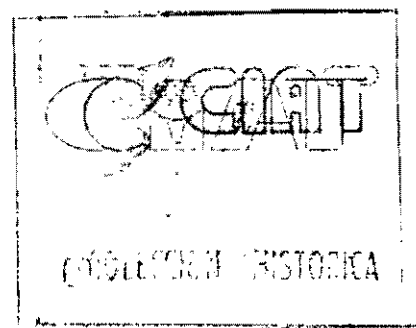


SB
ZM
.C3
D8
C.2



Etude des potentialités d'utilisation du manioc

Collaboration CIRAD-SAR/CIAT

Rapport d'activité 1994

Dominique Dufour (CIRAD-SAR/CIAT)



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
DOCUMENTACIÓ

Suivi de la traduction en anglais du texte original.

018405

Document intégré au rapport d'activité annuel du programme
manioc du CIAT (CIAT Cassava Program Annual Report 1994).

CIAT, Cali, Colombie, le 15/01/95

Etude des potentialités d'utilisation du manioc

Collaboration CIRAD-SAR/CIAT - Rapport d'activité 1994

Dominique Dufour (CIRAD-SAR/CIAT)

CIAT, Cali, Colombie, le 15/01/95

	Pages
Introduction	2
I Evaluation de la biodiversité de la collection mondiale de manioc au CIAT	2
1.1 Teneurs en matière sèche, cyanures totaux, amidon, amylose.	2
1.2 Corrélation entre les propriétés rhéologiques des amidons et la teneur en composés cyanogénétiques du manioc.	3
2 Valorisation du manioc en Amérique Latine. (Programme U.E. STD3)	5
2.1 Etude de la matière première.	6
2.1.1 Evaluation de la variabilité des propriétés fonctionnelles des amidons de manioc.	6
2.1.2 Influence de l'émondage sur la qualité des amidons de manioc.	7
2.1.3 Influence de l'âge de la plante sur les propriétés Physico-chimiques des amidons.	8
2.2 Traitement des déchets liquides et solides.	9
2.3 Bioconversion des farines et amidons de manioc.	10
2.4 Produits nouveaux à base de manioc.	10
2.4.1 Produits extrudés.	10
2.4.2 Développement de produits de charcuterie.	12
2.5 Etude des marchés et débouchés.	13
2.6 Congrès international sur les farines et amidons de manioc, Cali, 11-15 janvier 1994	14
3 Développement technologique pour la transformation du manioc.	15
3.1 Mise en place d'une unité de production pilote d'amidon de manioc.	15
3.2 Diagnostics techniques sur les unités de production de Colombie et d'Equateur.	16
3.3 Amélioration du procédé et des équipements de production d'amidon de manioc.	17
3.4 Collaboration avec le NRI : Test d'un hydrocyclone.	18
3.5 Transfert de technologie pour la production d'amidon aigre (Colombie - Equateur).	18
4 Etude de l'amidon aigre de manioc.	19
4.1 Bactéries lactiques amylolytiques isolées de la fermentation naturelle.	19
4.1.1 Etude taxonomique des bactéries lactiques amylolytiques.	19
4.1.2 Développement de culture starters.	20
4.2 Influence variétale sur l'acquisition du pouvoir de panification.	20
4.3 Etude des propriétés physico-chimiques de l'amidon aigre au cours de la fabrication.	21
4.4 Influence de la fermentation, de l'acide lactique produit, et du séchage solaire sur la panification	22
4.5 Autres amidons et farines (maïs, pomme de terre, riz)	24
5 Mise en place et idées de nouveaux projets de recherche pour 1995.	25
5.1 Les projets financés en 1994	25
5.2 Les projets en cours de montage	25
6 Publications et participations à des congrès.	25

INTRODUCTION

Un accord de collaboration, déjà ancien existe entre le CIAT et le CIRAD-SAR en termes de valorisation du manioc. Cet accord de coopération a été renouvelé cette année pour une nouvelle durée de 2 ans jusqu'au 31 décembre 1996.

De 1988 à 1992, Gérard Chuzel a été affecté par le Ministère des Affaires Etrangères français (MAE) au CIAT, afin de monter des actions de coopération en technologie agro-alimentaire sur les pays du pacte andin. Il a dirigé durant ces 4 années passées au CIAT un programme de recherche principalement orienté sur la technologie de la production et l'étude des propriétés physico-chimiques de l'amidon de manioc. Au terme de ces 4 ans de coopération un programme de recherche a été élaboré et financé par l'Union Européenne concernant la valorisation du manioc en Amérique Latine pour une durée de 3 ans. Dominique Dufour du CIRAD-SAR a été affecté en novembre 1992 à Cali au CIAT, afin de poursuivre et développer les actions entreprises et prendre la responsabilité du programme européen pour la zone andine.

Gérard Chuzel a été affecté à São Paulo au Brésil par le MAE, en temps qu'expert du ministère en technologie agro-alimentaire pour le cône sud. Il est aujourd'hui le responsable du programme européen de valorisation du manioc en Amérique Latine pour le cône sud.

Ce rapport très synthétique fait le point sur les différentes actions entreprises dans le cadre de l'accord de collaboration signé entre le CIRAD-SAR et le CIAT pour l'année 1994. Ces travaux ont été réalisés grâce à une excellente collaboration entre le laboratoire d'utilisation du manioc du CIAT, l'université del Valle et en particulier les Départements de conception d'équipement, de sciences des aliments de génie chimique et d'assainissement, le NRI, avec une forte participation de l'ORSTOM pour la direction des opérations de bioconversion et de traitement des déchets du programme européen sur la valorisation du manioc.

Un poste de Coopérant du Service National (CSN), mis à disposition du programme par le Ministère des Affaires Etrangères, occupé actuellement par Mathieu Asté, a apporté une aide précieuse à la bonne conduite des différentes opérations de recherche.

Sans les financements apportés par le CIRAD, l'Union Européenne, le MAE, le CIAT, l'ORSTOM et UNIVALLE, les études présentées ci-après, n'auraient pu être entreprises.

I Evaluation de la biodiversité de la collection mondiale de manioc au CIAT

Au CIAT, sont actuellement regroupés 5300 clones de manioc, représentatifs de la diversité connue à ce jour en Amérique et Caraïbes, Afrique, Océanie et Asie. Etant donné le nombre très important de clones et pour faciliter la caractérisation des différentes espèces, en 1991, une collection principale a été définie. Cette collection principale rassemble 633 accessions représentatives de la diversité mondiale. Une première caractérisation de cette collection a été réalisée en 1992 dans le but d'évaluer les potentialités d'utilisation de la collection (CIAT Annual Report, 1992).

1.1 Teneurs en matière sèche, cyanures totaux, amidon, amylose.

Une seconde récolte de la collection principale cultivée au CIAT sur le site de Palmira, Colombie a été réalisée en 1993 dans le but de confirmer les résultats obtenus en 1992. Les teneurs en matière sèche, en composés cyanogénétiques, la proportion d'amidon par rapport à la matière sèche ont été à nouveau analysées. La détermination des proportions d'amylose et d'amylopectine est en cours de réalisation. Le tableau présenté ci-après résume succinctement les résultats obtenus pour ces 2 essais.

	% matière sèche % MS (1991)	% matière sèche % MS (1993)	Cyanures totaux mg/kg MS (1991)	Cyanures totaux mg/kg MS (1993)	% d'amidon par rapport à la MS (1991)	% d'amidon par rapport à la MS (1993)	Teneur en amylose de l'amidon (1991)
Nombre de clones analysés	563	520	563	520	559	521	500
Pourcentage de la collection principale	89	83	89	83	89	83	79
Valeur minimale mesurée	13	18	17	17	71	68	15
Valeur maximale mesurée	49	50	4126	3344	93	92	29
Moyenne	34	38	315	401	84	82	22
Ecart type	6	5	418	501	4	5	2

Les courbes de distribution réalisées à partir des résultats de la récolte de 1993, présentées dans ce rapport (Figures 1 à 4) sont très similaires à celles obtenues en 1991. Ces courbes permettent de visualiser la diversité du germoplasme mondial du manioc rassemblé au CIAT. Il faudra noter que pour certains clones, de très grosses variations ont été observées entre les deux séries d'analyses (influence des conditions climatiques?, différence de génotype?...). La variabilité de la teneur en cyanure est très importante au sein de la collection principale, on remarquera que l'écart type est supérieur à la moyenne de la teneur en cyanure. La courbe de distribution, permet de visualiser cette variabilité, certaines variétés présentent des taux extrêmement élevés (au alentours de 4 g de composés cyanogénétiques par kg de matière sèche). Ces variétés sont considérées comme toxiques.

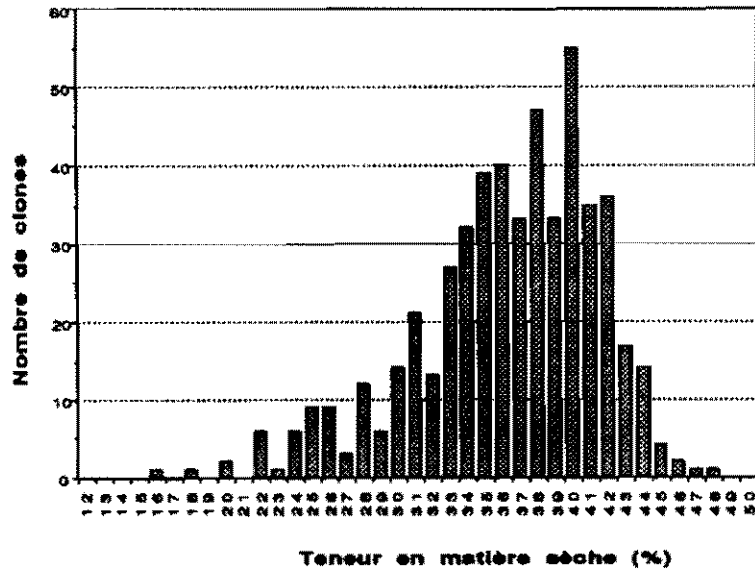
Un clone hypothétique représentatif de la collection principale de manioc contiendrait donc environ 36% de matière sèche, 360 mg/kg de matière sèche (ppm) de composés cyanogénétiques, 83% d'amidon par rapport à la matière sèche et une teneur en amylose de 22%.

En utilisant ces analyses ainsi que les données agronomiques de rendement par plante, une classification des 630 clones de la collection principale en fonction de la quantité d'amidon produit par plante, est en cours de réalisation. Cette classification devrait permettre de mettre en évidence des clones prometteurs pour la production industrielle d'amidon.

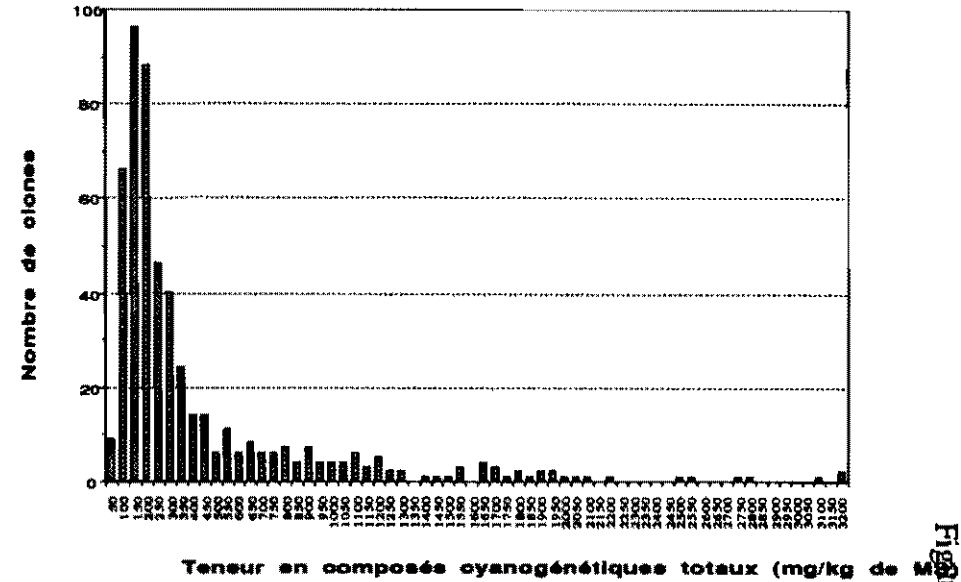
1.2 Corrélation entre les propriétés rhéologiques des amidons et la teneur en composés cyanogénétiques du manioc.

En Amazonie, pour la production du cassave, les indiens utilisent traditionnellement des variétés à fortes teneur en cyanure (dites "amères"), bien qu'ils aient à leur disposition des variétés à faible teneur en cyanure (dites "douces"). Des essais de fabrication de cet aliment traditionnel avec des variétés de manioc à faible teneur en cyanure ont été réalisés en collaboration avec le CIAT. Les populations locales ont reconnu et rejeté ces produits, car ne présentant pas les caractères organoleptiques habituelles pour ce type d'aliment (Darna Dufour, 1993). Une étude a été entreprise au CIAT pour mettre en évidence l'influence de la teneur en cyanure du manioc sur les propriétés fonctionnelles de l'amidon. La caractérisation de la collection principale du CIAT a permis de sélectionner les amidons de 15 des clones présentant les plus fortes et les plus faibles teneurs en cyanure pour les 2 séries d'analyses en 1991 (Annual Report, 1992) et en 1993 (O'Brien et al., 1994). Les propriétés rhéologiques des amidons ont été analysées à l'aide d'un viscoamylographe Brabender. Les analyses viscoamylographiques ont été réalisées sur des suspensions à 5% d'amidon. Celles-ci ont été regroupées en fonction de l'origine de l'amidon (forte ou faible teneur en cyanure du manioc). Les moyennes des différentes caractéristiques rhéologiques sont comparées à l'aide d'un test de Student. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

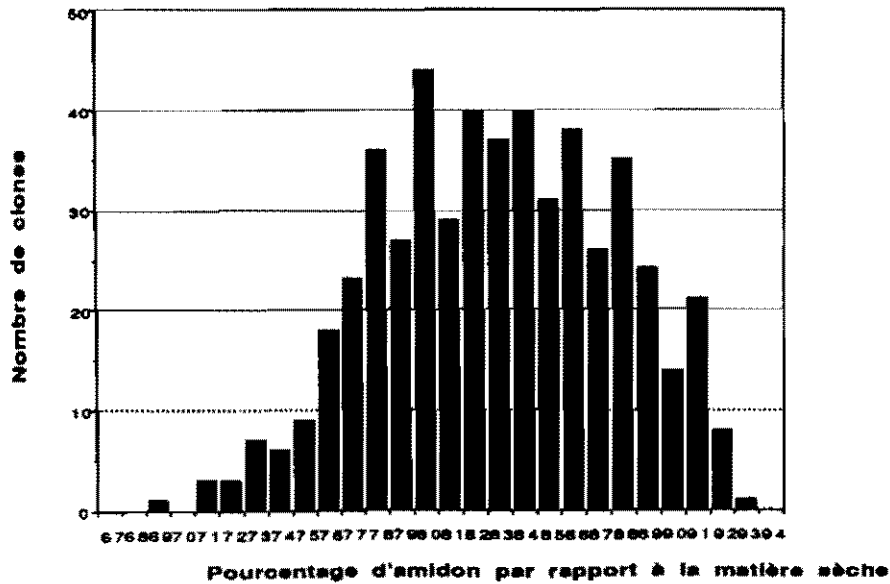
Distribution de la teneur en matière sèche de la collection principale du CIAT



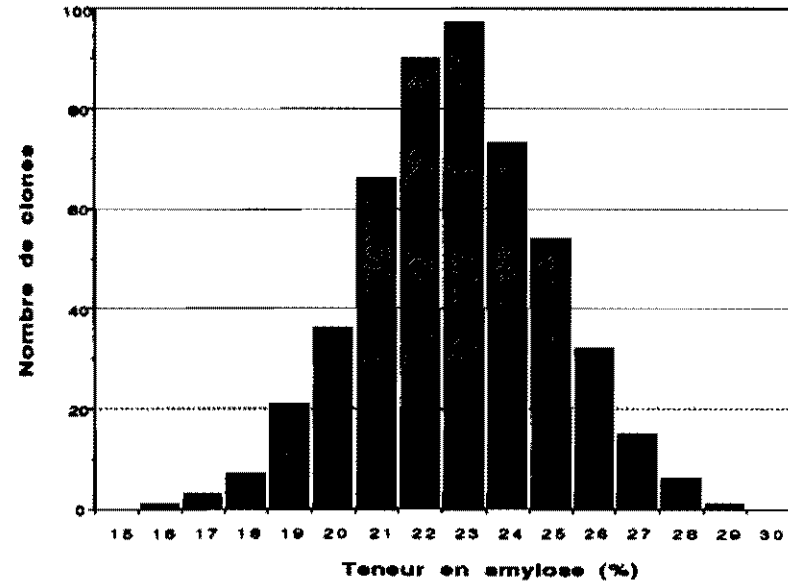
Distribution de la teneur en cyanures totaux de la collection principale du CIAT



Distribution de la teneur en amidon de la collection principale du CIAT



Distribution de la teneur en amylose des amidons de la collection principale du CIAT



Figures 1 à 4

	Low Cyanogen Group		High Cyanogen Group		Significant * Difference (P=)	
Total cyanogen (mg/kg fresh basis)	13	22	461	692,2	0,001	0,0001
Amylose (%)	22,9		21,6		n.s.	
Gelatinization Temperature (°C)	64,1	62,8	64,7	62,7	n.s.	n.s.
Maximum Viscosity (BU)	509,5	478	359,5	406	0,0001	0,0001
Viscosity at 90°C (BU)	391,5	313	230,2	240	0,0001	0,0001
Viscosity after 20 min at 90°C (BU)	232,6	204	133,5	145	0,0001	0,0001
Viscosity at 50°C after cooling (BU)	391,3	355	198,7	226	0,0001	0,0001
Ease of cooking (min)	10,2	8,2	6,3	6,7	0,0001	0,0001
Gel instability (BU)	276,9	269	222,1	261	0,014	n.s.
Gelification index (BU)	158,7	154	65,3	81	0,0001	0,0002

Ease of cooking = Time to Vmax - Time to gelatinization

Gel Instability = Vmax - V90/20

Gelification Index = V50 - V90/20



Core collection analysed in 1991



Core collection analysed in 1993

*

Student's comparison t-Test

Ces analyses ont permis de mettre en évidence un comportement rhéologique très différent des amidons en relation avec la teneur en cyanures totaux des clones de manioc dont ils sont issus. La viscosité maximale obtenue pour chaque catégorie d'amidon est très significativement différente. (Zakhia et al. ; 1994 a, b).

Ces différences des propriétés rhéologiques pourraient expliquer les différences des propriétés fonctionnelles observées et mises à profit traditionnellement par les indiens d'Amazonie pour la production du cassave. Sans pouvoir l'expliquer, on notera aussi que les variétés utilisées industriellement pour la production d'amidon de manioc sont généralement des variétés à forte teneur en composés cyanogénétique (Brésil, Colombie). Des études seront entreprises pour confirmer ces résultats.

2 Valorisation du manioc en Amérique Latine. (Programme U.E. DGXII-STD3)

Un programme financé par l'Union Européenne (U.E.) par la Direction Générale n° XII (DGXII) du troisième appel d'offre "Sciences et Technologie pour les pays en voie de Développement" (DGXII-STD3), concernant la valorisation du manioc en Amérique Latine, est en cours de réalisation (2ème année). Sous la direction générale du CIRAD-SAR (Montpellier, France) le CIAT est l'un des partenaires associés du projet d'une durée de 3 ans et d'un montant global de 760 000 ECU.

Le programme a été divisé en 5 opérations de recherche concernant :

- 1 - Etude de la matière première (sous la direction scientifique de June Wenham du NRI (Chatham - Angleterre).
- 2 - Traitement des déchets liquides et solides (sous la direction scientifique de Didier Alazard de l'ORSTOM (Cali - Colombie).
- 3 - Bioconversion des farines et amidons de manioc (sous la direction scientifique de Maurice Raimbault de l'ORSTOM (Cali - Colombie).
- 4 - Produits nouveaux à bases de manioc (sous la direction scientifique de Gérard Chuzel du MAE/CIRAD-SAR (Sao Paulo - Brésil).
- 5 - Etude des marchés et débouchés (sous la direction scientifique de Guy Henry du CIAT (Cali - Colombie).

Les résultats scientifiques de ce programme de recherche sont rapportés dans les rapports annuels d'avancement des travaux, remis à l'U.E. (D. Griffon & N. Zakhia ; 1993 ; 1994). Les lignes de recherches mises en place seront rappelées et les différentes institutions intervenant seront mentionnées pour information dans le présent rapport. Seuls les travaux réalisés en collaboration directe avec le programme manioc du CIAT, seront détaillés dans ce rapport.

2.1 Etude de la matière première

L'objectif principal de cette opération de recherche est double:

Apporter des améliorations aux procédés de première transformation pour la production de matières premières à base de manioc de bonne qualité et rechercher à partir du germoplasme du CIAT des clones présentant des caractéristiques technologiques intéressantes pour la fabrication de produits de première et seconde transformation.

Quatre actions de recherche ont été définies pour atteindre ces objectifs:

- Standardisation des méthodes analytiques utilisées par les différents laboratoires travaillant sur la qualité des produits à bases de manioc. (NRI, CIRAD-CA, CIRAD-SAR, CIAT).
- Evaluation technologique des unités de transformation primaire du manioc (CERAT, NRI, UNIVALLE)
- Effet des traitements sur les propriétés physico-chimiques des farines et amidons de manioc. (NRI, UNIVALLE, CIRAD-CA)
- Caractérisation des propriétés d'un groupe de cultivars, représentatif de la diversité génétique et évaluation de son potentiel. (CIAT, CIRAD-SAR, NRI) (C'est cette dernière opération de recherche qui sera détaillée dans ce rapport aux paragraphes 2.1.1 ; 2.1.2 ; 2.1.3.)

Grâce aux caractérisations de la collection principale mentionnée au Chapitre 1, les 630 clones de la collection principale ont été regroupés en 10 familles en fonction des trois caractères les plus importants pour l'utilisation du manioc dans des transformations ultérieures (farines, amidons, produits élaborés de seconde transformation). La totalité des clones ont été répartis en familles en fonction de leur teneur en matière sèche, teneur en composés cyanogénétiques, et pourcentage d'amylose.

33 clones ont été choisis parmi ces 10 familles pour mettre en place les essais programmés pour le déroulement du programme de l'U.E. (Annual Report 1992 ; 1993). Ces clones ont été sélectionnés afin de représenter au mieux la biodiversité de la collection mais aussi en tenant compte de l'importance géographique de ces clones sur les trois continents (Amérique, Afrique, Asie).

Ces 33 clones représentatifs des 5300 clones contenus dans la collection mondiale conservée au CIAT ont été cultivés sur le site du CIAT à Palmira, Colombie. Des farines et amidons ont été produits et expédiés aux laboratoires du NRI et de l'université de Nottingham en Angleterre et du CIRAD et de l'INRA en France pour des analyses structurales et fonctionnelles fines.

Chaque matière première a été caractérisée au CIAT avant envoi et quelques analyses spécifiques ont été réalisées principalement sur les propriétés rhéologiques des amidons et farines.

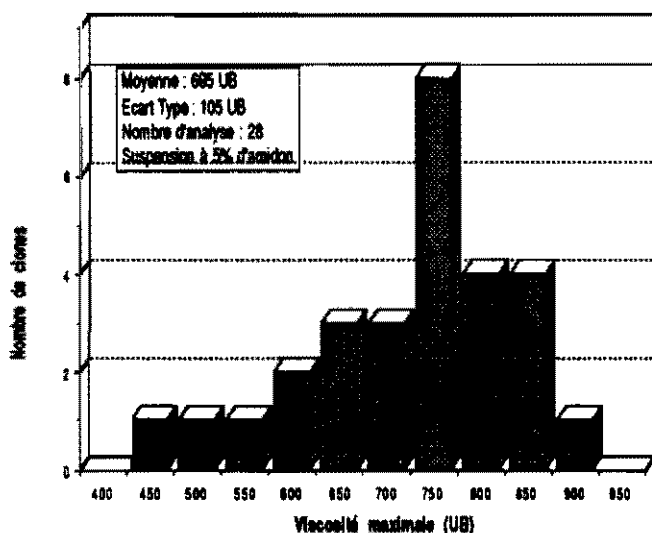
2.1.1 Evaluation de la variabilité des propriétés fonctionnelles des amidons de manioc.

28 des 33 clones sélectionnés ont pu être récoltés et analysés. Les analyses rhéologiques ont été entreprises sur les amidons extraits de ces 28 clones, afin de mettre en évidence la diversité des propriétés des amidons de la collection mondiale rassemblée au CIAT. L'analyse structurale des grains d'amidon de ces 28 clones est actuellement en cours d'étude en France et en Angleterre.

	Température de gélatinisation T _g (°C)	Viscosité maximale V _{max} (UB)	Temps pour obtention V _{max} (min)
Minimum	57,5	420	34
Maximum	67,5	865	42
Moyenne	63,4	695	37
Ecart Type	2,5	105	1,8
Nombre d'échantillon	28	28	28

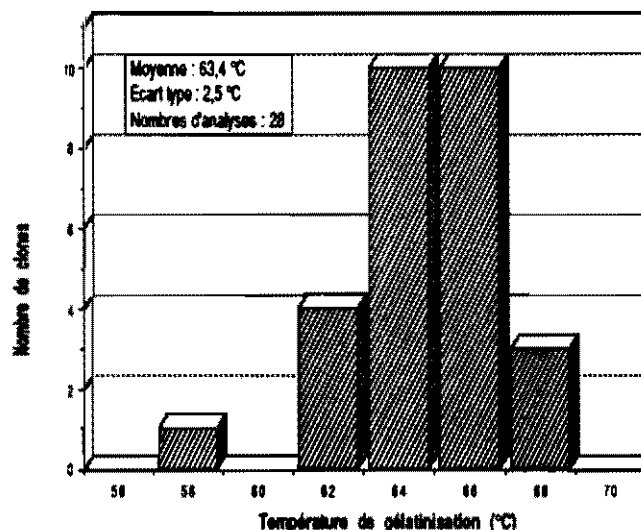
Ces travaux mettent en évidence une forte variabilité des propriétés rhéologiques des amidons. Dans le tableau ci-dessus on pourra remarquer que pour une même quantité d'amidon on peut obtenir des produits élaborés présentant des viscosités doubles en fonction du clone dont est extrait l'amidon (figure 5). De plus on remarquera que le temps d'obtention de cette viscosité maximale est lui aussi très variable, pour certains clones il est atteint en 34 min, soit une température de 76°C (1,5°C par minute depuis 25°C) alors que pour d'autres 42 min d'analyse sont nécessaires, soit une température de 88°C). La température de gélatinisation (représentant la température à laquelle le grain d'amidon commence à absorber de l'eau : gonflement) est elle aussi variable de 57,5°C à 67,7°C en fonction du clone étudié (figure 6).

Distribution des viscosités maximales pour la collection CEE



(Figure 5)

Distribution des températures de gélatinisation pour la collection CEE



(Figure 6)

Ces analyses permettent d'envisager la recherche de clones au sein de la collection mondiale présentant des caractéristiques nécessaires au développement de produits industriels spécifiques (faible température de gélatinisation, facilité de cuisson, viscosité élevée, ...).

2.1.2 Influence de l'émondage sur la qualité des amidons de manioc.

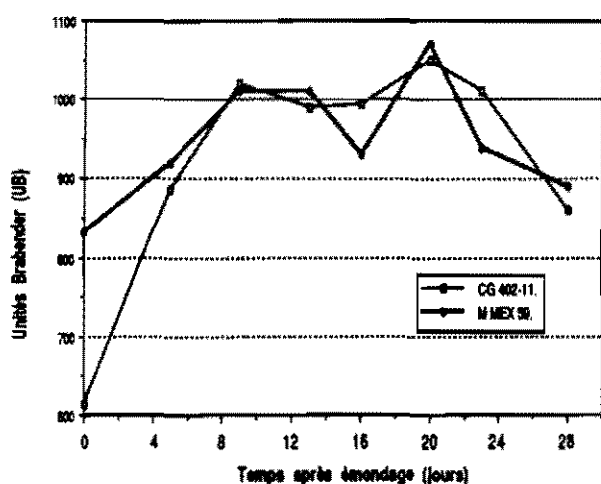
Deux des clones retenues pour le programme de l' U.E. ont été sélectionnés pour étudier l'influence de l'émondage sur la qualité des amidons de manioc : CG 402-11 et MMex 59. Les plantes ont été émondées totalement après 12 mois de culture laissant un tronc nu de 15 à 20 cm de long. Aux alentours du 15ème jour, le tronc commence à bourgeonner à nouveau et très rapidement de jeunes pousses apparaissent. Au 30ème jour le plan de manioc a formé des branches d'environ 50 cm de long et de nombreuses feuilles sont apparues.

Les racines ont été arrachées à intervalles réguliers pour analyse pendant ces 30 jours suivant la coupe. Les analyses de pourcentage de matière sèche, pourcentage d'amidon, contenu en composés cyanogénétiques, pourcentage de sucres totaux et réducteurs et analyses rhéologiques des amidons extraits ont été réalisés tout au long de l'essai. Seuls les résultats d'analyses de sucres solubles totaux et de la viscosité seront présentés ici.

La figure 7 met en évidence de gros changements des propriétés fonctionnelles de l'amidon après émondage. La viscosité maximale augmente considérablement au cours des 10 premiers jours après émondage. (pour CG 402-11, Vmax passe de 600 à 1000 UB ; pour MMex 59 de 800 à 1050 UB). La figure 8 met en évidence une augmentation de la teneur en sucres totaux solubles dans les 15 premiers jours suivant la coupe.

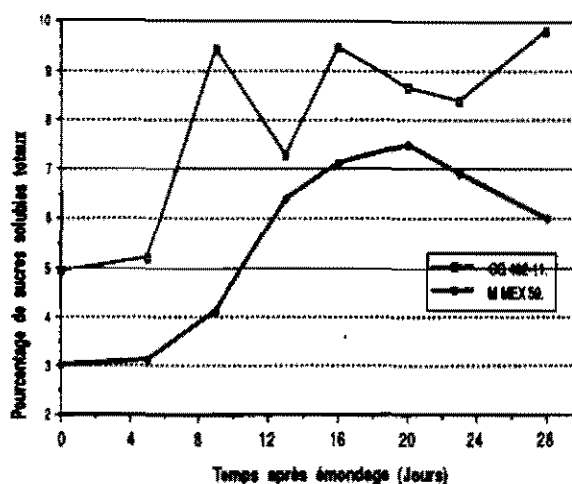
Les modifications observées peuvent être expliquées par une hydrolyse de l'amidon pour la production de sucres assimilables par la plante qui mobilise ses réserves en carbohydrates pour reformer son appareil foliaire qui lui permet de réaliser la photosynthèse.

Evolution de la viscosité maximale des amidons après émondage



(Figure 7)

Evolution de la teneur en sucres solubles totaux après émondage



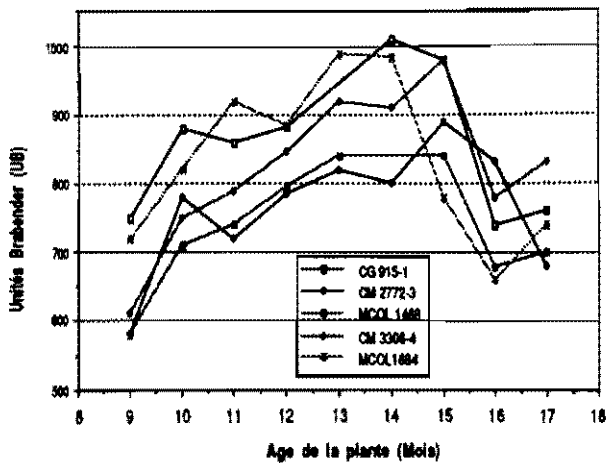
(Figure 8)

Cette pratique culturale peut présenter un grand intérêt particulièrement lorsque l'amidon produit est destiné à la production de sirops de glucose ou de dextrans. Naturellement, le catabolisme de la plante fragilise les grains d'amidon qui deviennent ainsi plus aptes à une hydrolyse acide ou enzymatique ultérieure. De même lorsque l'on recherche un amidon de forte viscosité, la pratique de l'émondage peut être utile pour l'obtention d'un amidon présentant les caractères requis. (Utilisation d'une quantité moindre de matière première pour l'obtention d'une viscosité identique).

2.1.3 Influence de l'âge de la plante sur les propriétés physico-chimiques des amidons.

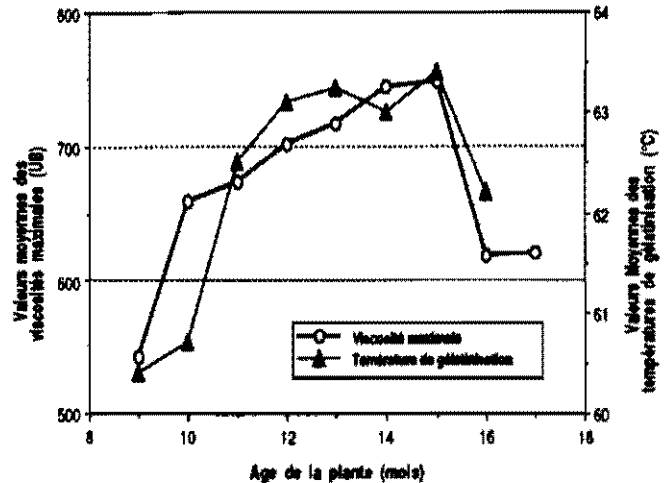
Cinq clones de la collection U.E. ont été choisis pour évaluer l'évolution des propriétés physico-chimiques des racines en fonction de l'âge de la plante (CG 915-7 ; CM 2772-3 ; CM 3306-4 ; MCOL 1468 ; MCOL 1684). La figure 9 met en évidence l'évolution de la viscosité maximale des différents amidons en fonction de l'âge de la plante. La figure 10 présente les valeurs moyennes obtenues à partir de ces cinq clones pour l'évolution de la viscosité maximale et de la température de gélatinisation.

Influence de l'âge de la plante sur la viscosité maximale de l'amidon



(Figure 9)

Influence de l'âge de la plante sur la viscosité maximale et la température de gélatinisation de l'amidon



(Figure 10)

Aux alentours de 12 à 14 mois les plantes ont atteint leur maturité, à partir de 15 mois de culture, les racines commencent à présenter des phénomènes de vieillissement (fibres, qualités organoleptiques différentes, apparition de pourritures...).

Ces courbes mettent en évidence que jusqu'à la maturité de la plante, la viscosité maximale et la température de gélatinisation augmentent (jusqu'au 15ème mois). En fonction de l'âge de la plante, les grains d'amidon sont de plus en plus résistants au stress (température et force de cisaillement). Après ces 15 mois de culture la qualité de l'amidon change, la structure interne du grain est modifiée (hydrolyse ?) et les propriétés rhéologiques varient. La viscosité maximale et la température de gélatinisation diminuent.

Ces analyses montrent qu'un contrôle agronomique et une analyse de la qualité des racines est indispensable à l'optimisation de la production d'amidon à partir du manioc.

2.2 Traitement des déchets liquides et solides.

L'objectif de cette opération vise à comparer la faisabilité, l'efficacité et les coûts de production de différentes alternatives de traitement des déchets et d'étudier les voies de la valorisation par fermentation des déchets solides et liquides issus de la transformation du manioc.

Le CIAT et le CIRAD-SAR interviennent dans cette opération, principalement en mettant à disposition une unité pilote de production d'amidon de manioc située dans le département du Cauca, Colombie pour la caractérisation des déchets et des effluents liquides.

Caractérisation des déchets solides et liquides de la première transformation du manioc en fonction du niveau technologique étudié (CERAT, UNIVALLE).

Épuration des déchets liquides par biofiltration sur résidus ligno-cellulosiques (CIRAD-CA, UNIVALLE, ORSTOM).

Culture en milieu solide d'une levure amylolytique *Schwanomyces castelli* sur support ligno-cellulosique imprégné de jus amylicé pour la transformation de l'amidon en alcool. (ORSTOM, UNIVALLE).

Culture en milieu solide d'une souche de *Lactobacillus plantarum* amylolytique pour la production d'acide lactique (ORSTOM, UNIVALLE).

Production de biomasse oléagineuse de haute valeur nutritionnelle à partir de *Trichosporum sp.* sur la manipuera (jus de pressage de la pulpe de manioc) (CERAT).

Essais de démonstration à l'échelle pilote de traitement des eaux résiduaires par biofiltration (CE-

RAT, UNIVALLE, CIRAD-CA).

2.3 Bioconversion des farines et amidons de manioc.

L'objectif de cette opération, consiste à étudier la possibilité de réaliser des bioconversions des farines et amidons de manioc pour obtenir de nouveaux produits pour l'industrie alimentaire. Cette étude comporte principalement 3 lignes de recherches :

Fermentation en milieu solide du manioc par *Rhizopus sp.* pour obtenir des farines à usages alimentaires (ORSTOM, UNIVALLE, UFPR)

Fermentations lactiques de farines et amidons de manioc par des bactéries lactiques amylolytiques pour la production de biomasses lactiques alimentaires (ORSTOM, UNIVALLE, CIRAD-SAR, UBA)

Biosynthèse de polysaccharides produits par des bactéries lactiques et leurs effets sur les propriétés physico-chimiques et organoleptiques des farines de manioc (CIRAD-SAR, ORSTOM, UNIVALLE).

2.4 Produits nouveaux à base de manioc.

L'objectif principal de cette opération de recherche est de renforcer les marchés existants des dérivés du manioc ou d'ouvrir des débouchés pour des produits nouveaux à base de manioc, principalement en améliorant les propriétés fonctionnelles des farines et amidons de manioc afin de mieux répondre aux exigences des utilisateurs existants ou potentiels.

Différentes lignes de recherche ont été définies pour conduire cette opération.

- Suivi et contrôle du processus d'hydrolyse enzymatique d'amidon de manioc. (CERAT, CIRAD-SAR)
- Production de sirops de glucose (CIRAD-SAR, UNIVALLE, CERAT)
- Hydrolyse enzymatique dans un réacteur à membrane (CIRAD-SAR, USTL, CERAT)
- Production de cyclodextrines (CERAT, CIRAD-SAR)
- Production de succédanés de matière grasse (INRA, CIRAD-SAR)
- Produits extrudés à base de manioc (CERAT, UNIVALLE, CIRAD-SAR, EPN)
- Utilisation des farines et amidons pour l'industrie des produits carnés (UNIVALLE, CIRAD-SAR)

2.4.1 Produits extrudés.

Afin d'évaluer le comportement des farines et amidons de manioc au cours du procédé d'extrusion, deux clones ont été sélectionnés pour leur contenu en cyanure. MVEN 25 connu comme présentant une très forte teneur en cyanure et CM 3306-4 connu pour sa faible teneur ont été cultivés au CIAT, Palmira. Environ 100 kg de farine de chaque clone ont été produits au CIAT afin de mener à bien l'étude. Etant donné les difficultés à mettre en place ces études au Brésil et en Colombie où initialement l'étude avait été prévue, une collaboration scientifique a été mise en place entre le CIRAD-SAR, le CIAT et l'Université Polytechnique de Quito où une équipe très compétente travaille sur l'extrusion des produits amylicés. Le programme de recherche a été défini en commun avec les chercheurs travaillant dans ce domaine à l'EPN et en particulier avec Jenny Ruales Naveja et Pablo Polit. Une équipe du CIAT (Teresa Sanchez S. et John Mario Lopez A.) a participé aux travaux d'extrusion à Quito en collaboration avec les chercheurs de l'EPN, les analyses ont été partagées entre le CIAT et l'EPN.

Les farines obtenues à partir des clones MVEN 25 et CM 3306-4, présentent des taux respectifs en composés cyanogénétiques de 1247 et 94 mg/kg de MS. Quatre paramètres ont été étudiés et combinés chacun pour 2 niveaux différents. 16 expérimentations différentes ont été réalisées, chacune avec deux répétitions.

Pourcentage d'humidité	Matière première	Type de vis	Température en sortie
22%	MVEN 25	1/1	170°C
15%	CM 3306-4	1/4	120°C

Pour toutes les combinaisons, l'extrusion s'est révélée être un excellent procédé pour la décontamination bactérienne et fongique des farines. Les farines ont présenté une teneur moyenne de $2 \cdot 10^6$ bactéries par g de matière sèche. Après extrusion aucune colonie n'a pu être détectée sur la dilution 10^{-3} (le taux de bactérie résiduel est inférieur à 10^3 bactéries /g de MS). Le procédé d'extrusion permettrait aux industriels désireux d'utiliser la farine ou l'amidon de manioc pour la production d'aliment pour le bétail ou pour l'alimentation humaine de s'assurer de l'innocuité bactérienne des matières premières utilisées. En effet pour les farines et amidons produits en zones rurales, il est fréquent de rencontrer de bactéries pathogènes ou d'origine fécale et pour lesquelles les taux moyens sont voisins de 10^9 bactéries totales par g de matière sèche.

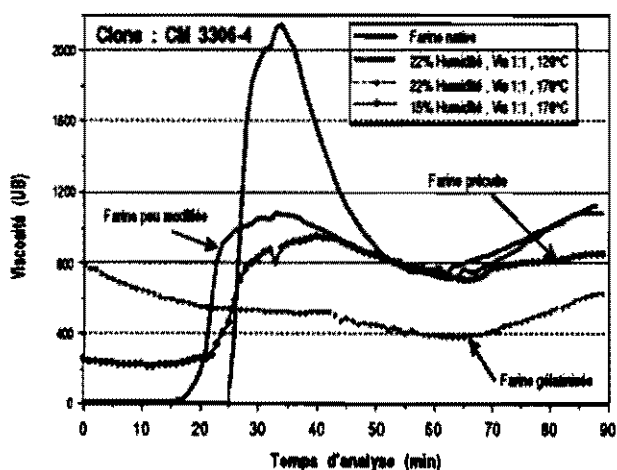
L'élimination des composés cyanogénétiques a été extrêmement réduite pour toutes les combinaisons étudiées. Les produits finaux obtenus à partir des deux clones CM3306-4 et MVEN 25 présentent respectivement 92 et 800 mg/kg de MS soit une élimination respective de 4 et 36%. De plus on notera que pour le clone MVEN 25 les produits extrudés obtenus présentent une très forte amertume.

Les teneurs en sucres solubles totaux et en sucres réducteurs, augmentent au cours du procédé d'extrusion et sont très prononcées pour les fortes teneurs en humidité (augmentation de 50% de la valeur initiale jusqu'à 3,8% par rapport à la matière sèche).

l'indice d'absorption d'eau, l'indice de solubilité, le pouvoir de gonflement, sont très liés aux vis et aux températures utilisées ($p < 0,05$ test de student).

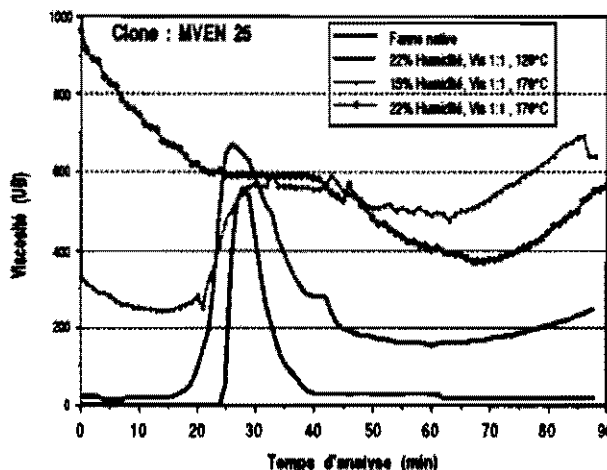
Les analyses rhéologiques des farines extrudées obtenues ont permis de mettre en évidence les taux de gélatinisation obtenus au cours du procédé en fonction des différents paramètres étudiés. Trois tendances très nettes ont pu être mises en évidence pour l'obtention de trois types de produits très différents comme des produits totalement gélatinisés, des farines précuites et des produits quasiment crus.

Modification des propriétés rhéologiques de farine de manioc au cours de différents traitements d'extrusion



(Figure 11)

Modification des propriétés rhéologiques de farine de manioc au cours de différents traitements d'extrusion



(Figure 12)

Sur les figures 11 et 12 on remarquera que la farine provenant d'une variété à très forte teneur en composés cyanogénétiques présente un pouvoir visqueux beaucoup plus faible que le clone de faible teneur (viscosité de 550 et 2100 UB respectivement pour des suspensions aqueuses à 10% de farine, et une

température de gélatinisation identique de 62,5°C). Cette analyse est en accord avec les résultats présentés au paragraphe 1.2 (relation entre teneur en composés cyanogénétiques du clone et propriétés fonctionnelles des amidons).

Au cours de traitements identiques, le comportement rhéologique des farines issues des 2 clones étudiés sont très différents. Alors que la viscosité diminue énormément au cours du traitement pour le clone à faible teneur de 2100 à 1000 unités Brabender pour les farines précuites et les farines peu modifiées et jusqu'à 500 unités pour les farines gélatinisées. Pour le clone à faible teneur en cyanure, au contraire les viscosités augmentent légèrement pour tous les types de traitement de 550 à 650 UB pour les farines peu modifiées et 600 unités pour les farines gélifiées et précuites.

Ces différences de comportement seront étudiés par extrusion de différents amidons (au lieu de farines) de différentes origines (clones à forte, moyenne et faible teneur en composés cyanogénétiques).

L'étude a montré que l'extrusion pouvait être une excellente voie pour décontaminer les farines de manioc qui présentent le plus souvent de très fortes charges microbiennes. De plus celle-ci a permis de mettre en évidence trois types de traitement pour la fabrication de produits de seconde transformation aux caractéristiques rhéologiques et fonctionnelles très différentes.

Farines de manioc précuites par extrusion : 15% d'humidité ; Vis 1/1 ; 170°C en sortie.

Farines de manioc peu modifiées : 22% d'humidité ; Vis 1/1 ; 120°C

Farines gélatinisées par extrusion : 22% d'humidité ; Vis 1/1 ; 170°C

Par contre il avait été escompté de produire des farines dextrinisées en utilisant une vis à très forte force de cisaillement 1/4, mais aucun des traitements étudiés n'a permis d'obtenir ce résultat.

2.4.2 Développement de produits de charcuterie.

En Equateur, un Projet intégré de valorisation du manioc a été mis en place depuis 1985 avec l'appui du CIAT et de FUNDAGRO. La UATAPPY (Union d'associations d'ouvriers agricoles de producteurs et transformateurs de manioc de la province de Manabí), après une phase d'expansion et de diversification rapide, a dû réaliser une étude de marché en Equateur pour la recherche de nouveaux débouchés aux différents produits de l'association.

Suite à l'étude de marché, de nombreuses limitations aux ventes liées à la qualité des produits commercialisés sont apparues principalement pour atteindre les marchés de l'agro-alimentaire.

Un projet de recherche développement concernant l'amélioration de la qualité des produits de la UATAPPY a été écrit en collaboration avec le CIRAD-SAR. Il concerne le développement de produits de charcuterie en utilisant les farines et amidons produits par la UATAPPY comme agents liants.

L'objectif de ce projet de recherche est d'impliquer une association de petits producteurs et transformateurs de manioc (la UATAPPY) à l'élaboration d'un produit de seconde transformation de très bonne qualité à partir des farines et amidons de manioc produits par l'association. La participation, à cette étude, de la personne responsable de la qualité au sein de l'association (appelé promoteur de qualité) est indispensable. Son intégration au développement d'un produit fini de seconde transformation, devrait permettre une rétro-alimentation d'informations au niveau de l'association en terme de qualité de la matière première à fournir pour l'élaboration de ce type de produit. Le promoteur de qualité participera aux essais d'évaluation sensorielle, de durée de conservation de produit fini, de détermination des contaminations des matières premières fournies par la UATAPPY (microbiologie, cendres, sable, insectes, poils et cheveux, autres contaminations exogènes aux produits...).

Les travaux réalisés devront permettre de mettre en évidence pour l'association de producteurs et transformateurs, la nécessité de fournir des produits de bonne qualité afin d'atteindre de nouveaux marchés, en particulier dans l'industrie agro-alimentaire. Le promoteur de qualité se chargera d'informer l'association de l'évolution des travaux et des problèmes rencontrés liés à la qualité des matières premières.

Les produits de charcuterie - salaison ont été choisis pour mener à bien ce programme. En effet en

Amérique Latine les charcuteries sont de qualité très médiocre et il existe un marché très important pour des saucisses de consommation populaire qui sont aujourd'hui de très mauvaise qualité.

Jenny Ruales à l'Université Polytechnique de Quito se chargera d'effectuer la coordination scientifique du projet entre les différents partenaires. Susan Poats, à l'origine de ce programme (ancien chercheur en anthropologie du programme manioc du CIAT en poste en Equateur) assurera la liaison entre l'association de producteurs de Portoviejo et les recherches mises en place à Quito. Ce projet financé par PRODAR et le FECD recevra un support technique et financier du CIRAD-SAR (un spécialiste français de la charcuterie effectuera un séjour de six mois à Quito à partir de février 1995 pour définir les formulations des différents produits carnés) et sera développé en collaboration avec l'Université polytechnique de Quito et les laboratoires de recherche de LATINRECO (Nestlé).

Ces deux projets (extrusion et produits de charcuterie) visent à améliorer la qualité des matières premières produites par l'agroindustrie rurale de la transformation du manioc en Equateur.

2.5 Etude des marchés et débouchés.

(SOCIO-ECONOMIC STUDIES FOR CASSAVA PROCESSING AND PRODUCT VALORIZATION IN BRAZIL) Guy Henry.

This Operation of the STD3 project aims to provide a solid socio-economic framework on which the other four technical/biological activities in the project can be anchored. This operation involves a series of studies at the cassava processing and market level for major cassava production areas in Brazil. The studies, on the one hand, serve to characterize the cassava industry and to identify the principal constraints, on the other hand it will assess the current and potential demand of traditional and alternative cassava-based products. This information will help to guide and prioritize future cassava R&D activities regarding product, process and market opportunities.

Because of the limited funds assigned to Operation No.5, it was decided that within Latin America, Brazil would be the main target area of research. For the same reason, the principal collaborators are universities where studies can be conducted as thesis research. Brazil was divided into two major project areas, i.e. North East and Central South. Regional coordination for the former was placed at the Committee Estadual de Mandioca in Fortaleza, for the latter, UNESP in Botacatu was chosen.

During 1992-93, a series of 12 socio-economic studies were developed and organized through collaboration with various regional research institutes and universities. The following reports progress of these studies for 1994:

(1) Assessment of Casa de Farinha in Ceara:

For this technical/socio-economic assessment, a preliminary questionnaire was developed by the Committee Estadual de Mandioca in Fortaleza. It seems that EMATER is currently less involved in emergency activities in the state and therefore could possibly start to collaborate in the field. Sample size will be derived from the work already done by student Rosemeiry Melo for her thesis. Field work will hopefully start before the end of 1994.

(2) Assessment of Casa de Farinha in Bahia:

This assessment, similar to that in Ceara was initially to be conducted by a team at CNPMF. This proved unsuccessful. Currently it is tried to hook this study to the PROFISMA project. It is envisioned that surveys on Casa de Farinha will be incorporated with the intensive socio-economic PROFISMA survey in the preselected target communities. Fieldwork should start at the end of 1994.

(3) Farinha Consumption in Ceara (UFC thesis):

The study assesses farinha consumption in 3 urban areas of Ceara. Preliminary results and analyses have been reviewed. The collected info proves to be very valuable. There are still some problems with the consumption function modelling. A preliminary report is envisioned for November 1994.

(4) Cassava product commercialization in Ceara (UFC thesis)

This study analyzes the marketing system and price developments of the principal cassava products

in Ceara. Primary data collection has been finished. First results have been reviewed. Further quantitative analyses are required. A preliminary report is envisioned for October 1994.

(5) Demand potential for dried cassava and farinha in Ceara (UFC thesis):

This thesis assesses the technical and market potential for alternative uses of dried cassava chips and flour in Ceara. Technical data and information has been gathered. Economic data is currently being collected. Econometric analyses will be required to generate a more quantitative assessment. A first review of the preliminary results is envisioned for November 1994.

(6) Study of sour starch cassava industries in Minas Gerais (UNESP)

For this technical/socio-economic study a first draft report has been written by Vilpoux et al. After feed back with the industries a final report is envisioned for October 1994. Some conclusions include that the major limitations of the industry are: insufficient raw material, labor scarcity, and insufficient operational capital. Further problems regard toxic waste disposal and low product price.

A French Collaboration student is currently studying several case industries for additional detailed follow-up info, under guidance of UNESP and CIRAD, with funding from CIRAD.

(7) Study of the sour Starch industry in Parana and Sta Catarina (Universidad de Ponta Grossa, FUEPG):

This study, similar to that in Minas was started after many institutional delays. A first round of surveys included 11 industries in two parts of Parana. It was recommended that the study pays much more attention to the process-technical aspects, and problem identification of the industry. Further surveying in Parana and Sta. Catarina will require most of 1994.

(8) Study of the sweet starch industry in Parana, Sta Catarina, Sao Paulo and Mato Grosso (UNESP):

Primary data collection for this study in Parana and Sta Catarina has been finished but still needs to be analyzed and written up. UNESP has committed itself to collect additional primary data of 5 industries in Sao Paulo, and of 6 industries in Mato Grosso before October 1994. A first draft report is envisioned before the end of 1994.

(9) Study of the farinha industry in Sao Paulo, Parana and Sta Catarina (UNESP):

This study has been delayed because of lack of appropriate collaborators. However, recently 2 students have been identified at UNESP to conduct the field surveys. Funds have been reserved for this study. It is said to commence in October 1994.

(10-11) Study of the current & future demand for cassava starches and farinha in South Brazil (UNESP-IEA):

A study proposal was written by a team from UNESP and IEA (Instituto de Economia Agricola de SP) which was discussed on two occasions. However, Operation No.5 will not have funds to cover the study's considerable expenses. Some Brazilian funds have been identified, but a major part is still lacking.

(12) Assessment of government policy impact on the cassava sector in Brazil (USP):

This policy study was sheduled to be conducted at USP in Sao paulo. However, recent changes have forced our collaborators to look for an alternative university. Most probably this will be ESALQ in PRACICABA. EMBRAPA will also collaborate.

The project will terminate at the end of 1995. As has been shown in the aforementioned activities' progress, many delays have been incurred. Also lack of funds have put several studies on non-active. The major impact from this is the lack of study for screening novel cassava-based products.

2.6 Congrès international sur les farines et amidons de manioc, Cali, 11-15 janvier 1994

Du 11 au 15 janvier 1994, un congrès a été organisé au CIAT, sur le thème de la valorisation du

manioc "International Meeting on Cassava Flour and Starch". Cette réunion a été l'occasion de présenter les résultats scientifiques obtenus au sein du programme de "Valorisation du manioc en Amérique Latine" de l'U.E. où tous les coordinateurs scientifiques et chefs d'opérations étaient présents. Les travaux réalisés pour la production de farines en Colombie, en Equateur et au Brésil en collaboration avec le CIAT ont eux aussi été présentés. Cette réunion a permis à 180 scientifiques de 35 pays de se réunir et d'échanger leur connaissance des produits élaborés à base de manioc autour des thèmes :

- Utilisations et potentialités du manioc.
- Composition physico-chimique et propriétés fonctionnelles des farines et amidons de manioc.
- Potentialité des bioconversions pour les produits transformés et les sous-produits.
- Améliorations technologiques pour la transformation à petite et grande échelles.
- Développement de nouveaux produits à base de manioc.
- Développement intégré de la culture du manioc en liaison avec la demande du marché.

Les actes de la réunion co-édités par le CIRAD-SAR et le CIAT sont en cours de publication au CIAT et seront disponibles en version anglaise au CIAT en début d'année 1995. L'ouvrage intitulé "Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development", fournira à toute personne intéressée par la transformation des racines et tubercules, une précieuse source d'information sur la méthodologie et les résultats des recherches entreprises à ce jour au niveau mondial dans le domaine.

Sans compter sur l'appui humain et financier apporté par le CIAT et le CIRAD, le séminaire a pu être réalisé grâce au support financier de l'Union Européenne (U. E.), du Centre International de Recherche pour le Développement (CRDI) au Canada, du Ministère Français des Affaires Etrangères (MAE) et de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM).

3 Développement technologique pour la transformation du manioc.

3. 1 Mise en place d'une unité de production pilote d'amidon de manioc.

Afin d'étudier les différentes étapes du procédé de production d'amidon à partir de manioc en zone rurale, une unité de production a été conçue et réalisée dans la plus grande zone de production d'amidon de Colombie, dans le département du Cauca. L'unité de production de taille similaire à celle des 200 unités de production présentes dans la zone a permis de mettre en place des actions multidisciplinaires de recherches et de formation entre chercheurs, professeurs d'université, étudiants, constructeurs locaux d'équipements, petits producteurs et transformateurs de manioc de la zone. L'unité de production a déjà accueilli de nombreux paysans pour des séjours courts de quelques jours à une semaine (Colombie, Equateur) désireux de se former à la production d'amidon, et est ouverte à tous les transformateurs de la zone souhaitant connaître les améliorations réalisées dans cette unité.

Le projet a été mis en place en collaboration avec un groupe de 6 professeurs de l'université del Valle et 1 professeur de l'université autonome de Cali qui se sont associés pour acheter sur fonds propres une petite unité traditionnelle de production d'amidon : La Agustina. Ceux-ci ont constitué une société : SDT Agroindustrial et nommé un gérant : Martin Moreno. Le CIRAD-SAR et le CIAT ont apporté les financements nécessaires à la réorganisation de l'unité de production à partir de machines conçues ou améliorées par les élèves ingénieurs en mécanique des 2 universités concernées. Cette unité a été conçue, comme une unité productive, générant des bénéfices pour les associés et dont 20% sont réinvestis dans des actions de recherche sur la transformation du manioc (améliorer les conditions de travail, les équipements, étudier la commercialisation des produits...).

Avant de commencer l'installation de cette unité, de nombreuses unités traditionnelles ont été visitées et des rencontres avec les producteurs, transformateurs et constructeurs locaux d'équipement réalisées. Cette unité a permis de tester à l'échelle de production réelle les modifications apportées sur les machines par les étudiants en mécanique de l'université Autonoma et del Valle. Certaines de ces modifications ont dû être abandonnées, pour retourner aux systèmes traditionnels développés par les petits pro-

ducteurs. Des différents équipements conçus et réalisés avec l'appui du CIRAD-SAR et du CIAT par les étudiants et professeurs avant de disposer de cette unité productrice comme test, il ne reste aujourd'hui que quelques innovations minimales ayant réellement amélioré les capacités de production et diminué les coûts.

L'installation de l'unité a permis de mettre en évidence que les équipements construits localement pour des productions allant jusqu'à 5 tonnes par jour de racines sont extrêmement efficaces, très simples et très bon marché. Le remplacement de ces équipements par d'autres n'est actuellement pas envisageable. Les professeurs de mécanique de l'université del Valle ont donc orienté leurs efforts vers de légères améliorations de la conception des machines et sur quelques détails de leur fonctionnement en collaboration avec les constructeurs de la zone.

Afin d'améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations et diminuer la pénibilité du travail, les machines ont été disposées de façon à profiter au mieux de la déclivité du terrain pour améliorer les flux de matières premières. Cette disposition des machines, évite aux opérateurs de transporter manuellement à chaque opération les matières premières d'une machine à l'autre. Chaque machine possède son propre moteur et ses protections. (B. SEEMANN ; 1993)

L'unité a été conçue pour que les flux de matières ne se mélangent à aucun moment au cours du procédé de transformation pour faciliter l'établissement des bilans massiques, aussi bien pour la matière première que pour les déchets solides ou liquides.

Après une phase d'adéquation des machines et d'installation, l'unité produit maintenant à pleine capacité. Actuellement divers projets de recherche sont en cours de réalisation, comme l'étude du traitement des eaux et des déchets de la transformation, la conception et réalisation d'un filtre sous vide de petite capacité, l'évaluation d'un hydrocyclone pour diminuer la consommation d'eau, l'étude de la fermentation et du séchage solaire pour la production d'amidon aigre, la recherche de paramètres pour la modélisation et la conception de canaux de sédimentation.

3.2 Diagnostics techniques sur les unités de production de Colombie et d'Equateur.

En Colombie, les unités de transformation traditionnelles appelées "Rallanderia" (Rallar signifiant raper en espagnol) comportent toutes trois machines de bases, une laveuse peuleuse de racine, une râpe, et une ou deux tamiseuses pour l'extraction de l'amidon par voie humide. Quasiment toutes les unités ne possèdent qu'un seul moteur électrique permettant par un jeu de poulies et de courroies de mettre en mouvement toutes les machines. Ceci permet de réduire énormément le coût des installations, en évitant l'achat d'un moteur et d'un motoréducteur pour chaque machine. De plus en cas de coupure d'électricité un moteur à essence peut facilement remplacer le moteur électrique et ainsi éviter que le manioc déjà arraché ne se détériore.

Néanmoins, généralement les équipements sont extrêmement mal distribués et assez dangereux du fait de la proximité obligatoire de toutes les machines, aucune installation ne met à profit la gravité pour diminuer la pénibilité du travail. Les produits transformés doivent être repris manuellement d'une machine à l'autre sans aucune possibilité de transfert direct par gravité. Environ 5 tonnes de manioc sont traitées par jour et l'opérateur doit transporter 3 fois cette charge dans une journée (d'une machine à l'autre) en plus de toutes les opérations unitaires qu'il doit réaliser.

Depuis l'installation de l'unité pilote, le mécanicien de la zone ayant participé à l'installation avec les professeurs de l'université a réussi à concevoir et réaliser 2 nouvelles unités en adoptant le système par gravité et en conservant un seul moteur pour mouvoir l'ensemble de l'installation. Un jeu très élaboré de poulies et de courroies extrêmement bien distribué (sur un seul coté de l'installation) permet un accès facile aux machines et une utilisation rationnelle de la gravité. Comme dans l'unité pilote, les opérateurs ne transportent plus aucune matière première. Certaines innovations implantées dans l'unité pilote jugées trop coûteuses ne sont pas encore adoptées.

Actuellement l'unité pilote consomme:

- 1,3 m³ d'eau par tonne de racines lavées épluchées,
- 0,9 m³ d'eau par tonne de manioc râpé,
- 10 m³ d'eau pour le tamisage par tonne de masse râpée.

La capacité des différentes machines est de 1000 kg/h de manioc pour la laveuse, 1400 kg/h pour la râpe, 220 kg par heure pour la tamiseuse.

Dans l'unité pilote, chaque tonne de manioc transformée nécessite environ 12 m³ d'eau pour la production d'environ 200 kg d'amidon séché. **La production d'un kilo d'amidon en utilisant ce niveau technologique, nécessite environ 60 l d'eau.** Lors de la saison sèche le manque d'eau est un problème réel pour la production d'amidon dans la zone.

L'opération de tamisage est l'opération limitante du procédé. les différentes unités de production lorsqu'elles le peuvent s'équipent de 2 tamiseuses en parallèle permettant de transformer environ 5 tonnes par jour (10 h de travail continu). Aucune des unités de la zone ne possède une capacité supérieure du fait du niveau technologique utilisé (il n'existe en Colombie aucune machine disponible permettant d'augmenter la capacité de tamisage, ou de la remplacer, comme les centrifugeuses utilisées en zone rurale au Brésil). Lorsque le prix de l'amidon est élevé certaines unités produisent 24 h sur 24 pour pouvoir honorer leur carnet de commande. Certaines personnes possèdent plusieurs unités de production, mais jamais la capacité de tamisage n'est supérieure à 500 kg/h.

En Equateur des diagnostics techniques ont été réalisés sur les unités de production d'amidon de la UATAPPY à Portoviejo afin d'évaluer les différentes opérations à améliorer en priorité pour l'obtention de produits de meilleure qualité (F. Alarcon M. ; 1993). Des opérations de transfert de technologie et de formation ont été organisées en collaboration CIRAD-SAR/CIAT.

En Equateur les opérations de pelage et de tamisage sont manuelles. Progressivement dans les différentes unités, des laveuses peleuses font leur apparition.

Le diagnostic de l'une des unités (San Vicente) a mis en évidence l'utilisation de :

- 2 m³ d'eau par tonne de racines lavées épluchées
- 2,5 m³ d'eau par tonne de manioc râpé
- 6 m³ d'eau pour le tamisage manuel par tonne de masse râpée.

Soit environ 10 m³ d'eau par tonne de manioc. L'opération de tamisage manuel permet d'économiser environ 40% d'eau par rapport au tamiseuses colombiennes. Des efforts sont à réaliser sur les opérations de lavage et râpage afin d'optimiser les dépenses d'eau. Le coût de l'eau en Equateur est élevé, en effet les unités de production, ne disposent pas de rivières comme en Colombie et doivent puiser l'eau nécessaire au procédé dans des forages réalisés sur les sites de production. Actuellement la production de 1 kg d'amidon séché nécessite 50 l d'eau pour sa production.

Des essais ont montré qu'une personne tamisant manuellement la pulpe en Equateur avait la même productivité pour des rendements d'extraction identiques que les tamiseuses utilisées en Colombie (220 kg de masse râpée par heure).

3.3 Amélioration du procédé et des équipements de production d'amidon de manioc.

La principale innovation introduite dans l'unité pilote est la mise à profit de la gravité pour diminuer la pénibilité du travail.

Les canaux de sédimentation construits dans l'unité sont semblables à ceux introduits dans la zone par le CIRAD-SAR et le CIAT en collaboration avec une ONG travaillant dans la zone : CETEC. En 1988, aucune unité de production ne possédait de canaux de sédimentation pour la décantation de l'amidon, aujourd'hui 6 ans après le début de l'opération de transfert de technologie, plus de la moitié des unités ont adopté ce système de décantation qui permet aux unités de travailler en continu. Leur implantation se généralise en ce moment en Equateur.

Dans l'unité pilote, la plateforme de déchargement du manioc se trouve surélevée par rapport au reste de l'installation. Les sacs de manioc sont basculés directement dans la laveuse. Le déchargement de la laveuse est réalisé sur des grilles métalliques inclinées permettant facilement l'égouttage des racines et la séparation des écorces, des racines épluchées. Les déchets sont récupérés et transportés par un système de tuyauterie directement vers la zone de stockage (fabrication de compost). Les racines sont poussées di-

rectement sur la râpe à l'aide d'une pelle. L'efficacité de la râpe a été augmentée en augmentant la surface de contact entre les racines et le tambour. De plus à la différence des autres unités le râpage est réalisé en présence d'eau. Un tank de stockage de la pulpe en milieu aqueux a été construit sous la râpe. Les 2 tamiseuses sont situées de manière à pouvoir être alimentées en pulpe par gravité par l'intermédiaire d'un tuyau flexible. Les fibres résiduelles après extraction de l'amidon (Afrecho) sont séchées au soleil et destinées à l'alimentation animale. Le lait d'amidon produit est introduit dans les canaux de sédimentation d'une longueur totale de 180 m. Un grand bac en sortie des canaux (30 m³) permet la sédimentation des particules les plus légères et des protéines (mancha) utilisées après séchage pour l'alimentation animale. L'amidon sédimenté au fond du canal est récupéré une fois par semaine pour remplir les tanks de fermentation puis séché au soleil après 20 à 30 jours de fermentation.

3.4 Collaboration avec le NRI : Test d'un hydrocyclone.

Au sein de l'unité pilote en collaboration avec le CIRAD-SAR/CIAT, un hydrocyclone a été testé conjointement entre des chercheurs du NRI et des professeurs de l'université del Valle. L'appareil testé permet d'économiser l'eau lors de l'opération d'extraction de l'amidon. Le lait d'amidon sortant des tamiseuses est dirigé vers 4 cyclones, ou il est soumis à une force centrifuge. Deux fractions sont obtenues en sortie, la partie supérieure des cyclones, peu concentrée en amidon est dirigée à nouveau vers les tamiseuses, la partie inférieure plus fortement concentrée en amidon est dirigée vers les canaux de sédimentation.

Les résultats mettent en évidence que le lait d'amidon obtenu après passage dans l'hydrocyclone est 2 fois plus concentré que celui sortant des tamiseuses. La recirculation du lait le moins concentré vers les tamiseuses permet une économie de 50% de l'eau utilisée pour extraction de l'amidon.

En absence d'hydrocyclone la production de 1 kg d'amidon nécessite 60 l d'eau, **en utilisant l'hydrocyclone la quantité d'eau est réduite à 35 l par kg d'amidon sec.** Une étude de coût est en cours de réalisation pour évaluer la faisabilité de l'utilisation de l'hydrocyclone dans les unités de production traditionnelle.

3.5 Transfert de technologie pour la production d'amidon aigre (Colombie - Equateur).

Suite aux nombreux contacts et visites aux unités de production d'amidon en Equateur, une association de producteurs et transformateurs de manioc a exprimé le souhait de mettre en place en Equateur la production d'amidon aigre pour la fabrication locale de produits panifiables comme le pandebono ou le pan de yuca produits traditionnellement en Colombie. Avec l'aide de Susan Poats (ex CIAT) et du CIRAD-SAR, un projet de recherche a été élaboré avec la UATAPPY, présenté et accepté pour financement par CBN (10 000 US\$). Ce programme intitulé : "Transfer and Adaptation of Improved Sour Starch Processing to Small-Scale Farmer Producer/Processors in Manabi Province, Ecuador", est en cours de réalisation. 5 Chefs d'unité de production d'amidon se sont rendus en Colombie pour se former à la fabrication de l'amidon aigre durant 15 jours au sein de l'unité pilote CIRAD-SAR/CIAT/UNIVALLE. Le CIAT a apporté un appui technique au programme par l'envoi d'un spécialiste, en Equateur pour la mise en place dans les différentes unités de la technologie de production et d'évaluation du pouvoir de panification de l'amidon aigre produit. Une étude socio-économique est entreprise pour étudier le processus d'adoption de la technologie par les paysans de la zone.

Ce programme devrait permettre de diversifier la gamme de produits proposés par cette association de producteurs sur un nouveau marché : le marché des produits panifiés et la boulangerie.

Des inocula bactériens (eaux surnageantes de fermentation, amidon en cours de fermentation) ont été transférés de la zone de production du Cauca vers les associations de Manabí en Equateur. Les essais préliminaires ayant donné de bons résultats, une fermentation similaire à celles du Cauca a été entreprise par l'association de producteurs. Un test de panification a été développé avec les paysans de la zone afin de pouvoir suivre l'évolution du pouvoir de panification de l'amidon.

4 Etude de l'amidon aigre de manioc.

4.1 Bactéries lactiques amylolytiques isolées de la fermentation naturelle.

(Chapitre rédigé par J. MAYER Biotechnology Research Unit BRU-CIAT)

Background. Sour cassava starch is a naturally fermented product of some economic importance in food industry, especially in Colombia and in Brazil. The product has a high potential for broader industrial applicability, it can partially replace wheat flour in many products. The major drawback in sour starch production is that traditional processing lacks standardized parameters and consequently the quality of the product is subject to fluctuations, which are unacceptable to the consumer.

Expected Output. Through a collaborative project between SAR/CIRAD and ORSTOM (France), the Cassava Quality Section of CIAT, the Department of Microbiology of the Universidad del Valle (Colombia) and the BRU, we have set out to standardize fermentation parameters, improve production practices and develop starter inocula. The objective is to obtain reproducible product quality and shorten fermentation time, which is currently around 25 days. The development of novel industrial applications for selected bacterial strains isolated from this process is also envisaged by the French group.

Progress Report. In the course of the project 75 amylolytic lactic acid bacterial isolates (ALAB) from the fermentation mass and from natural mixed inocula used by the factories have been collected and further characterized. Amylolytic activity is not common among lactobacilli, but in the fermentation mass of cassava they represent the principal fermenting organisms, the low pH imposed by the ALAB eliminates most other microorganisms present at the beginning of the process.

60 purified isolates have been tentatively grouped into nine subgroups according to their protein profiles on denaturing polyacrylamide gels. We are in the process of further characterizing the degree of genetic diversity in the collection by combining data on sugar, starch and organic acid metabolism.

Lactic acid production is essential to confer to sour starch its organoleptic and rheological properties for dough preparation, hence a careful analysis of the lactic acid production ability of the isolates was performed using HPLC. Other organic acids were determined along with lactic acid, because their presence in excessive amounts would be deleterious to taste and smell of the final product. The acids determined were acetic, propionic, isobutyric, butyric, isovaleric and valeric acid. The analysis showed that we have a collection of homolactic bacteria, as shown by the low levels of the organic acids aforementioned.

4.1.1 Etude taxonomique des bactéries lactiques amylolytiques.

One of our students spent a few weeks at ORSTOM and at the university of Ghent (Dr. Bruno Pot), to determine fermenting parameters and to compare protein profiles of four selected isolates to profiles from a vast collection of lactobacilli. The analysis points towards the presence of new species, as do analysis with API galleries (sugar metabolism).

The selected isolates were compared to a *Lactobacillus plantarum* strain (A6) isolated in Africa and characterized by ORSTOM, that has been reported to be a strong amylase producer. ALAB 1 and 120 have greater amylolytic activities than A6. Product inhibition by glucose was not observed. The bacteria were homolactic during exponential growth phase. The slower growth rate of the four isolates as compared to A6 is not relevant to cassava processing factories, as no cell division takes place during the fermentation process (some essential nutrients are missing in the fermentation mass); this might be a limiting factor for other industrial applications.

In our collection we have identified isolates that produce higher amounts of lactic acid than the four strains analysed in France and Belgium. The present state of research asks for unequivocal identification of our isolates for IPR purposes and for the development of specific probes to follow up on competition experiments using bacterial inocula. Preliminary follow-up experiments of inoculations with selected isolates, using aniline blue staining and colony morphology as indicators, suggest that the inoculum dominates over the natural microbial flora that comes along with the roots to the factory.

We are now conducting a molecular taxonomic analysis using comparative analysis of ribosomal

DNA sequences. We are applying asymmetric PCR amplification of hypervariable regions of 16S RNA genes to produce single-stranded DNA that is directly used for dideoxy chain termination DNA sequencing. The sequence amplified is about 400 bp long; within this sequence 41 hypervariable nucleotides within *Lactobacillus spp* have been selected for phylogenetic analysis. 16S RNA sequences of 38 Lb species and some outgroups were downloaded from the GenBank Database using the Internet, and aligned using the multiple sequence aligning software MACAW (G. Schuler, NCBI; also transferred through Internet). The cluster analysis was performed using the phylogeny inference package PHYLIP (J. Felsenstein; also Internet, now available as Windows version).

Using these criteria ALAB 15 has been identified as *L. plantarum*, and other isolates are phylogenetically related to this and other fermenting lactobacilli. This type of analysis seems to be adequate and simple to confirm and complement taxonomic analysis of fermenting microorganisms.

Future plans. After characterizing the best fermenting isolates at the molecular level using ribosomal DNA sequence information, we will proceed to produce PCR primers or DNA probes for selected isolates based on the hypervariable DNA regions to assure specific recognition of individual strains in the fermentation mass when conducting follow-up experiments.

We must analyse further whether the amylase gene(s) of our isolates are located on the genome or on plasmids. This analysis, which is related to stability of the amylolytic activity of strains, is very important for future industrial applications. One of the isolates that was taken to France for analysis for example, lost its amylolytic ability during fermentation, this could be due to loss of a plasmid bearing the amylase gene. We are using pulsed field electrophoresis to separate the bacterial genome from plasmids.

PCR primers and DNA probes derived from published amylase sequences will be used to localize the genes on blots from these gels.

4.1.2 Développement de culture starters.

Selected strains have been tested as experimental inocula in a cassava starch plant. Inoculation of cassava starch with ALAB 20 gave faster obtention of breadmaking capacity than natural fermentation, even though the final breadmaking value was the same. Analysis of colony morphology and staining (aniline blue) suggest that the initial inoculum dominates the microbial flora which accompanies the root material. These bacteria seem to confer to the starch its breadmaking capacity. More rapid lactic acid production was observed in the inoculated starch.

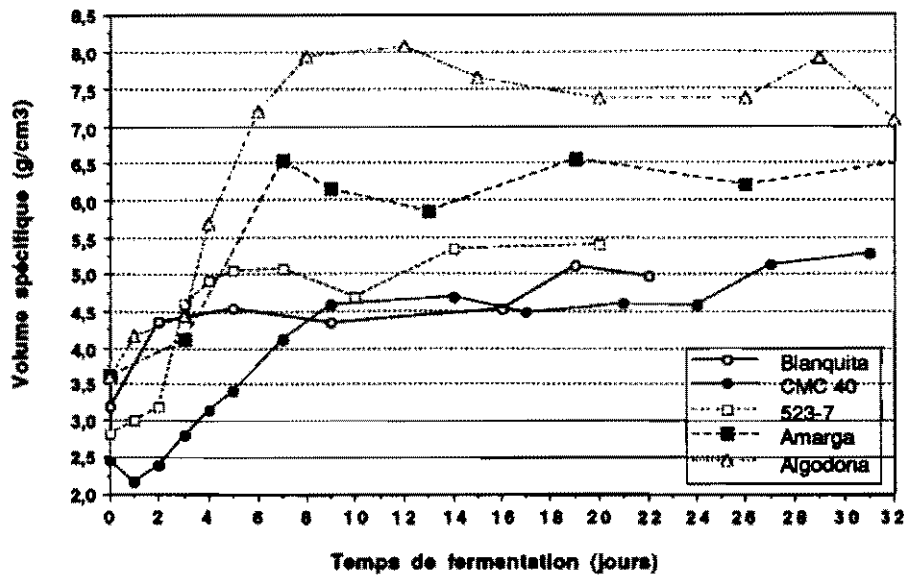
As these starter cultures were isolated in their natural ecosystem, they are sustainable and easy to use at the farm level. They will improve the quality of sour cassava starch and may contribute to increase income of small cassava processors. (Zakhia et al. ; 1994)

4.2 Influence variétale sur l'acquisition du pouvoir de panification.

Les études développées au CIAT, concernant l'acquisition du pouvoir de panification ont permis de mettre en évidence l'influence de la variété de manioc utilisée sur l'acquisition du pouvoir de panification au cours de la fermentation. Différentes variétés locales (du Cauca) ont été testées au sein de l'unité pilote pour la mise en évidence de leurs caractéristiques technologiques.

La figure 13 met en évidence de grosses différences entre variétés pour l'obtention du pouvoir de panification. (Laurent ; 1992) ; (Larsonneur ; 1993). Les variétés à cycle long et faible rendement - 18 mois (poussant en altitude à environ 1500 - 2000 m), produisent généralement de l'amidon aigre d'excellente qualité (Algodona - Figure 13). Les variétés à cycle court poussant dans la plaine et à fort rendement - 12 mois (1000 m d'altitude), développent un pouvoir de panification plus faible. Les producteurs d'amidon aigre connaissent ces variations de qualité en fonction de la variété de manioc utilisée et réalisent généralement des mélanges de variétés pour obtenir des pouvoirs de panification moyens. Une étude est en cours de réalisation au CIRAD-CA et CIRAD-SAR sur les différences de structure de l'amidon en fonction du pouvoir de panification obtenu.

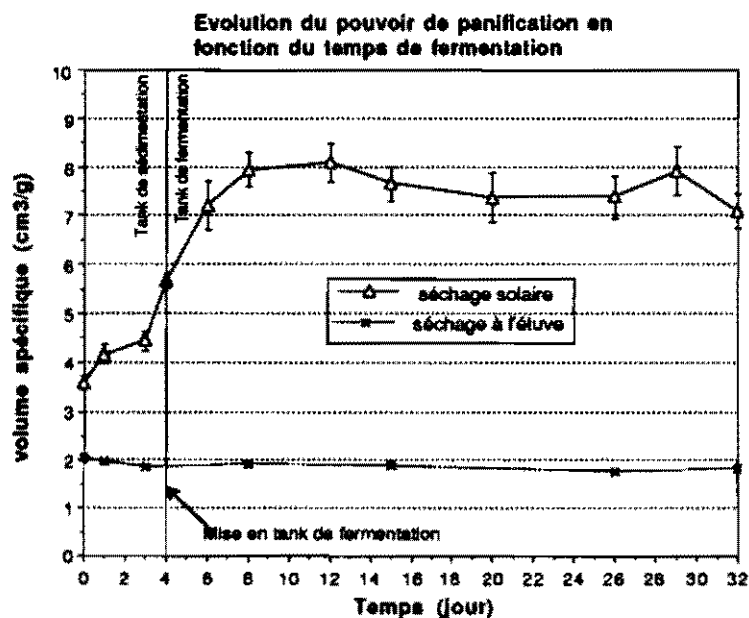
Influence de la variété de manioc sur la qualité de l'amidon aigre produit.
Evolution du pouvoir de panification au cours de la fermentation



(Figure 13)

4.3 Etude des propriétés physico-chimiques de l'amidon aigre au cours de la fabrication.

Afin de suivre l'évolution des propriétés physicochimiques de l'amidon de manioc au cours de la fermentation, un suivi de fermentation a été réalisé sur la variété "Algodona" (Mc01 1522 de la collection principale du CIAT). La fermentation s'accompagne d'une augmentation de l'acidité totale, d'une augmentation de la teneur en acide lactique et d'une modification des propriétés rhéologiques de l'amidon (Larsonneur, 1993). La figure 14 met en évidence l'acquisition du pouvoir de panification liée à la fermentation après une exposition au soleil. Après un séchage en étuve aucune apparition d'un pouvoir de panification n'est notée. L'exposition au soleil est indispensable à l'apparition de cette propriété fonctionnelle.



(Figure 14)

Le pouvoir de panification, exprimé par la mesure du volume spécifique des pains (Laurent, 1992),

reste très faible et égal à 2 après séchage à l'étuve. Au cours de la fermentation et après séchage solaire, il passe de 3,6 à 8 cm³.g-1. Dès le 8e jour de fermentation, le pouvoir de panification optimal pour ce clone "Algodona Mcol1522" (8cm³.g-1) est obtenu.

L'étude des propriétés rhéologiques a été entreprise à l'aide d'un viscoamylographe Brabender.

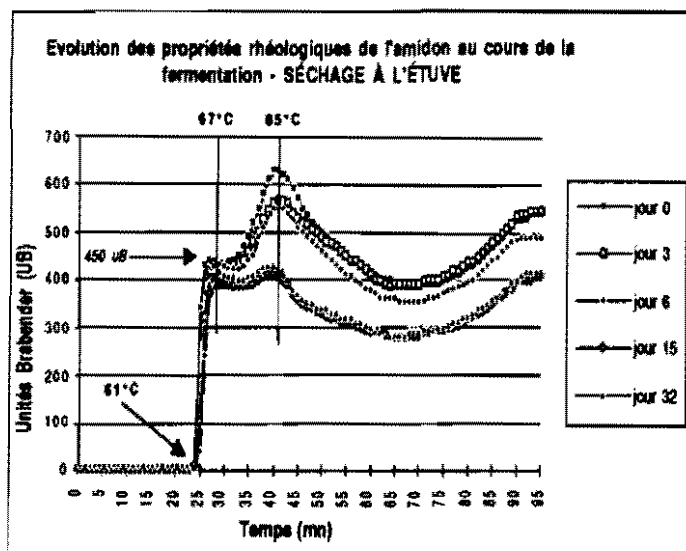


Figure (15)

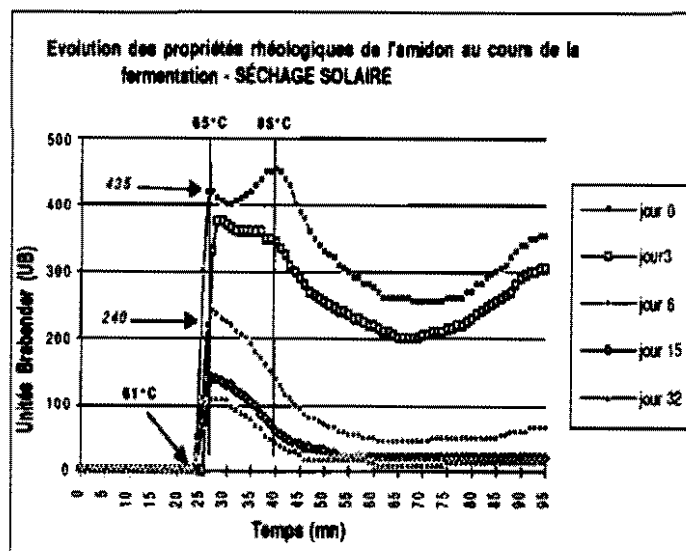


Figure (16)

Les échantillons séchés en étuve et au soleil présentent des propriétés rhéologiques très distinctes. Pour une durée de fermentation donnée, les profils de viscosité diminuent nettement après séchage solaire.

Après séchage à l'étuve, le profil de viscosité de l'amidon présente deux optima, l'un à 67°C, l'autre à 85°C, quel que soit le temps de fermentation. Le premier garde une valeur proche de 400 UB tout au long de la fermentation, alors que le second, très prononcé en début de fermentation (620UB), disparaît pratiquement en fin de fermentation (420UB).

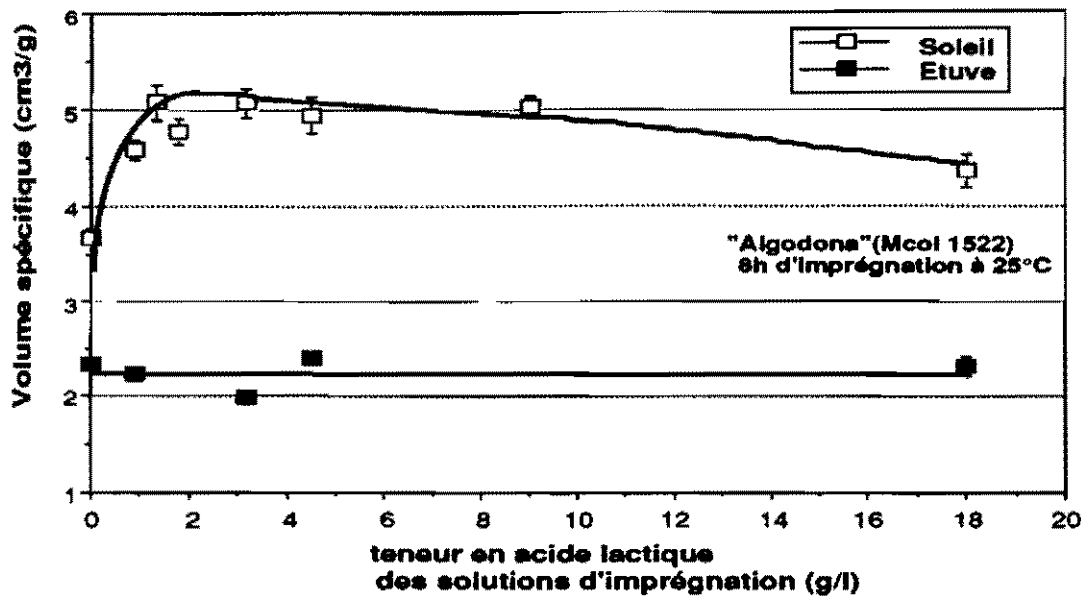
Le séchage solaire entraîne une différenciation très nette des profils rhéologiques au niveau de leur premier optimum vers 67°C. La viscosité maximale est très inférieure après exposition au soleil. Dès le 6^{ème} jour de fermentation, la disparition du second optimum de viscosité est observée.

Dix jours de fermentation et un séchage solaire sont nécessaires pour obtenir un pouvoir de panification optimal pour la variété "Algodona". Au cours de la fermentation, les modifications de propriétés rhéologiques liées à l'exposition au soleil sont directement corrélées à l'acquisition du pouvoir de panification (ASTÉ, 1994).

4.4 Influence de la fermentation, de l'acide lactique produit, et du séchage solaire sur la panification

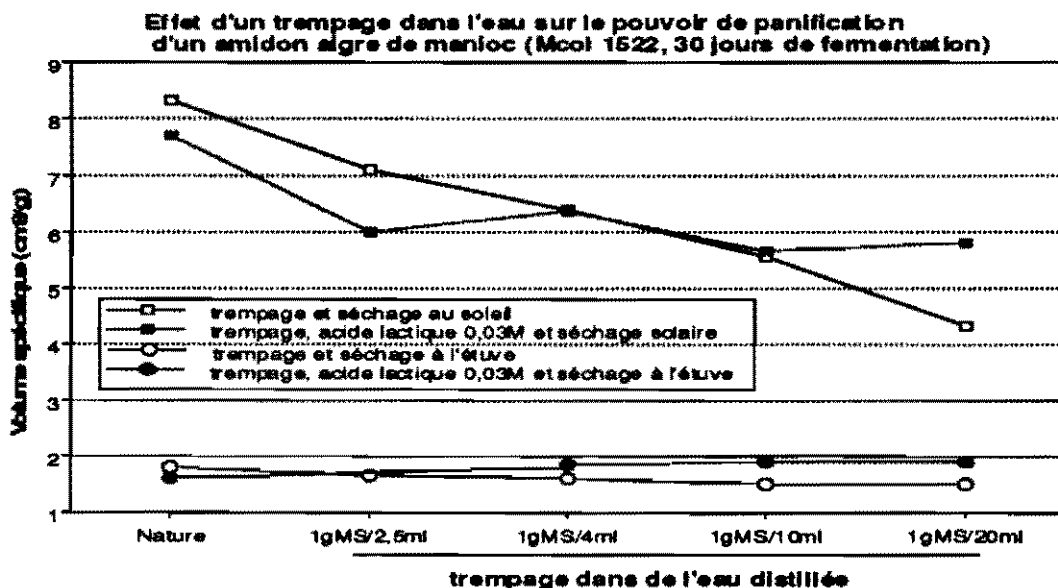
Afin de mettre en évidence l'importance de l'acide lactique dans l'acquisition du pouvoir de panification, une imprégnation en acide lactique d'amidon de manioc non fermenté a été réalisée. Différentes concentrations d'acide lactique (0 à 18g.l⁻¹) ont été testées.

(Figure 17)



La figure 17 met en évidence, une acquisition d'un pouvoir de panification lors d'une exposition au soleil de l'amidon non fermenté (de 2,2 à 3,8 cm³/g). L'ajout d'acide lactique améliore cette acquisition du pouvoir de panification (jusqu'à 5,3 cm³/g). Une concentration optimale de 1,8 g/l d'acide lactique a été déterminée. L'acide lactique semble participer au processus d'acquisition du pouvoir de panification lors de l'exposition au soleil de l'amidon aigre. Il est à noter que la valeur optimale de 8 cm³/g n'est pas atteinte quelle que soit la concentration d'acide utilisée. La fermentation produit de l'acide lactique et induit d'autres modifications de l'amidon indispensables à l'apparition d'un pouvoir de panification optimal.

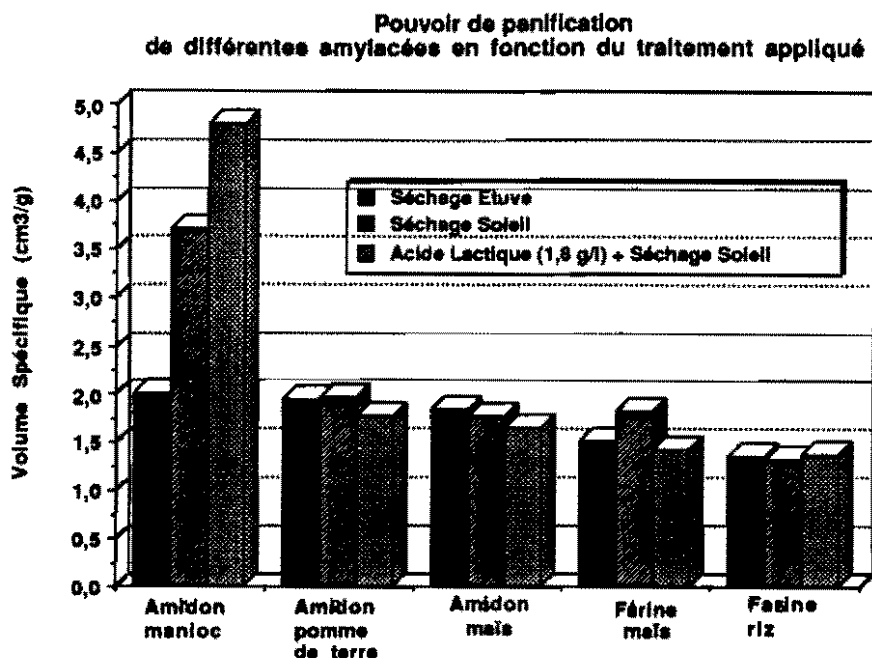
La figure 18 met en évidence ce phénomène. Des lavages par trempage d'amidon aigre ("Algodona", après 32 jours de fermentation) dans de l'eau distillée ont été effectués afin d'éliminer l'acide lactique produit par fermentation et présent avant séchage. Le pouvoir de panification diminue; ceci montre que certains éléments indispensables à l'acquisition de la panification ont été éliminés lors du lavage. La teneur en acide lactique diminue proportionnellement à la dilution. Ces mêmes échantillons, (après lavage) sont ré-imprégnés (avant séchage) par une solution d'acide lactique 0,03M, et les échantillons obtenus sont séchés au soleil. Cette ré-imprégnation par de l'acide lactique ne permet pas d'obtenir le pouvoir de panification initial. Certains éléments, autres que l'acide lactique et ayant un rôle essentiel dans l'acquisition du pouvoir de panification ont été éliminés au cours du lavage (ASTÉ, 1994).



(Figure 18)

4.5 Autres amidons et farines (maïs, pomme de terre, riz)

Des farines et amidons d'origine autre que le manioc ont été imprégnés par de l'acide lactique (à la concentration optimale de 1,8 g/l) puis séchés au soleil. La figure 19 montre qu'après traitement, les amidons et farines autres que l'amidon de manioc ne présentent pas de pouvoir de panification.



(Figure 19)

L'amidon de manioc et les autres amidons et farines ont été fermentés dans les mêmes conditions que celles de la fermentation traditionnelle de l'amidon aigre. En comparaison avec l'amidon de manioc, dont la fermentation produit 0,83 g d'acide lactique pour 100 g de matière sèche, l'amidon de pomme de terre a produit 0,13 %, l'amidon de maïs 0,46 %, la farine de maïs 1,26 %, et la farine de riz 1,96 % d'acide lactique. Les propriétés rhéologiques de tous les produits amyliacés ont été modifiées après fermentation et séchage au soleil. Pour une suspension à 5% d'amidon de manioc, la viscosité maximale a diminué au cours de la fermentation de 520 unités Brabender, de 120 unités Brabender pour une suspension d'amidon de pomme de terre, et de 80 unités Brabender pour une suspension d'amidon de maïs à 7,5 %.

Les changements les plus importants dans les propriétés rhéologiques sont observés pour l'amidon de manioc. Ces variations plus faibles pour les autres amyliacées que le manioc pourraient expliquer le fait qu'elles n'acquièrent pas de pouvoir de panification.

L'acquisition d'un pouvoir de panification après certains traitements physico-chimiques est donc une propriété spécifique et exclusive de l'amidon de manioc. D'autres études seront menées afin de comprendre les mécanismes d'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon de manioc.

5 Mise en place et idées de nouveaux projets de recherche pour 1995.

Divers programmes de recherche sont en cours de montage, ou ont été rédigés en collaboration avec différents partenaires, en 1994.

5.1 Les projets financés en 1994

1 Financement pour le congrès "International Meeting on Cassava Flour and Starch", 11-15 janvier 1994, CIAT, Cali, Colombie. (CRDI, U.E., MAE, CIAT, CIRAD, ORSTOM) (coût environ 80 000 US\$)

2 Formulation et obtention d'une bourse MRT Agronomie tropicale pour le développement de boissons amylacées fermentées lactiques.

3 Formulation et obtention du projet de transfert de technologie de la production d'amidon aigre entre la Colombie et l'Equateur. CIAT, CIRAD, UATAPPY, EPN, LATINRECO, FUNDAGRO. (financement CBN 10 000 US\$)

4 Formulation et obtention du projet de développement de produits de charcuterie en Equateur en collaboration avec la UATAPPY, EPN, LATINRECO, FUNDAGRO. Financement PRODAR (16 000 US\$) ; CIRAD (10 000 US\$) ; FECD (12 000 US\$).

5.2 Les projets en cours d'étude

1 Développement d'un programme PRI (Programme de Recherche Industriel Franco - Brésilien) entre le CIRAD-SAR, un industriel de la production d'aliments sans gluten et un industriel Brésilien. Formulation de prémix de panification sans gluten à base d'amidon aigre. En cours d'étude pour financement par le programme PRI, du Ministère des Affaires Etrangères (MAE).

2 Développement d'un programme bilatéral U. E. - Colombie sur Panaela et développement rural. Actuellement en cours d'examen par la chancellerie colombienne avant présentation à la DGI de l'U.E. (Suivi par François Boucher et P3).

3 Présentation d'un projet de classification des bactéries lactiques amylolytiques isolées des fermentations traditionnelles de l'amidon aigre au bureau de ressources génétiques présenté par l'INRA de Jouy en Josas. (Patrick Tailliez)

4 Développement d'une boisson amylacée fermentée. Projet à présenter en avril 95 à l'appel d'offre STD4 de l'U.E. en collaboration entre CIRAD-SAR, ORSTOM, UBA, UNESP, UNIVALLE, Ecole de biotechnologie de Porto, CELERAT, Université du Benin.

5 Evaluation des potentialités industrielles des racines et tubercules andins (CIAT, CIP, EPN, CORPOICA, IPGRI)

6 Programme DGI Agroindustrie et développement rural en Equateur (FUNDAGRO, UATAPPY, CIAT, ...)

6 Publications et participations à des congrès.

Books

Dufour D. (1994) Valorisation du manioc en Equateur. Diversification des utilisations et mise en place de normes de qualité. Document CIRAD-SAR, mission en Equateur du 17/05/94 au 21/05/94.

Dufour D. & Best R. (1994) Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development. Proceedings of the International Meeting on Cassava Flour and Starch, CIRAD-SAR/CIAT, Cali, Colombie, 11-15 January 1994.

Dufour D. & Griffon D. (1994) Amélioration de la qualité des aliments fermentés à base de manioc. Contrat STD2, Edition CEE, p. 239-244

Dufour D., Lafond M.D., Lambert B. (1993) Valorisation du manioc. Les bibliographie du CIRAD, 321 p.

Oral Presentations

C. Brabet, G. Chuzel, D. Dufour, M. Raimbault, J. Guiraud (1994). Sour Cassava Starch Production Improvement In Colombia. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

C. Brabet & Dufour D. (1993) El almidón de Yuca. Producción y estudios de las propiedades físico-químicas. Simposio en carbohidratos, 4- 6 de octubre, Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.

D. Dufour (1993). Producción del almidón agrio de yuca en Colombia. Estudio de las propiedades reológicas durante las diferentes etapas del proceso. Seminario de la red PRODAR, 25-26 de Octubre, CIAT, Cali, Colombia.

D. Dufour (1994). Procesamiento de la yuca. Estudio del caso de la producción de almidón agrio de yuca en Colombia, desarrollo de un almidón para panificación. Primer Congreso Nacional de Ingeniería de Alimentos, October 20-22, Bogota, Colombia

D. Dufour, S. Larssonneur, F. Alarcón, C. Brabet, G. Chuzel (1994). Influence of Sun Drying on Sour Cassava Starch Quality, Pandebono Loaf Volume and Viscoamylograph Studies. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

A. Fernández, J. Rickard, D. Dufour, C. Wheatley (1994). Appraisal of the Influence of Cultivar and Processing on the Physicochemical and Functional Properties of Cassava Starch and Flour. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

N. Zakhia, G. Chuzel, C. Brabet, D. Dufour (1994, a). Cassava Fermentation. The Case of Cassava Sour Starch in Latin America. Second International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network. August 22-26, Bogor, Indonesia.

Poster Presentations

C. Brabet, G. Chuzel, D. Dufour, M. Raimbault, J. Guiraud (1994). Study of Natural Fermentation of Cassava Starch in Colombia. I. Characterization of the Microflora and the Fermentation Parameters. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia

C. Brabet, A.L. Jaime, A. Beitz, A.L. Chavez, D. Dufour (1994). Effect of an Amylolytic Lactic Starter Culture on Cassava Starch Fermentation and Quality. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

C. Brabet, M. Raimbault, C. Figueroa, D. Dufour, G. Chuzel (1994). Study of Natural Fermentation of Cassava Starch in Colombia. III. Establishment of an Exopolysaccharide (EPS)-Producing Lactic Acid Bacteria Strain Bank. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

D. Dufour, J.M. Lopez, T. Sanchez, G. O. Brien, N. Zakhia (1994) Screening of CIAT Cassava Germplasm. Characterization of Diversity in Cassava Starch Pasting Properties. 10th Symposium of the International Society for Tropical Roots Crops (ISTRIC). November 13-19, Salvador do Bahia, Brazil.

Y. Gomez, C. Brabet, A.L. Jaime, M. Astudillo, G. Chuzel (1994). Study of Natural Fermentation of Cassava Starch in Colombia. II. Isolation of Amylolytic Lactic Acid Bacteria (ALAB). International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

A. L. Jaime, Y. Gómez, M. Astudillo, E. Giraud, D. Dufour (1994). Evaluation of Isolated Amylolytic Lactic Acid Bacteria Isolated from the Fermentation of Sour Cassava Starch. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

L. Laurent, C. Brabet, D. Dufour, G. Chuzel (1994). Quality of Sour Cassava Starch : Development of a Method to Evaluate Breadmaking Capacity and a Descriptive Test of Sensory Evaluation. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

M. X. Ramírez P., R. Guzmán R., A. Aguinaga, A. Stouvenel, D. Dufour (1994). Maltodextrins Obtained from Cassava Starch and their Use as a Fat Replacer. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

A. Vernerey, N. Zakhia, D. Dufour (1994). The Role of Acid in Development of Breadmaking Capacity during Sun-drying of Starches and Flours of Different Origins. UTC, September 23, Compiègne, France.

N. Zakhia, C. Wheatley, G. O'Brien, D. Dufour (1994 , b). Screening of CIAT Cassava Germplasm Diversity for Physico-Chemical Characterization of Starch and Assessment of its Technological Potential. Second International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network. 22-26 August, Bogor, Indonesia.

A.P. Zambrano, A.L. Chaves, C.J. Flórez, E. Giraud, G. Chuzel, D. Dufour, J.E. Mayer (1994). Biochemical and physiological characterization of amyolytic lactic acid bacteria isolated from cassava sour starch fermentation. Gestion de Populations Microbiennes dans les industries agro-alimentaires. Société Française de Microbiologie. March 9-10, Dijon, France.

A.P. Zambrano, C.J. Flórez, E. Giraud, G. Chuzel, D. Dufour, J.E. Mayer (1994). Biochemical and Physiological Characterization of Amyolytic Lactic Acid Bacteria Isolated from Sour Cassava Starch Fermentation. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

A.P. Zambrano, G. Quiñones, A. L.Chaves, M. Corredor, D. Dufour, J.E. Mayer (1994). Molecular and biochemical characterization of amyolytic lactic acid bacteria isolated from cassava sour starch fermentation. LACTIC 94, September 7-9, Caen, France.

Papers

D. Dufour, C. Brabet, G. Chuzel, N. Zakhia (1994). Use of Amyolytic Lactic Acid Bacteria (ALAB) Starter For Improving Cassava Sour Starch Quality. Journal of Applied and Environmental Microbiology, in press.

D. Dufour, C. Brabet, G. Chuzel, N. Zakhia (1994). Influence of fermentation and solar drying on the breadmaking potential of cassava sour starch. Journal of the Science of Food and Agriculture, in press.

D. Dufour, C. Brabet, N. Zakhia, G. Chuzel (1994). Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc. TAM, à paraître aux éditions de l'ORSTOM.

G. Saucedo-Castaneda, M.R. Trejo-Hernandez, B.K. Lonsane, J.M. Navarro, S. Roussos, D. Dufour, Raimbault M. (1994). On-line Automated Monitoring and Control Systems for CO₂ and O₂ in Aerobic and Anaerobic Solid-State Fermentation. Process Biochemistry, n°29, p.13-24.

N. Zakhia and D. Dufour (1994). Influence of the cultivar on cassava starch functional properties. Journal of experimental Botany, in press.

N. Zakhia, D. Dufour, G. Chuzel, D. Griffon (1994). Review of sour cassava starch production in rural Colombian areas. Tropical Science, in press

Auteurs cités dans le texte

F. Alarcón Morante (1993) Sistema de producción de almidón de yuca en Manabí, Ecuador. Diagnostico y evaluación tecnológica. CIAT, Cali, Colombia

M. Asté (1994) Evolution des propriétés physicochimiques et fonctionnelles de l'amidon de manioc (MCOL 1522) au cours de la fermentation. Mise en évidence du rôle de l'acide lactique et de l'exposition au soleil sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre. Rapport intermédiaire, CIRAD-SAR, Cali, Colombia.

CIAT - Annual Report, (1992) & (1993).

D. Griffon & N. Zakhia ; 1993 ; 1994. Valorisation des produits, sous-produits et déchets de la petite et moyenne industrie de transformation du manioc en Amérique Latine. Rapport scientifique contrat CEE/STD3 n° TS3-CT92-0110, CIRAD-SAR, Montpellier, France.

C. Flórez, G. Chuzel, J. E. Mayer (1993) Characterization of bacterial amylolytic activities during cassava solid state fermentation. Proceedings, First Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, August 25-28, 1992, Cartagena (Roca WM, Thro AM, eds) CIAT, Cali, Colombia

S. Larssonneur (1993). Influence du séchage solaire sur la qualité de l'amidon aigre de manioc. Mémoire Ingénieur UTC, 114 p., Compiègne, France.

L. Laurent (1992). Qualité de l'amidon aigre de manioc : validation d'une méthode d'évaluation du pouvoir de panification et mise en place d'une épreuve descriptive d'analyse sensorielle. Mémoire Ingénieur UTC, 88 p., Compiègne, France.

G. M. O'Brien, C. C. Wheatley, T. Sanchez (1994). Texture Characteristics of Starch Extracted from High and Low Cyanogen Cultivars of Cassava. International Cassava Workshop on Food Safety. IITA, Ibadan, Nigéria.

B. Seemann (1993). Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc. Projet de réalisation d'une unité pilote. Rapport de stage, 16 p., CESI/CIRAD, Cali, Colombia.

A. Vernerey (1994). Rôle de l'acide lactique dans le développement d'un pouvoir de panification lors du séchage solaire d'amidon et de farines de différentes origines. Mémoire Ingénieur UTC, 63 p., Compiègne, France.

C.C. Wheatley, J.I. Orrego, T. Sanchez, E. Granado (1992) Quality Evaluation of the Cassava Core Collection at CIAT. Proceedings of the First Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, August 25-28, 1992, Cartagena (Roca WM & Thro AM, eds) CIAT, Cali, Colombia.



CASSAVA UTILIZATION EXPLORING THE POSSIBILITIES

COOPERATIVE PROJECT CIRAD-SAR/CIAT
ACTIVITY REPORT 1994

Dominique Dufour (CIRAD-SAR/CIAT)

CIAT, Cali, Colombia. 15/01/95

STUDY OF THE POTENTIAL OF CASSAVA UTILIZATION

Cooperative Project CIRAD-SAR/CIAT - Activity Report 1994
Dominique Dufour (CIRAD-SAR/CIAT)
CIAT, Cali, Colombia, 15-01-95

	Pages
Introduction	2
1. Evaluation of biodiversity in the global cassava germplasm collection at CIAT	3
1.1 Dry matter, total cyanogen, starch and amylose contents	3
1.2 Correlation between cassava starch rheological properties and cassava cyanogen	4
2. Value-enhancement of cassava in Latin America (E.U. STD3 program)	10
2.1 Study of Primary material	11
2.1.1 Evaluation of variability in cassava starch functional properties	12
2.1.2 Influence of aerial pruning on cassava starch quality	13
2.1.3 Influence of plant age on the physicochemical properties of starches	13
2.2 Treatment of liquid and solid wastes	20
2.3 Bioconversion of cassava flours and starches	21
2.4 Novel product based on cassava	21
2.4.1 Extruded products	22
2.4.2 Development of meat products	26
2.5 The study of markets and marketing opportunities	27
2.6 International conference on cassava flours and starches, Cali 11-15 January 1994	30
3. Technological development for cassava processing	31
3.1 The setting-up of a cassava starch pilot plant	31
3.2 Technical evaluation of production-plants in Colombia and Ecuador	32
3.3 Improvement of cassava starch production procedures and equipment	34
3.4 Cooperation with NRI: testing of a hydrocyclone	35
3.5 Technology transfer for cassava sour starch production (Colombia and Ecuador)	35
4. Cassava sour starch study	36
4.1 Amylolytic lactic bacteria isolated from natural fermentation	36
4.1.1 Taxonomic study of amylolytic lactic bacteria	37
4.2 Varietal influence upon the acquisition of breadmaking capacity	38
4.3 Physicochemical properties of sour starch during the course of production	39
4.4 The influences of fermentation, of lactic acid produced, and of sun-drying, on breadmaking	44
4.5 Other starches and flours (maize, potato, rice)	44
6. Scientific conference publications and contributions	49

INTRODUCTION

An already long-standing cooperative relationship exists between CIAT and CIRAD-SAR in the area of cassava value-enhancement. This cooperative relationship was renewed this year for a further two-year term, running until December 31, 1996.

Between 1988 and 1992, Gerard Chuzel was stationed by the French Ministry for Foreign Affairs (MAE) at CIAT, and given the task of organising cooperative ventures in the field of food and agriculture technology in the Andean Pact countries. During those four years, Gerard Chuzel ran a research program at CIAT, principally oriented towards production technologies and the study of the physicochemical properties of cassava starch. At the end of the four-year period, a three-year research programme was elaborated and financed by the European Union (EU), to address the topic of cassava value-enhancement in Latin America. Dominique Dufour of CIRAD-SAR was stationed at CIAT, Cali, in November 1992, with the task of pursuing and developing the work undertaken by Gerard Chuzel, and assuming responsibility for the EU programme in the Andean zone.

Gerard Chuzel has been stationed in São Paulo, Brazil, by the MAE, as ministry expert in food and agriculture technology for the Southern Cone region. Gerard Chuzel is now responsible for the EU cassava value-enhancement programme in the Southern Cone of Latin America.

This highly composite report gives an account of the various activities undertaken within the scope of the CIRAD-SAR/CIAT cooperation agreement during the year 1994. These activities have taken place thanks to excellent cooperation between the CIAT Cassava Utilization Laboratory, the University of Valle del Cauca, Cali (especially the departments of Equipment Design, Food Science, Chemical Engineering, and Environmental Protection, and the Natural Resources Institute (NRI). There was also strong participation from ORSTOM in managing bioconversion and waste-treatment operations, within the scope of the EU cassava value-enhancement program.

A French national-service cooperation position, made available by the MAE, currently occupied by Matthieu Asté, has provided valuable assistance in the proper implementation of a number of research operations.

Without the financial support of the E.U., the MAE, CIRAD, CIAT, ORSTOM and UNIVALLE, the research work described in the following pages would not have been possible.

1. EVALUATION OF BIODIVERSITY OF THE GLOBAL CASSAVA GERMLASM COLLECTION AT CIAT

At CIAT, a germplasm collection currently containing 5,300 cassava clones is held, representing the biodiversity known to date in America and the Caribbean, in Africa, Oceania and Asia. Given the very high number of clones, and in order to facilitate the characterisation of different species, in 1991 a principal Core Collection was defined. This Core Collection comprises 633 accessions, which represent global diversity. The first characterisation of the Core Collection was carried out in 1992, with the goal of evaluating the utilization potential of the Core Collection (CIAT Annual Report 1992).

1.1 Dry Matter, Total Cyanogen, Starch and Amylose Contents

A second harvest of the CIAT Core Collection at the Palmira site was carried out in 1993, with the aim of confirming the results obtained in 1992. Among the assays carried out were: dry matter content (DMC), cyanogen contents, and starch:dry matter ratio. Analyses to determine amylose:amylopectin ratios are currently being performed. The table below gives a brief summary of results obtained in these two series' of investigations.

	% DMC 1991	% DMC 1993	Total CG, mg/kg 1991	Total CG, mg/kg 1993	% starch 1991	% starch 1993	% amylose in starch 1991
No. of clones analysed	563	520	563	520	559	521	500
% of CC	89	83	89	83	89	83	79
Minimum value measured	13	18	17	17	71	68	15
Maximum value measured	49	50	4126	3344	93	92	29
Mean	34	38	315	401	84	82	22
Std. dev	6	5	418	501	4	5	2

(CC = core collection; cyanogen and starch data given on dry basis)

The distribution curves obtained from the results of the 1993 harvest, presented in this report (Figures 1-4) are very similar to those pertaining to the 1991 harvest. These curves enable the visualisation of the diversity within the global cassava germplasm collection at CIAT. It should be noted that, with certain clones, very notable differences were observed between the two sets of results (influence of climatic conditions? genotypic differences?). The variability of parenchymal cyanogen content is very considerable within the Core Collection: it is noted that, in both sets of analyses, the standard deviation was greater than the mean cyanogen content. The distribution curve enables the visualisation of this variability: some varieties have extremely high parenchymal cyanogen content (around 4g of cyanogens -expressed as HCN- per kg dry matter). These varieties are considered to be toxic.

A hypothetical clone, representative of the cassava Core Collection, would, therefore, contain around 36% dry matter, 360 mg/kg parenchymal cyanogen content (as HCN, dry matter basis), 83% starch in relation to the total dry matter content, and its starch would contain 22% amylose.

Using these analyses, together with agronomic data relating to yield per plant, the 630 clones in the Core Collection are currently being classified in terms of the amount of starch produced per plant. This classification should enable the highlighting of promising clones for starch production at the industrial level.

1.2 Correlation Between Rheological Properties of Starches and Cassava Cyanogen Content

In Amazonia, the indigenous peoples traditionally use high-cyanogen (bitter) cassava varieties for the production of *casabe*, despite the ready availability of low-cyanogen (sweet) cassava varieties. Production trials in which traditional foods were produced using sweet cassava varieties have been carried out in collaboration with CIAT. Local populations recognised and rejected these products on the grounds that they did not present the usual organoleptic characteristics associated with this kind of food. A study has been carried out at CIAT to elucidate the influence of cassava cyanogen content on the functional properties of cassava starch. The characterisation of the CIAT Core Collection enabled the selection of starches from the 15 highest-cyanogen clones and the 15 lowest-cyanogen clones for two series of analyses in 1991 (Annual Report 1992) and in 1993¹. Starch rheological properties were analysed using a Brabender Viscoamylograph. The viscoamylograph studies were carried out using 5% starch suspensions. The results of these studies have been grouped in relation to the

¹G. M. O'Brien, C. C. Wheatley, T. Sanchez (1994). Texture Characteristics of Starch Extracted from High and Low Cyanogen Cultivars of Cassava. International Cassava workshop on Food Safety. IITA, Ibadan, Nigéria.

Distribution of dry matter content in the CIAT core collection

Number of clones

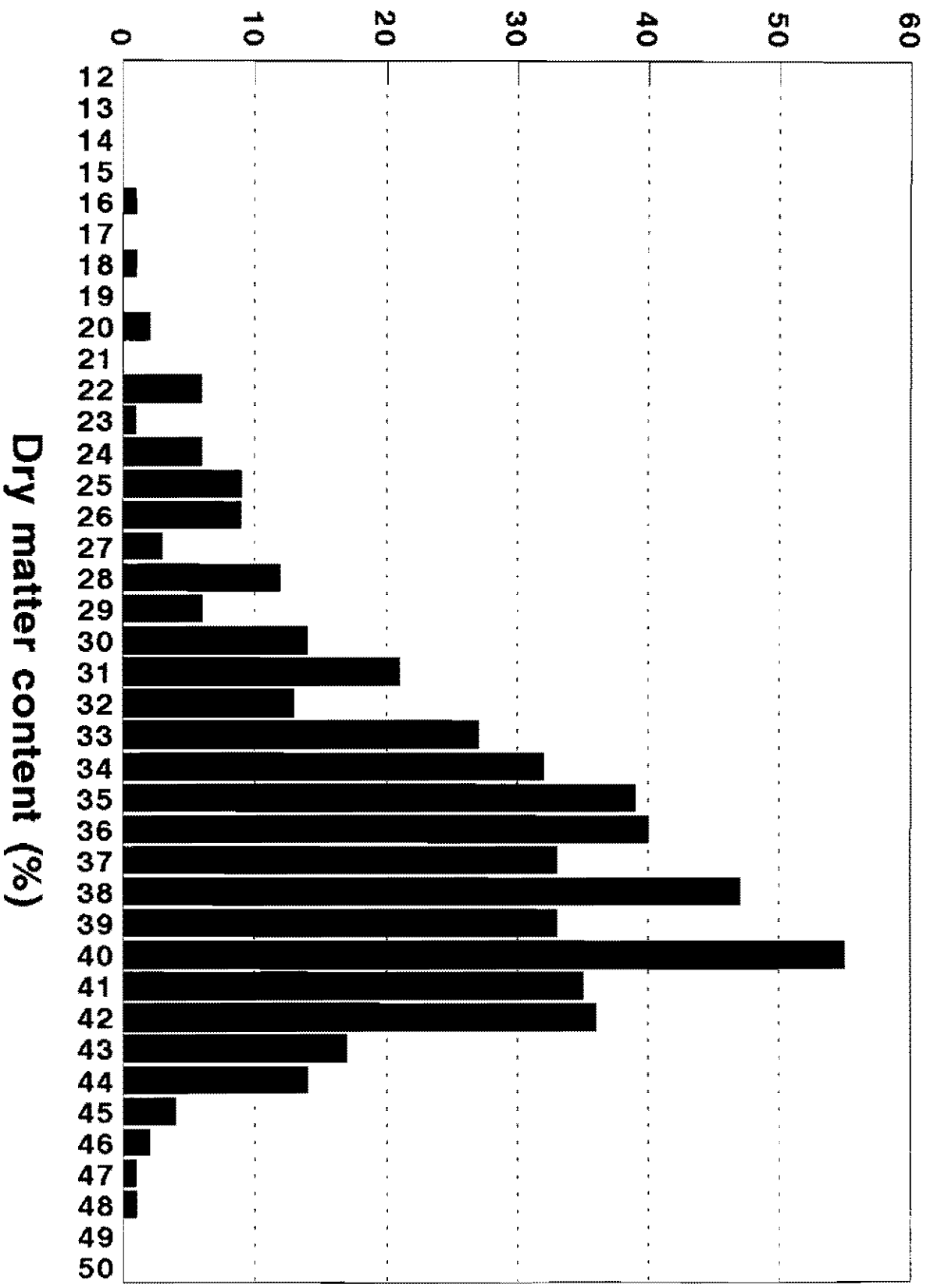


FIGURE 1.

Distribution of total cyanogen contents in the CIAT core collection

FIGURE 2.

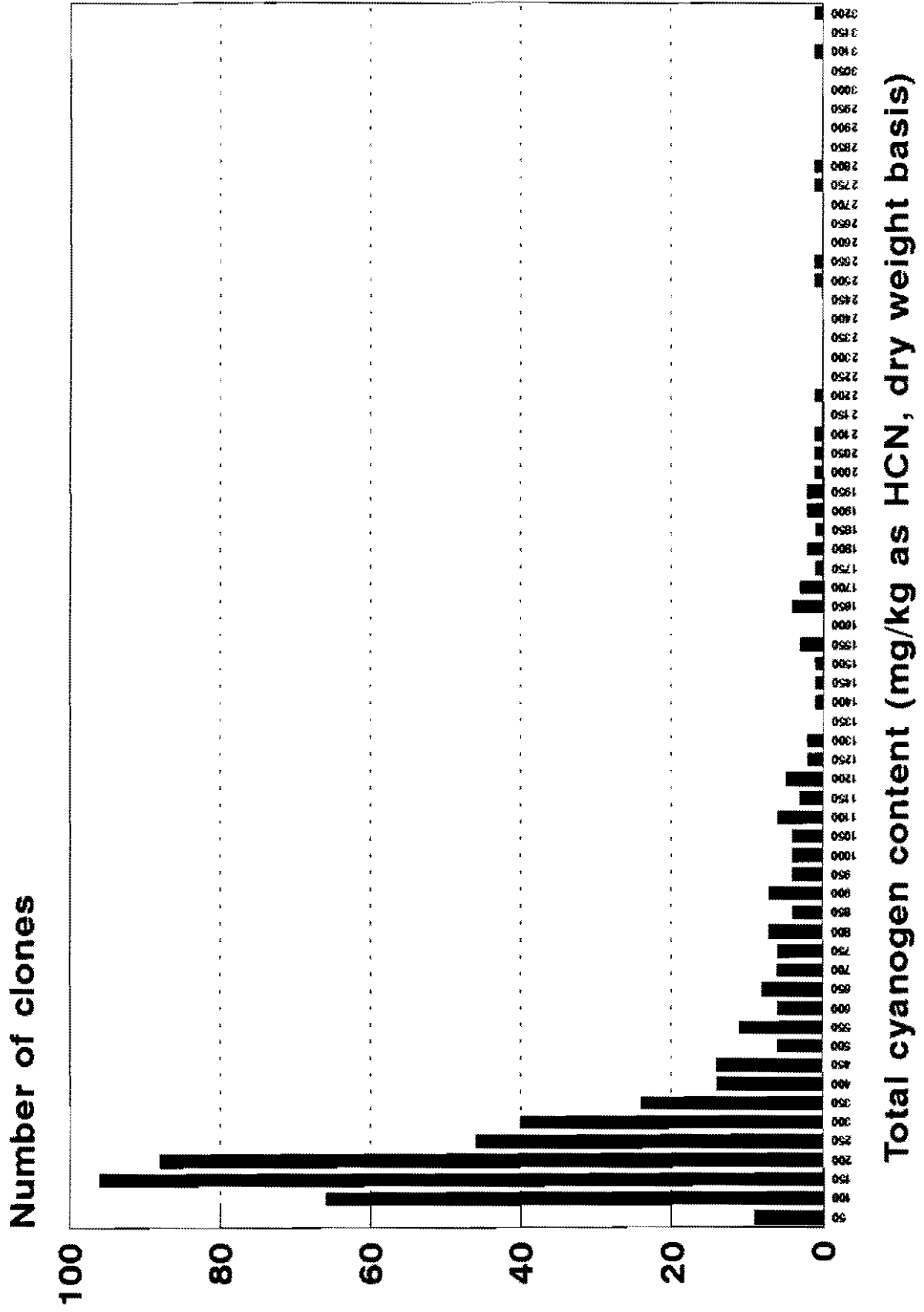
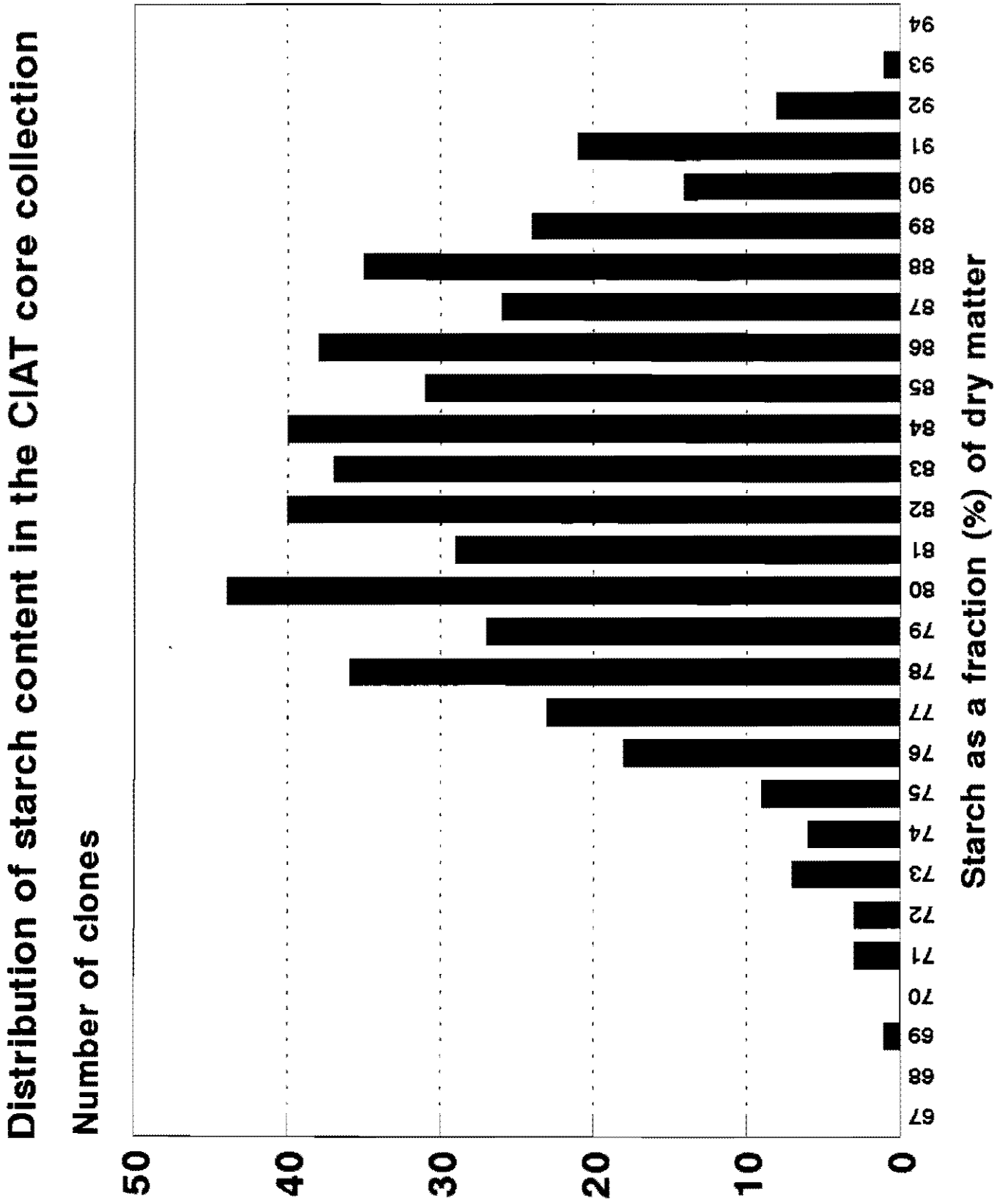


FIGURE 3.



Distribution of amylose contents of starches from CIAT core collection

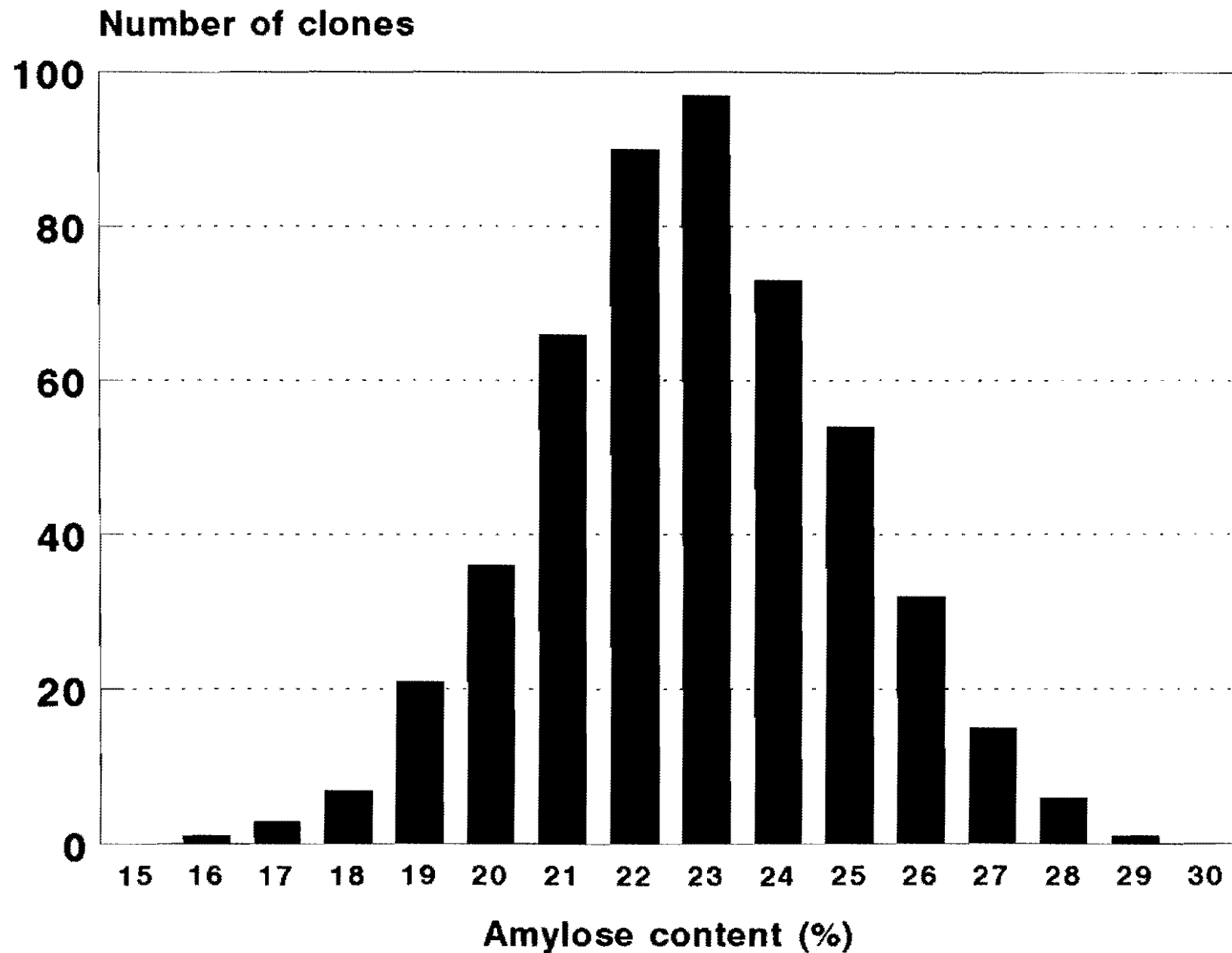


FIGURE 4.

origin of the starch (high or low-cyanogen cassava). The means of the various rheological characteristics have been compared across the two groups, using the Student's comparison t-test. The results are presented in the following table.

	Low Cyanogen Group		High Cyanogen Group		Significant Difference* (P =)	
	1991	1993	1991	1993	1991	1993
Total cyanogens (mg/kg fresh basis)	13	22	461	692.2	10^{-3}	10^{-4}
Amylose (%)	22.9		21.6		n.s.	
GT (°C)	64.1	62.8	64.7	62.7	n.s.	n.s.
Max. viscosity (BU) [V_{max}]	509.5	478	359.5	406	10^{-4}	10^{-4}
Visc. at 90°C (BU) [V_{90}]	391.5	313	230.2	240	10^{-4}	10^{-4}
Visc. after 20 min. at 90°C (BU) [$V_{90/20}$]	232.6	204	133.5	145	10^{-4}	10^{-4}
Visc. at 50°C after cooling (BU) [V_{50}]	391.3	355	198.7	226	10^{-4}	10^{-4}
Ease of cooking (min)	10.2	8.2	6.3	6.7	10^{-4}	10^{-4}
Gel instability (BU)	276.9	269	222.1	261	0.014	n.s.
Gelif. index (BU)	158.7	154	65.3	81	10^{-4}	2×10^{-4}

Ease of cooking = time to V_{max} - time to gelatinization

Gel instability = $V_{max} - V_{90/20}$

Gelification index = $V_{50} - V_{90/20}$

* Student's comparison t-test

The results of these analyses revealed markedly varied rheological behavior of starches, according to the total cyanogen contents of the cassava clones from which they were obtained. Highly significant differences were observed in the maximum viscosity results obtained from each of the two groups of starches².

²N. Zakhia, C. Wheatley, G. O'Brien, D. Dufour (1994). Screening of CIAT Cassava Germplasm Diversity for Physico-Chemical Characterization of Starch and Assessment of its Technological

The differences in the rheological properties could explain the differences in functional properties observed, and traditionally exploited, by the Amazonian indians in the production of *casabe*. It is also noted that the cassava varieties used industrially for the production of starch are generally high cyanogen varieties (Brazil, Colombia). Investigations will be carried out in order to confirm these results.

2. VALUE-ENHANCEMENT OF CASSAVA IN LATIN AMERICA (E.U. DGXII-STD3 PROGRAMME)

A program financed by the European Union (EU), by the General Directorate no. XII (DGXII) of the third invitation to tender "Sciences and Technologies for Developing Countries (DGXII-STD3), concerning value-enhancement of cassava in Latin America, is currently in its second year of operation. Under the general direction of CIRAD-SAR (Montpellier, France), CIAT is one of the associate partners of this 3-year project, which has a global budget of 760,000 ECU.

The program has been compartmentalised into 5 distinct research operations concerning:

1. The study of primary material (under the scientific direction of June Wenham of NRI, Chatham, U.K.).
2. Treatment of liquid and solid wastes, (under the scientific direction of Didier Alazard of ORSTOM, Cali, Colombia).
3. Bioconversion of cassava flours and starches (under the scientific direction of Maurice Raimbault of ORSTOM, Cali, Colombia).
4. Novel products based on cassava (under the scientific direction of Gerard Chuzel of CIRAD-SAR (Sao Paulo, Brazil).
5. The study of markets and marketing opportunities (under the scientific direction of Guy Henry of CIAT, Cali, Colombia).

The scientific results of this research programme are reported in the annual progress reports submitted to the EU (D.Griffon and N. Zhakia, 1993, 1994). All of the research activities underway, together with the relevant institutions, shall be briefly mentioned for the information of the reader of this report. However, only the research activities undertaken in direct collaboration with the CIAT Cassava Program shall be discussed in detail in this report.

Potential. Second International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network. 22-26 August, Bogor, Indonesia.

2.1 Primary Materials Study

The principal objective of this research operation is two-fold:

- To make improvements to primary processing procedures for the production of cassava-based primary materials of good quality;
- To identify clones from the CIAT germplasm collection which manifest interesting technological characteristics for the production of primary and secondary processed products.

Four research operations have been defined in order to attain these objectives:

- Standardisation of the analytical methods used by the different laboratories which work in the area of cassava-based product quality (NRI, CIRAD-CA, CIRAD-SAR, CIAT).
- Technological evaluation of cassava primary processing units (CERAT, NRI, UNIVALLE).
- Study of the effects of physicochemical treatments upon the physicochemical properties of cassava flours and starches (NRI, UNIVALLE, CIRAD-CA).
- Characterisation of the properties of a group of cultivars, representative of the genetic diversity in the CIAT cassava collection, and evaluation of their potential (CIAT, CIRAD-SAR, NRI: this research operation will be described in detail later in this report, in paragraphs 2.1.1, 2.1.2 and 2.1.3).

Thanks to the characterisation of the Core Collection, mentioned in Chapter 1, the 630 clones of the Core Collection have been grouped into 10 families, based on the 3 characteristics considered most important in cassava utilisation involving subsequent processing (flours, starches, manufactured products of secondary processing). The three characteristics are dry matter content, cyanogen content and starch amylose content.

33 clones have been chosen from these 10 families of clones, for the carrying out of trials planned within the scope of the EU programme (Annual Report 1992, 1993). These clones have been selected with the aim of best representing the biodiversity of the CC, whilst also taking account of the geographical importance of these clones within the three continents (America, Africa and Asia).

These 33 clones, which represent 5,300 clones contained in the CIAT global cassava germplasm collection, have been cultivated on site at CIAT Palmira, Colombia. Flours and starches have been produced using these clones, and sent to laboratories at NRI

and Nottingham University in the UK, and at CIRAD and INRA in France, for detailed structural and functional analyses.

Each primary material has been characterised at CIAT before despatch, and several specific analyses carried out, principally on the rheological properties of starches and flours.

2.1.1 Evaluation of the variability of cassava starch functional properties

28 of the 33 selected clones were available for harvest, and were analysed. The rheological analyses were undertaken on starches extracted from these 28 clones, in order to highlight the diversity of functional properties of starches from the global collection assembled at CIAT. The structural analysis of starch granules from these 28 clones is currently being undertaken in France and in the UK.

	Gelatinization temp. GT (°C)	Maximum Viscosity Vmax (BU)	Time to reach Vmax (min)
Minimum	57.5	420	34
Maximum	67.5	865	42
Mean	63.4	695	37
St. deviation	2.5	105	1.8
Samples in group	28	28	28

These investigations have exposed considerable variability in the rheological properties of the starches. In the table above, it may be noted that, depending on the clone from which a starch is extracted, one may obtain a required viscosity in a product by using only half as much starch as would be required in using starch from another clone (Figure 5). Furthermore, it may be noted that the time required to reach maximum viscosity (Vmax) is also highly variable. For some clones, Vmax is attained in 34 minutes, at 85°C (2.5°C/min), whilst for some others, a steady temperature increment of 2.5°C/min, up to 90°C, followed by a 6-minute holding period at 90°C, is required (total: 42 minutes). The gelatinisation temperature (which represents the temperature at which the starch granule begins to absorb water: swelling) is itself variable, ranging from 57.5 - 67.7°C, depending on the clone under investigation (Figure 6).

These analyses provide a basis for research involving clones from within the global germplasm collection, which may possess characteristics necessary for the development of specific industrial products (low gelatinisation temperature, ease of cooking, heightened viscosity.....).

2.1.2 Influence of aerial pruning on cassava starch quality

Two clones from the EU collection have been selected for a study of the influence of aerial pruning upon cassava starch quality: CG 402-11 and MMex 59. The plants were pruned totally after 12 months of growth, leaving a bare aerial stump of 15-20 cm length. Around the 15th day after pruning, the stump began to grow again, and young shoots began to appear very shortly afterward. By the 30th day, the cassava plant had formed branches of around 50 cm length, and numerous leaves had appeared.

Roots were harvested at regular intervals for analysis during the 30 days after pruning. Analyses of DMC, starch content, cyanogen content, total and reducing sugar contents, and rheological analyses of the extracted starches, were carried out throughout the trial. Only the results of total soluble sugars analysis, and viscosity analysis of the starch, are presented here.

Figure 7 shows the notable changes in starch functional properties after pruning. V_{max} increased considerably during the first 10 days after pruning (for CG402-11, V_{max} increased from 600 to 1000 Brabender Units [BU]; for MMex59, V_{max} increased from 800 to 1050 BU).

Figure 8 shows an increase in total soluble sugars content during the first 15 days after pruning.

These changes can be explained in terms of a process of starch hydrolysis in the plant which mobilises its carbohydrate reserves to produce assimilable sugars, in order to re-form its leaf canopy, enabling the plant to resume photosynthesis.

The cultural practice of aerial pruning can be of great interest, particularly in situations where the starch produced is to be used in the production of glucose syrups or dextrans. Naturally, the catabolic action of the plant renders the starch granules more fragile, and therefore more susceptible to subsequent acid or enzymatic hydrolysis. Likewise, in situations where a high-viscosity starch is required, the practice of aerial pruning may be useful with a view to obtaining a starch with the required characteristics (another advantage would be the use of a lesser quantity of a primary material, to obtain the same level of viscosity).

2.1.3 Influence of plant age upon physicochemical properties of starches

Five clones of the EU collection have been selected in order to study the evolution of physicochemical properties of roots in relation to plant age (CG 915-7, CM 2772-3, CM 3306-4, M Col 1468, M Col 1684). Figure 9 demonstrates the evolution of V_{max} of the different starches as a function of plant age. Figure 10 presents the mean values obtained from starches of the 5 clones in terms of evolution of V_{max} and gelatinisation temperature (GT).

Distribution of maximum viscosities of starches in EEC collection

Number of clones

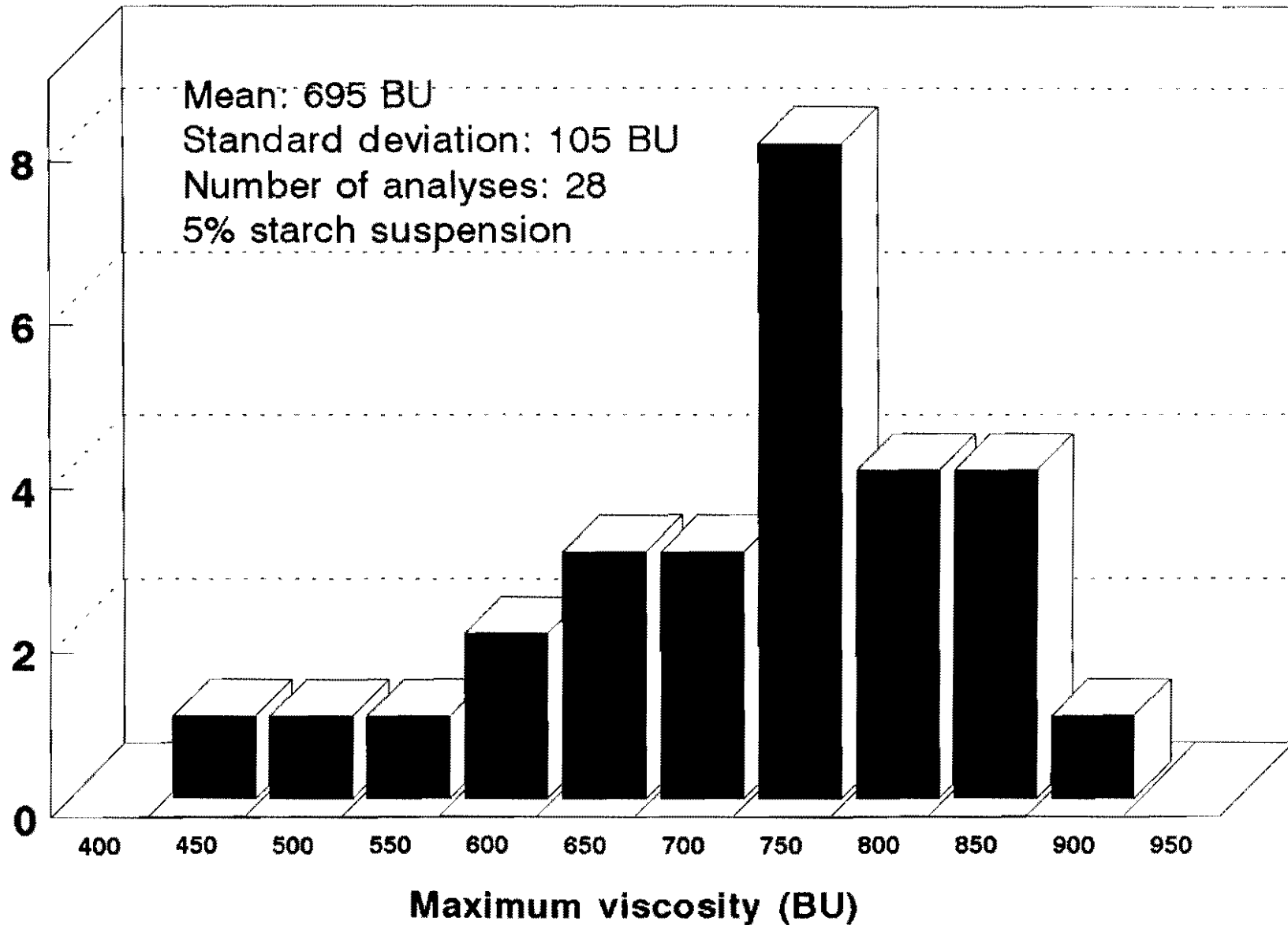


FIGURE 5.

Distribution of gelatinisation temperatures in EEC collection

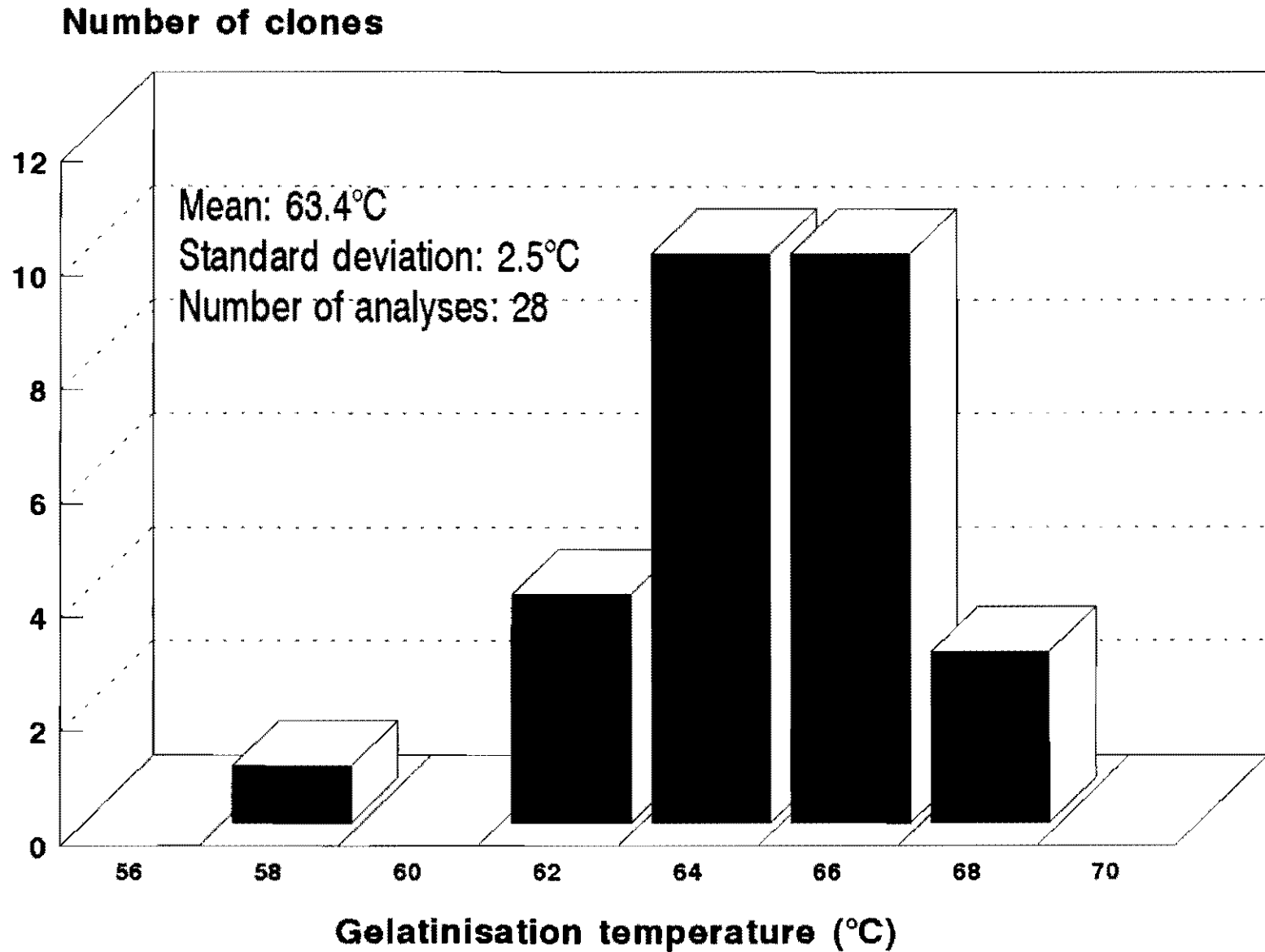


FIGURE 6.

Changes in maximum viscosity of starches after aerial pruning of plant

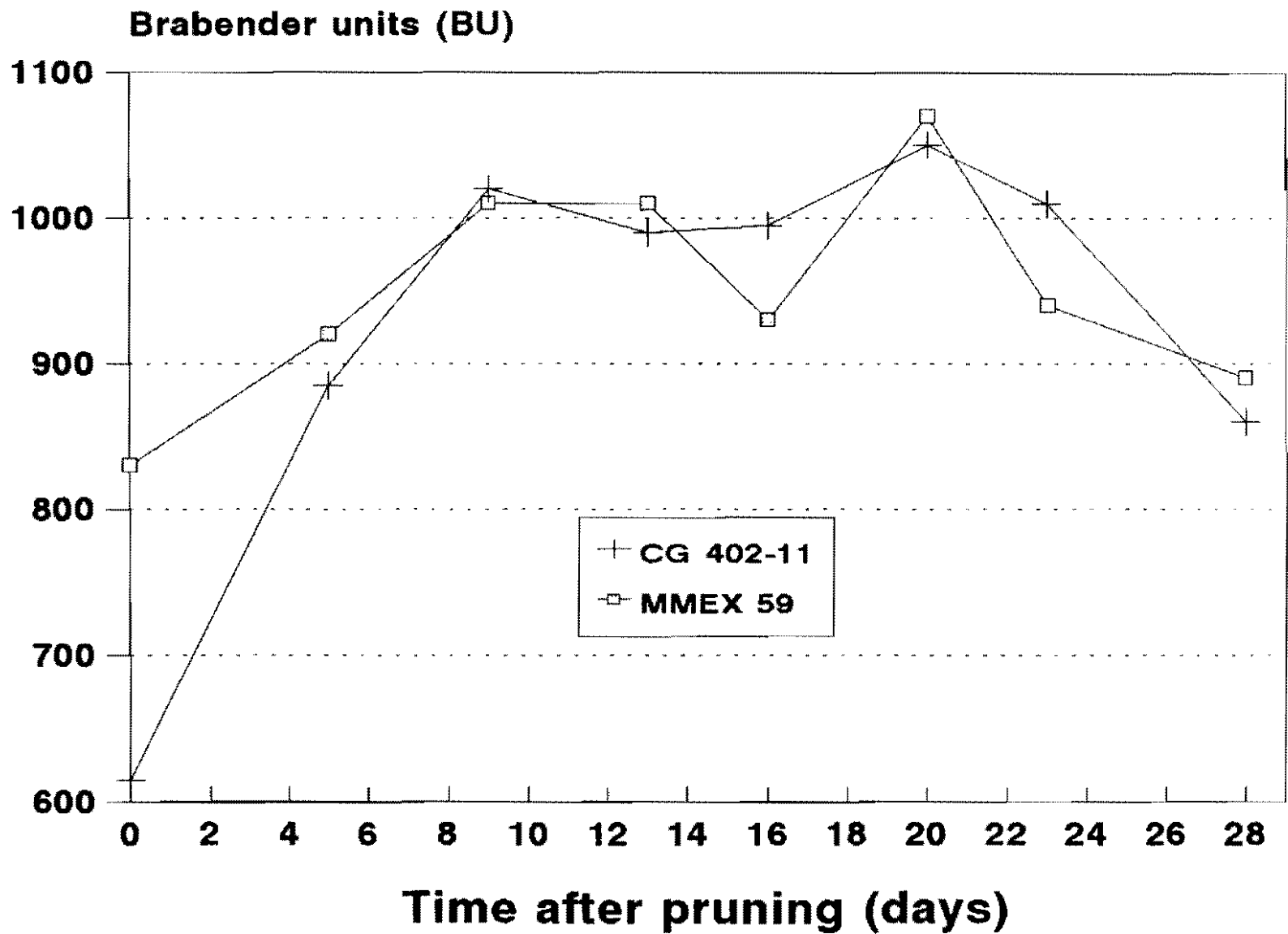


FIGURE 7.

Changes in total soluble sugars content after aerial pruning of plant

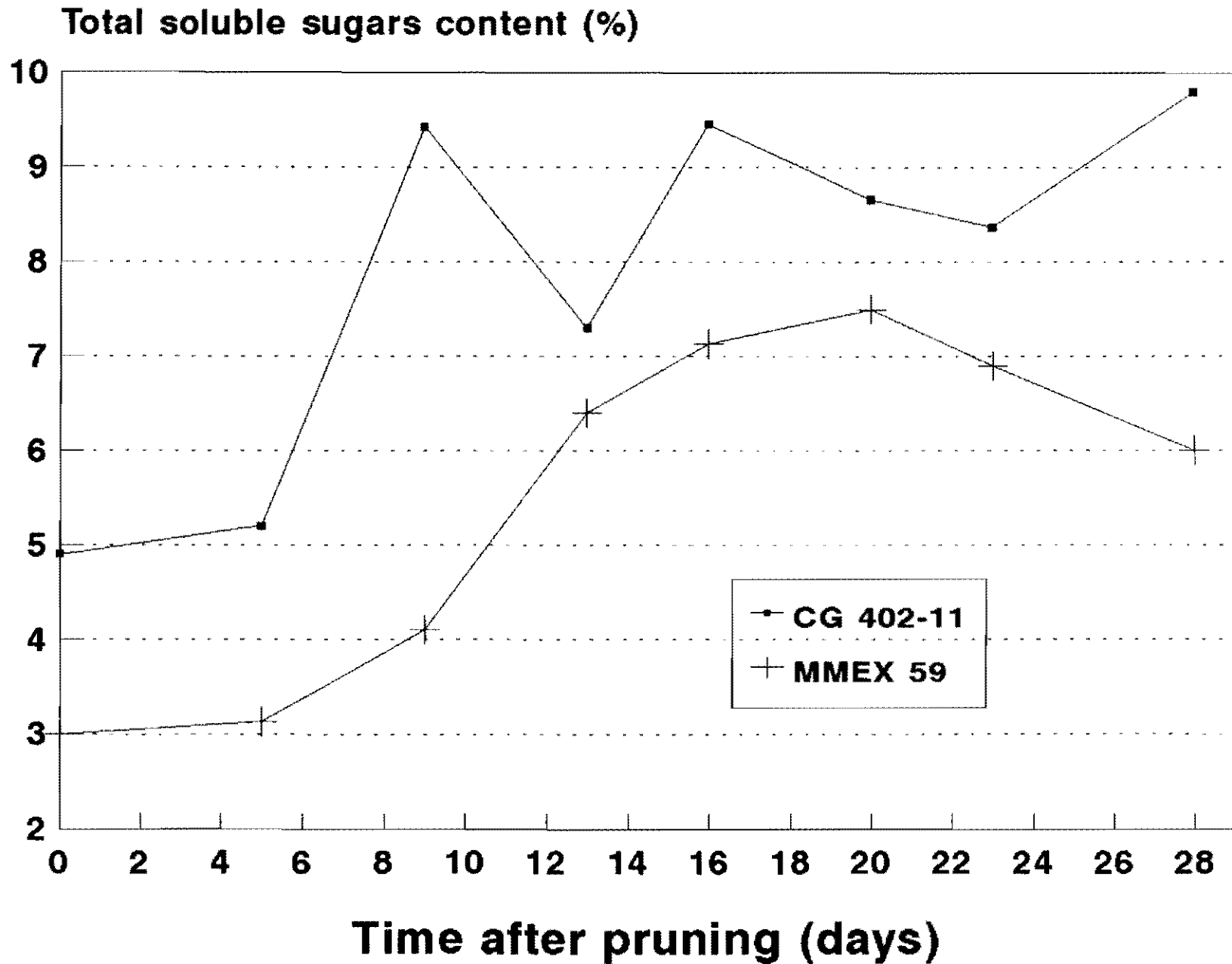


FIGURE 8.

Influence of plant age upon maximum viscosity of starch

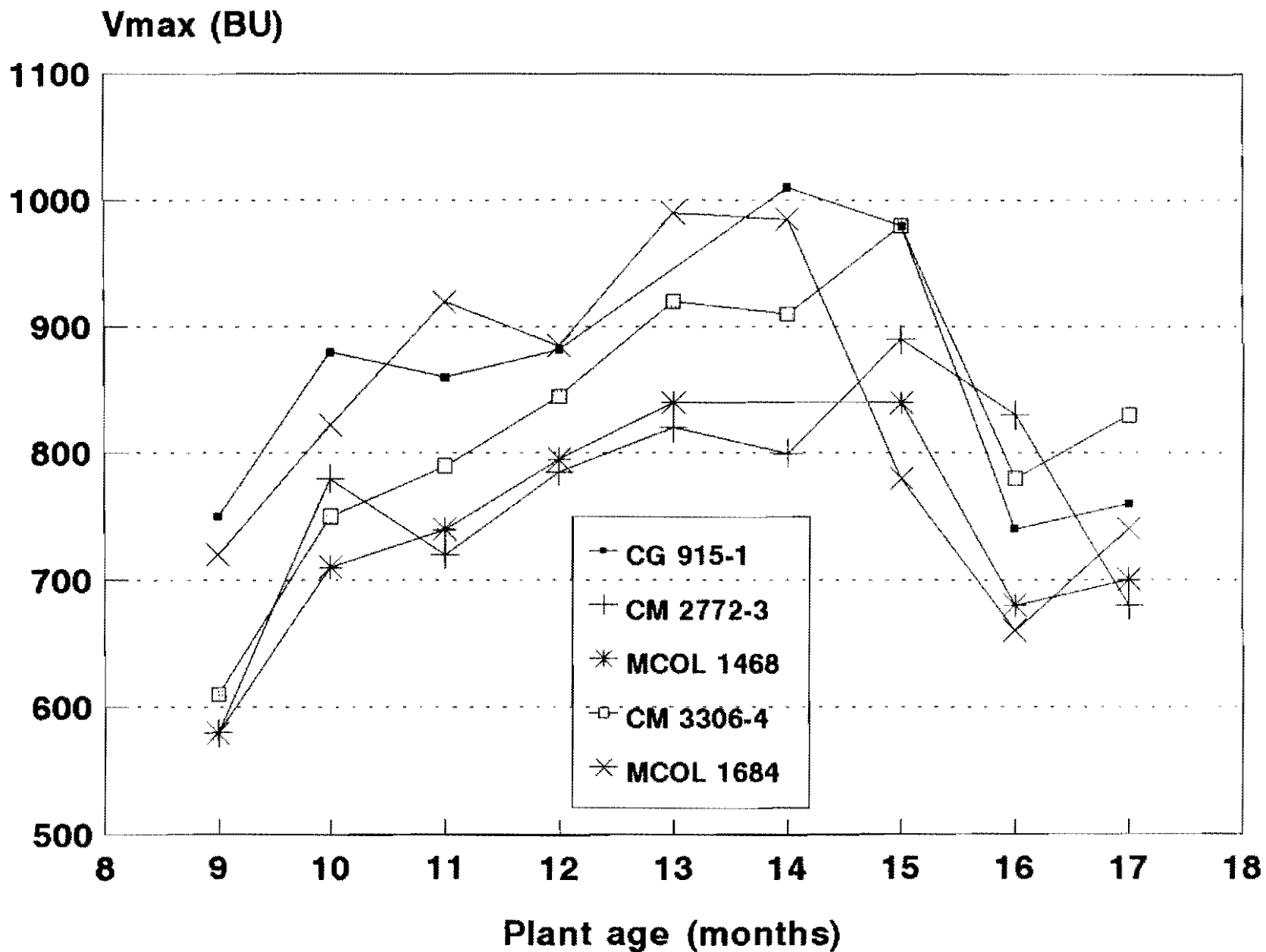


FIGURE 9.

Influence of plant age upon maximum viscosity and gelatinisation temperature of starch

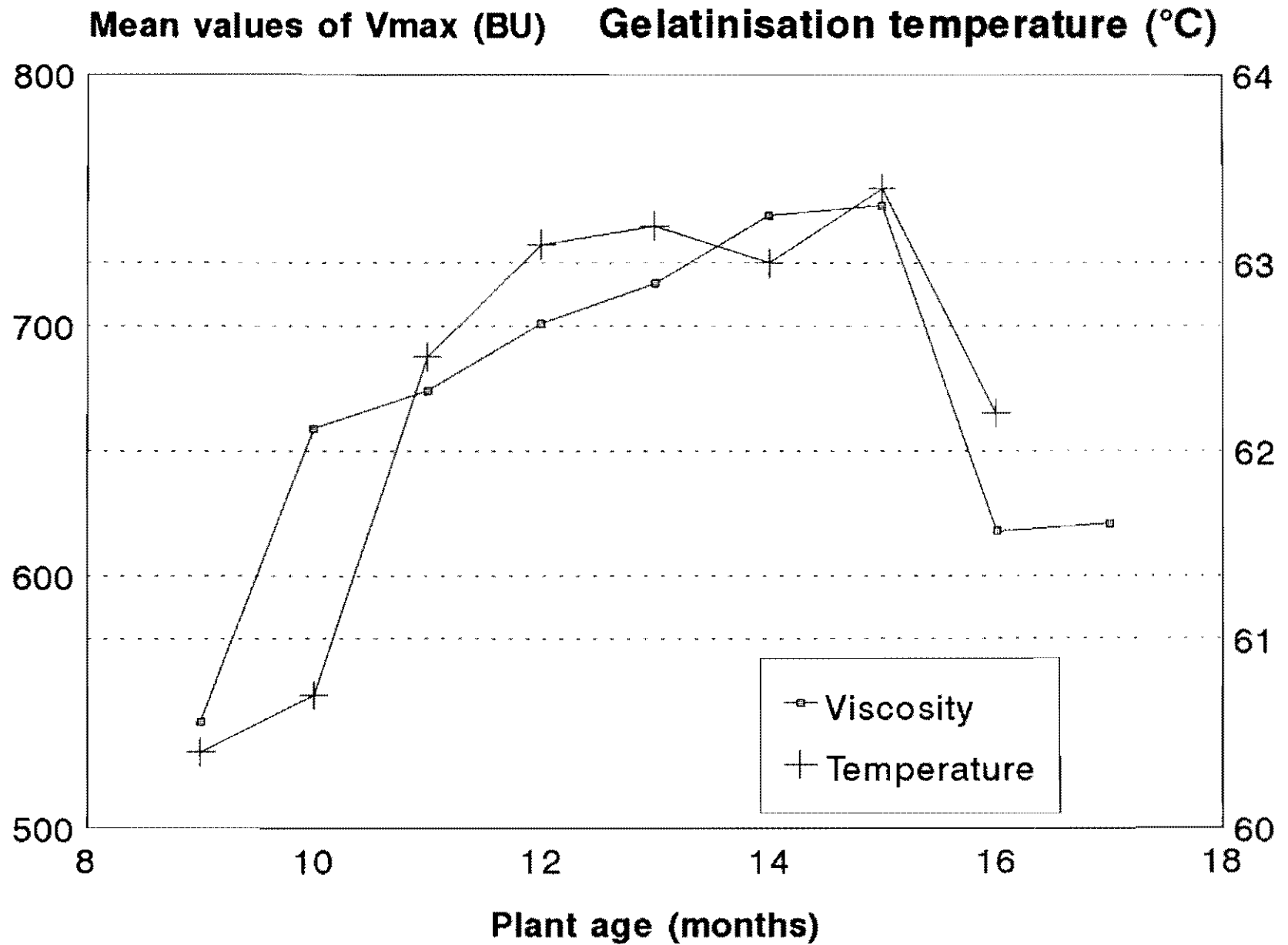


FIGURE 10.

At around 12 to 14 months the plants have reached maturity, and from 15 months growth onwards, the roots begin to show symptoms of ageing (fibres, changing organoleptic qualities, the apparition of rots....).

These curves highlight the fact that until full plant maturity, the V_{max} and the GT increase (until the 15th month). With increased plant age, the starch granules become more and more stress resistant (temperature and shearing force). After 15 months of growth, the quality of the starch changes, the internal structure of the granule appears to change (hydrolysis?), and the rheological properties vary. V_{max} and GT both decrease.

These analyses demonstrate that agronomic control and analysis of root quality are indispensable in the optimization of cassava starch production.

2.2 Treatment of Liquid and Solid Wastes

The objective of this operation is to compare feasibility, efficiency and production costs of various waste treatment alternatives, and to study the value-enhancement, by means of fermentation, of the solid and liquid wastes produced by cassava processing.

CIAT and CIRAD-SAR have some involvement in this operation, principally in terms of providing access to a cassava starch production pilot plant, situated in the department of Cauca, Colombia, for the characterization of liquid wastes and effluents.

Activities undertaken in the scope of this operation are:

- Characterization of solid and liquid wastes from primary cassava processing in relation to the technological level studied (CERAT, UNIVALLE).
- Purification of liquid wastes by biofiltration on lignocellulose residues (CIRAD-CA, UNIVALLE, ORSTOM).
- Solid medium culture of an amylolytic yeast, *Schwanomyces castelli*, on a lignocellulose support impregnated with starchy juice for the conversion of starch into alcohol (ORSTOM, UNIVALLE).
- Solid medium culture of an amylolytic strain of *Lactobacillus plantarum* for the production of lactic acid (ORSTOM, UNIVALLE).
- Production of an oil-producing biomass of high nutritional value, using *Trichosporum* sp. on *manipuera* (CERAT).
- Pilot plant scale demonstration trials of residual water treatments by biofiltration (CERAT, UNIVALLE, CIRAD-CA).

2.3 Bioconversion of Cassava Flours and Starches

The objective of this operation consists in investigating the possibility of carrying out bioconversions of cassava flours and starches to obtain new products for the food industry. This study mainly involves three lines of research:

- Solid-medium fermentation of cassava by *Rhizopus* sp. to obtain flours for food use (ORSTOM, UNIVALLE, UFPR).
- Lactic fermentations of cassava flours and starches by amylolytic lactic acid bacteria for the production of alimentary lactic biomasses (ORSTOM, UNIVALLE, CIRAD-SAR, UBA).
- Biosynthesis of polysaccharides produced by lactic acid bacteria, and their effects on physicochemical and organoleptic properties of cassava flours (CIRAD-SAR, ORSTOM, UNIVALLE).

2.4 Novel Products Based on Cassava

The main objective of this research operation is to strengthen the existing markets for cassava derivatives, or to open new marketing opportunities for novel cassava-based products, principally through improving the functional properties of cassava flours and starches in order to respond better to the demands of existing or potential users.

A number of streams of research have been defined for the carrying out of this operation.

- Monitoring and control of the enzymatic hydrolysis of cassava starch (CERAT, CIRAD-SAR).
- Production of glucose syrups (CIRAD-SAR, UNIVALLE, CERAT).
- Enzymatic hydrolysis in a membrane reactor (CIRAD-SAR, USTL, CERAT).
- Production of cyclodextrins (CERAT, CIRAD-SAR).
- Production of fatty analogs (INRA, CIRAD-SAR).
- Extruded cassava-based products (CERAT, UNIVALLE, CIRAD-SAR, EPN).
- Utilization of flours and starches for the meat product industry (UNIVALLE, CIRAD-SAR).

2.4.1 Extruded products

In order to evaluate the behavior of cassava flours and starches during the process of extrusion, two cassava clones have been selected on the basis of their cyanogen contents.

M Ven25, recognized as a clone with a very high cyanogen content and CM 3306-4, renowned for its low cyanogen content, have been cultivated at CIAT Palmira. Around 100 kg of flour from each of the two clones was produced at CIAT specifically for the purpose of the study. Given certain difficulties associated with the location of this research in Brazil and in Colombia, where initially the study had been envisaged, a collaborative scientific relationship has been set up between CIRAD-SAR, CIAT and the Polytechnic University of Quito (EPN), where a highly competent research team are conducting research on the extraction of starchy products. The research programme was defined jointly with the researchers working in this area at EPN, and in particular with Jenny Ruales Naveja and Pablo Polit. A CIAT team (Teresa Sanchez S. and John Mario Lopez A.) has participated in the extrusion trials in Quito in collaboration with the EPN researchers. The analyses has been shared between CIAT and EPN.

The flours obtained from the clones M Ven25 and CM3306-4 were found to contain 1247 mg/kg and 94 mg/kg total cyanogens respectively (as HCN, dry matter content). Four parameters have been studied, and each one combined at two different levels. Sixteen different combinations have been used in trials, each one with two repetitions.

Moisture content (%)	Primary material	Screw type	Product exit temperature
22	M Ven 25	1/1	170°C
15	CM 3306-4	1/4	120°C

For each of the parameter combinations, the extrusion procedure was found to be an excellent method for bacterial and fungal decontamination of the flours. Before extrusion, the flours were found to have a mean bacterial count of 2×10^6 /g on a dry matter basis. After extrusion, zero colonies were detected at a 10^{-3} dilution (the residual bacterial count was less than 10^{-3} /g on a dry matter basis). The extrusion procedure would enable industrial producers to rest assured regarding the bacterial safety of the primary materials used, whether they intend to use cassava flours or starch for the production of animal feeds, or in human foods. Indeed, with flours and starches produced in rural areas, one often finds pathogenic or faecal bacteria, and the mean total bacterial counts of such flours are often in the region of 10^9 /g on a dry matter basis.

The removal of cyanogenic compounds was very poor in all of the combinations studied. The final products obtained from two different cassava clones had total cyanogen contents of 92 and 800 mg/kg on a dry matter basis, i.e. a total elimination of 4% and 36% respectively. Further, it was noted that the extruded products obtained from the clone MVen 25 were extremely bitter.

Contents of total soluble sugars and of reducing sugars increased during extrusion, and this effect was more pronounced in cases where there was a higher moisture content (sugars increased by a factor of 50% of the initial value, rising to 3.8% on a dry matter basis).

The water absorption index, the solubility index and the swelling power were strongly related to the type of screw used and the temperature applied ($P < 0.05$, student's t-test).

The rheological analyses of extruded flours obtained indicate the levels of gelatinization attained during the course of the process in relation to the different parameters studied. Three very clear tendencies have been highlighted for the production of three very different types of products such as totally-gelatinized products, precooked flours and almost raw products.

In Figures 11 and 12 it may be noted that the flour produced from a very high cyanogen variety manifested a far lower range of viscosity than the clone from a low cyanogen variety (viscosity of 550 and 2100 BU respectively, using aqueous suspensions of 10% flour). Meanwhile, an identical GT of 62.5°C was observed in both cases. The findings in relation to viscosity are in agreement with the results presented in paragraph 1.2 (Relationship between cyanogen content of clone and functional properties of starches).

During the course of identical treatments, the rheological behavior of the flours made from the two clones under investigation were very different. With the flour from the low cyanogen clone, viscosity decreased greatly from 2100 to 1000 BU during the processing for precooked flours and slightly modified flours, and was reduced to 500 BU during the process for gelatinized flours. With the high cyanogen clone, on the contrary, the viscosity increased slightly during all types of processing, from 550 to 650 BU for the slightly modified flours, and to 600 BU for the precooked and gelatinized flours.

These differences in behavior will be studied by the extrusion of different starches (rather than flours) of different origins (clones with high, intermediate and low cyanogen contents).

The study has shown that extrusion could be an excellent way to decontaminate cassava flours, which often contain very high microbial loads. Furthermore, this study has provided information regarding three types of processing for the production of

Modification of cassava flour rheological properties: different extrusion treatments

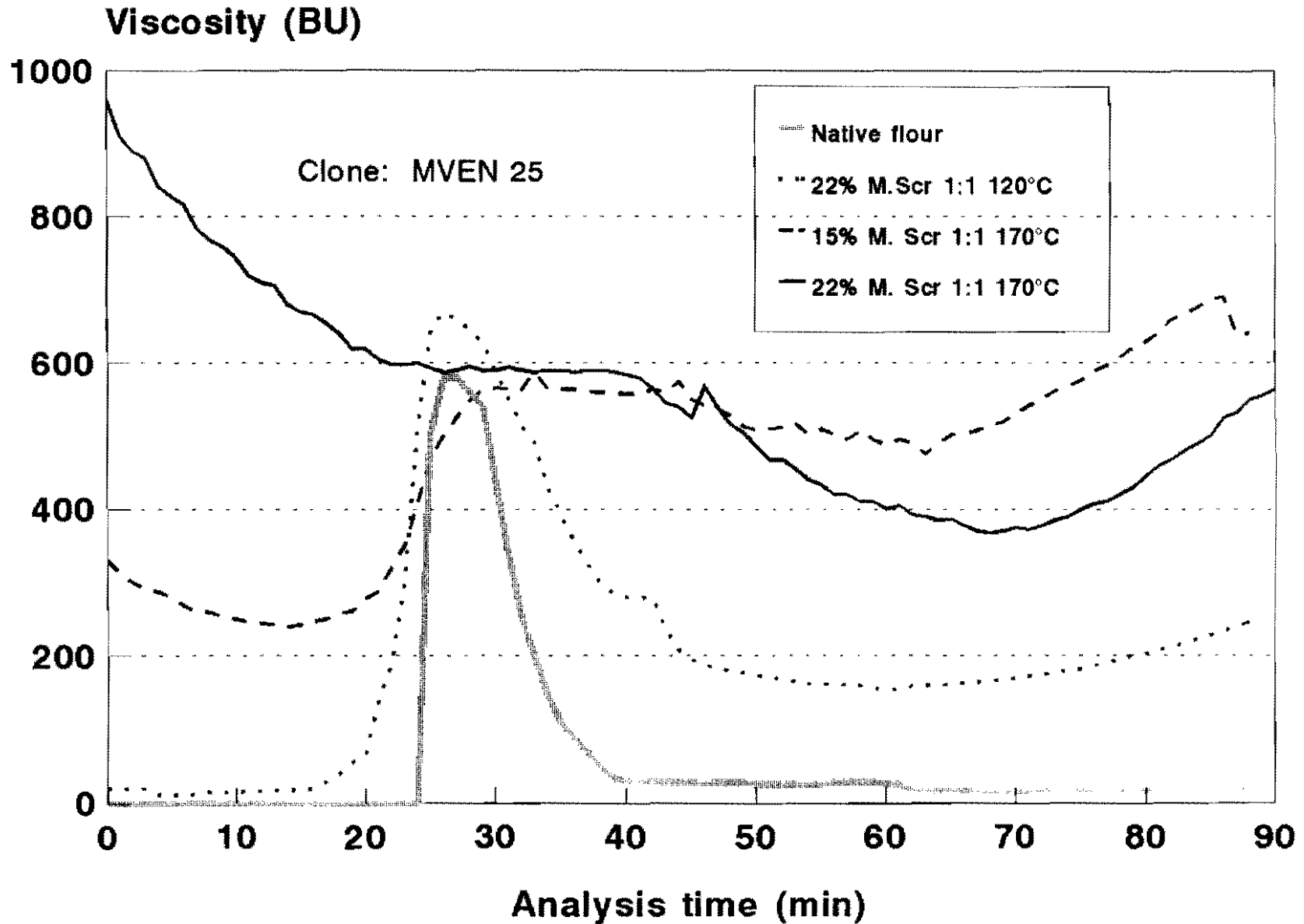


FIGURE 11.

Modification of cassava flour rheological properties: different extrusion treatments

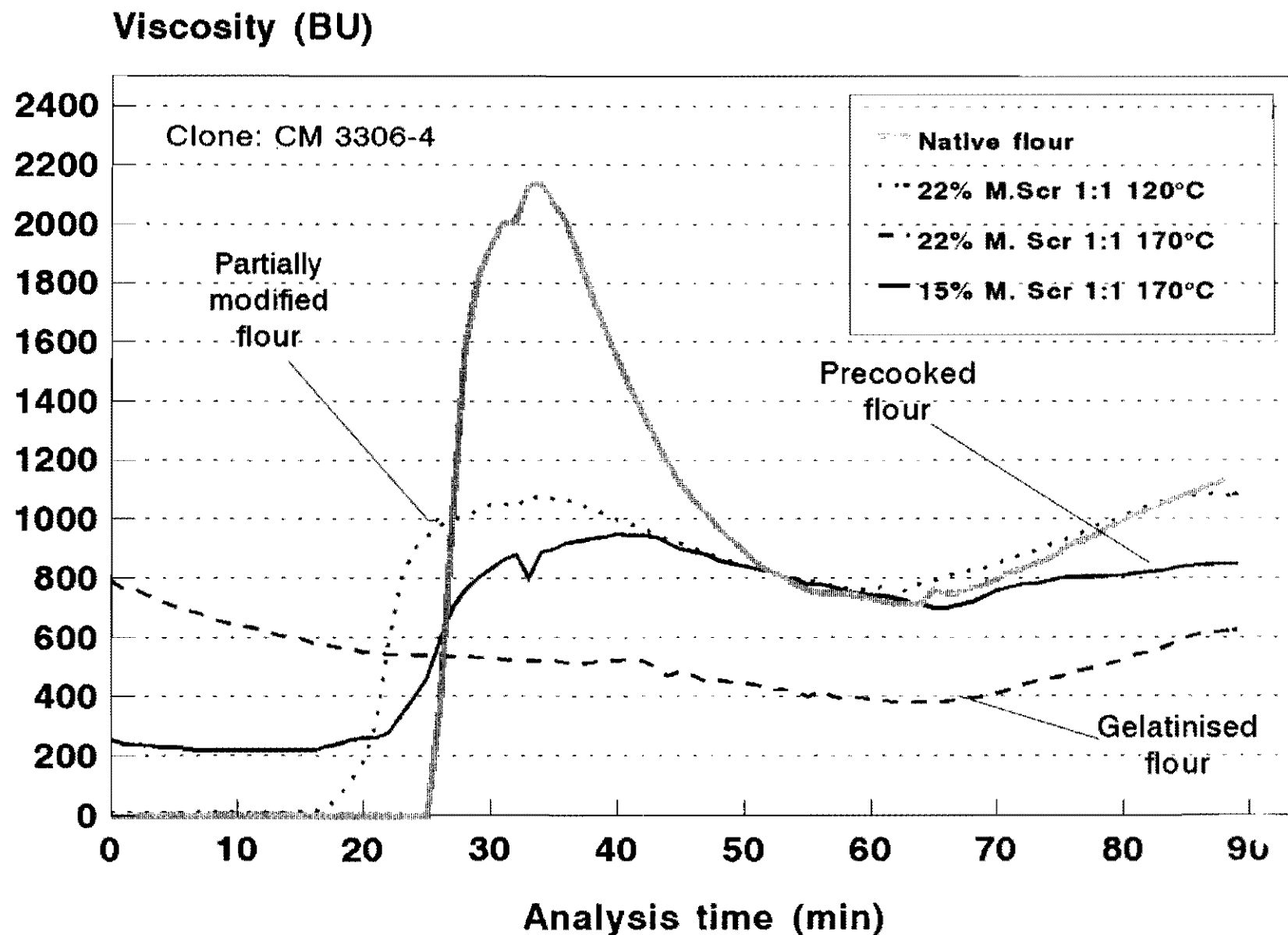


FIGURE 12.

secondary processing products with very different rheological and functional characteristics. Precooked extruded cassava flours: 15% moisture, screw type 1/1, product exit temperature 170°C.

Partially modified cassava flours: 22% moisture, screw type 1/1, product exit temperature 120°C.

Gelatinized extruded flours: 22% moisture, screw type 1/1, product exit temperature 170°C.

One disappointment encountered was the unexpected inability to produce dextrinized flours by using a very high shearing-force screw (1/4); this product was unobtainable by means of any of the processes studied.

2.4.2 Development of meat products

In Ecuador, an integrated cassava value-enhancement project has been in operation since 1985 with the support of CIAT and of FUNDAGRO. The UATAPPY (Union of cassava producing and processing agricultural workers of Manabi province), after a phase of expansion and rapid diversification, found it necessary to carry out a market study in Ecuador for the investigation of new market opportunities for the various products of the association.

Following the market study, a number of sales limitations, linked to the quality of commercialized products, appeared principally in relation to reaching the agroalimentary markets.

A research and development project aimed at improving the quality of the UATAPPY products has been written-up in collaboration with CIRAD-SAR. This project involves the development of meat products, using cassava flours and starches, produced by UATAPPY, as binding agents.

The objective of this research project is to form a link between small-scale cassava producers and processors (UATAPPY), and the manufacture of a very high quality product of secondary processing, based on the cassava flours and starches produced by the association. The participation in this study of the person responsible for quality in the association (known as the Quality Promoter) is indispensable. His or her involvement in the development of a finished secondary-processed product, should enable a feedback of information at the level of the association in terms of primary material quality required for the manufacture of this type of product. The quality promoter will participate in the sensory evaluation trials, shelf life trials of the final product, and contamination and filth tests to be carried out on the primary materials produced by UATAPPY (microbiological contamination, ash, sand, insects, hair and other exogenous materials).

The trials carried out should demonstrate clearly to the association of producers and processors, the necessity of providing good quality products in order to reach new markets, particularly in the food and agriculture industries. The quality promoter will keep the association informed regarding the progress of the trials, and of problems encountered relating to primary material quality.

Processed meat products have been chosen for the execution of this research programme. Indeed, in Latin America meat products are of very mediocre quality, and there exists a highly important market for cheap sausages which, at present, are of very poor quality.

Jenny Ruales of the Polytechnic University of Quito (EPN) will be in charge of carrying out the scientific coordination of the project between the different partners.

Susan Poats (long-standing anthropological researcher of the CIAT Cassava Program stationed in Ecuador) will liaise between the producers association in Porto Viejo and those carrying out the research in Quito. This project, financed by PRODAR and FECD, will receive technical and financial support from CIRAD-SAR (A French specialist in meat science will carry out a six-month research visit to Quito beginning in November 1994, to define the formulae of the different meat products), and will be developed in cooperation with EPN and the research laboratories of Latinreco (Nestlé).

These two projects (extrusion and meat products) should enable improvements in the quality of primary materials produced by the rural cassava processing agroindustry in Ecuador.

2.5 Socio-Economic Studies for Cassava Processing and Product Value-Enhancement in Brazil

This operation of the STD3 project aims to provide a solid socio-economic framework on which the other four technical/biological activities in the project can be anchored. This operation involves a series of studies at the cassava processing and market level for major cassava production areas in Brazil. The studies, on the one hand, serve to characterize the cassava industry and to identify the principal constraints, and on the other hand to assess the current and potential demand of traditional and alternative cassava-based products. This information will help guide and prioritize future cassava research and development (R&D) activities regarding product, process and market opportunities.

Because of the limited funds assigned to Operation No.5, it was decided that within Latin America, Brazil would be the main target area of research. For the same reason, the principal collaborators are universities, where studies can be conducted as thesis research. Brazil was divided into two major project areas, i.e. North East and Central South. Regional coordination for the former was assigned to the *Comitê Estadual de*

Mandioca (CEM) in Fortaleza; for the latter, UNESP in Botucatu was chosen. During 1992-93, a series of 12 socio-economic studies were developed and organized through collaboration with various regional research institutes and universities. The progress of these studies for 1994 is outlined below:

(1) Assessment of Casa de Farinha in Ceara:

For this technical/socio-economic assessment, a preliminary questionnaire was developed by the CEM in Fortaleza. It seems that EMATER is currently less involved in emergency activities in the state and therefore could possibly start to collaborate in the field. Sample size will be derived from the work already done by student Rosemeiry Melo for her thesis. Field work will hopefully start before the end of 1994.

(2) Assessment of Casa de Farinha in Bahia:

This assessment, similar to that in Ceara was initially to be conducted by a team at CNPMF. This proved unsuccessful. Currently it is hoped to hook this study to the PROFISMA project. It is envisaged that surveys on Casa de Farinha will be incorporated with the intensive socio-economic PROFISMA survey in the preselected target communities. Fieldwork should start at the end of 1994.

(3) Farinha Consumption in Ceara (UFC thesis):

This study assesses *farinha* consumption in 3 urban areas of Ceara. Preliminary results and analyses have been reviewed. The collected information is proving to be very valuable. There are still some problems with the consumption function modelling. A preliminary report is envisaged for November 1994.

(4) Cassava product commercialization in Ceara (UFC thesis)

This study analyzes the marketing system and price developments of the principal cassava products in Ceara. Primary data collection has been finished. First results have been reviewed. Further quantitative analyses are required. A preliminary report is envisaged for October 1994.

(5) Demand potential for dried cassava and farinha in Ceara (UFC thesis):

This thesis assesses the technical and market potencial for alternative uses of dried cassava chips and flour in Ceara. Technical data and information has been gathered. Economic data is currently being collected. Econometric analyses will be required to generate a more quantitative assessment. A first review of the preliminary results is envisaged for November 1994.

(6) Study of sour starch cassava industries in Minas Gerais (UNESP)

For this technical/socio-economic study a first draft report has been written by Vilpoux et al. After feed back with the industries a final report is envisioned for October 1994. Some conclusions include that the major limitations of the industry are: insufficient raw material, labor scarcity, and insufficient operational capital. Further problems regard toxic waste disposal and low product price.

A French Collaboration student is currently studying several case industries for additional detailed follow-up information, under guidance of UNESP and CIRAD, with funding from CIRAD.

(7) Study of the sour Starch industry in Parana and Sta Catarina (Universidad de Ponta Grossa, FUEPG):

This study, similar to that in Minas, was started after many institutional delays. A first round of surveys included 11 industries in two parts of Parana. It was recommended that the study pay much more attention to the process-technical aspects, and problem identification of the industry. Further surveying in Parana and Sta. Catarina will require most of 1994.

(8) Study of the sweet starch industry in Parana, Sta Catarina, Sao Paulo and Mato Grosso (UNESP):

Primary data collection for this study in Parana and Sta Catarina has been finished but still needs to be analyzed and written up. UNESP has committed itself to collect additional primary data of 5 industries in Sao Paulo, and of 6 industries in Mato Grosso before October 1994. A first draft report is envisioned before the end of 1994.

(9) Study of the farinha industry in Sao Paulo, Parana and Sta Catarina (UNESP):

This study has been delayed because of a lack of appropriate collaborators. However, recently 2 students have been identified at UNESP to conduct the field surveys. Funds have been reserved for this study. It is said to commence in October 1994.

(10-11) Study of the current & future demand for cassava starches and farinha in South Brazil (UNESP-IEA):

A study proposal was written by a team from UNESP and IEA (Instituto de Economia Agricola de SP) which was discussed on two occasions. However, Operation No.5 will not have funds to cover the study's considerable expenses. Some Brazilian funds have been identified, but a major part is still lacking.

(12) Assessment of government policy impact on the cassava sector in Brazil (USP):

This policy study was scheduled to be conducted at USP in Sao Paulo. However, recent changes have forced our collaborators to look for an alternative university. Most probably this will be ESALQ in PRACICABA. EMBRAPA will also collaborate. The project will terminate at the end of 1995. As has been shown in the aforementioned activities' progress, many delays have been incurred. Also, lack of funds has put several studies on non-active. The major impact of this is the lack of study for screening novel cassava-based products.

2.6 International Congress on Cassava Flours and Starches, Cali, 11-15 January, 1994

From the 11th to the 15th of January 1994, a congress was organized at CIAT on the theme of value-enhancement of cassava (International Meeting on Cassava Flour and Starch). This meeting provided an opportunity to present the scientific results obtained within the scope of the EU program "Value Enhancement of Cassava in Latin America", with all of the scientific coordinators and operation leaders present. The results of the work carried out on flour production in Colombia, in Ecuador and in Brazil in cooperation with CIAT, were also presented. This meeting enabled 180 scientists from 35 countries to meet and exchange their knowledge of manufactured products based on cassava around the following themes:

- Utilization and potential uses of cassava.
- Physicochemical composition and functional properties of cassava flours and starches.
- The potential of bioconversions for processed products and sub-products.
- Technological improvements for small and large scale processing.
- Development of novel products based on cassava.
- Integrated development of cassava cultivation linked with market demands.

The proceedings of the meeting, co-edited by CIRAD-SAR and CIAT, are currently being published at CIAT, and will be available in English at CIAT in early 1995. This work, titled "Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development", will provide to all parties interested in the processing of roots and tubers, a valuable source of information regarding methodology and results of research being undertaken at the present time in this area at the global level.

As well as the human and financial support provided by CIAT and CIRAD, the organization of this seminar was possible thanks to financial support from the European Union (EU), the International Development Research Center of Canada (IDRC), the French Ministry for Foreign Affairs (MAE), and the French Institute of Scientific Research for Development in Cooperation (ORSTOM).

3. TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT FOR CASSAVA PROCESSING

3.1 Commissioning of a Cassava Starch Pilot Production Plant

In order to study the various stages of the process in the production of cassava starch in rural areas, a pilot plant was designed and set up in the Department of Cauca, the most important cassava starch production zone in Colombia. The production plant, similar in scale to 200 other production units in the area, has enabled the setting-up of multidisciplinary research and training activities involving researchers, university lecturers, students, local equipment constructors, and small scale cassava producers and processors from the area.

The production unit has already hosted short visits, ranging from several days to one week in length, involving a large number of peasant farmers (Colombia, Ecuador), keen to be trained in starch production, and is open to all the processors of the area who may wish to learn of the innovations developed at this plant.

The project has been set up in cooperation with a group of six lecturers from the Universidad del Valle (UNIVALLE) and one lecturer from the Universidad Autonoma de Cali, who formed an association to buy with their own funds a small traditional cassava starch production unit: La Agustina. Their association has the name "SDT Agroindustrial". One of the lecturers, Martin Moreno, has been nominated as Director. CIRAD-SAR and CIAT have provided the finance necessary for the reorganizing of the pilot plant, using machinery designed or improved by mechanical engineering students of the two universities involved. The plant has been designed as a productive unit, generating dividends for the associates. Of these dividends, 20% is reinvested in research work on cassava processing (improving working conditions, equipment, studying commercialization of products...).

Before beginning the installation, a large number of traditional plants were visited and meetings held with producers, processors and equipment fabricators. Some of the modifications or innovations suggested by mechanical engineering students regarding the machinery have had to be dismantled and abandoned after production trials, to return to the traditional systems developed by the small producers. A number of pieces of equipment were designed and built with the support of CIRAD-SAR and CIAT, by both students and lecturers, prior to the obtention of the pilot plant as a test ground. Of this equipment, all that remains today are a few minimal innovations which have been found to truly improve production capacities and reduce costs.

The installation of the pilot plant has enabled it to be shown that the locally-built equipment, which provides for a throughput of up to 5 tonnes per day of roots, is highly efficient, very simple and very economical. The replacement of this system with another system is not currently foreseeable. The mechanical engineering lecturers of Univalle have therefore oriented their efforts towards small improvements in the design of the machinery and in some of the details of operation, in cooperation with local equipment manufacturers.

In order to improve safety and efficiency, and to minimise the tediousness of the work, the machines have been situated in such a way as to make the most of the sloping terrain in order to improve the flow of primary material. This arrangement of the machinery removes the need for operators to manually transport the primary materials from one machine to another during each operation. Each machine has its own motor and protective features (B.Seemann, 1993).

The plant has been designed so that the flows of materials do not mix at any moment during the course of the processing, to facilitate the calculation of mass balances, both for the primary material and for the solid and liquid wastes.

After a settling-in phase of the machines and their installation, the plant is now producing at full capacity. Several different research projects are currently being carried out, such as a study on water and process waste treatments, the design and commission of a low-capacity vacuum filter, the evaluation of the effectiveness of a hydrocyclone to reduce water consumption, a study on fermentation and sun-drying for the production of sour starch, research on parameters for design, and the design of sedimentation canals.

3.2 Technical Evaluations of Starch Plants in Colombia and Ecuador

In Colombia, the traditional processing units known as *rallanderias* (*rallar* means "to grate" or "to rasp" in Spanish) all basically consist of three machines: a root washer/dehuller, a grater/rasper, and 1-2 sieves for the wet extraction of starch. Almost all of the plants have only one electric motor, which powers all of the machines by means of a system of pulleys and driving belts. This enables an enormous reduction in the costs of the installations, avoiding the purchase of a motor and gears for each machine. What is more, in the event of an electricity cut, a petrol-driven motor can easily replace the electric motor, thus avoiding the deterioration of already-harvested cassava.

Nevertheless, the plants are generally very badly distributed and somewhat dangerous, due to the obligatory mutual proximity of the machines, also none of the plants take advantage of the force of gravity to reduce the laboriousness of the work. The processed products have to be carried manually from one machine to the next, with no possibility of direct transfer by gravity. Around 5 tonnes of cassava are handled per

day, and the operator has to manually transport three times this amount in one working day (from one machine to another), as well as all of the unit operations which he has to carry out.

Since the installation of the pilot plant, the local mechanic, having participated in the installation with the university lecturers, has succeeded in designing and commissioning two new plants adopting the gravitational system and still using only one motor to power the entire unit. A very elaborate set of pulleys and belts, very well distributed (along only one side of the installation) enables easy access to the machines and a rational use of the force of gravity. As in the pilot plant, the operators no longer have to carry primary material. Certain installed innovations at the pilot plant, regarded as being too costly, still have not been adopted.

At the present time, the pilot plant requirements in terms of water are: 1.3 m³ water per tonne of washed, dehusked roots, 0.9 m³ water per tonne of grated cassava, and 10 m³ water per tonne of grated mass in the sieving process.

The cassava throughput capacities of the different machines (kg/h) are: washer, 1000; grater, 1,400; sieve assembly, 220.

At the pilot plant, every tonne of cassava processed requires around 12 m³ of water for the production of around 200 kg of dried starch. The production of 1 kg of starch, at this technological level, requires around 60 litres of water. In the dry season, the lack of water is a real problem for cassava starch production in the area.

The operation of sieving is the limiting step in the processing procedure. In production units where it is possible to have 2 sieves working in parallel, it is possible to process around 5 tonnes of roots per day (10 hours continuous work). None of the plants in the area possesses a higher capacity than that of the technological level in use (there is no machine available in Colombia which could increase the sieving capacity, or indeed replace the sieving stage, as with the centrifuges used in rural areas of Brazil). When the price of starch is increased, some plants go into production 24 hours per day, in order to satisfy demand. Certain individuals own several production plants, but the sieving capacity of the individual plants never exceeds 500 kg/h.

In Ecuador, technical evaluations have been carried out on starch production plants belonging to the UATAPPY association in Portoviejo, with a view to judging which operations should be improved upon first in order to obtain better quality products (F. Alarcon M, 1993). Technology transfer and training operations have been organised in cooperation between CIRAD-SAR and CIAT.

In Ecuador, the peeling and sieving operations are performed manually. Washing and peeling machines are progressively appearing amongst the production plants.

The technical evaluation of one of the plants (San Vicente) indicated the use of:

- 2m³ of water per tonne of washed dehusked roots;
- 2.5 m³ of water per tonne of grated cassava;
- 6 m³ of water in manual sieving per tonne of grated mass.

Water consumption per tonne of cassava processed is, therefore, around 10 m³. The manual sieving operation enables a saving in terms of water consumed, of around 40% in comparison with the Colombian sieving process. Efforts will be made regarding the operations of washing and grating, in order to optimise water consumption. In Ecuador, the costs of water are higher. Indeed, the production plants do not have available river water as in Colombia, and the processors have to draw the water necessary for processing from bore holes dug on the production sites. Currently, the production of 1 kg dried starch requires 50 litres of water.

Trials have shown that one person manually sieving pulp in Ecuador, producing the same extraction yields, had the same productivity as the sieving machines used in Colombia (220 kg of grated mass per hour).

3.3 Improvement of Procedure and Equipment in Cassava Starch Production

The main innovation introduced at the pilot plant is the exploitation of the force of gravity to reduce the burden of work.

The sedimentation canals constructed at the plant are similar to those which were introduced in the area by CIRAD-SAR and CIAT in collaboration with an NGO (non-governmental organization) working in the area: CETEC. In 1988, not one single plant possessed the sedimentation canal system for the decantation of starch. Today, however, six years after the beginning of the technology transfer operation, more than half of the plants have adopted this system of sedimentation which enables continuous processing at the plants. The installation of the canals is becoming commonplace at this time in Ecuador.

At the pilot plant, the cassava loading-platform has been located in an elevated position relative to the rest of the plant. The sacks of cassava are tipped directly into the washer. The discharge from the washer takes place via sloping metal grilles, which allow easy drainage of the roots and the separation of bark from the partially peeled roots. The discarded materials are recovered and transported, by means of a system of piping, directly to the accumulation area (compost heap). The roots are pushed directly into the grater (rasper) with the help of a shovel. The efficiency of the grater has been improved by increasing the contact surface area between the roots and the drum. Additionally, unlike in other units, the grating takes place in the presence of

water. A stock tank for the aqueous mass of cassava pulp has been constructed beneath the grater. The two sieves are situated in such a way that they can be supplied with pulp by gravity, passing through a flexible pipe. The residual fibres left-over after starch extraction (*afrecho*) are dried in the sun and used for animal feed. The starch milk produced is passed to the sedimentation canals, which have a total length of 180 m. A large tank at the end of the canals (30 m³) enables the sedimentation of the lightest particles and the proteins (*mancha*) which are used after drying for animal feed. The sedimented starch at the bottom of the canal is collected once per week to replenish the fermentation tanks, and then dried in the sun after 20 to 30 days of fermentation.

3.4 Cooperation with NRI: Testing of a Hydrocyclone

On the site of the pilot plant, in cooperation with CIRAD-SAR/CIAT, a hydrocyclone has been tested jointly between researchers from NRI and lecturers from UNIVALLE. The apparatus being tested makes savings in water consumption during the process of starch extraction. The starch milk, as it leaves the sieves, is directed towards four cyclones, where it is subjected to a centrifugal force. Two fractions are obtained at the end of this process, the upper portion leaving the cyclones with a low starch content, is directed again towards the sieves; the lower part, more highly concentrated in starch, is directed towards the sedimentation channels.

The results show that starch milk obtained after passing through the hydrocyclone is twice as concentrated as it is when it leaves the sieves. The redirection of less concentrated milk towards the sieves enabled a saving of 50% of the water used to extract the starch.

In the absence of a hydrocyclone, the production of 1 kg of starch requires 60 l of water; **in using the hydrocyclone, the quantity of water is reduced to 35 l/ kg of dry starch.** A cost-benefit study is being carried out to evaluate the feasibility of the use of hydrocyclones in traditional production plants.

3.5 Technology Transfer for the Production of Sour Starch (Colombia-Ecuador)

Following numerous contacts with, and visits to, starch production plants in Ecuador, an association of cassava producers and processors has expressed the desire to set-up, in Ecuador, the production of sour starch for the local manufacture of bakery products such as pandebono or pandeyuca, traditionally produced in Colombia. With the help of Susan Poats (ex-CIAT) and CIRAD-SAR, a research project has been set up with UATAPPY. This project has been presented to, and accepted for financing by, the Cassava Biotechnology Network (CBN). The program, titled: "Transfer and adaptation of improved sour starch processing to small scale farmer producers-processors in Manabi province, Ecuador", is currently being implemented. Five cassava

starch production plant chiefs have visited Colombia for a 15-day training course in the production of sour starch at the CIRAD-SAR/CIAT/UNIVALLE pilot plant. CIAT has provided technical support to the program by sending a specialist to various production units in Ecuador, to impart know-how in the areas of production technology and of evaluation of breadmaking capacity of the sour starch produced. A socio-economic study has been undertaken to study the technology adoption process of the peasant farmers of the area.

This program should enable the diversification of the proposed range of products of this producers' association in a new market: that of bakery products.

Some bacterial inocula (from surface water of fermentation, from starch during fermentation) have been transferred from the zone of production in Cauca to the associations in Manabi, Ecuador. The preliminary trials having given good results, a fermentation similar to those found in Cauca has been mastered by the producers' association. A breadmaking test has been developed with the peasant farmers of the zone in order to monitor the development of breadmaking capacity in starch.

4. THE STUDY OF CASSAVA SOUR STARCH

4.1 Amylolytic Lactic Bacteria Isolated from Natural Fermentation

Project 6: Characterization of Amylolytic Lactic Acid Bacteria from Cassava Sour Starch Fermentation

¹Mauricio Corredor, ¹Alba Lucía Chaves, ¹Gerardo Quiñones, ¹Alma P. Zambrano, ²Dominique Dufour, ¹Jorge E. Mayer
(¹Biotechnology Research Unit [BRU] and ²Cassava Program)

Background. Sour cassava starch is a naturally fermented product of some economic importance in food industry, especially in Colombia and in Brazil. The product has a high potential for broader industrial applicability, and can partially replace wheat flour in many products. The major drawback in sour starch production is that traditional processing lacks standardized parameters and consequently the quality of the product is subject to fluctuations, which are unacceptable to the consumer.

Expected Outputs. Through a collaborative project between CIRAD-SAR and ORSTOM, the Cassava Quality Section of CIAT, the Department of Microbiology of UNIVALLE and the BRU, we have set out to standardize fermentation parameters, improve production practices and develop starter inocula. The objective is to obtain reproducible product quality and shortened fermentation time, which is currently around 25 days. The development of novel industrial applications for selected bacterial strains isolated from this process is also envisaged by the French group.

Progress Report. In the course of the project, 75 amylolytic lactic acid bacterial isolates (ALAB) from the fermentation mass and from natural mixed inocula used by the *rallanderias* have been collected and further characterized. Amylolytic activity is not common among lactobacilli, but in the fermentation mass of cassava they represent the principal fermenting organisms, as the low pH imposed by the ALAB eliminates most other microorganisms present at the beginning of the process.

60 purified isolates have been tentatively grouped into nine subgroups according to their protein profiles on denaturing polyacrylamide gels. We are in the process of further characterizing the degree of genetic diversity in the collection by combining data on sugar, starch and organic acid metabolism.

Lactic acid production is essential to confer to sour starch its organoleptic and rheological properties for dough preparation, hence a careful analysis of the lactic acid production ability of the isolates was performed using HPLC. Other organic acids were determined along with lactic acid, because their presence in excessive amounts would be deleterious to taste and smell of the final product. The acids determined were acetic, propionic, isobutyric, butyric, isovaleric and valeric acid. The analyses indicated a collection of homolactic bacteria, as shown by the low levels of the aforementioned organic acids.

4.1.1 Taxonomic study of amylolytic lactic bacteria

One of our students spent a few weeks at ORSTOM and at the University of Ghent (Dr. Bruno Pot), to determine fermenting parameters and to compare protein profiles of four selected isolates to profiles from a vast collection of lactobacilli. The analysis points towards the presence of new species, as do analyses with API galleries (sugar metabolism).

The selected isolates were compared to a *Lactobacillus plantarum* strain (A6) isolated in Africa and characterized by ORSTOM, that has been reported to be a strong amylase producer. The bacteria were homolactic during exponential growth phase. The slower growth rate of the four isolates as compared to A6 is not relevant to cassava processing factories, as no cell division takes place during the fermentation process (some essential nutrients are missing in the fermentation mass); this might be a limiting factor for other industrial applications.

In the collection, isolates were identified that produce higher amounts of lactic acid than the four strains analysed in France and Belgium. The present state of research asks for unequivocal identification of these isolates for IPR purposes and for the development of specific probes to follow up on competition experiments using bacterial inocula. Preliminary follow-up experiments of inoculations with selected isolates, using aniline blue staining and colony morphology as indicators, suggest that the inoculum

Influence of cassava variety on quality of sour starch produced. Evolution of breadmaking capacity during fermentation

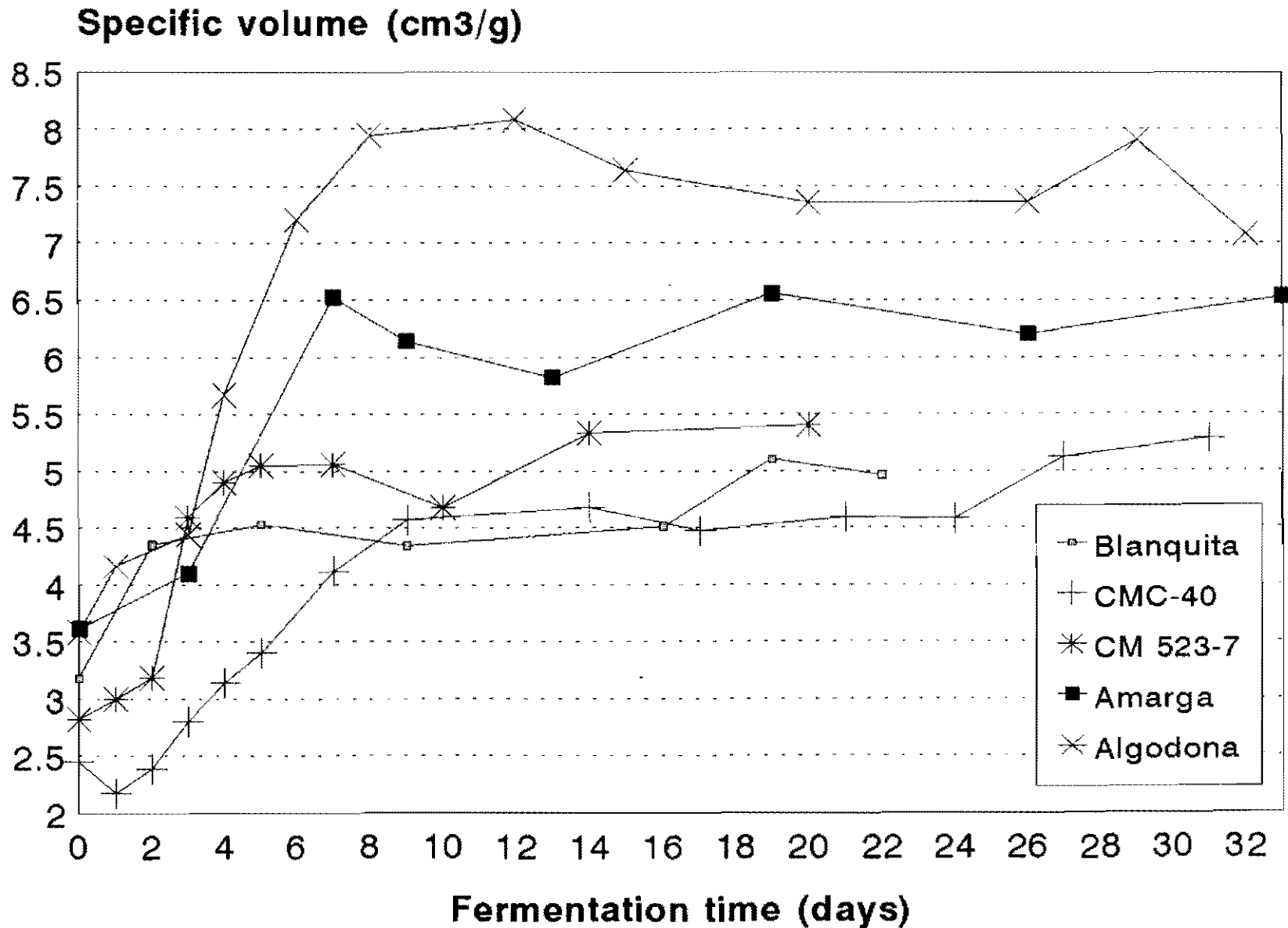


FIGURE 13.

Development of breadmaking capacity in relation to fermentation time

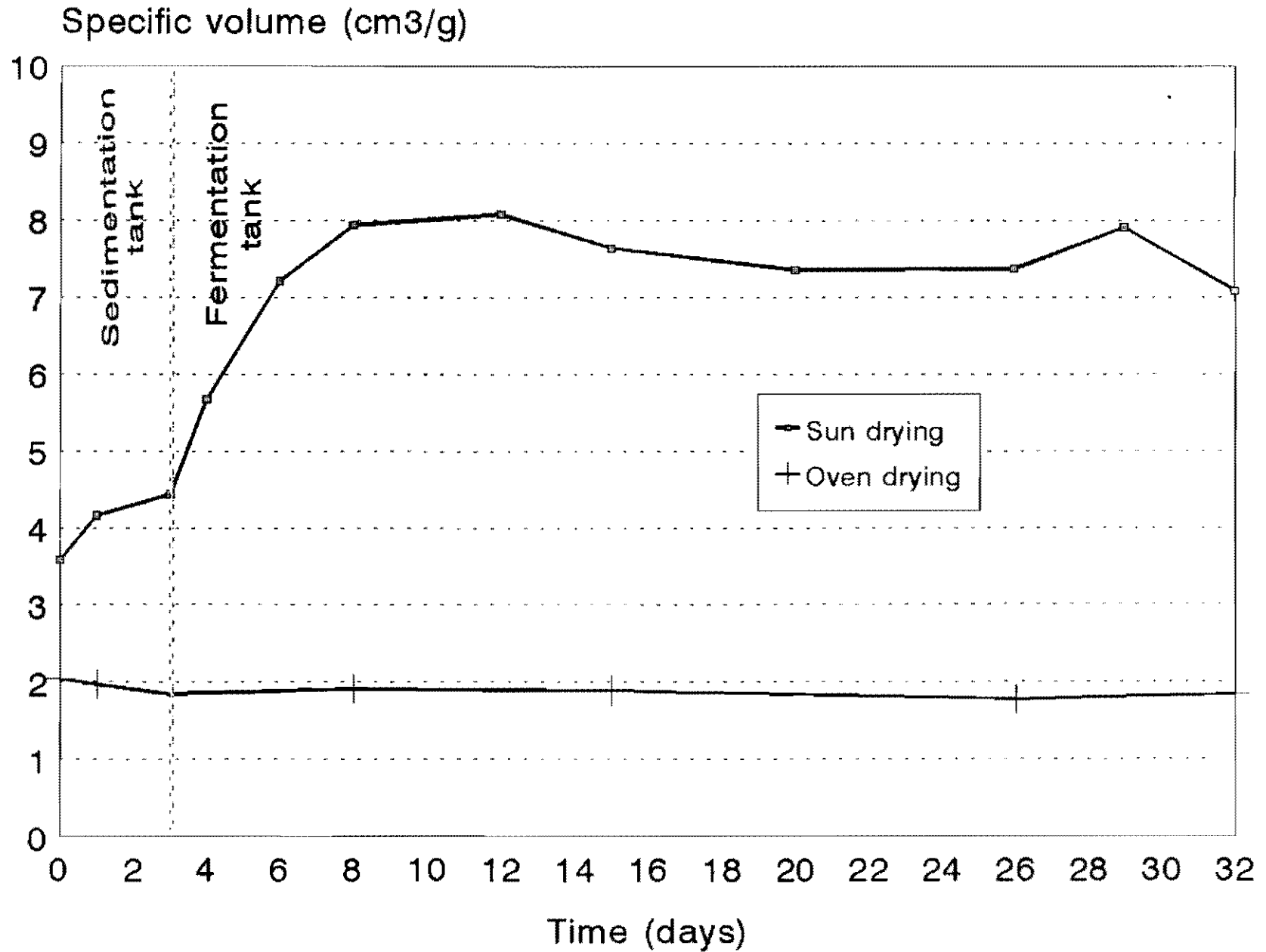


FIGURE 14.

Changes in starch rheological properties during fermentation: oven drying

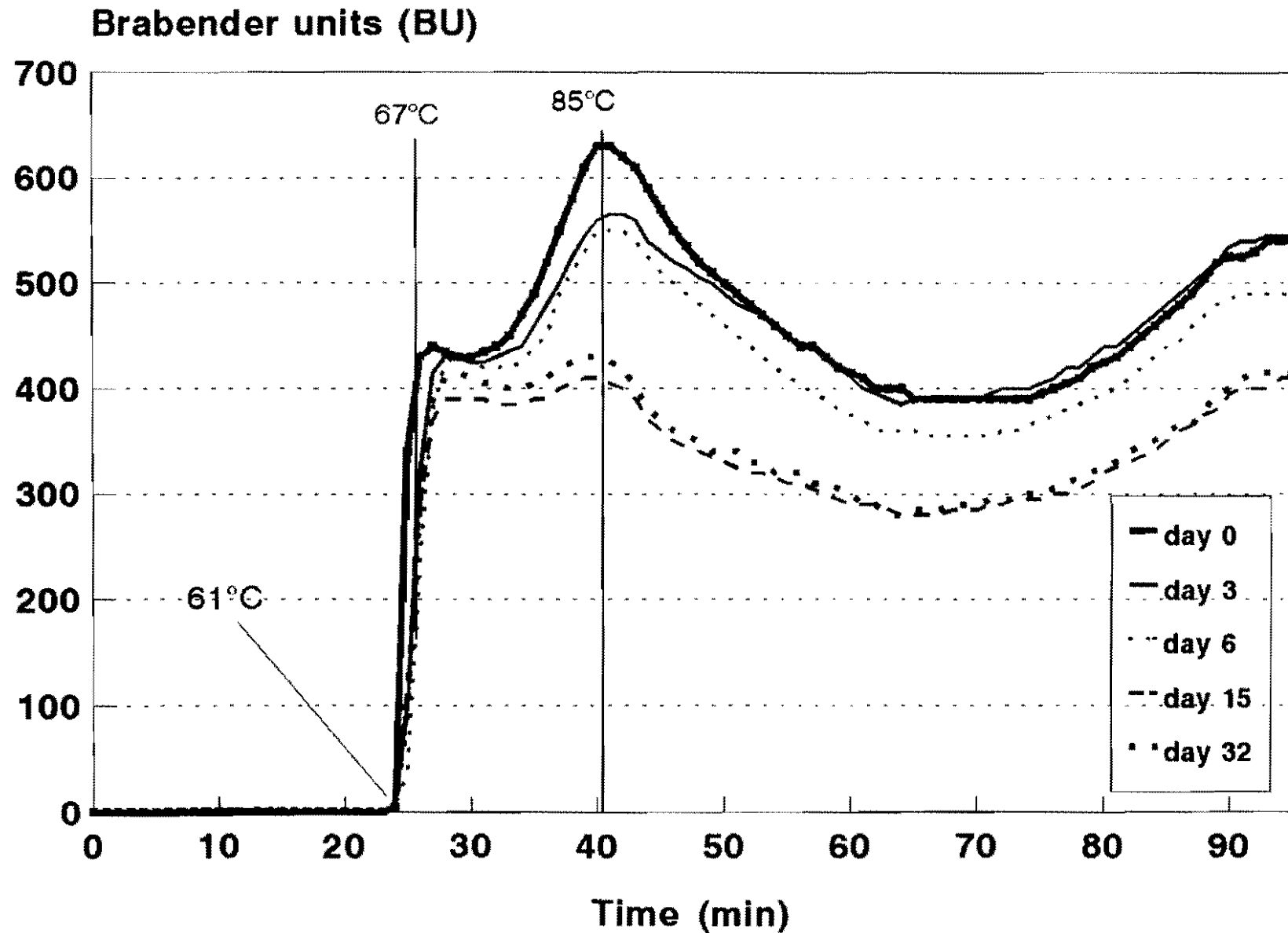


FIGURE 15.

Changes in starch rheological properties during fermentation sun drying

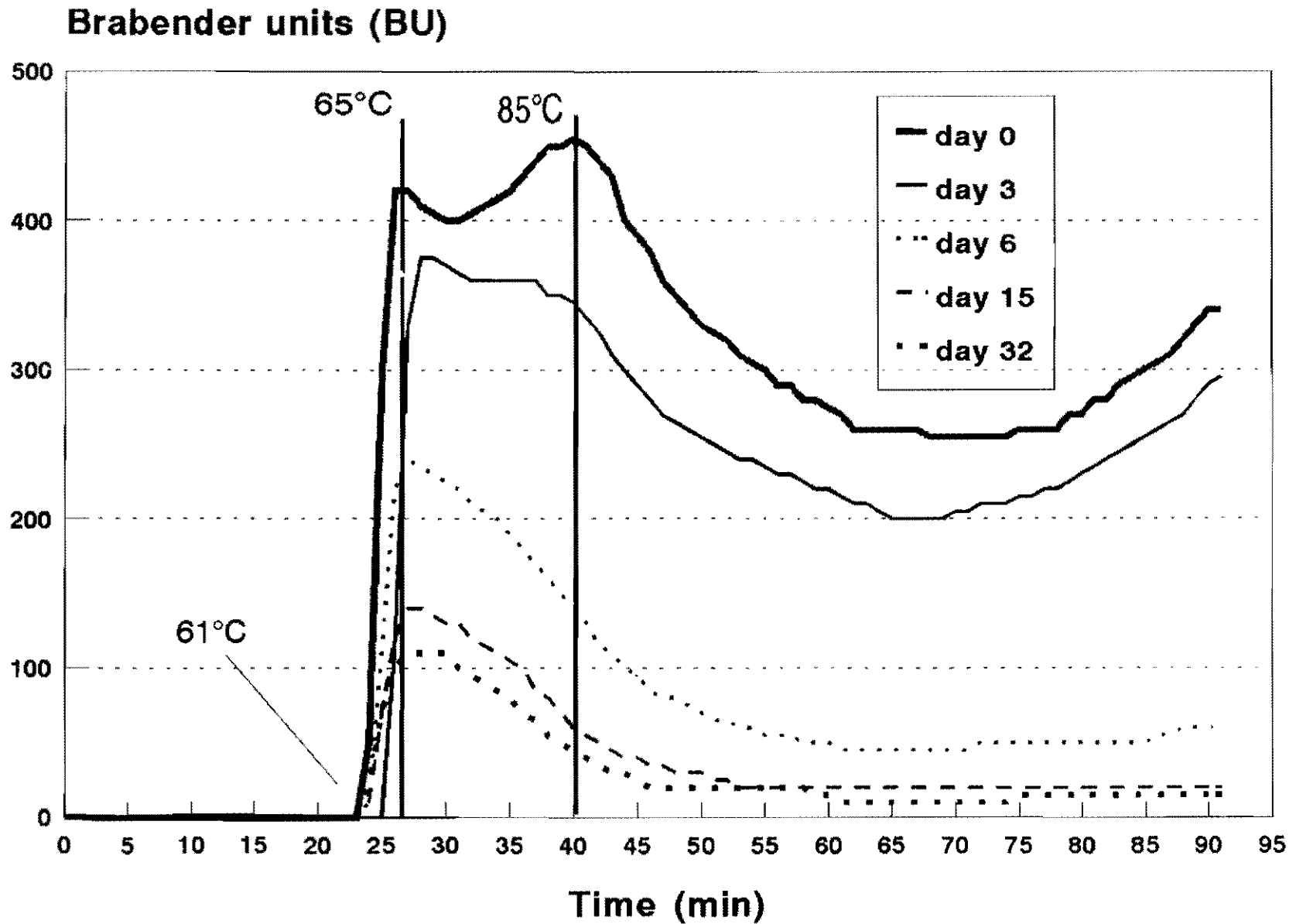


FIGURE 16.

Effect of soaking in water upon the breadmaking capacity of a sour cassava starch (MCol 1522, 30 days fermentation)

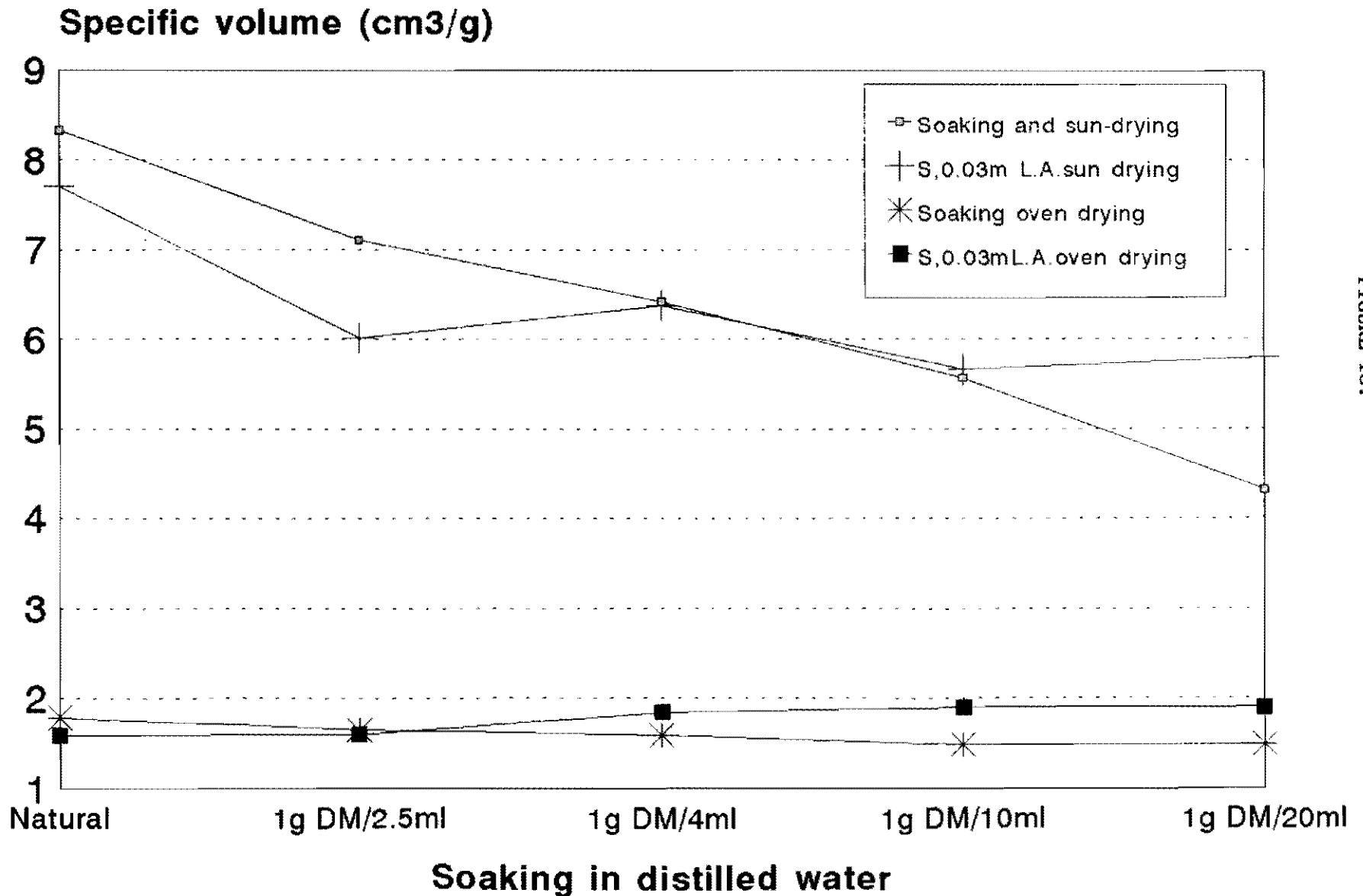


FIGURE 18.

Effect of soaking in water upon the breadmaking capacity of a sour cassava starch (MCol 1522, 30 days fermentation)

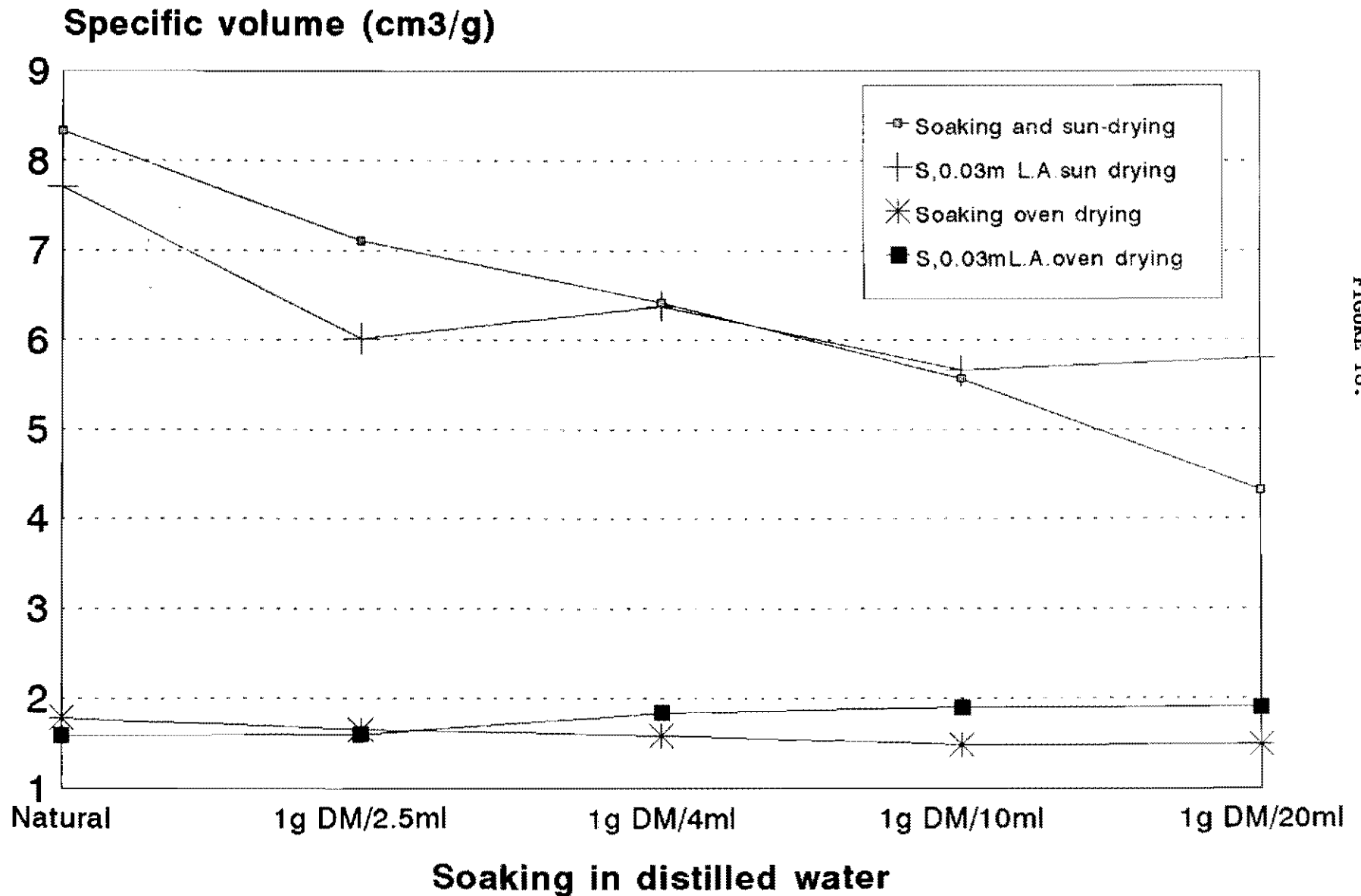


FIGURE 18.

Influence of Lactic Acid impregnation concentration upon the breadmaking capacity of a sweet cassava starch

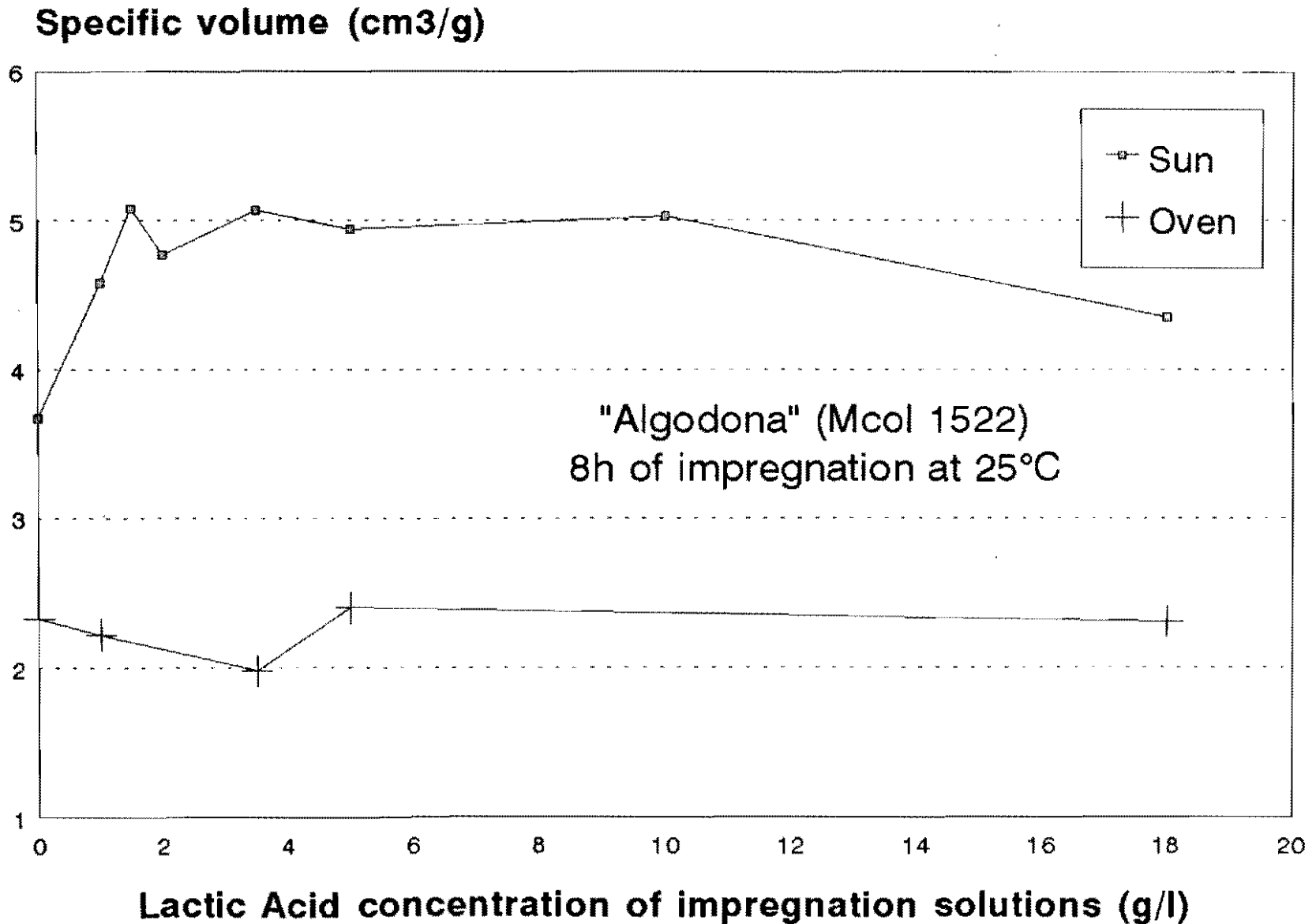


FIGURE 17.

Sun-drying leads to a very notable differentiation of the rheological profiles in terms of the first maximum value at around 67°C. The maximum viscosity (V_{max}) is very much lower after exposure to sunlight. From the sixth day of fermentation onwards, the disappearance of the second V_{max} peak is observed. Ten days of fermentation followed by sun-drying are necessary to obtain an optimal breadmaking capacity in starch from the *algodona* variety. During fermentation, the changes in rheological properties linked with sun-drying are directly correlated with the acquisition of breadmaking capacity. The very low breadmaking capacity observed after oven-drying excludes the possibility of classical drying for the present (Asté, 1994).

4.4 Influences of Fermentation, Lactic Acid Produced, and Sun-Drying on Breadmaking Capacity

In order to demonstrate the importance of lactic acid in the acquisition of breadmaking capacity, a series of impregnations of cassava starch with lactic acid has been carried out. A range of lactic acid concentrations (from 0 to 18 g/l) have been used in this trial.

Figure 17 shows the acquisition of breadmaking capacity involving sun-drying of a non-fermented starch (between 2.2 and 3.8 cm³/g). The addition of lactic acid improved the acquisition of breadmaking capacity (up to 5.3 cm³/g), and an optimal concentration of 1.8 g/l of lactic acid was determined. Lactic acid seems to participate in the process of acquisition of breadmaking capacity when the sour starch is exposed to sunlight. It should be noted that the optimal value for breadmaking capacity of 8 cm³/g was not achieved, regardless of the concentration of acid used. Fermentation produces lactic acid and induces other modifications in the starch which are essential to the obtention of an optimal breadmaking capacity.

Figure 18 highlights this phenomenon. By washing sour starch (*algodona*, after 32 days of fermentation) with distilled water, in order to eliminate lactic acid produced by fermentation and present before drying, a reduction in breadmaking capacity was achieved. Certain elements, indispensable for the acquisition of breadmaking capacity, were eliminated by washing with water. The lactic acid content was reduced in proportion to the dilution. These same samples (after washing) were reimpregnated (before drying) using a lactic acid solution of 0.03 M, and the samples were then dried in direct sunlight. This re-impregnation with lactic acid did not enable the obtention of a breadmaking capacity similar to that obtained without the washing and subsequent reimpregnation. Certain other elements, apart from lactic acid, and with an essential role in the acquisition of breadmaking capacity, were eliminated during the washing (Asté, 1994).

4.5 Other Starches and Flours (Maize, Potato and Rice)

Some flours and starches of non-cassava origin were impregnated with lactic acid (1.8 g/l), then dried in direct sunlight. Figure 19 shows that after treatment, the non-cassava starches and flours did not manifest breadmaking capacity.

Changes in starch rheological properties during fermentation sun drying

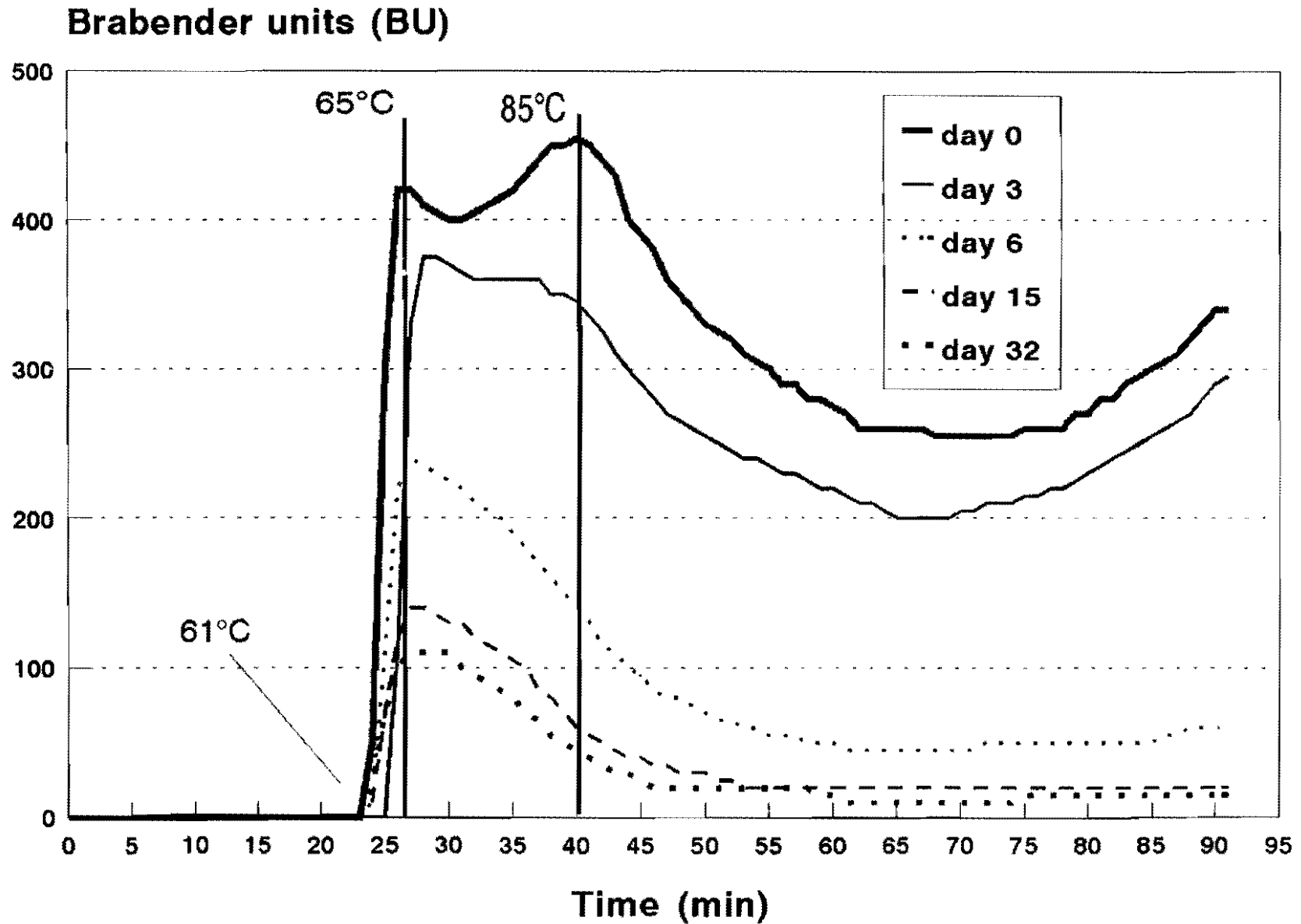


FIGURE 16.

Breadmaking capacity of various starches and flours in relation to applied treatments

Specific volume (cm³/g)

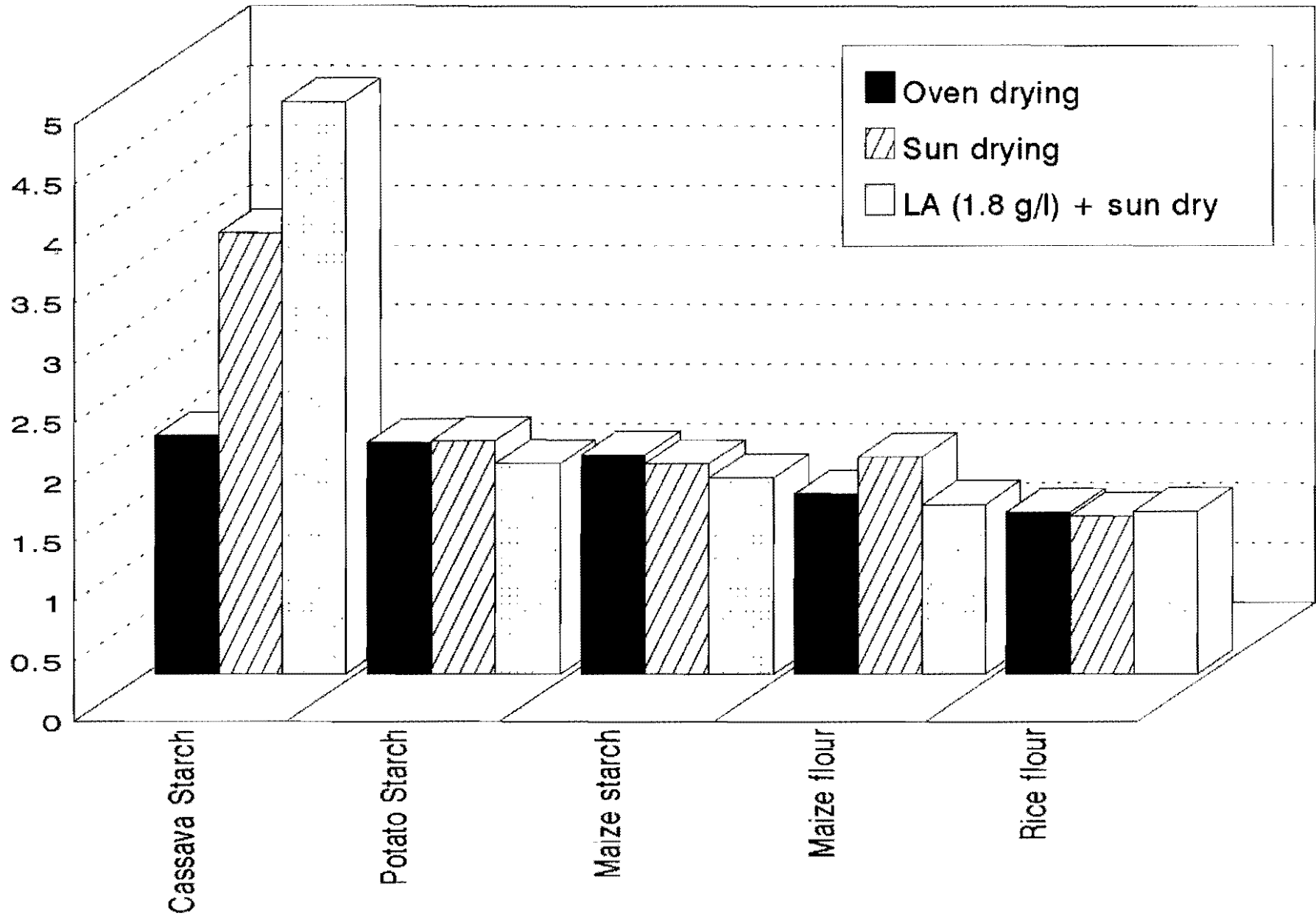


FIGURE 19.

Cassava starch and non-cassava starches and flours were fermented under the same conditions (the traditional conditions of cassava sour starch fermentation). In comparison with cassava starch, whose fermentation produced 0.83 g of lactic acid per 100g dry matter, the lactic acid contents of non-cassava flours and starches, after a similar fermentation, were as follows: potato starch, 0.13%; maize starch, 0.46%; maize flour, 1.26%; rice flour, 1.96%. The rheological properties of all of these starchy products were modified after fermentation and sun-drying. Using a 5% starch suspension, the maximum viscosity was reduced as a result of fermentation, by 520 BU in the case of cassava starch, by 120 BU (potato starch) and by 80 BU (maize starch: 7.5% suspension).

The most important changes in rheological properties were observed with cassava starch. The far less notable variations observed with the non-cassava starchy products may explain the fact that no acquisition of breadmaking capacity was manifested in these products.

The acquisition of breadmaking capacity after certain physicochemical treatments is therefore a specific and exclusive property of cassava starch. Further studies will be carried out, with the aim of understanding better the mechanisms of the acquisition of breadmaking capacity.

5. Scientific Conference Publications and Contributions

Oral Presentations

- C. Brabet, G. Chuzel, D. Dufour, M. Raimbault, J. Guiraud (1994).** Sour Cassava Starch Production Improvement In Colombia. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- C. Brabet & Dufour D. (1993)** El almidón de Yuca. Producción y estudios de las propiedades fisicoquímicas. Simposio en carbohidratos, 4- 6 de octubre, Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.
- D. Dufour (1993).** Producción del almidón agrio de yuca en Colombia. Estudio de las propiedades reologicas durante las diferentes etapas del proceso. Seminario de la red PRODAR, 25-26 de Octubre, CIAT, Cali, Colombia.
- D. Dufour (1994).** Procesamiento de la yuca. Estudio del caso de la producción de almidón agrio de yuca en Colombia, desarrollo de un almidón para panification. Primer Congreso Nacional de Ingenieria de Alimentos, October 20-22, Bogota, Colombia
- D. Dufour, S. Larssonneur, F. Alarcón, C. Brabet, G. Chuzel (1994).** Influence of Sun Drying on Sour Cassava Starch Quality, Pandebono Loaf Volume and Viscoamylograph Studies. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- A. Fernández, J. Rickard, D. Dufour, C. Wheatley (1994).** Appraisal of the Influence of Cultivar and Processing on the Physicochemical and Functional Properties of Cassava Starch and Flour. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- N. Zakhia, G. Chuzel, C. Brabet, D. Dufour (1994, a).** Cassava Fermentation. The Case of Cassava Sour Starch in Latin America. Second International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network. August 22-26, Bogor, Indonesia.

Poster Presentations

- C. Brabet, G. Chuzel, D. Dufour, M. Raimbault, J. Guiraud (1994).** Study of Natural Fermentation of Cassava Starch in Colombia. I. Characterization of the Microflora and the Fermentation Parameters. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia

- C. Brabet, A.L. Jaime, A. Beitz, A.L. Chavez, D. Dufour (1994).** Effect of an Amylolytic Lactic Starter Culture on Cassava Starch Fermentation and Quality. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- C. Brabet, M. Raimbault, C. Figueroa, D. Dufour, G. Chuzel (1994).** Study of Natural Fermentation of Cassava Starch in Colombia. III. Establishment of an Exopolysaccharide (EPS)-Producing Lactic Acid Bacteria Strain Bank. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- D. Dufour, J.M. Lopez, T. Sanchez, G. O. Brien, N. Zakhia (1994)** Screening of CIAT Cassava Germplasm. Characterization of Diversity in Cassava Starch Pasting Properties. 10th Symposium of the International Society for Tropical Roots Crops (ISTRC). November 13-19, Salvador do Bahia, Brazil.
- Y. Gomez, C. Brabet, A.L. Jaime, M. Astudillo, G. Chuzel (1994).** Study of Natural Fermentation of Cassava Starch in Colombia. II. Isolation of Amylolytic Lactic Acid Bacteria (ALAB). International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- A. L. Jaime, Y. Gómez, M. Astudillo, E. Giraud, D. Dufour (1994).** Evaluation of Isolated Amylolytic Lactic Acid Bacteria Isolated from the Fermentation of Sour Cassava Starch. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- L. Laurent, C. Brabet, D. Dufour, G. Chuzel (1994).** Quality of Sour Cassava Starch: Development of a Method to Evaluate Breadmaking Capacity and a Descriptive Test of Sensory Evaluation. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- M. X. Ramírez P., R. Guzmán R., A. Aguinaga, A. Stouvenel, D. Dufour (1994).** Maltodextrins Obtained from Cassava Starch and their Use as a Fat Replacer. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.
- A. Vernerey, N. Zakhia, D. Dufour (1994).** The Role of Acid in Development of Breadmaking Capacity during Sun-drying of Starches and Flours of Different Origins. UTC, September 23, Compiègne, France.
- N. Zakhia, C. Wheatley, G. O'Brien, D. Dufour (1994 ; b).** Screening of CIAT Cassava Germplasm Diversity for Physico-Chemical Characterization of Starch and Assessment of its Technological Potential. Second International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network. 22-26 August, Bogor, Indonesia.

A.P. Zambrano, A.L. Chaves, C.J. Flórez, E. Giraud, G. Chuzel, D. Dufour, J.E. Mayer (1994). Biochemical and physiological characterization of amylolytic lactic acid bacteria isolated from cassava sour starch fermentation. Gestion de Populations Microbiennes dans les industries agro-alimentaires. Société Française de Microbiologie. March 9-10, Dijon, France.

A.P. Zambrano, C.J. Flórez, E. Giraud, G. Chuzel, D. Dufour, J.E. Mayer (1994). Biochemical and Physiological Characterization of Amylolytic Lactic Acid Bacteria Isolated from Sour Cassava Starch Fermentation. International Meeting on Cassava Flour and Starch. January 11-15, CIAT/ CIRAD, Cali, Colombia.

A.P. Zambrano, G. Quiñones, A. L.Chaves, M. Corredor, D. Dufour, J.E. Mayer (1994). Molecular and biochemical characterization of amylolytic lactic acid bacteria isolated from cassava sour starch fermentation. LACTIC 94, September 7-9, Caen, France.

Papers

D. Dufour, C. Brabet, G. Chuzel, N. Zakhia (1994). Use of Amylolytic Lactic Acid Bacteria (ALAB) Starter For Improving Cassava Sour Starch Quality. Journal of Applied and Environmental Microbiology, in press.

D. Dufour, C. Brabet, G. Chuzel, N. Zakhia (1994). Influence of fermentation and solar drying on the breadmaking potential of cassava sour starch. Journal of the Science of Food and Agriculture, in press.

D. Dufour, C. Brabet, N. Zakhia, G. Chuzel (1994). Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc. TAM, à paraître aux éditions de l'ORSTOM.

G. Saucedo-Castaneda, M.R. Trejo-Hernandez, B.K. Lonsane, J.M. Navarro, S. Roussos, D. Dufour, Rimbault M. (1994). On-line Automated Monitoring and Control Systems for CO₂ and O₂ in Aerobic and Anaerobic Solid-State Fermentation. Process Biochemistry, No.29, p.13-24.

N. Zakhia and D. Dufour (1994). Influence of the cultivar on cassava starch functional properties. Journal of experimental Botany, in press.

N. Zakhia, D. Dufour, G. Chuzel, D. Griffon (1994). Review of sour cassava starch production in rural Colombian areas. Tropical Science, in press

Autors quoted in the text

- F. Alarcón Morante (1993)** Sistema de producción de almidón de yuca en Manabí, Ecuador. Diagnostico y evaluación tecnológica. CIAT, Cali, Colombia
- M. Asté (1994)** Evolution des propriétés physicochimiques et fonctionnelles de l'amidon de manioc (MCOL 1522) au cours de la fermentation. Mise en évidence du rôle de l'acide lactique et de l'exposition au soleil sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre. Rapport intermédiaire, CIRAD-SAR, Cali, Colombie.
- CIAT - Annual Report, (1992) & (1993).
- D. Griffon & N. Zakhia ; 1993 ; 1994.** Valorisation des produits, sous-produits et déchets de la petite et moyenne industrie de transformation du manioc en Amérique Latine. Rapport scientifique contrat CEE/STD3 No.TS3-CT92-0110, CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- C. Flórez, G. Chuzel, J. E. Mayer (1993)** Characterization of bacterial amylolytic activities during cassava solid state fermentation. Proceedings, First Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, August 25-28 , 1992, Cartagena (Roca WM, Thro AM, eds) CIAT, Cali, Colombia
- S. Larsonneur (1993).** Influence du séchage solaire sur la qualité de l'amidon aigre de manioc. Mémoire Ingénieur UTC, 114 p., Compiègne, France.
- L. Laurent (1992).** Qualité de l'amidon aigre de manioc : validation d'une méthode d'évaluation du pouvoir de panification et mise en place d'une épreuve descriptive d'analyse sensorielle. Mémoire Ingénieur UTC, 88 p., Compiègne, France.
- G. M. O'Brien, C. C. Wheatley, T. Sanchez (1994).** Texture Characteristics of Starch Extracted from High and Low Cyanogen Cultivars of Cassava. International Cassava Workshop on Food Safety. IITA, Ibadan, Nigéria.
- B. Seemann (1993).** Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc. Projet de réalisation d'une unité pilote. Rapport de stage, 16 p., CESI/CIRAD, Cali, Colombie.
- A. Vernerey (1994).** Rôle de l'acide lactique dans le développement d'un pouvoir de panification lors du séchage solaire d'amidon et de farines de différentes origines. Mémoire Ingénieur UTC, 63 p., Compiègne, France.
- C.C. Wheatley, J.I. Orrego, T. Sanchez, E. Granado (1992)** Quality Evaluation of the Cassava Core Collection at CIAT. Proceedings of the First Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, August 25-28, 1992, Cartagena (Roca WM & Thro AM, eds) CIAT, Cali, Colombia.