un concept encore récent. Se basant sur la théorie de la sélection, Witcombe et Virk (2001) ont proposé cette stratégie pour les plantes autogames mais ne semblent pas l'avoir mise en œuvre dans des programmes de sélection formalisés. Parmi les expériences concrètes d'utilisation de populations synthétiques, à base génétique large ou plus ciblée, pour la mise en œuvre de programmes PPB, on peut citer, entre autres, les travaux réalisés sur le sorgho au Mali (Vaksmann et al., 2008) et au Burkina (vom Brocke et al., 2008), sur le riz en Colombie (Vales, communication personnelle) et au Nicaragua (Trouche, 2005) et sur le coton au Bénin (Lançon et al., 2004).

Dans ce chapitre, nous proposons d'analyser les résultats obtenus avec la première génération de lignées provenant de la sélection des agriculteurs-sélectionneurs (AS) en milieu paysan à partir des populations PCR-1 et PCR-2 de base, c'est-à-dire non améliorées par un ou plusieurs cycles de sélection récurrente, en termes de :

- Performance agronomique moyenne
- Acceptation par les agriculteurs
- Stabilité du rendement

Matériel et méthodes

Le mode de création des deux populations PCR-1 et PCR-2, la méthode de développement des lignées en milieu paysan par les AS et les conditions d'évaluations de ces lignées pour le rendement et l'appréciation ex post des producteurs ont été décrits dans le matériel et méthode de l'article Trouche et al. (2011).

Résultats

Pour le programme de sélection PCR-1, la sélection des AS en milieu paysan a permis d'obtenir quelques lignées de précocité et rendement en grains équivalents à ceux de la variété témoin Blanco Tortillero, avec une hauteur de plante réduite²⁶ ce qui représente un progrès dans la combinaison de ces trois caractères (Tableau 6.3). Le morphotype de la lignée PCR-1>60P-M-4-M illustre bien ce résultat de sélection : cette lignée associe une bonne productivité en grains, un cycle court (64 jours à floraison), un bon format de grains et une hauteur de plante de 1.3 m, qui convient mieux à la culture associée avec le haricot et/ou à la récolte manuelle. Les lignées PCR-1 présentent toutefois, dans leur grande majorité, une qualité de grain jugée inférieure à celle de Blanco Tortillero, notamment pour la couleur et l'adhérence des glumes (Tableau 6.3).

²⁶ La taille relativement haute de la variété Blanco Tortillero, qui atteint 2 m en conditions favorables, est le principal défaut de cette variété car elle a tendance à verser dans les parcelles fertilisées.

Tableau 6-3: Performances agronomiques et acceptation par les producteurs des meilleures lignées issues de la sélection des AS à partir de la population PCR-1

Lignée	Nombre d'essais conduits	Cycle semis-50% floraison	Hauteur de plante (m)	Poids de 1000 grains (g)	Rendement grain (tha^{-1})	FSP (%) ^a	Qualité du grain ^b
PCR-1>27P-M-2-M	5	62	1.5	31.5	1.49 ^c	61	3.2
PCR-1>52P-M-1-M	5	62	1.4	29.6	1.99	34	2.4
PCR-1>60P-M-4-M	5	64	1.3	32.6	2.10	24	2.6
Blanco Tortillero (témoin)	5	63	1.6	32.2	2.03	21	4

^a FSP= fréquence moyenne de sélection de la lignée par les producteurs évaluateurs dans les essais en milieu paysan

^b évaluée après battage par un groupe de femmes pour cinq critères de qualité du grain sur une échelle 1-4 (1=mauvais; 4=excellent)

^c rendement moyen biaisé par de faibles densités de plantes dans les essais 2008

Les lignées PCR-1 développées en milieu paysan par les agriculteurs montrent également en moyenne une meilleure stabilité de rendement que les variétés témoin Tortillero Precoz et Blanco Tortillero dans les conditions paysannes (Figure 6.1). Sur la base d'une analyse de régression des rendements grains réalisés dans six environnements distincts (cinq en milieu paysan + un en station), on observe que trois d'entre elles, et notamment à nouveau PCR-1>60P-M-4-M, deviennent ainsi plus productives que les témoins Tortillero Precoz et Blanco Tortillero pour des niveaux moyens de rendement compris entre 0.5 et 2.0 t. ha^{-1} , qui représentent le potentiel de production des agro-systèmes cibles (Figure 6-1).

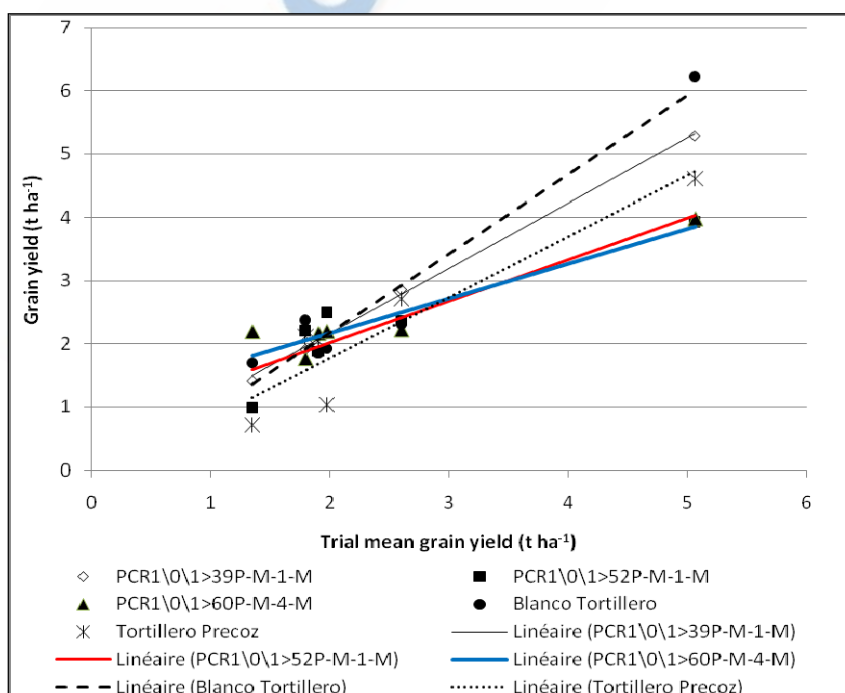


Figure 6-1 : Analyse de régression du rendement grains (t ha^{-1}) des lignées étudiées sur le rendement moyen de six essais conduits en milieu paysan et en station, pour les trois meilleures lignées PCR-1 issues de la sélection des agriculteurs et deux variétés témoin.

Pour le programme PCR-2, la sélection des AS en milieu paysan a fourni plusieurs lignées plus productives (de + 6 à + 40%) que la variété commerciale témoin Macia²⁷, qui est la variété de référence pour les sorghos de double usage en conditions semi-intensives. Ces lignées sont également plus précoces de 10 à 5 jours par rapport à Macia, présentent la hauteur de plante recherchée par les agriculteurs (inférieure ou égale à 1.8 m) et un excellent format de grain (Tableau 6-4).

De cette même population, la sélection du sélectionneur professionnel en station a également produit quelques lignées de taille courte à hauts rendements grains et recevant une bonne acceptation par les producteurs mais plus tardives que les meilleures lignées créées par les AS : la lignée PCR-2>23C-1-M illustre bien ce résultat de sélection (Tableau 6-4).

Tableau 6-4: Performances agronomiques et acceptation par les producteurs des meilleures lignées issues de la sélection des AS à partir de la population PCR-2

Lignée	Nombre d'essais conduits	Cycle semis-50% floraison	Hauteur de plante (m)	Poids de 1000 grains (g)	Rendement grains (tha ⁻¹)	FSP (%) ^a	Score qualité grain ^b
PCR-2>19P-2-M	3	62	1.6	30.7	3.03	53	2.2
PCR-2>82P-1-M	3	67	1.8	35.1	3.02	22	2.6
PCR-2>74P-1-M	3	63	1.4	32.1	2.31	60	2.6
PCR-2>23C-1-M ^c	3	72	1.7	30.1	3.48	71	2.4
Macia (témoin)	3	72	1.5	32	2.17	62	2.8

^a FSP= fréquence moyenne de sélection de la lignée par les producteurs évaluateurs dans les essais *in situ*

^b évaluée après battage par un groupe de femmes pour cinq critères de qualité du grain sur une échelle 1-4 (1=mauvais; 4=excellent)

^c lignée produite en station par le sélectionneur

Conclusion

Sur la base d'une comparaison globale, nos résultats montrent que les deux stratégies PPB appliquées dans ce projet ont pu fournir des lignées au moins aussi productives dans les environnements cible que les meilleures lignées issues de la stratégie PVS, en apportant d'autres caractéristiques favorables, pour l'adaptation aux contraintes du milieu (précocité de floraison) ou répondant à l'attente des agriculteurs (type de plante et format des grains).

Pour les agro-systèmes faiblement intensifiés avec de fortes contraintes climatiques et agronomiques, la stratégie PPBa (croisements simples) a fourni une proportion plus élevée de lignées supérieures que la stratégie PPBb conduite à partir de la population PCR-1. Ces lignées « supérieures » ont été identifiées sur la base des valeurs de l'index composite ISFA. Toutefois le programme PPBb/PCR-1 a réussi à produire des phénotypes « originaux », combinant une hauteur de plante réduite et un cycle court avec un potentiel élevé de rendement, qui n'ont pas pu être obtenus à partir de la stratégie PPBa. Le programme PPBb/PCR-1 a également généré des lignées « rustiques », c'est-à-dire de meilleur rendement grains que les variétés témoin lorsque le potentiel de production du milieu se situe entre 0.5 et

²⁷ Anciennement identifiée au Nicaragua sous le nom de Africana

2 tha⁻¹. Cependant, ces bonnes lignées PCR-1 présentent des insuffisances au regard des critères paysans de qualité des grains.

Pour les agro-systèmes en conditions plus favorables orientés vers la production de sorgho de double usage, le programme PPBb/PCR-2 a généré une meilleure proportion de bonnes lignées, apportant du progrès dans la combinaison rendement grains x précocité par rapport à la variété de référence Macia, avec une acceptation équivalente par les producteurs des régions concernées.

Nous pensons toutefois que ces deux programmes PPB construits à partir des populations PCR-1 et PCR-2 auraient produit de meilleurs résultats si ces populations avaient effectué un ou deux cycles de sélection récurrente pour leur conférer une meilleure adaptation aux environnements cible et aux préférences des agriculteurs. Pour des contraintes de temps, ces cycles de sélection n'ont pas pu être réalisés en amont des programmes de sélection suivis dans le cadre de ce travail de thèse. Mais ils ont été accomplis en parallèle dans le cadre des activités du projet de recherche. En 2007, dans un essai en milieu paysan, nous avons ainsi évalué les descendances S₁ issues de 30 plantes S₀ échantillonnées au hasard dans trois versions de la population PCR-1: PCR-1 initiale ou « base », PCR-1 améliorée par un cycle de sélection sur les descendances S₁₋₂ développées par le sélectionneur professionnel en station (PCR-1/BoS) et PCR-1 améliorée par un cycle de sélection sur les descendances S₁₋₂ développées par les agriculteurs-sélectionneurs en milieu paysan (PCR-1/FoF). Dans cet essai, nous avons observé que les descendances PCR-1/FoF ont en moyenne été plus productives de 12% par rapport aux descendances PCR-1 base (Tableau 1 de l'annexe VII). De plus, au sein des 10% meilleures S₁ pour le rendement grains, 77% (7 sur 9) sont dérivées de la population PCR-1/FoF.

Cette analyse comparative du progrès génétique réalisé par les deux stratégies PPB présente toutefois quelques limites, d'abord du fait du nombre limité d'essais analysés, et ensuite du fait des conditions climatiques assez particulières dans lesquelles ces données d'expérimentation ont été obtenues. En effet, les saisons des pluies de *postrera* 2007 et 2008 ont été particulièrement pluvieuses, à cause du passage d'ouragans en 2007 et du phénomène météorologique La Niña en 2008. Pour ces deux années, les essais sorgho en champs paysans ont donc plus souffert d'excès d'eau que de déficit hydrique, ce qui ne représente pas les conditions pluviométriques « normales » de cette région Nord du Nicaragua.

CHAPITRE 4 : Synthèse et discussion générale

Chapitre IV : Synthèse et discussion générale

Dans ce travail de thèse, nous avons cherché à analyser le progrès génétique réalisé selon trois stratégies de sélection participative et décentralisée, appliquées dans le cadre d'un projet de recherche-action mis en œuvre avec des collectifs d'agriculteurs et des ONG de développement. Ces trois stratégies de sélection sont les suivantes:

- la sélection variétale participative exploitant une gamme diversifiée de lignées améliorées et cultivars traditionnels exotiques, en majorité d'origine africaine (PVS) ;
- la création variétale participative développée à partir de croisements simples entre des cultivars locaux et des lignées africaines (PPBa) ;
- la création variétale participative développée à partir de populations synthétiques formées par l'intercroisement de 6-8 cultivars élites (PPBb).

Nous avons d'abord évalué le progrès génétique réalisé par chaque stratégie de sélection participative en le comparant à celui produit par la sélection « conventionnelle », c'est-à-dire celle conduite par un sélectionneur professionnel en station de recherche. L'efficacité des trois stratégies de sélection participative testées a également été comparée et discutée.

Dans sa première partie, ce chapitre fait la synthèse des principaux résultats présentés dans les quatre articles et le dernier sous-chapitre intégrés dans le chapitre Résultats de cette thèse.

Le travail de diagnostic sur les systèmes de production du sorgho dans la région Nord du Nicaragua, principale zone d'intervention de notre étude, a montré qu'en deux décennies, les sorghos à grain blanc de cycle courts *tortillero* ont largement remplacé les sorghos photopériodiques de cycle long *millón* dans les conditions de culture les plus favorables. Ce changement variétal rapide s'est surtout appuyé sur des réseaux informels d'échanges de semences, entre producteurs et de commerçants à producteurs, et témoigne d'une grande capacité d'innovation des agriculteurs de cette région. Pour leur autoproduction de semences à la ferme, les producteurs de sorgho n'ont pas une pratique bien établie de la sélection des semences. De plus ils gèrent souvent leurs semences « à flux tendus » et en cas d'échec des premiers semis, ils doivent se procurer de nouvelles semences auprès d'autres producteurs, sur les marchés ou auprès des organismes locaux de vulgarisation. Les systèmes de culture (SC) à base de sorgho sont très diversifiés, en ce qui concerne la saison de culture, le mode et les arrangements de semis, l'association avec d'autres cultures et les objectifs de production. Face à cette diversité des systèmes de culture et des usages, la diversité variétale et génétique du sorgho gérée par les producteurs apparaît très limitée et insuffisante. Les groupes locaux de producteurs de sorgho ont immédiatement manifesté leur motivation pour travailler avec les chercheurs sur l'évaluation et la sélection de nouvelles variétés qui pourraient améliorer la productivité de leurs systèmes, afin de et mieux assurer leur sécurité alimentaire, voire augmenter leurs revenus. Selon ces producteurs, les caractères clés à améliorer pour le sorgho sont la productivité en grains et la stabilité du rendement, la précocité (*tortillero*) ou le bon degré de réponse à la photopériode (*millón*), l'architecture de plante, la qualité du grain pour la consommation locale (tortillas) et la valeur fourragère des pailles.

Les actions de sélection variétale participative décentralisée (PVS), mises en œuvre dans trois régions du Nicaragua, ont permis d'identifier en à peine cinq ans une dizaine de cultivars répondant aux attentes des agriculteurs car bien adaptées aux systèmes de culture existants, plus productifs et en général plus précoces que les cultivars locaux et présentant un excellent format et qualité de grain. Cette stratégie de sélection s'est appuyée sur l'exploration d'une large diversité génétique d'origine africaine, la mise au point d'une méthode d'évaluation formalisée basée sur les critères de sélection définis par les producteurs eux-mêmes, et la mise en œuvre de mécanismes de concertation appropriés entre chercheurs et agriculteurs. Parmi les cultivars sélectionnés, Blanco Tortillero (*tortillero*), officiellement inscrit en 2007 au catalogue variétal national, et Coludo Nevado (*millón*), réunissent le mieux les caractères et qualités recherchés et de ce fait connaissent une adoption rapide dans plusieurs régions du Nicaragua. Ces travaux ont également permis de préciser et hiérarchiser les critères de sélection pour les deux types de sorgho *tortillero* et *millón*. Parmi les critères de sélection identifiés, la précocité de floraison, le potentiel de rendement en grains, la qualité des grains, et le critère de « valeur globale » sont ceux qui ont le plus de poids dans la décision finale de sélectionner ou rejeter un cultivar. La qualité de grain du sorgho est un caractère complexe pour lesquels les critères utilisés par les agriculteurs ne correspondent que partiellement avec ceux habituellement mesurés par les sélectionneurs professionnels. Les agriculteurs-évaluateurs (AE) ont montré une bonne aptitude pour évaluer visuellement la précocité et la productivité en grains des cultivars testés, avec toutefois pour ce dernier caractère, des différences d'aptitude selon les savoirs et l'expérience des agriculteurs sur cette culture. Les connaissances acquises sur les critères paysans de sélection et leur hiérarchisation selon les types variétaux et les systèmes de culture ont été logiquement utilisées pour construire les programmes de création variétale qui ont suivi. L'analyse de ces données d'évaluation participative a enfin permis d'identifier les groupes d'agriculteurs qui possédaient les meilleures aptitudes pour participer à ces programmes.

Les meilleures variétés de types *tortillero* et *millón* sélectionnées selon la stratégie PVS présentent les caractéristiques morphologiques et agronomiques recherchées pour les systèmes de culture prédominants (culture pure de *postrera* pour le type *tortillero*, culture associée avec le maïs en zones de collines pour le type *millón*) ainsi que la qualité de grain répondant aux usages principaux, avec toutefois certaines insuffisances pour le caractère de valeur fourragère des pailles²⁸. Pour répondre à des objectifs de production et/ou des systèmes de culture plus spécifiques, par exemple l'association sorgho *tortillero*-haricot en zone sèche ou la production de sorgho *tortillero* à double usage grain + paille en conditions édapho-climatiques plus favorables, certains agriculteurs leaders et l'ONG CIPRES ont été demandeurs de nouvelles variétés, correspondant à des idéotypes originaux (Trouche *et al.*, 2010). Pour répondre à ces demandes, plusieurs schémas de création variétale participative décentralisés ont été mis en œuvre selon deux stratégies PPB définies selon le mode de création et d'exploitation de la variabilité génétique (VG):

- PPBa : VG issue de croisements simples, entre un cultivar local bien adapté et une variété africaine apportant des caractères complémentaires, exploitée par sélection généalogique;
- PPBb : VG issue de populations synthétiques formées par l'inter-croisement de 6 à 8 lignées parentales grâce à l'utilisation du gène de stérilité mâle *ms₃*, exploitée par

²⁸ La phase PVS a évalué des lignées ayant une meilleure production et valeur fourragère mais celles-ci ne présentaient pas les caractères de précocité, rusticité et qualité de grain requis pour être acceptées dans les zones les plus sèches.

sélection généalogique pour le développement de lignées et sélection récurrente pour l'amélioration à moyen terme de ces populations.

Dans la littérature, peu d'études ont mesuré le progrès génétique obtenu par des schémas PPB conduits en milieu paysan sur plusieurs cycles de sélection, en comparaison avec des schémas de création variétale conventionnels conduits en station, développés à partir des mêmes populations de sélection et suivant les mêmes protocoles de sélection. Dans notre étude, nous avons choisi d'évaluer les résultats produits par trois «modes» de sélection, combinant environnement et acteur de la sélection: sélection des agriculteurs-sélectionneurs en champs paysans (FoF), sélection d'un sélectionneur professionnel en station (BoS) et du même sélectionneur professionnel en champs paysans (BoF). La modalité «sélection des agriculteurs en station» n'a pas été intégrée dans cette étude pour deux raisons principales: difficultés logistiques pour faire venir les agriculteurs depuis leurs villages vers la station de recherche, expériences antérieures montrant que les petits producteurs sont peu motivés pour évaluer ou sélectionner des variétés dans des conditions de production (types de sol et ITK), trop éloignées de leurs propres conditions. Ces trois modes de sélection ont été distingués pour trois schémas de sélection finalisée, définis en concertation avec les partenaires du projet et conduits en parallèle en station et milieu paysan. Le progrès génétique réalisé par chaque mode de sélection a été analysé selon plusieurs indicateurs, qui représentent des perceptions différentes de la notion de progrès génétique.

A l'issue de deux cycles de sélection, nous observons que le mode de sélection FoF a autant réduit la variabilité phénotypique des populations de sélection que les modes de sélection BoS et BoF. Dans le cas du schéma de sélection PCR-1, le phénotype moyen des lignées produites par chaque mode montre cependant des divergences significatives pour les caractères de durée de cycle, hauteur de plante, grosseur des grains et poids de grains par panicule. En moyenne, la sélection BoS a produit les lignées qui réalisent les meilleurs rendements en grains dans les conditions favorables de la station et, à un degré moindre, dans les environnements paysans cibles. Ces résultats ont été confrontés à la théorie de la sélection, qui définit la réponse à la sélection selon l'équation $R_T = \sigma_G^2 \cdot i \cdot H_{se}^2 \cdot r_G$, où σ_G^2 est la variance génétique de la population source, i est l'intensité de sélection appliquée, H_{se}^2 est l'héritabilité du caractère étudié dans son milieu de sélection et r_G exprime la corrélation génétique entre l'environnement de sélection et l'environnement cible. Les paramètres σ_G^2 et i ne variant pas dans notre dispositif d'étude, nous en concluons que les faibles valeurs d'héritabilité H_{se}^2 observées en parcelles paysannes, dues aux hétérogénéités de sol et des pratiques, pénalisent l'efficacité des sélections FoF et BoF pour le caractère de rendement. De plus, les différences d'héritabilité entre les milieux station et champs paysans ne sont pas compensés ici par les écarts de r_G existant entre ces deux environnements de sélection, ces écarts étant probablement moins importants que ce qui était attendu. Dans le cas du schéma PCR-2, cette conclusion doit être cependant nuancée par le fait que la sélection FoF a privilégié dans ses choix les lignées précoces et de taille réduite, ce qui a été au détriment de la productivité. Comparée à la sélection BoS, la sélection FoF a produit en moyenne des lignées montrant une meilleure stabilité de rendement dans les environnements cibles et offrant un meilleur équilibre entre les caractères de précocité, hauteur de plante, taille des grains et rendement en grains, apprécié sur la base de l'index *d'aptitude agronomique* IAS. La sélection BoF s'est révélée peu performante que ce soit pour le rendement grains ou le même index IAS.

Finalement la sélection FoF est celle qui a produit la plus grande proportion des lignées préférées *ex post* par un panel élargi d'agriculteurs, représentant une plus grande diversité de producteurs hommes et femmes de la région cible par rapport aux groupes d'agriculteurs impliqués dans les travaux de sélection. Cette préférence pour les lignées FoF

est notamment expliquée par le fait qu'elles présentent des attributs jugés supérieurs pour le type de plante et l'aspect des grains.

Pour combiner performance agronomique dans les conditions de culture cibles et appréciation *ex post* des agriculteurs, l'index de sélection composite ISFA a été élaboré. Cet index ISFA a permis d'apprécier la valeur globale des lignées produites par les trois modes de sélection étudiés. Pour rappel, pour chaque lignée évaluée, cet index intègre les résultats obtenus pour quatre variables morfo-agronomiques majeures, qui sont la durée de cycle, la hauteur de plante, la grosseur des grains et le rendement en grains, et pour deux variables qualitatives issues de l'évaluation réalisée par les producteurs. Nos résultats indiquent que pour les trois schémas de sélection étudiés, la sélection FoF a produit la plus grande proportion de lignées de meilleures valeurs d'index ISFA, c'est-à-dire celles qui présentent les meilleures combinaisons entre la performance agronomique et les caractères de qualité clés pour être acceptées par les producteurs de cette région.

Les résultats présentés dans le sous-chapitre 6 de la partie Résultats montrent que les deux stratégies PPBa (croisements simples) et PPBb (populations synthétiques) ont fourni des lignées au moins aussi productives dans les environnements cibles que les meilleures lignées issues de la stratégie PVS, en présentant d'autres caractéristiques favorables telles que la précocité, le type de plante et la taille des grains. Cependant, peu de ces lignées présentent une qualité de grain optimale, équivalente à celle de la variété Blanco Tortillero, qui est une excellente référence pour ce caractère. Pour les agro-systèmes à fortes contraintes agro-climatiques (région Totogalpa), la stratégie PPBa a produit une proportion plus élevée de bonnes lignées que la stratégie PPBb. Ce résultat est cohérent avec ce qui est souvent signalé dans la littérature : la création variétale exploitant des populations de large variabilité génétique n'apporte qu'un progrès génétique graduel, généralement réalisé après plusieurs cycles d'amélioration de ces populations par la sélection récurrente (Gallais, 1990). Le schéma de sélection PPBb/PCR-1 a cependant généré quelques lignées présentant des phénotypes originaux, combinant une hauteur de plante réduite et un cycle court avec un potentiel élevé de rendement, qui n'ont pas été obtenues avec les schémas PPBa. Le schéma PPBb/PCR-2 a dans l'ensemble produit de meilleurs matériels que le schéma PPBb/PCR-1, avec plusieurs lignées apportant une nette plus-value dans la combinaison précocité x hauteur de plante x rendement grains par rapport à la variété commerciale Macia, tout en recevant une bonne acceptation par les producteurs de la zone cible. Les résultats d'une étude complémentaire, signalée dans la conclusion du sous-chapitre III.6, nous conduisent à penser que les schémas de sélection participative développés à partir des populations PCR-1 et PCR-2 auraient produit de meilleurs résultats si ces populations avaient effectué un ou deux cycles de sélection récurrente participative pour leur conférer une meilleure adaptation aux environnements cibles et aux préférences des agriculteurs.

En comparaison avec les autres travaux publiés dans ce domaine, nous pensons que notre travail de thèse a apporté des résultats originaux sur trois points principaux:

- Il a fourni une analyse complète des résultats quantitatifs (agronomiques) et qualitatifs (acceptation par les agriculteurs) obtenus par des programmes de création variétale participative entièrement **gérés en milieu paysan depuis les premières générations**, qui s'inscrivent dans le cadre d'une **recherche-action en partenariat**, en comparaison avec **des programmes équivalents gérés par un sélectionneur professionnel** en station et en milieu paysan ;
- Il a évalué les avantages et les contraintes de la mise en œuvre de schémas de création variétale participative décentralisée **construits à partir de populations synthétiques multi-parentales** ;

- Il a proposé l'élaboration d'un **index de sélection composite** original, **combinant la performance agronomique et les préférences des agriculteurs** pour les caractères de qualité qui sont déterminants pour l'acceptation finale de la variété.

Nous ne reviendrons pas ici sur le premier point car il a déjà été discuté en détail dans les parties discussion et conclusion des articles 3 et 4 du chapitre **Résultats**. A cette étape il convient toutefois de reprendre les deux premières questions de recherche, QR1 et QR2, définies pour ce travail de thèse (p. 2) et d'indiquer les réponses apportées par l'analyse de nos résultats, dans le cadre de notre dispositif d'étude. Nos réponses à ces deux questions peuvent être résumées de la façon suivante :

- La sélection réalisée par les agriculteurs-sélectionneurs en milieu paysan a été:
 - moins efficace pour le rendement seul mais plus efficace pour obtenir les combinaisons de caractères agronomiques et critères de qualité recherchés par les producteurs (idéotypes globaux), lorsqu'elle est comparée à la sélection du sélectionneur professionnel en station (QR1);
 - au moins aussi efficace que la sélection du sélectionneur professionnel en milieu paysan pour la plupart des caractères étudiés (QR2), même si nous devons reconnaître que notre dispositif d'étude, affecté par les aléas climatiques, n'a apporté que des résultats partiels par rapport à cette question;
- Les résultats de cette étude ne peuvent pas être dissociés du contexte dans lequel ils ont été obtenus, contexte dans lequel l'interaction soutenue entre le sélectionneur professionnel, les groupes d'agriculteurs-sélectionneurs et les techniciens agronomes du CIPRES a été déterminante pour atteindre ce progrès.

Le deuxième point original de notre étude intègre les éléments de réponse à la question de recherche QR3 de cette thèse (p.2). Nos résultats montrent que des populations synthétiques multi-parentales, formées à partir de l'intercroisement d'un nombre restreint de lignées élites choisies pour apporter des caractères d'adaptation clés, représentent une source de variabilité génétique appropriée pour construire des programmes PPB, y compris pour des objectifs d'amélioration à court terme qui sont souvent visés par les actions de sélection participative. Cela a été notamment bien démontré par les résultats obtenus par le schéma de sélection PCR-2, mis en œuvre dans un environnement de sélection relativement homogène et favorable. Dans l'application de cette stratégie de sélection PPB à partir de populations synthétiques, des résultats similaires à ceux observés pour le schéma PCR-2 ont été obtenus sur riz au Venezuela (Vales, 2010) et au Nicaragua (Trouche *et al.*, 2008c). Pour des environnements de sélection à fortes contraintes et/ou faible niveau d'intensification, où l'héritabilité des caractères complexes comme le rendement est généralement très faible, nos résultats montrent que les programmes de création variétale conduits à partir de croisements simples sont toutefois plus efficaces à court terme.

Dans les programmes de sélection participative, l'utilisation d'index de sélection composite tels que l'index ISFA proposé dans notre étude permet de viser le meilleur compromis possible entre des objectifs de performance agronomique et les préférences locales des agriculteurs pour des caractères de qualité liés à l'utilisation de la variété, qui sont souvent pour les chercheurs difficiles à appréhender et à mesurer. Dans une étude comparative des approches de sélection pour des caractères multiples en sciences végétale et animale, Sölkner *et al.* (2008) observent que les sélectionneurs ont souvent recours à des **méthodes non-formalisées** pour exercer des pressions de sélection variables sur les différents caractères en sélection. Pour ces auteurs, l'utilisation de ces méthodes empiriques se justifie par le fait qu'il est généralement difficile d'estimer objectivement la valeur économique de chaque caractère ainsi que les variances génétiques et co-variances des différents caractères considérés.

Néanmoins, les pondérations empiriques allouées aux caractères en sélection, lorsqu'elles sont judicieusement appliquées, s'avèrent souvent efficaces pour atteindre les objectifs de sélection fixés (Baenziger et al., 2006 cité par Sölkner et al., 2008), ce qui finalement n'est qu'une redécouverte du métier de sélectionneur. Car ces pondérations ne dépendent pas que des caractères eux-mêmes mais surtout des objectifs et cibles de chaque programme de sélection. L'attribution des poids « justes » aux différents caractères pris en compte reste toutefois la principale difficulté pour développer ce type d'index. Dans notre étude, elle a demandé une interaction soutenue entre chercheurs et agriculteurs et une analyse fine des données d'évaluation participative. La pertinence de cet index de sélection ISFA a été validée par la vulgarisation en novembre 2010 de la lignée CIR-6/106P-1P-2P, rebaptisée Crema Nacional, qui est la première variété de sorgho produite par la création variétale participative au Nicaragua (CIPRES, 2010). Sélectionnée sur la base de cet index²⁹, cette lignée ne figurait pourtant pas parmi les lignées de meilleurs rendements dans les évaluations de 2007 et 2008.

Les variétés destinées aux petits producteurs de cultures vivrières dans des agro-systèmes de subsistance doivent présenter le meilleur compromis possible entre la performance agronomique et les critères de qualité exigés par les utilisateurs et/ou bénéficiaires de ces variétés. La mise au point d'index de sélection recherchant ce type de compromis remet en question, d'une certaine manière, l'appréciation du progrès génétique en amélioration des plantes. Cette notion de progrès génétique en sélection végétale est d'ailleurs de plus en plus questionnée par les chercheurs des sciences sociales et par la société civile. Dans un avis donné sur les programmes de recherche en amélioration des plantes au Cirad, le Conseil Scientifique de l'institution considère que, sans nier l'ampleur de l'évolution des nouveaux outils de biologie cellulaire et moléculaire en appui à cette discipline, « une révolution toute aussi majeure s'opère actuellement autour du contexte de la création variétale..., en particulier, i) la diversification des objectifs et critères à considérer..., ii) des attentes et des interrogations plus fortes de la société ... et les demandes d'association de nouveaux acteurs à la définition des objectifs de l'amélioration, à la conduite du processus et à l'évaluation des résultats, iii) une reconsidération-voire une remise en cause- de la notion du progrès génétique ... performance (rendement) versus efficacité, robustesse, résilience ou effets de capacitation ».

²⁹ Elle avait été classée au premier rang (sur 70) dans les essais préliminaires de rendement de 2006, au 7ème rang (sur 39) en 2007 et en 2^{ème} position (sur 12) en 2008 dans les essais avancés en milieu paysan.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Rapport-Gratuit.com

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'expérience de nos travaux sur la sélection participative du sorgho conduits au Nicaragua confirme d'abord que la stratégie de sélection variétale participative décentralisée, exploitant dans un contexte nouveau une diversité variétale déjà disponible, est efficace pour identifier rapidement et à moindre coût des variétés performantes et bien acceptées par les agriculteurs. Les stratégies de création variétale participative décentralisée demandent plus de continuité dans l'action, plus de temps et de moyens, notamment un plus grand investissement humain de la part des différents intervenants, et restent plus fragiles vis-à-vis des aléas climatiques qui touchent les environnements agricoles vulnérables, tels que ceux où nous sommes intervenus au Nicaragua. Se basant sur les résultats complets de trois schémas de sélection conduits simultanément en station et en milieu paysan sur deux cycles successifs, notre étude a montré que la sélection réalisée en champs paysans par des collectifs d'agriculteurs-sélectionneurs, entraînés et accompagnés par un sélectionneur professionnel, a été moins efficace que la création variétale conventionnelle conduite en station pour produire des lignées à hauts rendements, mais a été plus efficace pour obtenir des lignées présentant les combinaisons de caractères agronomiques et critères de qualité recherchés par les producteurs de sorgho des zones cibles. A notre connaissance, il s'agissait de la première étude de ce type réalisée à partir de schémas de sélection spécifiquement définis pour traiter cette question et par ailleurs intégrés dans un projet de recherche-action inscrit sur la durée. Nous pensons toutefois que les conclusions de cette étude doivent être validées sur d'autres terrains et dispositifs expérimentaux. Notre étude a également montré certaines limites à la conduite de cette recherche en partenariat avec des petits producteurs de faibles ressources. Nous pensons notamment qu'une certaine professionnalisation des agriculteurs-sélectionneurs en lien avec la production de semences, qui leur apporterait des ressources financières et une plus grande autonomie dans leurs actions, est une condition nécessaire pour améliorer la gestion de ces programmes de sélection participative et en conséquence leur efficacité.

En termes de perspectives, nous pensons que les programmes de sélection participative du sorgho conduits sur plusieurs terrains par le CIRAD et ses partenaires au cours de la dernière décennie ouvrent la voie à plusieurs nouvelles actions de recherche. Trois d'entre elles concernent la question de l'impact des programmes de sélection participative décentralisée sur la préservation de la biodiversité locale. Sur cette thématique, les programmes de création variétale participative décentralisée, développés ou en cours de développement au Mali, Burkina et Nicaragua, se prêtent à la conduite d'études qui chercheraient à mesurer et/ou valider:

- 1) l'effet de la sélection décentralisée conduite par les agriculteurs sur la diversité génétique des populations de sélection : possibilité de mesurer, sur différents cycles, les effets *acteur* et *environnement* de la sélection sur l'évolution de la diversité génétique des populations sources de ces programmes de sélection;
- 2) l'impact des travaux de sélection participative sur l'évolution de la diversité des systèmes de culture et la diversité variétale et génétique dans les zones d'intervention;

3) l'effet du type de structure variétale visé par la sélection participative sur la préservation de la diversité génétique locale ainsi que sur les performances agronomiques et la plasticité phénotypique des variétés vis-à-vis des contraintes climatiques: dans le cas du sorgho, il s'agirait notamment de comparer les variétés-lignées pures, produites habituellement par la sélection, à des variétés-populations synthétiques améliorées ou des variétés-multi-lignées.

La question de l'adaptabilité, strictement étroite ou plus large, des populations ou lignées issues des programmes de création variétale participative conduits en milieu paysan, représente un autre sujet de recherche d'intérêt pour les sélectionneurs participatifs. Pour traiter cette question, il nous semblerait pertinent d'évaluer les performances agronomiques d'une gamme de lignées et populations issues de différents programmes PPB, dans et autour des sites et régions où elles ont été développées, en comparaison avec les lignées développées par les programmes conventionnels en station. Cette étude pourrait être conduite au Mali et Burkina faso d'une part et en Amérique Centrale d'autre part.

Pour finir, nous pensons qu'un défi majeur de la sélection du sorgho au profit des petits producteurs du Sud pour les dix prochaines années sera la définition et la mise en œuvre technique de nouveaux programmes de sélection pouvant intégrer à la fois les outils et méthodes de la génétique moléculaire, tels que la sélection récurrente assistée par les marqueurs moléculaires ou la sélection génomique, et ceux de la sélection participative.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Les références listées ci-dessous sont celles citées dans le corps du texte de la thèse.

Anglani, C. Sorghum for human food- A review. *Plant Foods for Human Nutrition* **1998**, 52, 85-95.

Almekinders, C., Molina-Centeno, J., Herrera-Torrez, R., Merlo-Olivera, S.L., González-Suárez, J.M., García-Carrasco, J. Experiencias y aprendizajes del desarrollo de variedades de frijol de manera participativa en el Norte de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* **2006**, 17 (3), 327-336.

Araya-Villalobos, R., Hernández-Fonseca, J.C. Mejora genética participativa de la variedad criolla de frijol "Sacapobres". *Agronomía Mesoamericana* **2006**, 17 (3), 347-355.

Arnell, N.W. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* **2004**, 14, 31-52.

Atlin, G.N., Cooper, M., Bjørnstad, Å. A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica* **2001**, 122, 463-475.

Belay, G., Tefera, H., Tadesse, B., Metaferia, G., Jarra, D., Tadesse, T. Participatory variety selection in the ethiopian cereal tef (*Eragrostis tef*). *Exp. Agric.* **2006**, 42, 91-101.

Bänziger, M., Cooper, M. Breeding for low input conditions and consequences for participatory breeding: Examples from tropical maize and wheat. *Euphytica* **2001**, 122, 503-519.

Biggs, S.D. Resource-poor farmer participation in research: a synthesis of experiences from nine national agricultural research systems. OFCOR-Comparative Study Paper N°3, Special series on the organization and management of On-farm client oriented research (OFCOR). International services for national agricultural research, The Hague, **1989**.

Ceccarelli, S., Erskine, W., Grando, S., Hamblin, J. Genotype x environment interaction and International breeding programmes. *Exp. Agric.* **1994**, 30, 177-187.

Ceccarelli, S., Grando, S., Booth, R.H. International breeding programmes and resource-poor farmers: Crop improvement in difficult environments. In: Participatory Plant Breeding, Eds Eyzaguirre, P., Iwanaga, M. Proceeding of a workshop on Participatory Plant Breeding, 26-29 July 1995, Wageningen, The Netherlands. IPGRI: Roma, **1996**, pp. 99-116.

Ceccarelli, S., Grando, S., Tutwiler, R., Baha, J., Martini, A.M., Salahieh, H., Goodchild A., Michael, M. A methodological study on participatory barley breeding. I. Selection phase. *Euphytica* **2000**, 111, 91-104.

Ceccarelli, S., Grando, S., Bailey, E., Amri, A., El-Felah, M., Nassif, F., Rezgui, S., Yahyaoui, A. Farmer participation in barley breeding in Syria, Morocco and Tunisia. *Euphytica* **2001**, 122, 521-536.

Ceccarelli, S., Grando, S., Singh, M., Michael, M., Shikho, A., Al Issa, M., Al Saleh, A., Kaleonjy, G., Al Ghanem, S.M., Al Hasan, A.L., Dalla, H., Basha, S., Basha, T. A. Methodological study on participatory barley breeding. II. Response to selection. *Euphytica* **2003**, 133, 185-200.

Ceccarelli, S., Grando, S. Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* **2007**, 155, 349-360.

CIPRES. Fiche technique de la variété Crema Nacional. CIPRES-CIRAD-FP/MA-INTA: Managua, **2010**. <http://sélection-participative.cirad.fr/productions/varietés>

Chantereau, J. et Nicou, R. Le sorgho. Collection Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Editions Maisonneuve et Larose: Paris, **1991**; pp. 1-158.

Chantereau, J., Kondombo, C. Estimation du taux d'allogamie chez les sorghos de la race guinea. *In: Progress food grain research and production in semi-arid Africa, SAFGRAD: Ouagadougou, 1994*; pp. 309-313.

Chantereau, J., Trouche, G., Luce, J., Deu, M., Hamon, P. Le sorgho. *In: L'amélioration des plantes tropicales*. Eds Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S., Nicolas, D., Collection Repères CIRAD/IRD, Montpellier, **1997**; pp. 565-590.

Châtel, M., Guimarães, P. E. Selección Recurrente con Androesterilidad en arroz. Publication CIAT N° 246, Cali, **1995**; pp. 1-70.

Classen, L., Humphries, S., Fitzimons, J., Kaaria, S. Opening participatory spaces for the most marginal: Learning from collective action in the Honduran hillsides. *World Development* **2008**, 36, N°11, 2402-2420.

Courtois, B. et al. Comparing farmers and breeders rankings in varietal selection for low-input environments: A case study of rainfed rice in eastern India. *Euphytica* **2001**, 122, 537-550.

Dawson, J.C., Murphy, K.M., Jones, S.S. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. *Euphytica* **2008**, 160, 143-154.

Desclaux, D., Nolot, J.M., Chiffolleau, Y., Gozé, E., Leclerc, C. Changes in the concept of genotype x environment interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding: pluridisciplinary point of view. *Euphytica* **2008**, 163, 533-546.

Deu, M., Rattunde, F., Chantereau J. A global view of genetic diversity in cultivated sorghums using a core collection. *Genome* **2006**, 49, 168-180.

Doggett, H. Sorghum. 2 ed. Tropical Agriculture series. Longman scientific and technical: London, **1988**; pp. 1-512.

Eyzaguirre, P., Iwanaga, M. Participatory Plant Breeding. Proceeding of a workshop on Participatory Plant Breeding, 26-29 July 1995, Wageningen, The Netherlands. IPGRI: Roma, **1996**; pp. 1-164.

FAO. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. FAO: Roma, **2003**; pp. 1-36.

FAOSTAT. Statistiques de production des cultures. Consulté en **mai 2010**. Disponible sur : <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>

Fliedel, G., Marti, A., Thiébaud, S. Caractérisation et valorisation du sorgho. CIRAD-CA : Montpellier **1996** ; pp. 1-404.

Gallais, A. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Collection sciences agronomiques. Masson : Paris **1989** ; pp. 1-588.

Giorgi, F. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* **2006**, 33, 1-4.

Gyawali, S., Joshi, K.D., Witcombe, J.R. Participatory plant breeding in rice in low-altitude production systems in Nepal. In: Breeding rainfed rice for drought-prone environments: Integrating conventional and participatory breeding in South and Southeast Asia. Proceedings of a DFID/IRRI Conference, 12-15 March 2002. CAZS: Bangor and IRRI: Manila, **2002** ; pp. 79-89.

Gyawali, S., Sunwar, S., Subedi, M., Tripathi, M., Joshi, K.D., Witcombe, J.R. Collaborative breeding with farmers can be effective. *Field Crops Res.* **2007**, 101, 88-95.

Harlan, J.R., de Wet, J.M. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science* **1972**, 12, 172-176.

Hocdé, H. Fitomejoramiento participativo de cultivos alimenticios en Centro América: panorama, resultados y retos. Un punto de vista externo. *Agronomía Mesoamericana* **2006**, 17, 291-308.

House, L.R. A guide to sorghum breeding. 2 ed. ICRISAT: Patancheru **1987** ; pp. 1-229.

ICRISAT. Base de données de caractérisation du germoplasme sorgho. Consulté en **décembre 2010**. Disponible sur : <http://test1.icrisat.org/sorghum/Project1/pfirst.asp>

INEC. Resultados del Tercer Censo Nacional Agropecuario (III CENAGRO) de Nicaragua, **2002**. Managua, Nicaragua. URL: <http://www.inec.gob.ni>

INEC. VIII Censo de poblacion y IV de Vivienda de Nicaragua, INEC: Managua, **2005**; pp. 1-45.

INTA. Fiche technique de la variété INTA Fortaleza. INTA-CIAT-CIRAD: Managua **2010**. <http://sélection-participative.cirad.fr/productions/varietés>

Joshi, A. and Witcombe, J.R. Farmer participatory crop improvement. II. Participatory varietal selection, a case study in India. *Exp. Agric.* **1996**, 32, 461- 477.

Joshi, K.D., Sthapit, B.R., Subedi, M., Witcombe, J.R. Participatory plant breeding in rice. In: Farmers, Scientists and Plant Breeding: Integrating knowledge and practice. CABI: Wellington, **2002**; pp. 239-267.

- Joshi, K.D., Witcombe, J.R. The impact of participatory plant breeding (PPB) on landrace diversity: A case study for high-altitude rice in Nepal. *Euphytica* **2003**, 134, 117-125.
- Joshi, K. D., Musa, A. M., Johansen, C., Gyawali, S., Harris, D., Witcombe, J. R. Highly client-oriented breeding, using local preferences and selection, produces widely adapted rice varieties. *Field Crops Res.* **2007**, 100, 107-116.
- Kornegay, J., Beltran, J.A., Ashby, J. Farmer selections within segregating populations of common bean in Colombia. In: Participatory Plant Breeding, Eds Eyzaguirre, P., Iwanaga, M. Proceeding of a workshop on Participatory Plant Breeding, 26-29 July 1995, Wageningen, The Netherlands. IPGRI: Roma, **1996**; pp. 151-159.
- Lançon, J. Pour une conception élargie de la sélection participative. In: La sélection participative : impliquer les utilisateurs dans l'amélioration des plantes. Eds Hocdé, H., Lançon, J., Trouche G. Actes de l'atelier MICAP, Montpellier, 5-6 septembre 2001. CIRAD-MICAP: Montpellier, **2002**; pp. 8-17.
- Lançon, J., Lewicki S., Djaboutou M., Chaume J., Sekloka J., and Farmer-Breeders: Assogba L., Takpara D., Orou Moussé B. I. Decentralized and participatory cotton breeding in Benin: farmer-breeders' results are promising. *Exp. Agric.* **2004**, 40, 419-431.
- Lançon, J., Hocdé, H. Un cadre de référence pour l'analyse de projets de sélection participative. In: Gestion du partenariat dans les projets de sélection participative Eds Lançon J., Weltzien E., Floquet A. Actes de l'atelier de formation organisé du 14 au 18 mars 2005, Cotonou, Benin. CIRAD, INRAB, Coopération Française: Montpellier, **2006**; pp. 15-20.
- Lançon, J., Lewicki, S., Viot, C., Djaboutou, M., Cousino, J.C., Sekloka, E. Recréer du lien dans les filières cotonnières : la sélection participative au Bénin et au Paraguay. *Cah. Agric.* **2006**, 15, 92-99.
- Lançon, J., Pichaut, J.P., Djaboutou, M., Lewicki-Dhainaut, S., Viot, C., Lacape, M. Use of molecular markers in participatory plant breeding: assessing the genetic variability in cotton populations bred by farmers. *Ann. Appl. Biol.* **2008**, 152, 113-119.
- Lilja, N., Ashby, J.A. Types of participatory research based on locus of decision-making. Focus on who decides, who participates and when? PRGA working document N°6, CIAT: Cali, **1999**; pp. 1-10.
- MAG-FOR. Statistiques de la production agricole du Nicaragua 2000-2009.
- Mangione, D., Senni, S., Puccioni, M., Grando, S., Ceccarelli, S. The cost of participatory barley breeding. *Euphytica* **2006**, 150, 289-306.
- Manu-Aduening, J.A., Lamboll, R.I., Ampong Mensah, G., Lamptey, J.N., Moses, E., Dankyi, A.A., Gibson, R.W. Development of superior cassava cultivars in Ghana by farmers and scientists: the process adopted, outcomes and contributions and changed roles of different stakeholders. *Euphytica* **2006**, 150, 47-61.
- Martínez Sánchez, F. Análisis de los sistemas de cultivo a base de sorgo para la construcción de un programa de mejoramiento genético participativo en el departamento de Madriz,

Nicaragua. Thèse de Master of Science en “Développement Agricole Tropical” CNEARC: Montpellier, France, **2003**.

Matlon, P.J., 1985. A critical review of objectives, methods and progress to date in sorghum and millet improvement: case study of ICRISAT/Burkina Faso. In: *Appropriate Technologies for Farmers in Semi-Arid Africa*. Eds Ohm, H.W., Nagy, J.G. International Programs in Agriculture, Purdue University: West Lafayette, USA, **1985**; pp. 154-178.

Maurya, D.M., Bottrall, A., Farrington, J. Improved livelihoods, genetic diversity and farmer participation: a strategy for rice breeding in rainfed areas of India. *Exp. Agric.* **1988**, 24, 311-320.

Mekbib, F. Farmer and formal breeding of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and the implications for integrated plant breeding. *Euphytica* **2006**, 152, 163-176.

Mengue Efanden, C., Kwa, M., Temple, L., Lescot, T. Partenariat en sélection participative sur bananiers plantains: l'expérience du Centre africain de recherches sur bananiers et plantains au Cameroun. In: *Gestion du partenariat dans les projets de sélection participative*. Eds Lançon J., Weltzien E., Floquet A. Actes de l'atelier de formation organisé du 14 au 18 mars 2005, Cotonou, Benin. CIRAD, INRAB, Coopération Française: Montpellier, **2006**; pp.153-158.

Mulatu, E., Belete, K. Participatory varietal selection in lowland sorghum in eastern Ethiopia: impact on adoption and genetic diversity. *Exp. Agric.* **2001**, 37, 211-229.

Nkongolo, K.K., Chinthu, L., Malusi, M., Vokhiwa, Z. Participatory variety selection and characterization of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) elite accessions from Malawian gene pool using farmer and breeder knowledge. *Afr. J. Agric. Res.* **2008**, 3 (4), 273-283.

Nolot, J.M. Sélection participative en agriculture biologique: “point de vue d'agronome”. Actes du Séminaire SELPARTAB de Balaruc, 22-24 novembre 2005. INRA Auzéville, **2005**; pp. 1-8.

Ouattara, M., Vaksman, M., Reyniers, F.N., Kouressy, M., Niangado, O. Variabilité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agroécosystèmes. In: *The future of photoperiodical cereals for sustainable production in the semiarid tropics of Africa*. Eds Bacci, L., Reyniers, F.N., 1998, p.123-137. Actes du séminaire international, 27-30 avril 1998, Florence, Italie. Ed. CeSIA, Florence, Italie, Cirad, Montpellier, France.

Ouédraogo, S. Intensification de l'agriculture dans le plateau central du Burkina Faso: Une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies. Thesis, Groningen University, **2005**, pp 1-322.

Plessis, J. Vers la compréhension de la gestion locale des semences de sorgho: une aide à la diffusion des variétés générées par un programme de sélection participative. Etude réalisée dans la zone nord du Nicaragua. Mémoire d'ingénieur ISTOM: Cergy-Pontoise, France, **2004**.

Pretty, J.N. Participatory learning for sustainable agriculture. *World Development* **1995**, 23 (8), 1247-1263.

- Rapidel, B., Rodríguez, R. J. Zonificación agrometeorológica de las lluvias en Nicaragua. CATIE: Turrialba, **1989**; pp.1- 26.
- Rosas, J.C. Aplicación de metodologías participativa para el mejoramiento genético de frijol en Honduras. *Agronomía Mesoamericana* **2001**, 12 (2), 219-228.
- Rosas, J.C., Gallardo, O., Jiménez, J. Mejoramiento genético del frijol común mediante enfoques participativos en Honduras. *Agronomía Mesoamericana* **2003**, 14 (1), 1-9.
- Rosas Sotomayor, J.C., Gallardo Guzman, O., Jiménez Torres, J. Mejoramiento de maíces criollos de Honduras mediante la aplicación de metodologías de fitomejoramiento participativo. *Agronomía Mesoamericana* **2006**, 17 (3), 383-392.
- Serna-Saldivar, S.O., Telles-Giron, A., Rooney, L.W. Production of tortilla chips from sorghum and maize. *Journal of Cereal Science* **1988**, 8, 275-284.
- Snowden, J.D. The cultivated races of sorghum. Adlard: London, **1936**; pp. 1-274.
- Sölkner, J., Grausgruber, H., Mwai Okeyo, A., Ruckenbauer, P., Wurzinger, M., 2008. Breeding objectives and the relative importance of traits in plant and animal breeding: a comparative review. *Euphytica* 161, 273-282.
- Sperling, L., Loevinsohn, M.E., Ntabomvuras, B. Rethinking the farmer's role in plant breeding: local bean experts and on station selection in Rwanda. *Exp. Agric.* **1993**, 29, 509-419.
- Steele, K.A., Gyawali, S., Joshi, K.D., Shrestha, P., Sthapit, B.R., Witcombe, J.R. Has the introduction of modern rice varieties changed rice genetic diversity in a high-altitude region of Nepal? *Field Crops Res.* **2009**, 113, 24-30.
- Sthapit, B.R., Joshi, K.D., Witcombe, J.R. Farmer participatory crop improvement. III. Participatory plant breeding, a case study for rice in Nepal. *Exp. Agric.* **1996**, 32, 479-496.
- Tiwari, T.P., Virk, D.S., Sinclair, F.L. Rapid gains in yield and adoption of new maize varieties for complex hillside environments through farmer participation. I. Improving options through participatory varietal selection (PVS). *Field Crops Res.* **2009**, 111, 137-143.
- Thapa, D.B., Sharma R.C., Mudwari A., Ortiz-Ferra G., Sharma S., Basnet R.K., Witcombe J.R., Virk D.S., Joshi K.D. Identifying superior wheat cultivars in participatory research on resource poor farms. *Field Crops Res.* **2009**, 112, 124-130.
- Toledo Machado, A., Arcanjo Nunes, J., Torres de Toledo Machado, C., Lourenço Nass, L., Candido da Rocha Bettero, F. Mejoramiento participativo en maíz: su contribución en el empoderamiento comunitario en el municipio de Muqui, Brasil. *Agronomía Mesoamericana* **2006**, 17 (3), 393-405.
- Trouche, G., Da, S., Pale, G., Sohero, A., Ouedraogo, O., Den Gosso, G. Evaluation participative de nouvelles variétés de sorgho au Burkina Faso. In: La sélection participative : impliquer les utilisateurs dans l'amélioration des plantes. Eds Hocdé, H., Lançon, J., Trouche

G. Actes de l'atelier MICAP, Montpellier, 5-6 septembre 2001. CIRAD-MICAP: Montpellier, **2002** ; pp. 36-55.

Trouche, G., Chow, Z., Aguirre, S. Informe anual de actividades en sorgo. Proyecto de fitomejoramiento participativo de arroz y sorgo. CIAT-CIRAD/INTA, **2004a** ; pp 1-30.

Trouche, G., Vaxsmann, M., Reyniers, F., Touré, A., Konaté, A., Weltzien, E., Sautier, D., De Raïssac, M. Un projet de préservation in situ de l'agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso par l'amélioration participative des écotypes locaux. In: Participatory plant breeding and participatory plant genetic resource enhancement: an Africa-wide exchange of experiences. Eds Sperling, L, Lançon, J., Loosvelt, M. Proceedings of a workshop held on M'bé, Ivory Coast, May 7-May 10, 2001. CGIAR: Washington, **2004b** ; pp. 367-377.

Trouche, G. 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, Ed. Guimarães, E.P. FAO: Roma, **2005** ; pp. 99-110.

Trouche, G.; Hocdé, H.; Aguirre-Acuña, S.; Martínez, F.; Gutiérrez-Palacios, N. Dinámicas campesinas y fitomejoramiento participativo: el caso de los sorgos blancos (*Sorghum bicolor*, L. Moench) en la región norte de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* **2006a**, 17(3), 407-425.

Trouche, G., Hocdé, H., Aguirre, S., Sélection participative des sorghos au Nicaragua: approche et dispositifs. In: Gestion du partenariat dans les projets de sélection participative. Eds Lançon J., Weltzien E., Floquet A. Actes de l'atelier de formation organisé du 14 au 18 mars 2005, Cotonou, Benin. CIRAD, INRAB, Coopération Française: Montpellier, **2006b**, p.159-173.

Trouche, G., Narvaez Rojas, L., Chow Wong, Z., Corrales Blandon, J. Fitomejoramiento participativo del arroz de secano en Nicaragua: metodologías, resultados y lecciones aprendidas. *Agronomía Mesoamericana* **2006c**, 17(3), 307-322.

Trouche, G., Aguirre Acuña, S., Hocdé H., Obando Solís, R., Gutiérrez Palacios, N., Chow Wong, Z. Valorisation de la diversité génétique du sorgho par des approches de sélection participative au Nicaragua. *Cah. Agric.* **2008a**, 17 (2), 154-159.

Trouche, G., Hocdé, H., Aguirre, S., Ortega Sequeira, I. Farmers and sorghum in Nicaragua's northern region. *LEISA Magazine* **2008b**, 24 (4), 12-13.

Trouche G., Chow Z., Châtel M., Martinez C., Narvaez L. Obregon J.R. Participatory breeding of upland rice in Nicaragua: matching the needs of small rice producers (poster). In: Seminaire of CIAT Knowledge Sharing and Board of Trustees Weeks, 7-19 avril 2008. CIAT: Cali, **2008c**; pp. 1

Trouche, G., vom Brocke, K., Aguirre, S., Chow, Z. Giving new sorghum variety options to resource-poor farmers in Nicaragua through participatory varietal selection. *Exp. Agric.* **2009**, 45, 451-467.

Trouche, G., Aguirre Acuna, S., Castro Briones, B., Gomez, O., Guillén, H.F., Paz, L., Hocdé, H. Partage des connaissances entre agriculteurs et chercheurs pour créer des innovations variétales. Leçons des programmes de sélection participative du sorgho conduits dans la région Nord du Nicaragua. Actes du congrès ISDA, 28-30 juin 2010, Montpellier, France. Archives Hal, **2010**; pp 1-11 p.

Trouche, G., Aguirre Acuña, S., Castro Briones, B., Gutiérrez Palacios, N., Lançon J. Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: I. Agronomic performance. *Field Crops Res.* **2011**, 121, 19-28.

Vaksmann, M., Traore, S.B., Niangado, O. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et Développement* **1996**, 9, 13-18.

Vaksmann, M., Kouressy, M., Chantereau, J., Bazile, D., Sagnard, F., Touré, A., Sanogo, O., Diawara, G., Danté, A. Utilisation de la diversité génétique des sorghos locaux du Mali. *Cah. Agric.* **2008**, 17 (2), 140-145.

Vales, M.; Dossmann J.; Salazar, S.; García, J.; Muñoz, C.; Salgado, S.; Paz, O. & Muñoz, H.. Selección recurrente y mejoramiento participativo del arroz de secano con tolerancia al frío para pequeños productores de las cordilleras colombianas. *II Taller Internacional de Mejoramiento de Arroz de Secano*, 5–9 March 2002, Santa Cruz, Bolivia, **2002**.

Vales, M. Some innovations in rice recurrent selection: The back recurrent selection (BCRS), the simplified and efficient rice breeding method (SERB), and the plant-parasite reciprocal recurrent selection (2P2RS). *Crop protection* **2010**, 29 (4), 311-317.

Viguié, P., La riziculture indigène au Soudan français. Edition Larose: Paris, **1939**.

Virk, D.S., Singh, D.N., Prasad, S.C., Gangwar, J.S., Witcombe, J.R. Collaborative and consultative participatory plant breeding of rice for the rainfed uplands of eastern India. *Euphytica* **2003**, 132, 95-108.

Virk, D.S., Witcombe, J.R. Trade-offs between on-farm varietal diversity and highly client-oriented breeding - a case study of upland rice in India. *Genet. Resour. Crop Ev.* **2007**, 54, 823-835.

vom Brocke, K., Trouche, G., Zongo, S., Abdramane, B., Barro Kondombo, C.P., Weltzien, E., Chantereau, J. Création et amélioration de populations de sorgho à base large avec les agriculteurs au Burkina Faso. *Cah. Agric.* **2008**, 17 (2), 146-153.

vom Brocke, K., Trouche, Weltzien, E., Barro Kondombo, C.P., Gozé, E., Chantereau, J. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: farmers' selection and farmers' criteria. *Field Crops Res.* **2010**, 119, 183-194.

Vom Brocke, K., Trouche, G., Hocdé, H., Bonzi, N. Sélection variétale au Burkina Faso: un nouveau type de partenariat entre chercheurs et agriculteurs. *Grain de Sel* n° 52-53 *Les semences : intrant stratégique pour les agriculteurs* **2011**, pp 20-21.

Witcombe, J.R., Joshi, A., Joshi, K.D., Sthapit, B.R. Farmer participatory crop improvement, I: Varietal selection and breeding, methods and their impact on biodiversity. *Exp. Agric.* **1996**, 32, 443–460.

Witcombe, J.R., Virk, D.S. Number of crosses and population size for participatory and classical plant breeding. *Euphytica* **2001**, 122, 451–462.

Witcombe, J.R., Joshi, K.D., Gyawali, S., Musa, A., Johansen, C., Virk, D.S., Sthapit B.R. Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. I. Four indicators of client-orientation. *Exp. Agric.* **2005**, 41, 1-121.

Witcombe, J.R., Gyawali, S., Sunwar, S., Sthapit B.R., Joshi, K.D. Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. II. Optional farmer collaboration in the segregating generations. *Exp. Agric.* **2006**, 42, 79-90.

Weltzien, R.E.; Whitaker, M.L. & Anders, M.M. Farmer participation in pearl millet breeding for marginal environments. *In: Participatory plant breeding*, Eds Eyzaguire, P., Iwanaga, M. Proceedings of a workshop on participatory plant breeding, 26–29 July 1995, Wageningen, The Netherlands. IPGRI, Roma: **1996**; pp.128–143.

Yapi, A.M., Kergna, A.O., Debrah, S.K., Sidibé, A., Sanogo, O. Analysis of the Economic Impact of Sorghum and Millet Research in Mali. Impact Series n° 8. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India, **2000**; pp 1-60.

Annexes

ANNEXE I : ANALYSE DE LA DIVERSITE GENETIQUE DES SORGHOS *MILLONS CRIOLLOS* DU NICARAGUA

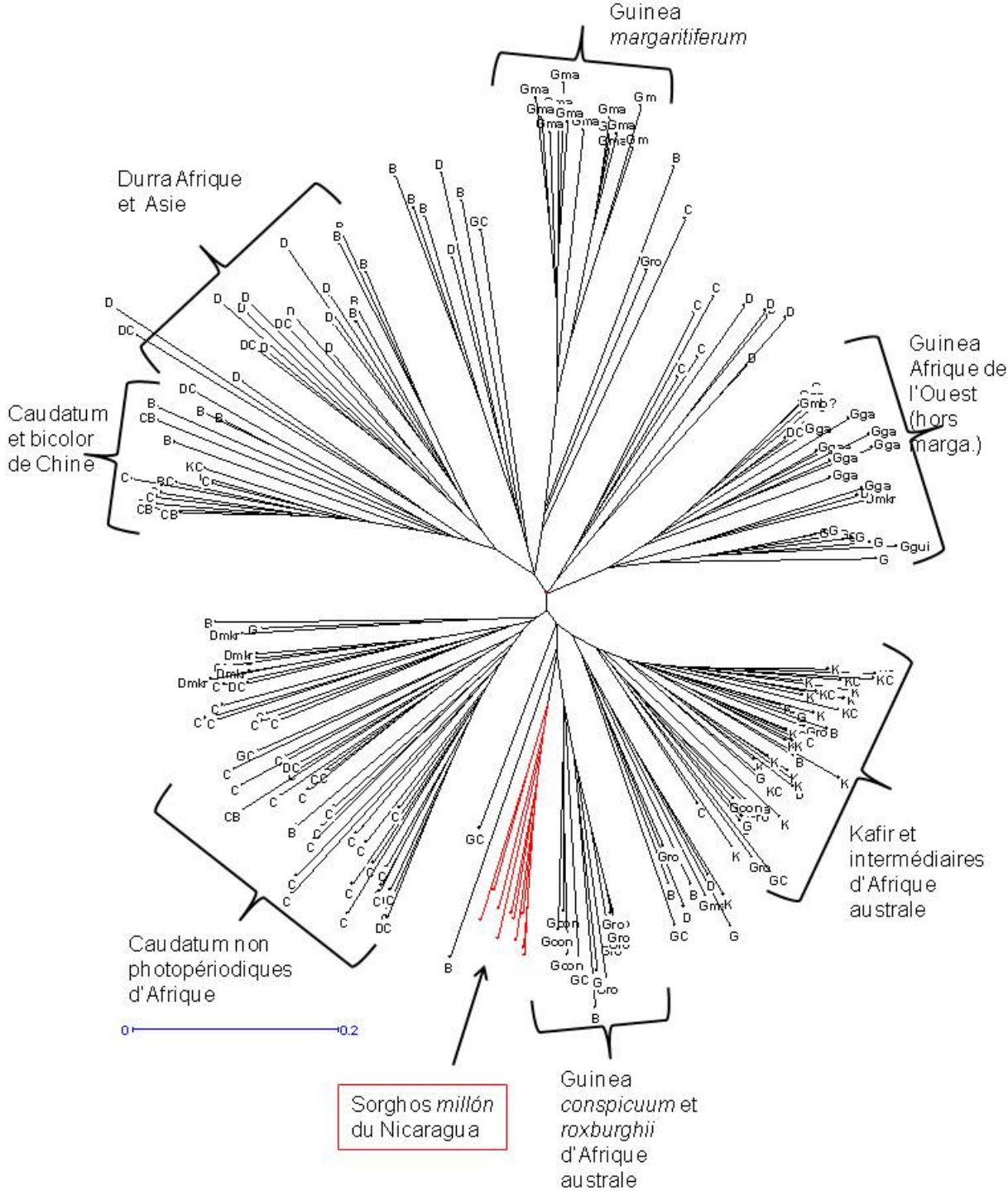


Figure 1 : Dendrogramme radial, construit selon la méthode Neighbour Joining et basé sur les données alléliques des 20 marqueurs microsatellites, repositionnant les 12 cultivars de sorgho million du Nicaragua par rapport aux 210 accessions de la Core Collection sorgho Cirad (Communication personnelle M. Deu, 2011).

ANNEXE II : USAGES DU SORGHO AU NICARAGUA



Planche 1 : Exemples de produits alimentaires élaborés à partir du sorgho au Nicaragua.

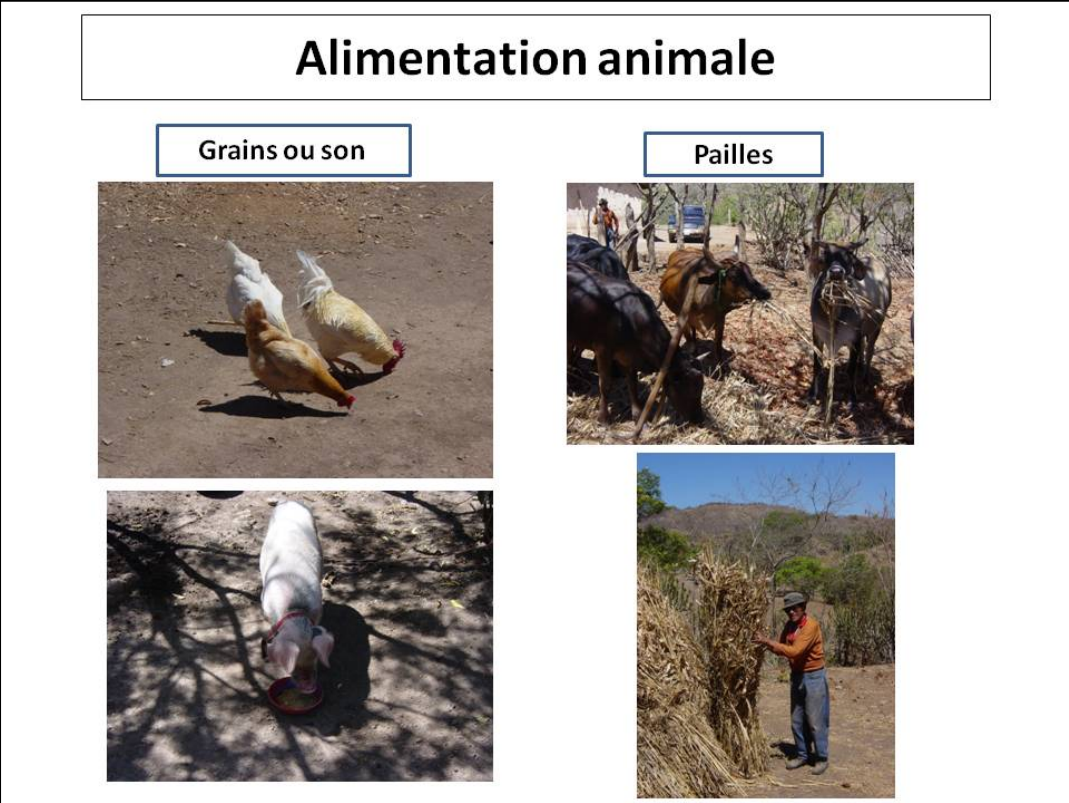


Planche 2 : Exemples d'utilisation des grains et des pailles de sorgho pour l'alimentation animale au Nicaragua.

Autres usages du sorgho

Balais de sorgho fabriqués avec les panicules des variétés de type *escoba*



Qualité exportation

Poulailler fabriqué avec des tiges des variétés de type *millón*



Planche 3 : Autres usages traditionnels des panicules et des tiges de sorgho au Nicaragua.

ANNEXE III: ILLUSTRATION DES ETAPES ET ACTIONS DE SELECTION PARTICIPATIVE DU SORGHO

Evaluation participative du matériel végétal: une méthode basée sur les critères des agriculteurs

Ateliers de groupe dans chaque site



Identification et hiérarchisation des critères de sélection



Sélección variétal participativa

Evaluación au champ



Evaluación en post-récolte: tests culinaires



Planche 1 : Méthode d'évaluation des nouvelles lignées de sorgho tortillero selon les critères de sélection des producteurs (hommes et femmes), appliquée pour la sélection variétal participative.

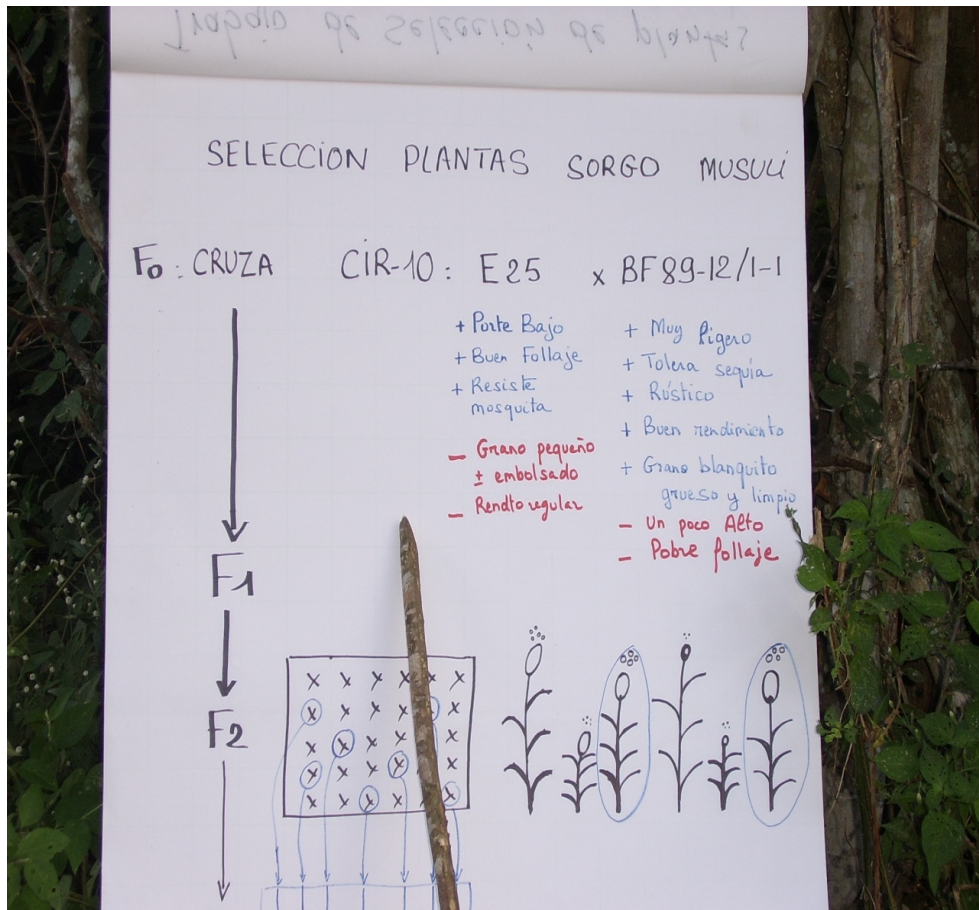


Planche 2 : Organisation sur le terrain d'un atelier de formation sur la sélection du sorgho pour le groupe des agriculteurs-sélectionneurs de Totogalpa-Cayantu.



Planche 3 : Travaux de sélection de plantes dans des populations F_2 issues de croisements simples réalisés par les agriculteurs-sélectionneurs pour les schémas de sélection CIR-10 (Cleotilde Vargas Soto et Silverio Rios à Palacagüina) et CIR-8 (Santos Manuel López à Tototalpa).

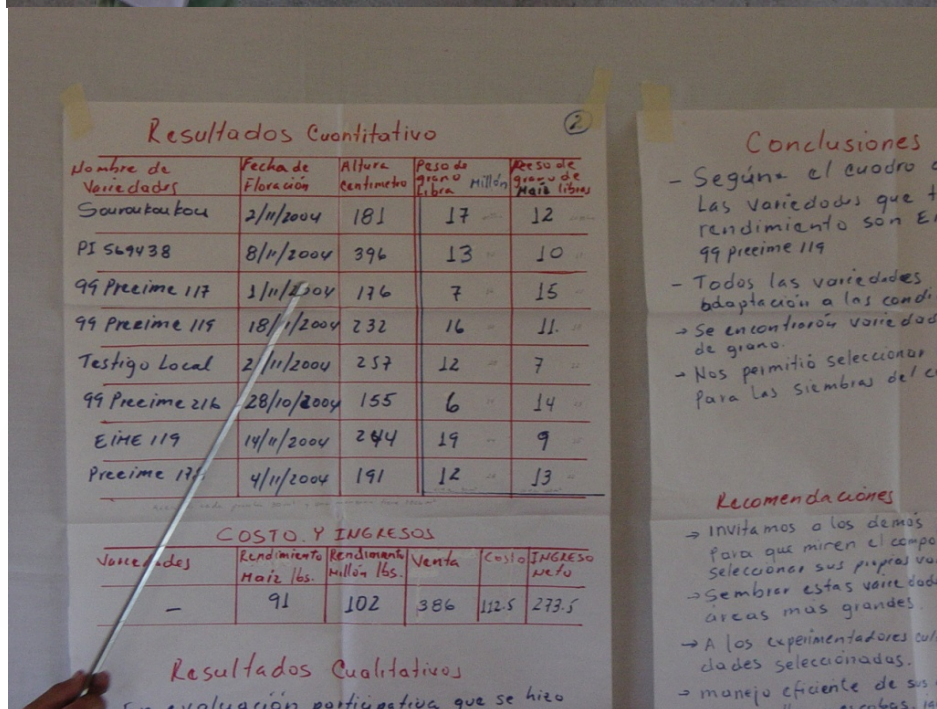


Planche 4 : Exemple d'un exposé réalisé par un agriculteur-évaluateur auprès des autres producteurs de sa communauté sur les résultats d'un essai variétal de sorgho *millón* conduit sur sa ferme, au cours d'un atelier annuel de restitution et d'analyse des résultats de la campagne agricole.

ANNEXE IV

Tableau 1: Code d'identification, parents et objectifs des croisements simples exploités dans les schémas de création variétale participative décentralisée conduits au Nicaragua.

Code du croisement	Parent femelle	Parent mâle	Objectifs de sélection poursuivis	Lieu du travail de sélection
CIR-1	BF 94-6/11-1K-1K	Sorgo estopa negra	Obtenir des lignées de taille courte (<1.5 m), précoces et rendement grain et qualité des pailles améliorés par rapport à la variété locale <i>Sorgo Estopa Negra</i> , en conservant ses caractères de rusticité et qualité de grain.	Unile (Somoto)
CIR-2	IRAT 204	Sorgo estopa negra	Idem CIR-1	Unile (Somoto)
CIR-6	BF 94-6/11-1K-1K	Sorgo Ligerio	Obtenir des lignées de taille moyenne (<1.8m) et qualité des pailles améliorée, avec les mêmes qualités de précocité, rusticité, productivité et qualité de grain de Sorgo Ligerio.	Santo Domingo (Totogalpa)
CIR-7	Souroukougou	Millón Santa Cruz	Obtenir des lignées photopériodiques de taille moyenne (1.8-2.5 m), qui fleurissent de 5 à 10 jours avant les cultivars traditionnels, résistant à la verse et à qualité fourragère des pailles améliorée combinés avec une bonne productivité et qualité de grain.	Santo Domingo (Totogalpa)
CIR-8	Souroukougou	Millón Tortillero Temprano	Idem que CIR-7	Santo Domingo (Totogalpa)
CIR-10	BF 94-6/46K-1F-1K-1F	BF 89-12/1-1-1 (Blanco Tortillero)	Obtenir des lignées de taille plus courte et meilleure qualité des pailles que Blanco Tortillero, en conservant les qualités de précocité, stabilité de rendement et qualité de grain de celle-ci.	Musuli (Palacagüina)
CIR-14	INTA Ligerio	BF 89-18/133-2-1	Obtenir des lignées de taille plus courte et meilleure qualité des pailles que BF 89-18/133-2-1 en conservant les qualités de précocité, rendement et qualité de grain de celle-ci.	Cayantu (Totogalpa)
CIR-15	INTA Ligerio	CEF 322/36-1-1	Obtenir des lignées précoces, de hauteur et type de panicule intermédiaire entre ses deux parents, à bonne productivité et gros grains blancs.	La Manzana (San Lucas)
CIR-21	Hungary II	L 418C	Obtenir des lignées de sorgho à balais précoces de taille moyenne, plus tolérantes à la verse et aux maladies foliaires et de bonne production et longueur des fibres.	Cayantu (Totogalpa)

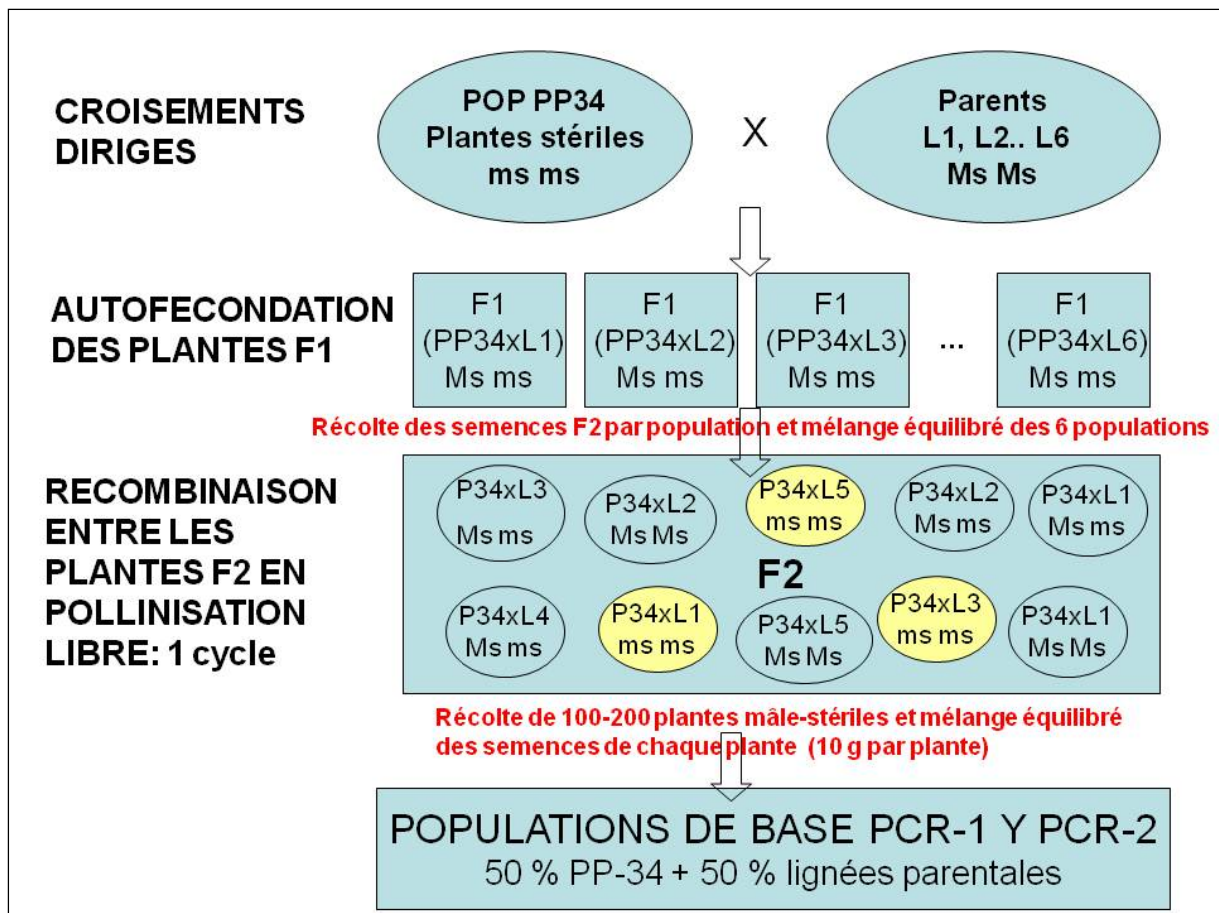


Figure 1: Mode de création des populations synthétiques de sorgho PCR-1 et PCR-2 avec le gène de stérilité mâle ms3.

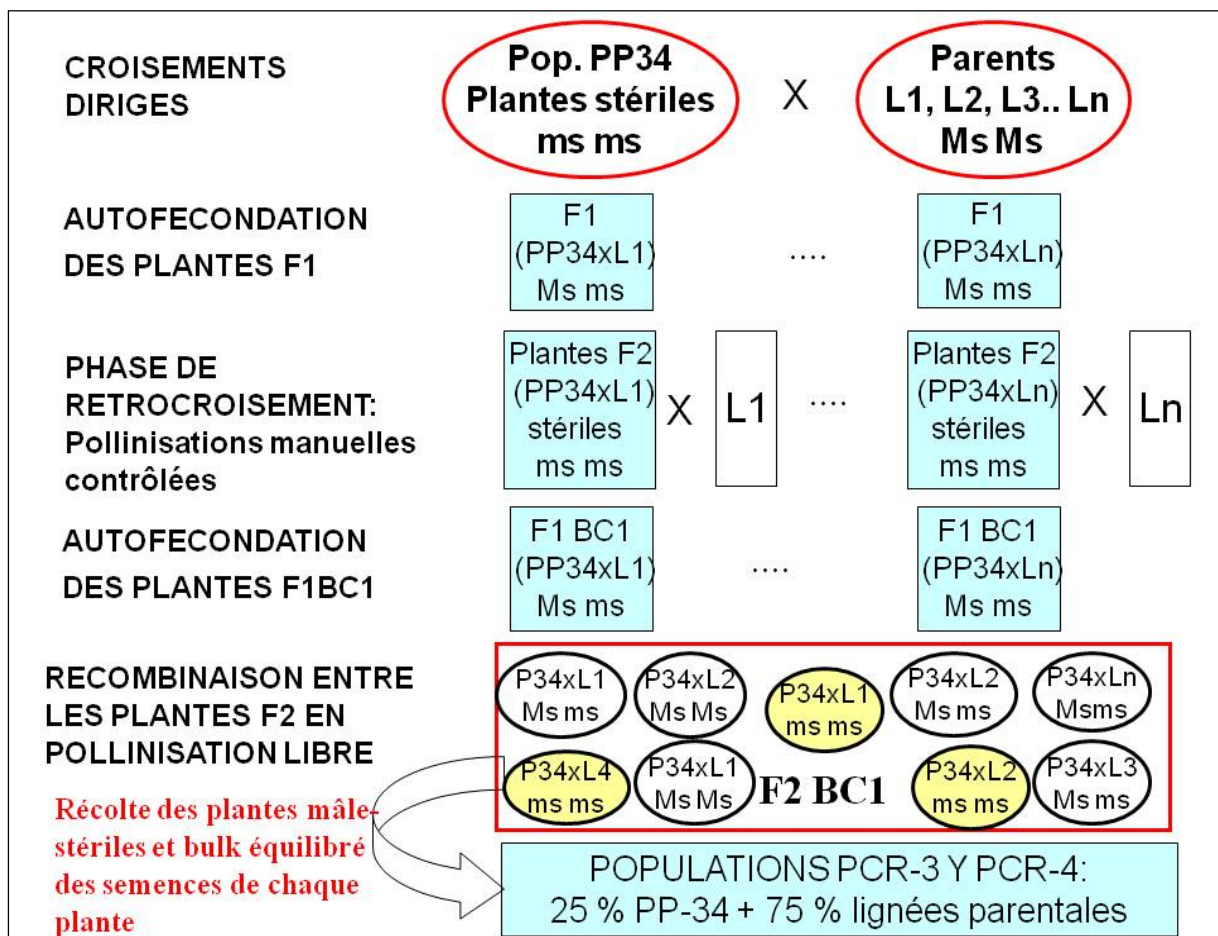


Figure 2 : mode de création des populations synthétiques de sorgho PCR-3 et PCR-4 avec le gène de stérilité mâle ms3.

ANNEXE V: Protocole type des essais évaluant les performances des lignées issues des schémas de sélection PPB en milieu paysan, en comparaison aux autres modes de sélection

Proyecto:	Fitomejoramiento participativo de sorgo CIAT-CIRAD
Título:	Ensayos de rendimiento nuevas líneas PCR-2
Código ensayo:	SO-MAD-07-E3
Sitio:	Nicaragua – Pueblo Nuevo
Responsables:	G. Trouche (CIAT-CIRAD) y Silvio Aguirre (CIPRES)
Colaboradores:	Blanca Castro y Productores experimentadores
Antecedentes:	Trabajos de selección participativa de líneas a partir de la población PCR-2 realizados en Pueblo Nuevo y en el CNIA desde 2005.
Objetivos:	Comparar las características agronómicas, el rendimiento y la aceptación por los productores de 120 líneas S2-3 de sorgo generadas con dos modalidades de selección a partir de la población sintética PCR-2 en dos sitios en Nicaragua.
Hipótesis:	La selección de los productores in situ es más eficiente para desarrollar líneas de calidad, bien adaptadas y aceptadas en su zona comparada a una selección ex situ.
Diseño experimental:	Alpha-plan design con 3 repeticiones (ver plano de campo adjunto)
Tratamientos:	124 entradas: 60 líneas S2-3 PCR-2 seleccionadas por los productores en Pueblo Nuevo, 60 líneas S2-3 seleccionadas por el fitomejorador en el CNIA + 4 variedades testigo BF 89-12/1-1-1, Africana, INTA CNIA y testigo local (ver listado adjunto).
Area experimental:	Cada parcela experimental tendrá 2 surcos de 4 metros de largo con una distancia entre surcos de 0.75 metro. El ensayo tendrá un área total de 2500 m ² , incluidos una calle de 1 metro entre cada bloque y 1 surco de borde alrededor del ensayo.
Semillas:	10 g por parcela
Preparación del suelo:	Arado con bueyes
Siembra:	La siembra se debe realizar entre la primera o segunda semana de septiembre en época de postrera, con una buena humedad del suelo. Se realizará a chorrillo ubicando las semillas a una profundidad de 2 a 3 cm.
Fertilización:	Se aplicará en el ensayo una fertilización mínima conforme a las recomendaciones del INTA para el cultivo de sorgo mejorado con bueyes: - al momento de la siembra, aplicar en el surco 1 qq/mz (64 kg/ha) de completo NPK 12-30-10 o equivalente. - tres semanas después de la emergencia, aplicar 1 qq/mz (64 kg/ha) de urea 46 % N.

Manejo :	Para el control de plagas del suelo, se aplicará el insecticida Terbusag o equivalente al momento o poco después de la siembra. Entre los 10 y 15 días después de la emergencia de las plántulas, se debe efectuar un primer raleo para dejar aprox. 60 plantas por surco (15 plantas por metro lineal). Se recomienda dos controles manuales de malezas a los 20 y 35 días después de la siembra. Se realizará un control químico en caso de ataque fuerte del cogollero.
VARIABLES A MEDIR:	Las observaciones agronómicas y las cosechas serán realizadas sobre los dos surcos de cada parcela experimental tal como detallado adelante
Otros datos a medir:	Lluvia y temperaturas mínima y máxima por día. Historia del lote (utilización anterior del lote) y manejo de las parcelas (fecha, duración y labores de preparación del suelo, control de malezas, fertilización y labores adicionales).
Duración:	4 meses

Variables a medir en el ensayo

- Vigor a emergencia (primera) : evaluar 8 días después de la siembra usando una escala de 1 a 5 donde 1= vigor excelente, 2 = buena vigor, 3 = vigor intermedia, 4 = vigor débil, 5 = mal vigor y emergencia
- Fecha de floración: anotar la fecha cuando el 50% de las plantas de la parcela útil alcance la fase de floración para la mitad de la espiga o panoja
- Severidad daños de enfermedades foliares (especificar las enfermedades) con una escala de 1 a 9 :
2 notaciones a los 60 dds y al estado de floración

Nota	% del area foliar infectada
1	Ningún síntoma de la enfermedad visible
2	1-5 % del area foliar infectada
3	6-10 % del area foliar infectada
4	11-20 % del area foliar infectada
5	21-30 % del area foliar infectada
6	31-40 % del area foliar infectada
7	41-50 % del area foliar infectada
8	51-75 % del area foliar infectada
9	Más de 75% del área foliar infectada

- Incidencia de insectos (especificar los insectos) con una escala de 1 a 5: 1= sin daño, 2 = 1-10 % de las plantas afectadas, 3 = 11-25 % p.a., 4 = 26-40 % p.a. 5 = mas de 40 % de plantas afectadas
- Altura de planta : se mide desde la base del tallo hasta el extremo superior de la panoja, tomar 5 plantas por parcela diez días antes de la cosecha
- Stay-green (senescencia foliar) a madurez con una escala de 1 = ninguna hoja muerta, 2 = 1-25 % hojas muertas, 3 = 26-50 % hojas muertas, 4 = 51-75 % hojas muertas, 5 = más de 75 % hojas muertas
- Porcentaje de plantas caídas (acamadas) al momento de la cosecha
- Número de plantas y panojas cosechadas por parcela útil
- Peso de campo de las panojas por parcela útil
- Humedad de los granos con el medidor de grano
- Peso de 200 granos: contar 200 granos y pesarlos en gramos

ANNEXE VI

Tableau 1: Paramètres de l'analyse de variance et valeurs d'héritabilité par caractère agronomique mesuré pour les essais d'évaluation de lignées **conduits en station** exploités dans l'étude de thèse.

année	localité	code essai	variable	unité	nombre rep	moyenne	ddl-e	CM-génotype	CM-e	ET-e	F génotype	proba F	CV (%)	variance génotypique	variance environnement	H ²	utilisation des données dans analyses
2006	station CNIA	F4 CIR-6 CNIA 2006	cycle semis-floraison	jours	1	62.10	10	7.55	1.66	1.29	4.56	0.0061	1052.63	5.89	1.66	0.78	oui
2006	station CNIA	F4 CIR-6 CNIA 2006	hauteur plante	cm	1	197.58	10	1074.25	256.24	16.01	4.19	0.0085	8.10	818.01	256.24	0.76	oui
2006	station CNIA	F4 CIR-6 CNIA 2006	rendement grain	kg/ha	1	4760.00	10	2140550.00	427300.00	653.68	5.01	0.0041	13.73	1713250.00	427300.00	0.80	oui
2006	station CNIA	F4 CIR-6 CNIA 2006	poids 1000 grains	g	1	62.55	10										oui
2007	station CNIA	E2 CNIA 2007	cycle semis-floraison	jours	3	61.17	152	24.45	1.69	1.30	14.44	<0.0001	2.13	7.59	1.69	0.82	oui
2007	station CNIA	E2 CNIA 2007	hauteur plante	cm	3	193.59	153	2757.78	154.45	12.43	17.85	<0.0001	6.42	867.77	154.45	0.85	oui
2007	station CNIA	E2 CNIA 2007	poids 1000 grains	g	3	29.16	153	38.20	2.93	1.71	13.05	<0.0001	5.87	11.76	2.93	0.80	oui
2007	station CNIA	E2 CNIA 2007	rendement grain	kg/ha	3	5116.72	153	2299071.20	458993.00	677.49	5.01	<0.0001	13.24	613359.40	458993.00	0.57	oui
2007	station CNIA	E2 CNIA 2007	poids grain par panicule	g	3	23.97	153	54.88	7.76	2.79	7.07	<0.001	11.62	15.71	7.76	0.67	oui
2007	station CNIA	E3 CNIA 2007	cycle semis-floraison	jours	3	63.22	206	9.96	1.39	1.18	7.15	<0.0001	1.87	2.86	1.39	0.67	oui
2007	station CNIA	E3 CNIA 2007	hauteur plante	cm	2	195.49	97	928.60	145.06	12.04	7.54	<0.0001	6.16	391.77	145.06	0.73	oui
2007	station CNIA	E3 CNIA 2007	poids 1000 grains	g	3	31.40	207	39.63	2.84	1.68	13.98	<0.0001	5.36	12.27	2.84	0.81	oui
2007	station CNIA	E3 CNIA 2007	rendement grain	kg/ha	3	5155.49	207	2062606.30	564512.90	751.34	3.81	<0.0001	14.57	499364.47	564512.90	0.47	oui
2007	station CNIA	E3 CNIA 2007	poids grain par panicule	g	3	27.77	207	94.45	22.26	4.72	4.24	<0.0001	16.99	24.06	22.26	0.52	oui
2008	station CNIA	E3 CNIA 2008	cycle semis-floraison	jours	3	60.50	35	10.40	1.72	1.31	6.05	<0.0001	2.17	2.89	1.72	0.63	oui
2008	station CNIA	E3 CNIA 2008	hauteur plante	cm	3	201.20	35	2255.20	187.20	13.68	12.05	<0.0001	6.80	689.33	187.20	0.79	oui
2008	station CNIA	E3 CNIA 2008	poids 100 grains	g	3	32.10	35	15.19	1.82	1.35	8.36	<0.0001	4.20	4.46	1.82	0.71	oui
2008	station CNIA	E3 CNIA 2008	rendement grain	kg/ha	3	4563.00	35	2739139.00	350320.00	591.88	7.82	<0.0001	12.97	796273.00	350320.00	0.69	oui

Légende du tableau : ddl= degrés de liberté ; e = erreur ou résiduel ; CM= carré moyen ; ET = écart-type ; CV= coefficient de variation ; H² = héritabilité sens large

Tableau 2: Paramètres de l'analyse de variance et valeurs d'héritabilité par caractère agronomique mesuré pour les essais d'évaluation de lignées conduits en milieu paysan exploités dans l'étude de thèse.

année	localité	code essai	variable	unité	nombre rep	moyenne	ddl-e	CM-génotype	CM-e	ET-e	F génotype	proba F	CV (%)	variance génotypique	variance environnement	H+S40 ²	utilisation des données dans analyses
2007	Totogalpa	E2 STO DOMINGO 2007	cycle semis-floraison	jours	3	65.60	153	17.06	2.82	1.68	6.05	<0.0001	2.56	4.75	2.82	0.63	oui
2007	Totogalpa	E2 STO DOMINGO 2007	hauteur plante	cm	3	149.06	153	877.12	118.34	10.88	7.41	<0.0001	7.30	252.93	118.34	0.68	oui
2007	Totogalpa	E2 STO DOMINGO 2007	rendement grain	kg/ha	3	1903.61	153	211362.40	168992.30	411.09	1.25	0.11	21.60	14123.37	168992.30	0.08	oui
2007	Totogalpa	E2 STO DOMINGO 2007	poids 1000 grains	g	3	27.99	153	18.92	0.58	0.76	28.66	<0.0001	2.72	6.11	0.58	0.91	oui
2007	Totogalpa	E4 ARMANDO 2007	cycle semis-floraison	jours	3	65.98	64	14.23	1.28	1.13	11.14	<0.0001	1.71	4.32	1.28	0.77	oui
2007	Totogalpa	E4 ARMANDO 2007	hauteur plante	cm	3	131.32	64	301.04	56.15	7.49	5.36	<0.0001	5.71	81.63	56.15	0.59	oui
2007	Totogalpa	E4 ARMANDO 2007	rendement grain	kg/ha	2	1582.56	29	55741.51	63988.53	252.96	0.87	0.66	15.98	-4123.51	63988.53	-0.07	oui
2007	Totogalpa	E4 ARMANDO 2007	poids 1000 grains	g	2	27.48	29	9.07	0.77	0.88	11.75	<0.0001	3.20	4.15	0.77	0.84	oui
2007	Totogalpa	E5 STO DOMINGO	cycle semis-floraison	jours	2	61.83	69	14.18	5.40	2.32	2.62	<0.0001	3.76	4.39	5.40	0.45	oui annexe
2007	Totogalpa	E5 STO DOMINGO	hauteur plante	cm	2	159.72	69	400.81	165.83	12.88	2.42	<0.0001	8.06	117.49	165.83	0.41	oui annexe
2007	Totogalpa	E5 STO DOMINGO	rendement grain	kg/ha	2	2639.06	68	319630.71	299507.80	547.27	1.07	0.3918	20.74	10061.46	299507.80	0.03	oui annexe
2007	Totogalpa	E5 STO DOMINGO	poids 1000 grains	g	2	29.94	68	15.02	4.53	2.13	3.31	<0.0001	7.11	5.24	4.53	0.54	oui annexe
2007	Totogalpa	E5 STO DOMINGO	poids grain par panicule	g	2	25.00	68	39.66	34.74	5.89	1.14	0.284	23.58	2.46	34.74	0.07	oui annexe
2008	Totogalpa	E2 DOMINGO 2008	cycle semis-floraison	jours	2	70.90	11	10.12	7.07	2.66	1.43	0.275	3.75	1.53	7.07	0.18	non éliminé
2008	Totogalpa	E2 DOMINGO 2008	hauteur plante	cm	2	125.38	10	153.16	91.29	9.55	1.68	0.202	7.62	30.94	91.29	0.25	non éliminé
2008	Totogalpa	E2 DOMINGO 2008	rendement grain	kg/ha	2	1086.72	10	60971.00	52381.00	228.87	1.16	0.416	21.06	4295.00	52381.00	0.08	non éliminé
2008	Totogalpa	E2 DOMINGO 2008	poids grain par panicule	g	2	12.85	10	15.39	7.11	2.67	2.16	0.107	20.75	4.14	7.11	0.37	non éliminé
2008	Totogalpa	E2 DOMINGO 2008	poids 100 grains	g	2	3.11	11	0.12	0.08	0.29	1.46	0.264	9.17	0.02	0.08	0.19	non éliminé
2007	Pueblo Nuevo	E3 ERWIN 2007	cycle semis-floraison	jours	3	64.62	207	29.19	2.52	1.59	11.6	<0.0001	2.46	8.89	2.52	0.78	oui
2007	Pueblo Nuevo	E3 ERWIN 2007	hauteur plante	cm	3	191.07	207	1080.81	237.56	15.41	4.55	<0.0001	8.07	281.08	237.56	0.54	oui
2007	Pueblo Nuevo	E3 ERWIN 2007	rendement grain	kg/ha	3	4474.79	207	1736947.30	728952.90	853.79	2.38	<0.0001	19.08	335998.13	728952.90	0.32	oui
2007	Pueblo Nuevo	E3 ERWIN 2007	poids 1000 grains	g	3	31.65	207	31.37	1.51	1.23	20.73	<0.0001	3.89	9.95	1.51	0.87	oui
2008	Pueblo Nuevo	E6 VISITACION 2008	cycle semis-floraison	jours	3	67.80	30	37.49	4.14	2.04	9.05	<0.0001	3.00	11.12	4.14	0.73	oui
2008	Pueblo Nuevo	E6 VISITACION 2008	hauteur plante	cm	3	137.20	30	1712.80	316.30	17.78	5.42	<0.0001	12.96	465.50	316.30	0.60	oui
2008	Pueblo Nuevo	E6 VISITACION 2008	rendement grain	kg/ha	3	2695.30	28	508705.00	244353.00	494.32	2.08	0.04	18.34	88117.33	244353.00	0.27	oui
2008	Pueblo Nuevo	E1 LUCILA 2008	cycle semis-floraison	jours	3	64.16	27	28.62	7.98	2.82	3.59	0.001	4.40	6.88	7.98	0.46	oui
2008	Pueblo Nuevo	E1 LUCILA 2008	hauteur plante	cm	2	117.83	11	638.20	107.10	10.35	5.96	0.02	8.78	265.55	107.10	0.71	oui
2008	Pueblo Nuevo	E1 LUCILA 2008	poids 100 grains	g	2	3.19	10	0.13	0.05	0.23	2.42	0.076	7.18	0.04	0.05	0.42	oui
2008	Pueblo Nuevo	E1 LUCILA 2008	rendement grain	kg/ha	2	1974.19	10	206801.00	72931.00	270.06	2.84	0.047	13.68	66935.00	72931.00	0.48	oui
2008	Pueblo Nuevo	E1 LUCILA 2008	poids grain par panicule	g	2	10.27	10	72.04	4.56	2.14	15.79	<0.0001	20.80	33.74	4.56	0.88	oui
2008	Pueblo Nuevo	E3 CARLOS RUIZ 2008	cycle semis-floraison	jours	2	64.60	15	23.25	5.24	2.29	4.44	0.002	3.54	9.00	5.24	0.63	oui
2008	Pueblo Nuevo	E3 CARLOS RUIZ 2008	hauteur plante	cm	2	172.40	15	1345.80	163.70	12.79	8.22	<0.0001	7.42	591.05	163.70	0.78	oui
2008	Pueblo Nuevo	E3 CARLOS RUIZ 2008	rendement grain	kg/ha	2	2284.80	15	284652.00	202799.00	450.33	1.4	0.25	19.71	40926.50	202799.00	0.17	oui
2008	Pueblo Nuevo	E3 CARLOS RUIZ 2008	poids 100 grains	g	2	3.15	15	0.12	0.02	0.15	5.39	0.01	4.76	0.05	0.02	0.69	oui
2008	Pueblo Nuevo	E2 CECOOP 2008	cycle semis-floraison	jours	2	62.50	11	2.85	2.35	1.53	1.21	0.38	2.45	0.25	2.35	0.10	oui
2008	Pueblo Nuevo	E2 CECOOP 2008	hauteur plante	cm	2	127.40	11	501.90	197.00	14.04	2.55	0.058	11.02	152.45	197.00	0.44	oui
2008	Pueblo Nuevo	E2 CECOOP 2008	rendement grain	kg/ha	2	1341.00	11	259679.00	147504.00	384.06	1.76	0.169	28.64	56087.50	147504.00	0.28	oui
2008	Pueblo Nuevo	E2 CECOOP 2008	poids 100 grains	g	2	3.07	10	0.10	0.05	0.23	1.91	0.147	7.56	0.02	0.05	0.31	oui

Tableau 2 (suite) : Paramètres de l'analyse de variance et valeurs d'héritabilité par caractère agronomique mesuré pour les essais d'évaluation de lignées conduits en milieu paysan exploités dans l'étude de thèse.

année	localité	code essai	variable	unité	nombre rep	moyenne	ddl-e	CM-génotype	CM-e	ET-e	F génotype	proba F	CV (%)	variance génotypique	variance environnement	H ²	utilisation des données dans analyses
2007	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2007	cycle semis-floraison	jours	3	70.12	55	34.13	0.99	0.99	34.57	<0.0001	1.42	11.05	0.99	0.92	oui
2007	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2007	hauteur plante	cm	3	152.90	55	1128.83	58.25	7.63	19.38	<0.0001	4.99	356.86	58.25	0.86	oui
2007	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2007	rendement grain	kg/ha	3	3317.45	55	470206.47	228364.07	477.87	2.06	0.008	14.40	80614.13	228364.07	0.26	oui
2007	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2007	poids 1000 grains	g	3	35.19	55	27.14	0.23	0.48	118.2	<0.0001	1.36	8.97	0.23	0.98	oui
2007	Somoto-Unile	E1 HUGO FCO 2007	cycle semis-floraison	jours	3	71.93	43	80.84	2.92	1.71	27.69	<0.0001	2.38	25.97	2.92	0.90	non éliminé
2007	Somoto-Unile	E1 HUGO FCO 2007	hauteur plante	cm	3	132.46	43	691.76	95.77	9.79	7.82	<0.0001	7.39	198.66	95.77	0.67	non éliminé
2007	Somoto-Unile	E1 HUGO FCO 2007	poids 1000 grains	g	3	27.25	43	30.83	3.23	1.80	9.55	<0.0001	6.60	9.20	3.23	0.74	non éliminé
2007	Somoto-Unile	E1 HUGO FCO 2007	rendement grain	kg/ha	3	2010.70	43	164543.61	234200.10	483.94	0.7	0.84	24.07	-23218.83	234200.10	-0.11	non éliminé
2008	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2008	cycle semis-floraison	jours	2	71.47	15	15.43	1.17	1.08	13.25	<0.0001	1.51	7.13	1.17	0.86	non éliminé
2008	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2008	hauteur plante	cm	2	107.31	15	945.60	203.50	14.27	4.65	0.003	13.29	371.05	203.50	0.65	non éliminé
2008	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2008	rendement grain	kg/ha	2	1554.06	15	103336.00	181441.00	425.96	0.57	0.857	27.41	-39052.50	181441.00	-0.27	non éliminé
2008	Somoto-Unile	E6 ORLANDO 2008	poids grain par panicule	g	2	8.03	15	6.41	3.49	1.87	1.84	0.125	23.27	1.46	3.49	0.30	non éliminé
2008	Somoto-Unile	E3 ESTEBAN 2008	cycle semis-floraison	jours	1	73.10											oui
2008	Somoto-Unile	E3 ESTEBAN 2008	hauteur plante	cm	2	155.60	15	316.90	122.20	11.05	2.59	0.029	7.10	97.35	122.20	0.44	oui
2008	Somoto-Unile	E3 ESTEBAN 2008	rendement grain	kg/ha	2	1603.70	15	303165.00	116786.00	341.74	2.6	0.029	21.31	93189.50	116786.00	0.44	oui
2008	Somoto-Unile	E3 ESTEBAN 2008	poids grain par panicule	g	2	15.90	15	25.51	7.26	2.70	3.51	0.007	16.95	9.13	7.26	0.56	oui
2008	Somoto-Unile	E3 ESTEBAN 2008	poids 100 grains	g	2	3.10	15	0.08	0.09	0.31	0.84	0.66	9.85	-0.01	0.09	-0.09	oui
2007	Palacaguina	E1 MAXIMO 2007	cycle semis-floraison	jours	2	65.47	22	26.20	4.52	2.13	5.8	<0.0001	3.25	10.84	4.52	0.71	oui
2007	Palacaguina	E1 MAXIMO 2007	hauteur plante	cm	2	147.45	22	391.08	93.67	9.68	4.17	0.0004	6.56	148.71	93.67	0.61	oui
2007	Palacaguina	E1 MAXIMO 2007	poids 1000 grains	g	2	33.40	22	20.28	0.83	0.91	24.42	<0.0001	2.73	9.72	0.83	0.92	oui
2007	Palacaguina	E1 MAXIMO 2007	rendement grain	kg/ha	2	2581.92	22	728067.21	215960.34	464.72	3.37	0.0021	18.00	256053.44	215960.34	0.54	oui
2008	Palacaguina	E1 MAXIMO 2008	cycle semis-floraison	jours	2	62.15	11	15.02	5.14	2.27	2.92	0.035	3.65	4.94	5.14	0.49	oui
2008	Palacaguina	E1 MAXIMO 2008	hauteur plante	cm	2	146.64	10	587.20	227.60	15.09	2.58	0.063	10.29	179.80	227.60	0.44	oui
2008	Palacaguina	E1 MAXIMO 2008	poids 100 grains	g	2	3.25	9	0.09	0.04	0.19	2.43	0.09	6.00	0.03	0.04	0.42	oui
2008	Palacaguina	E1 MAXIMO 2008	rendement grain	kg/ha	2	1795.15	10	562498.00	321890.00	567.35	1.75	0.183	31.60	120304.00	321890.00	0.27	oui
2008	Palacaguina	E1 HUGO FCO 2008	cycle semis-floraison	jours	3	66.67	26	36.05	4.36	2.09	8.27	<0.0001	3.13	10.56	4.36	0.71	non éliminé
2008	Palacaguina	E1 HUGO FCO 2008	hauteur plante	cm	2	127.21	9	278.60	202.90	14.24	1.37	0.321	11.20	37.85	202.90	0.16	non éliminé
2008	Palacaguina	E1 HUGO FCO 2008	poids 100 grains	g	2	3.20	9	0.09	0.04	0.19	2.43	0.087	6.09	0.03	0.04	0.42	non éliminé
2008	Palacaguina	E1 HUGO FCO 2008	rendement grain	kg/ha	2	1418.75	9	73649.00	77951.00	279.20	0.94	0.566	19.68	-2151.00	77951.00	-0.03	non éliminé

Légende du tableau : ddl= degrés de liberté ; e = erreur ou résiduel ; CM= carré moyen ; ET = écart-type ; CV= coefficient de variation ; H² = héritabilité sens large

ANNEXE VII

Tableau 1 : Effet d'un cycle de sélection récurrente appliqué sur la population PCR-1 sur le rendement grain, la durée du cycle semis-floraison et le poids de 1000 grains moyens mesurés sur 30 descendances S_1 prises au hasard au sein des populations PCR-1 base, PCR-1 améliorée par la sélection des agriculteurs en milieu paysan (PCR-1/FoF) et PCR-1 améliorée par la sélection du sélectionneur professionnel en station (PCR-1/BoS), évaluées à Sto Domingo en 2007.

Origine de sélection	Rendement grain moyen par origine (kg/ha)	Rendement grain moyen des 20% top-yielding par origine (kg/ha)	Origine des 10% top-yielding	Cycle semis-floraison moyen (jours)	Poids 1000 grains moyen (g)
Nombre de lignées	30	6	9	30	30
PCR-1 base	2430	2934 b*	1	62	30
PCR-1/ FoF	2733	3292 a	7	61	30
PCR-1/BoS	2735	3279 a	1	62	29

Dispositif expérimental : essai en blocs complets randomisés avec 2 répétitions.

* les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test t de Student au seuil de 5%

Analyse du progrès génétique réalisé selon trois stratégies de sélection participative décentralisée du sorgho conduites au Nicaragua

Résumé

Dans le cadre d'un projet d'amélioration du sorgho au Nicaragua, nous avons étudié l'efficacité de trois stratégies de sélection participative. En évaluant avec et chez les agriculteurs une large diversité génétique d'origine africaine, la sélection variétale participative a fourni des variétés performantes dans les systèmes de culture paysans, avec les caractères de précocité et qualité de grains requis. L'efficacité de la création variétale participative (PPB) faisant débat, nous avons comparé le progrès génétique obtenu par deux schémas de sélection conduits par des agriculteurs dans leurs champs, avec celui atteint avec les mêmes schémas conduits par un sélectionneur professionnel en station (conditions optimales) et en milieu paysan. Les deux schémas exploitaient en sélection généalogique une variabilité génétique issue de croisements simples ou de populations synthétiques. Les caractères cibles sont le rendement, la précocité, la hauteur de plante, la grosseur des grains ainsi qu'un index de sélection ISFA combinant ces variables et l'appréciation des paysans pour la qualité des grains et des pailles et la valeur phénotypique globale. La sélection du chercheur en station a été plus efficace que la sélection des agriculteurs en champs paysans (FoF) pour produire les lignées de meilleur rendement grains en conditions favorables. Par contre la sélection FoF a produit les lignées à meilleure stabilité de rendement ainsi que la plus grande proportion des lignées préférées *ex post* par les producteurs. Elle a surtout été plus efficace que la sélection du chercheur en station et en milieu paysan pour générer les lignées de meilleur index ISFA, qui s'approchent le plus des idéotypes recherchés par les agriculteurs. L'étude a mis en évidence des limites pour les deux stratégies PPB décentralisées. Des voies d'amélioration du processus ont été proposées.

Mots-clés : création variétale participative décentralisée, sorgho, progrès génétique, index de sélection.

Analyze of the genetic gains achieved by three strategies of decentralized participatory breeding of sorghum in Nicaragua

Abstract

In the framework of a project on sorghum improvement in Nicaragua, we studied the effectiveness of three strategies of participatory breeding. By assessing a wide range of genetic diversity of African origin together with farmers, participatory varietal selection has provided high-yielding varieties for farmers' cropping systems, which possess the required traits of earliness and grain quality. In order to contribute to the debate on the effectiveness of participatory plant breeding (PPB), we compared the genetic progress obtained by two selection schemes conducted by farmers in their fields, with that achieved by a professional breeder using the same schemes conducted on-station (optimal conditions) as well as in farmer fields. The two schemes utilized the pedigree selection method from genetic variability derived from simple crosses or synthetic populations. The target selection criteria include grain yield, earliness, plant height, grain size and a composite selection index ISFA combining these variables and farmers' appreciation for grain and fodder quality, in addition to overall phenotypic value. The breeder selection on-station was more effective than the farmers' selection carried out in their own fields (FoF) for giving the highest-yielding lines under favorable cropping conditions. On the other hand, the FoF selection has produced lines with more stable yield performance and the highest proportion of lines preferred *ex post* by the farmers. The FoF selection was above all more effective than the breeder selection on-station and on-farm for generating lines of highest ISFA index values, which are closer to the ideotypes sought out by farmers. The study highlighted limitations for both PPB decentralized strategies. Ways of improving the process have been proposed.

Key-words : decentralized participatory plant breeding, sorghum, genetic gains, selection index.