

## Technologie après récolte: traitement préalable

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Les risques d'altération des composants chimiques du maïs et de sa valeur nutritive ne cessent pas avec la récolte. Dans la chaîne alimentaire, des opérations ultérieures telles que le stockage et la transformation peuvent aussi causer une diminution sensible de la qualité nutritionnelle du maïs ou, pire encore, le rendre impropre à la consommation humaine et animale ou à l'utilisation industrielle.

### Stockage

La récolte du maïs est fortement mécanisée dans les pays développés, alors qu'elle se fait encore à la main dans les pays en développement. Le travail mécanisé ne se limite pas à détacher l'épi de la plante, mais aussi le grain de la rafle, alors que la récolte manuelle consiste à retirer en premier lieu l'épi, qui ne sera égrené qu'ensuite. Dans les deux cas, le maïs est généralement récolté lorsque sa teneur en humidité est comprise entre 18 et 24 pour cent. Les dommages infligés au grain (le plus souvent au cours de l'égrenage) sont fonction de la teneur en humidité au moment de la récolte; moins la teneur en humidité est élevée, moins les grains sont susceptibles d'être endommagés.

Des altérations de la qualité physique du grain se produisent souvent par suite de la mécanisation de la récolte, de l'égrenage et du séchage. Les deux premières opérations entraînent parfois des lésions externes, telles que la rupture du péricarpe et des régions voisines du germe, ce qui facilite les attaques des insectes et des champignons. En revanche, le séchage n'entraîne pas de dommages physiques importants. Mais s'il est trop rapide et conduit à hautes températures, il peut s'accompagner de fendillements, de gonflement et de décoloration, susceptibles d'amoindrir le rendement de la mouture sèche et autres procédés de transformations (Paulsen et Hill, 1985).

Dans les pays tropicaux, on accélère le séchage en courbant vers le bas la partie supérieure de la plante qui porte l'épi, pratique qui contribue également à empêcher que les grains ne s'imbibent d'eau quand il pleut. Que la récolte soit mécanique ou manuelle, les grains égrenés ont une trop forte teneur en humidité pour pouvoir être stockés sans risque; ils doivent donc être séchés pour ramener l'humidité à environ 12 pour cent à 30 °C et à environ 14 pour cent à 10 °C (Herum, 1987). La stabilité au stockage dépend de l'humidité relative des gaz interstitiels, qui est fonction à la fois de la teneur en humidité du grain et de la température. Une faible teneur en humidité et de faibles températures de stockage réduisent les risques de détérioration et de croissance microbienne. Par conséquent, l'aération, qui permet d'abaisser l'humidité relative des gaz interstitiels, est un aspect important du stockage du maïs.

Des pertes importantes de maïs sont constatées dans les pays tropicaux. On a enregistré des pertes pouvant atteindre 10 pour cent, sans compter celles causées par les champignons, les

insectes et les rongeurs. Si on ajoute ces derniers, les pertes peuvent atteindre 30 pour cent dans les régions tropicales humides et de 10 à 15 pour cent en climat tempéré. Schneider (1987) a observé au Honduras, après production, des pertes de 6,5 à 8,7 pour cent en plein champ et de 7,4 à 13,9 pour cent au stockage. Les pertes dues aux champignons (notamment *Aspergillus* et *Penicillium*) revêtent une importance à la fois économique et sanitaire en raison des aflatoxines et des mycotoxines (de Campos, Crespo-Santos et Olszyna-Marzys, 1980).

Lors d'une enquête sur les maïs vendus sur les marchés ruraux du Guatemala, Martinez-Herrera (1968) a constaté une contamination considérable imputable à divers champignons. Parmi ces derniers, certaines espèces d'*Aspergillus*, bien connues comme productrices d'antitoxines, étaient fréquemment présentes. On estime qu'au Guatemala la contamination maximale du maïs par les aflatoxines coïncide avec la saison des pluies. Des prélèvements analysés 20 jours après la récolte du maïs présentaient des niveaux de 130 mg d'aflatoxines par kilogramme de maïs entier. Les mêmes prélèvements analysés 60 jours plus tard présentaient des concentrations sensiblement accrues, jusqu'à 1 680 mg par kilogramme. Ces données, ainsi que les conclusions de nombreuses autres études, témoignent de la nécessité de faire sécher le maïs avant de le stocker. Il existe différents systèmes et équipements de séchage faisant appel à différentes sources d'énergie dont l'énergie solaire (Herum, 1987). Plusieurs facteurs doivent être pris en considération, tels que la température et la vitesse de l'air, le taux de séchage, les rendements de séchage, la qualité des grains, la puissance de l'air forcé, la source de combustible, les frais fixes et la gestion. Le séchage contribue pour une grande part à l'obtention de grains de bonne qualité exempts de champignons et de micro-organismes et présentant les caractéristiques souhaitables en vue de la commercialisation et de

l'utilisation finale.

## Méthodes de séchage

**Séchage en couche.** Avec cette méthode, le grain récolté est placé dans un conteneur rempli couche par couche. Chaque couche de grains est partiellement séchée avant que l'on n'ajoute la suivante. Le séchage se fait par air forcé, qui pénètre dans le conteneur par un fond perforé ou à travers un conduit ménagé dans la partie inférieure. Pour accroître le rendement, le grain partiellement séché est remué et mélangé à la couche suivante. Une autre solution consiste à retirer le grain partiellement séché et à le faire sécher complètement par lots. L'une des difficultés de cette méthode et des autres méthodes de séchage est de trouver un moyen de mélanger du grain à faible teneur en humidité et du grain plus humide, de manière que le produit fini réalise l'équilibre souhaité. Il en résulte souvent un certain déchet. Sauer et Burroughs (1980) ont noté que l'équilibre était réalisé à plus de 80 pour cent au bout de 24 heures. On a mis au point des méthodes qui permettent de détecter le maïs à haute teneur en humidité dans les mélanges additionnés de maïs séché artificiellement.

**Séchoirs portables fonctionnant en discontinu.** A cause du coût élevé des installations de séchage rares sont les producteurs de maïs et notamment les petits exploitants, qui peuvent se les offrir. Les séchoirs portables fonctionnant en discontinu sont utiles dans la mesure où ils peuvent être déplacés d'exploitation en exploitation. Ils fonctionnent à l'air chauffé des températures comprises entre 60 et 82 °C.

**Séchoirs à flux continu.** Ces séchoirs traitent un flux continu de grains qui passent par des

sections chauffées et non chauffées, afin que le grain soit déchargé sec et frais. Cet équipement est le point central des dépôts de stockage de grains.

## Stockage

### Facteurs biotiques et non biotiques

La conservation du maïs sans déchets, comme celle des autres céréales ou légumes secs, dépend essentiellement des conditions écologiques au moment du stockage, des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du grain, de la période de stockage, ainsi que de la nature et des caractéristiques de fonctionnement des installations. Deux types de facteurs importants ont été retenus. Les premiers sont les facteurs d'origine biotique. Il s'agit de l'ensemble des éléments ou organismes vivants qui, sous l'effet de conditions favorables leur développement, utiliseront le grain comme source d'éléments nutritifs et contribueront ainsi à sa détérioration. Il s'agit principalement des insectes, des micro-organismes, des rongeurs et des oiseaux. Les seconds sont les facteurs non biotiques, parmi lesquels on peut citer l'humidité relative, la température et la durée. Les effets des facteurs biotiques et non biotiques sont sous l'influence des caractéristiques physiques et biochimiques du grain. Quant aux modifications intervenant en cours de stockage elles sont influencées par la faible conductivité thermique du grain, sa capacité d'absorption de l'eau, sa structure, sa composition chimique, sa respiration et son chauffage spontané, la texture et la consistance du périscarpe et, enfin, la méthode et les conditions de stockage.

Des pertes d'éléments nutritifs ont été attestées dans le cas du maïs entreposé dans des conditions défavorables. Quackenbush ( 1963) a mis en évidence des pertes de carotène dans le maïs conservé à différentes températures et dans différentes conditions d'humidité. Dans le cadre d'autres études, du maïs commun et du maïs QPM ont été stockés dans divers types de conteneurs avec et sans addition de substances chimiques. Après six mois, des prélèvements étaient examinés pour observer les dommages causés par les insectes et les champignons et les modifications de la qualité des protéines. On a observé une certaine détérioration du maïs non protégé, quel qu'en soit le type, mais aucune dans le cas des maïs additionnés de produits chimiques. La qualité des protéines ne se trouvait pas affectée (Bressani et al. 1982). Parmi les autres modifications dues au séchage et au stockage, on a pu observer un abaissement de la solubilité des protéines, des modifications de la valeur nutritive pour les porcifains, des modifications des propriétés organoleptiques (Abramson, Sinka et Mills 1980) et des modifications de la digestibilité in vitro dues à la chaleur (Onigbinde et Akinyele, 1989).

Bien que les pertes causées par les insectes et les oiseaux aient leur importance, on s'est beaucoup préoccupé des problèmes posés par les infections microbiennes non seulement en raison des pertes de grains dont elles sont responsables, mais surtout à cause des effets toxiques de leurs sousproduits métaboliques sur la santé humaine et animale.

Il n'existe pas d'études sur les effets nutritionnels du maïs infesté par les insectes. Daniel et al. ( 1977 ) et Rajan et al. ( 1975 ) ont fait état de pertes de thréonine et d'une baisse de qualité protéique du maïs infesté par *Sitophilus oryzae*. Dans la première de ces études, le

coefficient d'efficacité protéique (CEP) était passé au bout de trois mois d'une valeur initiale de 1,30 à 0,91. Dans la seconde étude la thréonine passait de 3,5 à 2,9 g par 16 g N et le CEP de 1,49 à 1,16. Ces chercheurs ont également indiqué que le maïs endommagé avait moins de rendement pour compléter une alimentation à base de légumineuses.

Un autre aspect qui n'est pas sans intérêt d'un point de vue nutritionnel est l'augmentation de l'acide urique qui, en trois mois, était passé de 3,5 mg par 100 g à 90,6 mg par 100 g. Des pertes de thiamine ont également été observées. Bressani et al. (1982) ont évalué l'efficacité de cinq substances chimiques et de trois types de contenants protéger la qualité nutritionnelle du maïs QPM contre les dommages infligés par les insectes. Environ 38 pour cent du maïs non traité (témoin) avaient été endommagés par les insectes. Toutefois, la qualité protéique ne s'en trouvait pas affectée.

Plusieurs travaux de recherche, et notamment ceux de Fennell et al. (1978) et Pérez, Tuite et Baker (1982) sont mis en évidence une association entre les dommages infligés par les insectes et la contamination par les toxines.

Christensen (1967) a mesuré un certain nombre de changements affectant du maïs américain n° 2 stocké pendant deux ans à des teneurs en humidité de 14,5 et 15,2 pour cent et à des températures de 12, 20 et 25 °C. Les changements ont été évalués en fonction de l'aspect, des attaques de champignons, du pourcentage de germination et de la teneur finale en acides gras. Les échantillons stockés à 25 °C se détérioraient rapidement pour les deux niveaux de teneur en humidité. Les caractéristiques des échantillons placés à 15,2 pour cent d'humidité évoluaient légèrement après six mois à 12 °C, et sensiblement après deux

ans. Le maïs stocké à 14,5 pour cent d'humidité restait en l'état lorsqu'il était stocké à 12 °C pendant la période de deux ans et ne présentait que de légères altérations après 18 mois à 20 °C. Cependant, une importante variabilité de l'interaction insectes-champignons était observée. Certaines régions de culture du maïs ont subi d'importants dommages infligés par les insectes aux épis mûrissants, sans présence d'aflatoxines, tandis que d'autres régions également touchées par les insectes présentaient une incidence relativement importante de cette toxine dans les grains au moment de la récolte.

De nombreuses études ont été conduites pour évaluer la valeur nutritionnelle du maïs moisi: si un certain accroissement de la teneur en vitamine B a été constaté, peut-être du fait des métabolites des micro-organismes, les dommages pour la santé des animaux l'emportaient très largement sur les hypothétiques avantages des modifications de la composition chimique. Plusieurs chercheurs ont étudié l'altération de la valeur nutritionnelle du maïs endommagé par des moisissures; par exemple, Martínez et al. ( 1970) ont relevé des effets négatifs non négligeables parmi la volaille et les rats de laboratoire nourris au maïs moisi. Il est difficile de savoir, cependant, si ces effets étaient dus aux toxines produites par les champignons ou à une déperdition d'éléments nutritifs du substrat qui auraient pu être utilisés par les micro-organismes.

Christensen et Sauer ( 1982) ont étudié les effets de l'invasion fongique sur les céréales. Ils se sont aperçus qu'elle entraîne une baisse de qualité et un déclassement par perte de matière sèche, décoloration, ramollissement et contamination par les mycotoxines. Les indices microbiens de l'invasion fongique et de la détrioration des semences



comprennent des dommages visibles, l'infection des semences, le nombre des propagules fongiques, un dégagement de dioxyde de carbone, ainsi qu'une diminution de la germination et de la teneur en ergostérol.

### Inhibition de la contamination par les aflatoxines

Deux moyens d'empêcher que le maïs ne soit détruit par la contamination des aflatoxines ont été étudiés. L'un consiste à inhiber la croissance d *Aspergillus flavus* ou d *Aspergillus parasiticus*, tandis que l'autre tend à éliminer les aflatoxines une fois qu'elles ont été produites par l'infection d *Aspergillus*. La plupart des chercheurs se sont consacrés à l'inhibition de la croissance des moisissures, et certaines substances chimiques ont déjà fait la preuve de leur efficacité dans les conditions de stockage. Toutefois cela ne résout pas le problème de la contamination en plein champ par des moisissures parce que les spores des organismes, véhiculés par l'air, sont répandues dans le milieu naturel. Les spores peuvent germer sur l'épi et infecter les tissus internes dans certaines conditions optimales de température et d'humidité. C'est pourquoi d'autres chercheurs ont continué à travailler dans la voie de la détoxification.

On a pu montrer que la torréfaction permettait de réduire les niveaux d'aflatoxines, en fonction du niveau initial de la toxine ainsi que des températures de torréfaction (Conway et Anderson, 1978). Des températures plus élevées permettaient une destruction pouvant atteindre 77 pour cent; mais on sait que ces températures détruisent la valeur nutritive du produit. Un trempage du maïs contaminé par l'aflatoxine dans l'ammoniac, suivi de torréfaction, peut être un moyen simple et efficace de décontamination. Des résultats intéressants ont été

signalés avec l'ammoniaque. Cependant, il est difficile d'éliminer l'odeur de l'ammoniaque du grain traité. D'autres méthodes plus complexes ont été expérimentées. C'est ainsi que Chakrabarti ( 1981 ) a montré que les niveaux d'aflatoxines pouvaient être abaissés jusqu'à moins de 20 ppb en faisant appel à des traitements distincts au moyen de peroxyde d'hydrogène à 3 pour cent, de méthanol à 75 pour cent, de chlorhydrate de diméthylamine à 5 pour cent ou d'acide perchlorique à 3 pour cent. Toutefois, ces traitements s'accompagnaient de pertes de poids, ainsi que de protéines et de lipides. D'autres méthodes font appel au dioxyde de carbone additionné de sorbate de potassium et à l'oxyde de soufre.

Un procédé qui a retenu l'attention est l'utilisation de l'hydrate de calcium, employé pour la cuisson du maïs la chaux chaux 1990). Les études font apparaître une réduction significative des niveaux d'aflatoxines, bien que le degré de réduction soit lié à leur niveau initial. Des expériences d'alimentation au moyen de maïs moisi traité à l'hydrate de calcium ont mis en évidence un rétablissement partiel de sa valeur nutritionnelle.

Les soins apportés à la récolte et à la manipulation du maïs peuvent beaucoup contribuer à réduire la contamination fongique. Non seulement la détérioration accroît le coût de revient du grain, mais sa valeur nutritionnelle originale ne peut pas être complètement rétablie. A cet égard, Siriacha et al. ( 1989 ) ont constaté que, si le maïs grené était immédiatement séché au soleil, le risque de contamination se trouvait réduit en comparaison du maïs non séché grené mécaniquement ou à la main. L'égrenage favorise la contamination par les moisissures car la base du grain, rugueuse par rapport au reste, subit certains dommages. Même à de hauts niveaux d'humidité, le maïs en épi résiste

relativement bien ❖ la contamination par les moisissures.

## Classification de la qualité ❖ des grains

Pour faciliter la commercialisation et définir les meilleures utilisations des différents types de maïs produits dans le monde, on a adopté un classement qualitatif des grains qui, toutefois, n'est pas nécessairement accepté par tous les pays producteurs. Aux Etats-Unis d'Amérique on a retenu cinq classes différentes de maïs en fonction de différents facteurs. Le poids teneur minimal est exprimé en livres-poids par boisseau, en livres-poids par pied cube ou en kilogrammes par mètre cube. Plus le poids d'essai est élevé, plus la classe l'est aussi. Les limites maximales de quantité de brisures et matières étrangères varient de 2 pour cent pour la classe 1 à 7 pour cent pour la classe 5. Il existe une classification pour les grains endommagés, y compris les grains endommagés par la chaleur. Le maïs est également classé en maïs jaune, maïs blanc et maïs mélangé. Le maïs jaune ne doit pas contenir plus de 5 pour cent de grains blancs, et le maïs blanc pas plus de 2 pour cent de grains jaunes. On entend par maïs mélangé un maïs contenant plus de 10 pour cent de l'autre grain.

La teneur en humidité du maïs est également important de sa composition chimique, n'est pas considérée comme un facteur de qualité, mais elle a toutefois une influence considérable sur la composition, sur les changements de qualité au stockage et au traitement ainsi que sur la valeur économique. Un maïs à haute teneur en humidité et à texture tendre se laisse facilement endommager au stockage, tandis que le maïs à faible teneur en humidité devient cassant. La teneur en humidité la plus communément acceptée par le consommateur est 15,5 pour

cent. La densité du maïs - son poids par unité de volume est importante car elle détermine la taille des conteneurs pour le stockage et le transport. Il y a corrélation entre la teneur en humidité et la densité ou le poids t<sub>0</sub>; plus la teneur en humidité est élevée, moindre est le poids spécifique ou le poids t<sub>0</sub>. Cette caractéristique du maïs a également son importance en meunerie.

Une autre caractéristique qualitative importante du maïs est sa dureté, puisqu'elle influe sur la puissance de broyage à mettre en œuvre, la formation de poussières, les propriétés nutritionnelles, la transformation en produits alimentaires et le rendement des produits obtenus par mouture sèche ou humide. Bien qu'elle soit déterminée génétiquement, la dureté du maïs peut être modifiée par les pratiques culturales ainsi que par les conditions de manipulation après récolte. De nombreux chercheurs ont proposé des méthodes permettant de mesurer la dureté en vue d'un certain nombre d'applications différentes (Pomeranz et al., 1984, 1985, 1986). Les variétés de maïs albumen corn, telles que les maïs vitreux ou le maïs éclater, ont des grains durs, tandis que les variétés de maïs amylopectique et opaque sont tendres. Certains types vitreux sont intermédiaires.

Enfin, le fait que le grain soit exempt de moisissures est reconnu comme caractéristique qualitative.

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

## Technologie après récolte: transformation

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

### Formes de consommation du maïs

Le maïs est consommé sous diverses formes dans les différentes parties du monde, depuis le gruau de maïs servant à préparer la polenta et le pain de maïs, jusqu'au maïs clat (popcorn) et aux produits tels que les flocons de maïs (Rooney et Serna-Saldivar, 1987). Les grains sont fermentés pour fournir l'ogi au Nigeria (Oke, 1967) et dans d'autres pays d'Afrique (Hesseltine, 1979), tandis qu'ils sont décortiqués, dégermés et précuits en Colombie et au Venezuela pour confectionner des arepas (Instituto de Investigaciones Tecnológicas, 1971 ; Rodriguez, 1972).

En Egypte, l'aish merahra, pain de maïs plat, est extrêmement répandu. On utilise de la farine de maïs pour préparer une pâte souple, additionnée de 5 pour cent de graines de fenugrec moulues dont on pense qu'elles accroissent la teneur en protéines rendent le pain plus digeste et prolongent la durée de conservation. La pâte est fermentée toute la nuit au moyen d'une levure aigre. Le matin, elle est travaillée en petits pains ronds et souples qu'on laisse reposer et lever 30 minutes. Avant de les mettre au four, on donne aux pains la forme de disques plats.

L'aish merahra reste frais pendant sept à dix jours s'il est conservé dans des récipients hermétiques. Un produit analogue, appelé makouk, est consommé au Liban.

Le maïs est aussi largement utilisé pour la fabrication de la bière. C'est ainsi qu'au Bénin on obtient du malt en faisant germer les grains pendant environ cinq jours. Le malt est ensuite exposé au soleil pour interrompre la germination. Les grains sont légèrement pilonnés dans un mortier, ou broyés à la meule. Le malt est ensuite mis à cuire. Une fois l'extrait passé et refroidi, on le laisse reposer. La bière peut être consommée après trois jours de fermentation (FAO, 1989).

Le procédé de cuisson du maïs à la chaux est propre au Mexique et à l'Amérique centrale (Bressani, 1990), encore que la technique ait été exportée dans d'autres pays, les États-Unis notamment. Une pâte préparée à partir du maïs cuit à la chaux est le principal ingrédient de nombreux plats populaires tels que l'atole, boisson aux multiples arômes et les tamalitos, préparés en enveloppant la pâte dans des spathes de maïs et en la cuisant à la vapeur pendant 20 à 30 minutes pour gélifier l'amidon. Cette dernière spécialité est généralement accompagnée de jeunes feuilles de chipilin, (*Crotalaria longirostrata*), de fleurs de loroco (*Fernaldia pandurata*) ou de haricots cuits mlangés à la pâte, ce qui améliore la qualité nutritionnelle du produit et sa saveur (Bressani, 1983). La pâte sert aussi à confectionner les tamales, une préparation plus complexe en raison des nombreux ingrédients qu'elle contient, de la chair de volaille ou de la viande de porc étant le plus souvent ajoutée à la pâte gélifiée. Elle sert également de base aux enchiladas, aux tacos, (tortillas pliées contenant de la viande, etc.) et aux pupusas, confectionnées avec du fromage frais placées entre

deux couches de pâte et cuites au four comme les tortillas. Frite et assaisonnée, la pâte fournit des aliments tels que les chips et les chilaquiles. Si on la laisse fermenter pendant deux jours, enveloppée dans des feuilles de bananier ou de plantain, elle donne un aliment appelé pozol à partir duquel plusieurs boissons peuvent être obtenues. Cette préparation est particulièrement nourrissante.

Les nombreuses manières de transformer le maïs dans des conditions où elles présentent des produits attrayants et faciles à préparer, pourraient contribuer jusqu'à un certain point à inverser la tendance actuelle à l'augmentation de la consommation des produits alimentaires dérivés du blé dans les pays traditionnellement consommateurs d'arepa et de tortillas.

## Transformation du maïs entier: cuisson à la chaux

### Cuisson à la chaux dans les régions rurales

Plusieurs chercheurs ont décrit la manière dont le maïs est préparé dans les zones rurales des pays où il est consommé sous forme de tortillas. Illescas (1943) a décrit le procédé tel qu'on l'observe au Mexique. Il comporte l'addition d'une partie de maïs entier pour deux parties de solution de chaux à 1 pour cent environ. Le mélange est porté à 80 °C pendant 20 à 45 minutes, puis on le laisse reposer jusqu'au lendemain. Le jour suivant, le liquide de cuisson est décanté et le maïs, désormais appelé nixtamal, est rincé deux ou trois fois à l'eau pour éliminer les téguments, les coiffes, de chaux et les impuretés que pourraient contenir les grains. L'addition de chaux à la cuisson et au trempage facilite l'élimination des téguments.

Les sousproduits sont jetés ou donnés aux porcs. Autrefois, la transformation du maïs en pâte était obtenue par broyages répétés au moyen d'une meule plate jusqu'à ce que les particules grossières soient suffisamment fines. De nos jours, le broyage initial se fait au mixeur ou aux broyeurs à disque, puis la pâte est affinée à la meule. On abaisse environ 50g de pâte que l'on fait cuire des deux côtés sur une plaque chaude en fonte ou en argile.

Au Guatemala, un procédé analogue (décrit par Bressani, Paz y Paz et Scrimshaw, 1958) utilisait du maïs blanc ou du maïs jaune, mais la concentration de chaux variait entre 0,17 et 0,58 pour cent selon le poids de maïs, avec un rapport grain/eau de 1: 1,2, et un temps de cuisson variant entre 46 et 67 minutes à la température de 94 °C. Pour le reste, le procédé était peu près le même, mais la pâte était préparée au moyen d'un broyeur à disque et on la faisait cuire pendant environ cinq minutes à la température de 170 °C sur les bords et de 212 °C au centre.

Les tamalitos pour lesquels on fait cuire la pâte à la vapeur sont plus souples et se conservent plus longtemps. S'il s'agit de maïs récoltés depuis peu on utilise moins de chaux et le temps de cuisson est réduit; le procédé est inversé si le grain est vieux et sec. La déperdition de matière sèche est d'environ 15 pour cent mais elle peut varier entre 8,9 et 21,3 pour cent.

### Cuisson à la chaux industrielle

En raison notamment de l'exode rural, il s'est créée une demande pour les tortillas toutes prêtes ou précuites. Un appareillage de transformation du maïs brut en maïs traité à la chaux puis en pâte et en tortillas a été mis au point: la production industrielle de farine



tortilla a pu commencer par la suite' au Mexique et dans d'autres pays. L'essor de la production m<sup>exicain</sup>e au Mexique remonte à la fin de la seconde guerre mondiale. Cette production prend deux formes dans les zones urbaines. La premi<sup>ère</sup> est la petite industrie artisanale et familiale de tortillas' qui utilise le proc<sup>éd</sup>e d<sup>éc</sup>rit plus haut mais avec un mat<sup>ériel</sup> plus important et plus m<sup>exicain</sup> pour desservir un march<sup>é</sup> plus large. Cette <sup>évolution</sup> a <sup>été</sup> rendue possible par l'utilisation des broyeurs rotatifs et de l'appareil <sup>à</sup> tortilla con<sup>çu</sup> en 1908 par Romero. Cet appareillage devait <sup>être</sup> remplac<sup>é</sup> ensuite par un mat<sup>ériel</sup> plus performant dans lequel la p<sup>âte</sup> passe par un tambour m<sup>ét</sup>allique rotatif o<sup>ù</sup> elle est coup<sup>ée</sup> en forme de tortillas. Les p<sup>â</sup>tons tombent sur une courroie de transmission ou un gril continu et sont recueillis dans un r<sup>é</sup>ceptacle au bout de la courroie. Cette petite industrie peut faire appel au ma<sup>ïs</sup> entier, auquel cas la p<sup>âte</sup> est cuite dans de grands r<sup>é</sup>ipients, ou bien <sup>à</sup> la farine <sup>à</sup> tortilla industrielle.

La seconde option est celle de la transformation du maïs <sup>à</sup> échelle industrielle en farine <sup>à</sup> tortilla pr<sup>é</sup>cuite instantan<sup>ée</sup>. Le proc<sup>éd</sup>e a <sup>été</sup> d<sup>éc</sup>rit par divers auteurs (par exemple Deschamps, 1985). Il fait appel pour l'essentiel <sup>à</sup> la m<sup>éth</sup>ode traditionnelle utilis<sup>ée</sup> dans les campagnes. Plus r<sup>éc</sup>emment? le proc<sup>éd</sup>e de fabrication de la farine a <sup>été</sup> <sup>ét</sup>endu <sup>à</sup> la production des tortillas.

Le maïs est achet<sup>é</sup> apr<sup>ès</sup> que l'acheteur en a v<sup>ér</sup>ifi<sup>é</sup> la qualit<sup>é</sup> et l'a <sup>é</sup>chantillonn<sup>é</sup>. Les lots de maïs contenant une forte proportion de grains d<sup>é</sup>fectueux sont rejet<sup>és</sup>. Les lots accept<sup>és</sup> sont pay<sup>és</sup> en fonction des d<sup>é</sup>fectuosité<sup>s</sup> de la mati<sup>ère</sup> premi<sup>ère</sup>. Le maïs est <sup>é</sup>galement choisi en fonction de sa teneur en humidit<sup>é</sup>, puisque le grain tr<sup>ès</sup> humide posera des

problèmes de stockage. Au stade du nettoyage, toutes les impuretés, telles que terre, rafles et feuilles, sont éliminées. Le maïs nettoyé est dirigé vers les silos et les entrepôts pour stockage.

De là, le maïs est envoyé dans les établissements de transformation par cuisson à la chaux où il est transformé en nixtamal, par un procédé continu ou discontinu. Après cuisson et trempage, le maïs traité à la chaux est rincé à l'eau sous pression ou par aspersion. Il est réduit par broyage en une pâte (masa), qui est ensuite transportée jusqu'au séchoir puis transformée en une farine grossière. Cette farine, composée de particules de tous calibres, est envoyée à travers un tamis qui sépare les particules grossières des particules fines. Les premières retournent au broyeur pour un nouveau broyage tandis que les particules fines, qui constituent le produit fini, sont dirigées vers les installations d'emballage. La farine y est emballée en sacs de papier doublé.

Un établissement complet doit être équipé pour les opérations suivantes: traitement à la chaux, broyage, séchage et tamisage, avec capacité de production quotidienne de 30 à 80 tonnes de farine. Ces chiffres représentent le minimum et le maximum; l'établissement commercial qui veut accroître sa capacité de production doit donc se doter de plusieurs unités fonctionnant en parallèle. Cependant, le recours à ce type d'unités semble obéir davantage à une tradition qu'à une nécessité technique car rien n'empêcherait de concevoir des installations d'une capacité de moins de 30 tonnes ou de plus de 80 tonnes par jour. Il semblerait cependant que les installations de très grandes ou de très petites dimensions ne soient pas jugées viables.

Le rendement industriel de la farine de maïs cuite à la chaux varie entre 86 et 95 pour cent selon le type de maïs, la qualité des grains entiers et les conditions du traitement à la chaux. Selon certaines sources, les rendements industriels seraient plus élevés que les rendements obtenus aux niveaux rural et artisanal, peut-être cause de la qualité de la matière première.

La farine de tortilla est une poudre fine, sèche, blanche ou jaunâtre qui présente l'odeur caractéristique de la pâte de maïs. Mélangée à l'eau, elle fournit une pâte permettant de préparer les tortillas, les tamales, les atoles (gruaux épais) et autres aliments. Toutes les farines de maïs fabriquées au Mexique doivent être conformes aux spécifications du Département national des normes et règlements.

Une farine dont la teneur en humidité est comprise entre 10 et 12 pour cent est stable à l'égard de la contamination microbienne. Si sa teneur en humidité est supérieure à 12 pour cent la farine se laisse facilement attaquer par les moisissures et les levures. Quant au problème de l'attaque bactérienne, il ne se pose quasiment pas puisque le minimum d'humidité requis pour la croissance des organismes bactériens est si élevé que, pour l'atteindre, la farine serait déjà transformée en masa. Une autre caractéristique liée à la stabilité de la farine est le rancissement, qui ne pose normalement pas de problème à moins que la farine ne soit emballée à hautes températures. La farine ne commence à s'abîmer au Mexique qu'après quatre à six mois en hiver et trois mois en été. Elle est cependant, généralement vendue aux consommateurs dans les 15 jours qui suivent la vente aux détaillants et aux grossistes, sa durée de conservation étant d'un mois (Delvalle, 1972).

Les tortillas confectionnées à partir de farine de maïs traitée à la chaux peuvent être faites à la maison ou dans des établissements industriels. Si cette farine s'est révélée très commode pour les ménages et pour les établissements industriels petits ou grands, son utilisation n'est pas très répandue dans les campagnes.

Au Guatemala, on transforme chaque année environ 3 000 tonnes de maïs en farine de tortilla. Ce chiffre est sensiblement inférieur à celui que l'on observe au Mexique; la population est moins nombreuse et il existe peu de petits établissements fabriquant les tortillas. Environ 90 pour cent de la production est vendue dans les zones urbaines, la fabrication des tortillas en absorbant 75 pour cent. Parmi les autres pays où l'on produit de la farine de maïs traitée à la chaux, on peut citer le Costa Rica et les Etats-Unis. Au Costa Rica, la consommation de tortillas par habitant est d'environ 25,6 kg par an. Environ 62 pour cent de la production est commerciale, 30,6 pour cent est fabriqué à domicile avec la farine du commerce et 7,4 pour cent à domicile à partir de grain.

### Perfectionnements apportés à la cuisson à la chaux

Dans les campagnes, la méthode traditionnelle de cuisson du maïs à la chaux pour faire des tortillas prend beaucoup de temps (de 14 à 15 heures environ) et elle est très pénible. De 70 à 80 pour cent du temps est occupé par les opérations de cuisson et de trempage, ce qui d'une certaine façon peut être acceptable pour le ménage des zones rurales. Il n'empêche que la farine de tortilla instantanée offre de nombreux avantages - commodité, moindre travail, moindre consommation d'énergie - tout en permettant d'obtenir un produit sain, stable et nourrissant. Au niveau industriel ou commercial, le broyage et la déshydratation sont

d'importants éléments du coût de revient. Le maïs cuit à la chaux contient environ 56 pour cent d'humidité, pourcentage qui doit être ramené à 10-12 pour cent dans la farine. En conséquence, toute méthode qui permettrait de gagner du temps et d'abaisser le coût de revient tout en fournissant des tortillas acceptables serait à retenir.

Un certain nombre de chercheurs ont consacré des travaux à cet aspect de la question. Bressani, Castillo et Guzman (1962) ont évalué un procédé faisant appel à la cuisson sous pression à 5 et 15 livres-poids de pression par pouce carré (0,35 et 1,05 kg par centimètre carré), à l'état desséché et humide, pendant 15, 30 et 60 minutes, sans utilisation de chaux. Aucun de ces traitements n'a eu d'effet sur la composition chimique et la digestibilité des protéines vraies, mais tous ont réduit la solubilité de l'azote. La cuisson sous pression à 15 livres de pression par pouce carré (1,05 kg par centimètre carré), à l'état desséché, a réduit la qualité nutritionnelle du produit, surtout lorsqu'elle était prolongée pendant 60 minutes. La méthode de cuisson à la pression sans addition de chaux n'a pas réduit la teneur en fibres brutes, ce qui est un des effets particuliers de la chaux. tandis que la teneur en calcium était sensiblement plus faible que dans le cas de la pâte sèche (masa) préparée selon la méthode traditionnelle.

Khan et al. (1982) se sont livrés à une étude comparative de trois méthodes de cuisson à la chaux: la méthode traditionnelle, une méthode commerciale et un procédé de laboratoire faisant appel à la cuisson sous pression. Pour chacun des procédés, le maïs a été insuffisamment cuit, cuit à point et trop cuit, afin de mesurer certaines des modifications physiques et chimiques susceptibles de se produire. Si la méthode traditionnelle a entraîné

pour le grain la plus forte d'perte de matière sèche, c'est elle qui a fourni les meilleures tortillas, qu'il s'agisse de la texture, de la couleur et de l'acceptabilité. Le procédé de cuisson sous pression a fourni une pâte collante et des tortillas inacceptables. La méthode commerciale était la moins acceptable de toutes. Cette étude a permis aux auteurs de proposer une méthode d'évaluation du degré de cuisson.

Bedolla et al. ( 1983) ont essayé diverses méthodes de cuisson du maïs et du sorgho, ainsi que de mélanges des deux céréales. Parmi les méthodes expérimentées, figuraient la méthode traditionnelle, la cuisson à la vapeur expérimentée par Kahn et al. ( 1982) et une méthode faisant appel à un système de reflux (condensation). Les chercheurs ont constaté que les méthodes de cuisson influençaient sur la perte totale de matière sèche durant la transformation en tortillas.

On peut abaisser le temps de transformation en faisant varier les conditions de cuisson. C'est ainsi que Norad et al. ( 1986) ont constaté qu'une réduction du temps de cuisson de 40 pour cent pouvait être obtenue par trempage des grains avant la cuisson à la chaux. Ces études ont permis de constater que les pertes de matière sèche, l'absorption d'eau, la teneur en calcium et l'amidon augmentaient, alors que la viscosité maximale à l'amylographe diminuait à la cuisson, aussi bien dans le cas du maïs prétrempé que du maïs brut. La baisse de viscosité et l'augmentation des autres paramètres étaient plus rapides dans le cas du maïs prétrempé.

Des procédés faisant appel à la chaleur sèche ont également été étudiés. Johnson, Rooney et Khan ( 1980) ont expérimenté le procédé de micronisation pour obtenir des farines

de sorgho et de maïs La micronisation est un procédé par chaleur sèche qui fait appel des générateurs infrarouge fonctionnant au gaz. Il se produit un rapide réchauffement interne, la cuisson se faisant de l'intérieur vers l'extérieur. Les auteurs, qui ont utilisé ce procédé pour obtenir de la farine de tortilla, assurent qu'il serait plus rapide et plus économique que la méthode traditionnelle.

Molina, Letona et Bressani (1977) ont obtenu de la farine de tortilla instantanée par séchage au tambour au niveau de l'installation pilote. La farine de maïs est mélangée de l'eau raison de 3:1 avec addition de 0,3 pour cent de chaux sur la base du poids de maïs Après mélange, la pâte est passée par un séschoir double tambour chauffé la vapeur une pression de 15, 20 ou 25 livres par pouce carré ( 1,05, 1,40 ou 1,75 kg par centimètre carré), une température superficielle de 93, 99 et 104 °C et 2,3 ou 4 tours par minute. Ce procédé a permis d'obtenir une farine de tortilla instantanée aux caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques identiques à celles de l'échantillon de référence préparé par la méthode traditionnelle, mais différentes de celles d'un produit commercial.

La cuisson par extrusion a également été évaluée titre de technique supplémentaire susceptible de produire de la farine de tortilla. Au moyen d'une extrudeuse Wenger 8-5, Bazua, Guerra et Sterner( 1979) ont transformé du maïs moulu mélangé de la chaux diverses concentrations (de 0,1 à 1,0 pour cent). La pâte et les tortillas obtenues par extrusion ont été comparées aux produits obtenus par le procédé traditionnel pour leurs propriétés organoleptiques, ainsi que leur teneur en lysine, tryptophane et protéines. On n'a pas observé de différences appréciables pour des niveaux d'utilisation comparables d'hydrate de calcium. La

méthode traditionnelle tout comme le procédé par extrusion ont entraîné des pertes de tryptophane liées à la quantité de chaux ajoutée. Pour une addition de 0,2 pour cent, la perte de tryptophane était de 8 pour cent, tandis qu'avec 1 pour cent de chaux elle était de plus de 25 pour cent. Une certaine perte de lysine a également été observée. Les résultats organoleptiques indiquent qu'il devrait être possible de fabriquer des tortillas acceptables d'un point de vue culturel en remplaçant le traitement à la chaux et la chaleur par l'extrusion.

### Mais pour la confection des tortillas

La qualité du grain est une notion de plus en plus importante dans les programmes de multiplication qui cherchent à faire mieux accepter par les cultivateurs, ainsi que par les consommateurs et les industriels du secteur alimentaire, les semences génétiquement améliorées. Les caractéristiques qui font la qualité du grain comprennent le rendement, les propriétés technologiques et, lorsque c'est possible, les éléments nutritionnels. Les propriétés technologiques sont la stabilité au stockage, le rendement à la transformation en produits dans des conditions déterminées et l'acceptabilité pour le consommateur. L'aspect technologique de la qualité du maïs destiné à la confection des tortillas revêt peu d'importance pour les petits exploitants des pays les moins développés, qui n'utilisent que rarement des semences autres que celles de la récolte précédente. De plus, la ménagère des régions rurales sait adapter les conditions de la cuisson au type de maïs qu'elle utilise. Le maïs est transformé de nos jours en farine de tortilla au moyen de procédés industriels. Le grain utilisé peut provenir de plusieurs producteurs produisant différentes variétés dans des



environnements différents. Il peut présenter diverses structures ou avoir été brutalisé après la récolte, tous facteurs qui influent sur le rendement et sur les propriétés physico-chimiques, organoleptiques et culinaires du produit. Cet aspect des choses pourrait prendre une importance de plus en plus grande dans des pays comme les Etats-Unis où la tortilla de maïs est en train de devenir un aliment très populaire.

L'importance des caractéristiques physiques du maïs est apparue l'évidence il y a quelques années, lorsque Bressani, Paz y Paz et Scrimshaw ( 1958) ont montré que le rendement en matière sèche sous forme de pâte ou de farine de maïs desséchée dépendait du cultivar de maïs. Leurs études sur les foyers ruraux ont montré que les pertes de matière sèche représentaient en moyenne 17,2 pour cent pour le maïs blanc, avec une variabilité de 9,5 à 21,3 pour cent. En ce qui concerne le maïs jaune, les pertes de matière sèche représentaient en moyenne 14,1 pour cent, avec une fourchette de 8,9 à 16,7 pour cent.

Cortez et Wild-Altamirano (1972) ont procédé à une série de mesures portant sur 18 cultivars de maïs produits au Mexique. Ces mesures comprenaient le poids du grain, sa couleur et le temps de cuisson à la chaux en utilisant une méthode de cuisson normalisée avec 1,5 pour cent de chaux à 80 °C et une durée de trempage de 12 heures. L'efficacité et la durée de la cuisson ont été mesurées à la facilité d'enlèvement du tégument séminal. Les évaluations du maïs cuit ont compris la mesure du volume de 1kg de maïs, le rendement en pâte de 1kg de grains et la teneur en humidité de la pâte. Cette dernière a fait l'objet d'un complément d'évaluation consistant à mesurer sa force et l'absorption de l'eau. La pâte déshydratée a ensuite été moulue au calibre d'un tamis de 60 et évaluée sous les rapports

de l'humidité, de la couleur, du volume spécifique et autres caractéristiques physiques, au moyen d'un mixographe. Les tortillas confectionnées à partir de la pâte de chacun des échantillons de maïs ont fait alors l'objet d'une nouvelle évaluation de l'extensibilité, du volume, de la plasticité, du moelleux et de la rugosité de la surface.

Les auteurs ont tiré plusieurs conclusions de cette étude approfondie. Ce sont les variétés ou les cultivars de maïs dont le poids pour le volume était le plus important, l'albumen le plus dur, l'humidité la plus forte et la teneur en protéines la plus élevée qui permettaient d'obtenir les meilleures tortillas. Ce sont deux cultivars de maïs à éclater qui ont donné les résultats parmi les meilleurs pour les tortillas. Le mixographe de Swanson a permis d'établir des différences entre les types de maïs. La durée nécessaire à la cuisson des échantillons allait de 30 à 75 minutes, tandis que les pertes en matière sèche variaient entre 10 et 34 pour cent. Rooney et Serna-Saldivar (1987) ont constaté que le maïs à l'albumen dur ou corn exigeait un temps de cuisson plus long. Bedolla et Rooney (1984) ont indiqué que la texture de la pâte dépendait de la texture et du type d'albumen, du séchage, du stockage et de l'état du grain de maïs. Martínez-Herrera et Lachance (1979) ont établi une relation de cause à effet entre la dureté du grain et le temps nécessaire à la cuisson. Ils ont indiqué que, pour une même variété de maïs, une concentration plus forte d'hydrate de calcium diminuait logiquement le temps de cuisson. Bien plus, connaissant la dureté initiale d'une variété, il est possible de prédire le temps nécessaire pour la faire cuire. Kahn et al. (1982) et Bedolla et Rooney (1982) ont mesuré un paramètre dénommé force de cisaillement du nixtamal, qui est indicatif de la dureté du grain. Cette mesure était liée à la fois au temps de cuisson et à la méthode de transformation. Ces auteurs ont pu montrer que la mesure de la force de cisaillement du nixtamal

pourrait permettre de détecter de légers écarts entre les maïs présentant une texture similaire de l'albumen et servir à prédire le temps de cuisson optimal.

Les pertes de matière sèche résultant de la cuisson et la chaux constituent un bon indice de la qualité du maïs pour la préparation des tortillas. Jackson et al. ( 1988) ont indiqué que les pertes étaient plus grandes lorsqu'on avait affaire à des grains fendillés et brisés qu'à des grains intacts. Ils ont conclu que tout système d'évaluation du maïs en vue de la cuisson et la chaux devrait comporter des mesures des brisures, du potentiel de bris et de la plus ou moins grande facilité d'ablation du péricarpe. Il n'existe guère d'études spécifiques sur les effets du séchage et du stockage sur la qualité du maïs destiné à la fabrication des tortillas. Bressani et al. ( 1982) ont publié une communication sur le stockage du maïs QPM du point de vue de la qualité des tortillas. La variété QPM Nutricia a été entreposée dans un certain nombre de conditions données en plein champ ou en milieu rural. Les sacs de toile non traités aux insecticides permettaient l'infestation par les insectes d'où il résultait des pertes plus élevées de matière sèche et la cuisson; cependant, la qualité protéique ne s'en trouvait pas affectée.

La caractéristique la plus intéressante du procédé de transformation du maïs en tortillas est sans doute le recours à un milieu alcalin, et notamment à l'hydrate de calcium. L'addition de chaux a pour effet le plus évident de faciliter l'élimination du tégument séminal pendant la cuisson et le trempage. Selon Trejo-Gonzalez, Feria-Morales et Wild-Altamirano ( 1982), l'addition de chaux permet de maintenir un pH alcalin nécessaire à l'hydrolyse des hémicelluloses du péricarpe. L'absorption de la chaux par le grain se produit après celle de l'eau, mais à un taux inférieur à celui de l'eau. Norad et al.(1986) ont montré que le trempage des grains avant la

cuisson contribuait à augmenter leur teneur en calcium. La teneur en calcium de la mûsse dépendait des niveaux de chaux, mais aussi des températures de cuisson-trempage. Plusieurs autres auteurs (notamment Pflugfelder, Rooney et Waniska, 1988a) ont montré d'une manière ou d'une autre que l'absorption de chaux pendant la cuisson alcaline était affectée par les caractéristiques physiques et chimiques de la pâte de maïs.

Martinez-Herrera et Lachance (1979) ont constaté qu'en augmentant la concentration d'hydroxyde de calcium, on diminuait légèrement le temps de cuisson, mais que les différences n'étaient pas statistiquement significatives. Ces auteurs ont également relevé une interaction entre la variété de maïs et la concentration d'hydroxyde de calcium. Cependant, le coefficient de variation était élevé (29,1 pour cent); cela était expliqué par la variabilité inhérente aux grains des différentes variétés.

Bedolla et Rooney (1982) ont indiqué que des augmentations du temps de cuisson, de la température de cuisson, de la concentration de chaux et du temps de trempage abaissaient les viscosités maximales au visco-amylographe à 95°C comme à 50°C, ce qui a été interprété comme signifiant un degré plus élevé de gélification de l'amidon. Trejo-Gonzalez, Feria-Morales et Wild-Altamirano (1982) ont démontré que le calcium était fixé ou combiné d'une manière ou d'une autre à l'amidon du grain de maïs. Parmi les autres effets constatés, figuraient des pertes plus importantes de matières solides mesurées que l'on faisait monter les concentrations de chaux, des modifications de couleur, d'arôme et de saveur, ainsi qu'un retard dans l'apparition de l'acidité qui augmentait la durée de conservation. Lorsqu'elle est ajoutée en quantités excessives, la chaux altère les propriétés organoleptiques de

l'aliment; cet effet a été fréquemment observé dans le cas d'un maïs conservé très longtemps.

## Ogi et autres produits fermentés à base de maïs

Des bouillies acides préparées à partir de céréales sont consommées dans différentes régions du monde, notamment dans les pays en développement où il arrive qu'elles fassent partie de l'alimentation de base. On peut en citer pour exemples le pazol, fabriqué au Mexique et au Guatemala, l'ogi au Nigeria, l'uji au Kenya et le kenkey au Ghana. Ces bouillies sont généralement confectionnées à partir de maïs cru fermenté ou traité à la chaleur, encore que le sorgho et le mil soient fréquemment utilisés.

### Fabrication de l'ogi

Les recettes traditionnelles servant à la confection de l'ogi comportent un certain nombre de variantes peu importantes qui ont été décrites par différents auteurs. Traditionnellement, l'ogi est préparé par petites fournées deux ou trois fois par semaine, en fonction de la demande. Les grains propres sont mis à tremper dans l'eau pendant un à trois jours pour les attendrir. Lorsqu'ils sont tendres, ils sont broyés à lameule, pilés au mortier ou moulus au moulin électrique. Le son est tamisé et séparé de la grande eau de l'albumen. Une partie du germe est également séparée au cours de cette opération. On laisse fermenter le filtrat pendant 24 à 72 heures de manière à obtenir une pâte liquide qui, une fois bouillie, donne l'ogi. L'ogi est généralement vendu sous forme de gâteau humide enveloppé dans des feuilles,

ou il peut être dilué 8-10 pour cent de matières solides dans l'eau et préparé sous forme de bouillie, ou encore cuit jusqu'à obtention d'une consistance gélatineuse.

Akinrele (1970) a indiqué que le surissement du maïs se produisait spontanément sans inoculation ni addition d'enzymes. Il a identifié les organismes qui concourent à cette fermentation spontanée et en a étudié les effets sur la valeur nutritive de l'aliment. Parmi les moisissures, il a reconnu les espèces *Ephalosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus* et *Penicillium*, et, parmi les bactéries aérobies, les espèces *Corynebacterium* et *Aerobacter*, tandis que la principale bactérie intervenant dans la formation d'acide lactique était *Lactobacillus plantarum*. Il a également décrit des levures: *Candida mycoderma*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Rhodotorula* sp.

Bien que l'ogi soit censé avoir une teneur élevée en vitamine B, les résultats observés sont très variables, du moins en ce qui concerne la thiamine, la riboflavine et la niacine. Banigo et Muller (1972) ont identifié les acides carboxyliques de la fermentation de l'ogi. Ils ont trouvé 11 acides, dont les plus importants étaient l'acide lactique et les acides acétique et butyrique.

La préparation de l'ogi, également obtenu à partir de sorgho, de riz ou de mil, fait appel à un procédé assez complexe. Ainsi, des modes opératoires ont été mis au point pour l'étudier au laboratoire et y introduire des modifications destinées à accroître le rendement de la transformation des grains en aliment. Ces travaux ont été décrits par Akingbala, Rooney et Faubion (1981) et Akingbala et al. (1987) dont les études ont également permis d'évaluer les variations de céréales, selon leur rendement dans la fabrication de l'ogi. Les auteurs ont aussi communiqué des résultats concernant les rendements d'ogi obtenu à partir de grains de maïs

entiers et de farine usinés secs. Les valeurs observées étaient respectivement de 79,1 et 79,8 pour cent.

La fabrication commerciale de l'ogi ne diffère pas sensiblement de la méthode traditionnelle. Des modifications ont été introduites, telle que la mouture sèche du maïs destinée à obtenir une fine farine, suivie de l'inoculation du mélange farine et eau par une culture de lactobacilli et de levure. Vu l'importance que revêt l'ogi dans le régime alimentaire nigérien, une production grande échelle est tout indiquée. La matière première pourrait être séchée et emballée dans des sacs de polyéthylène qui lui confèreraient une bonne durée de conservation. La fermentation contrôlée au moyen de cultures pures pose certains problèmes. Parmi les modifications, on peut citer le séchage de la bouillie par aspersion ou le séchage au tambour.

### Autres produits fermentés à base de maïs

L'ogi porte plusieurs autres noms tels que akamu ou ekogbona, agidi et eko tutu. Tous ces aliments, de même que l'uji du Kenya et le koko du Ghana, sont à peu de chose près la même préparation avec quelques modifications concernant le grain utilisé ou le procédé de base. Dans le cas du pozol mexicain, le maïs est préparé à la chaux comme pour les tortillas. Le nixtamal maïs cuit débarrassé du tégument séminal est moulu de manière à obtenir une pâte grossière dont on fait des boulettes à la main. Ces boulettes sont ensuite enveloppées dans des feuilles de bananier pour les empêcher de sécher et laissées fermenter pendant deux ou trois jours, ou davantage si nécessaire. Les micro-organismes intervenant dans la fermentation sont nombreux.

## Arepas

Un autre aliment important préparé à partir de maïs, utilisé quotidiennement en Colombie et au Venezuela, est l'arepa. Mosqueda Suarez ( 1954) et Cuevas, Figueroa et Racca (1985) ont décrit le mode de préparation traditionnel au Venezuela. De Buckle et al. (1972) ont défini l'arepa colombien comme un pain de maïs sans levain cuit au four, de forme ronde et préparé à partir de maïs dégermé. Le maïs entier est décortiqué et dégermé dans un bol en bois appelé pilon, au moyen d'une sorte de maillet en bois à double tête. Le maïs humecté est pilé jusqu'à ce que les enveloppes et une partie du germe soient séparés de l'albumen. On élimine les enveloppes et les germes en ajoutant de l'eau au mélange qui contient l'albumen. Ce dernier est mis à cuire puis pilé au mortier de manivelle pour préparer une pâte. Des boulettes sont préparées à partir de cette pâte, puis transformées en disques plats qui sont cuits rapidement des deux côtés.

Le mode de préparation traditionnel des arepas a été sensiblement modifié par l'introduction de la farine de maïs précuite qui a réduit le temps de cuisson de 7-12 heures à 30 minutes, selon Cuevas, Figueroa et Racca ( 1985). Le procédé industriel comporte deux étapes. La première consiste à préparer un gruau de maïs en nettoyant, décortiquant et dégermant le maïs; la seconde consiste à transformer le gruau en farine précuite. On s'est efforcé de modifier encore le procédé en faisant appel à la cuisson par extrusion.

## Autres préparations à base de maïs



En Amérique latine, outre les tortillas et les arepas, il existe de nombreux autres produits à base de maïs. Certains sont des boissons telles que les colados, le pinol et le macho, qui, pour l'essentiel, sont des suspensions de farine de maïs cuite. Ces trois derniers produits ont une très faible valeur protéique. La fabrication des humitas, consommées en Bolivie et au Chili, est décrite par Camacho, Banados et Fernandez (1989). Confectionnées à partir de maïs commun ou de maïs opaque-2 immature additionné de certains autres ingrédients, les humitas sont obtenues à partir de farine de maïs précuite rappelant la masa traitée à la chaux. Parmi les autres produits, on peut citer le mote, confectionné avec du maïs cuit et du fromage, les pupusas faites de maïs traité à la chaux et de fromage, et la putasca, à base de grains de maïs traités à la chaux. À partir de maïs immature, on obtient l'atole, est à la fois sucré, sucré, et très nourrissant; Kahn et Bressani (1987) ont décrit le procédé qui consiste à moudre le maïs dans l'eau, puis à le filtrer et à le faire cuire. Le maïs immature, qu'il s'agisse de maïs commun ou d'opaque-2, ou le maïs doux font également l'objet d'une grande consommation. Chavez et Obregon (1986) ont décrit l'incorporation du gène opaque-2 dans le maïs doux pour obtenir un aliment à haute valeur nutritionnelle.

Le maïs a également servi de substrat à des boissons fermentées du type chicha. Cox et al. (1987) ont décrit la microflore de ces produits fermentés, qui font appel pour l'essentiel au même procédé de fabrication mais en utilisant des additifs différents.

## Mouture

Les grains de maïs sont transformés en denrées alimentaires et produits industriels de valeur

au moyen de deux procédés, la mouture sèche et la mouture humide. La première fournit les produits primaires: hominy, grits, semoules et farines. La seconde donne l'amidon et des produits dérivés de valeur.

## Mouture sèche

La mouture sèche du maïs telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui tire son origine des techniques mises en œuvre par les populations indigènes qui ont jadis domestiqué la plante. Le meilleur exemple en est la technique employée pour fabriquer la farine d'arepa. L'ancienne technique ne devait pas tarder à être remplacée par la meule en pierre, puis par le broyeur et, enfin, par des opérations complexes de trempage-dégermage. Les produits dérivés sont assez nombreux, leur variété dépendant dans une grande mesure de la taille des particules. Ils sont classés en hominy (gros fragments d'amande), grits (fragments moyens), semoules et farines de maïs, obtenus au moyen de tamis de calibre 3,5 à 60. Leur composition chimique a été bien établie et leurs nombreux usages comprennent la brasserie, la fabrication des aliments coupe-faim et des céréales pour le petit-déjeuner, et bien d'autres.

## Mouture humide

Dans les pays développés, comme les Etats-Unis, la plus grande partie du maïs est transformée par mouture humide pour fournir l'amidon et autres sousproduits de valeur, tels que le gluten de maïs et les farines et aliments pour animaux. L'amidon sert de matière première à une large gamme de produits alimentaires et non alimentaires. Pour l'essentiel, ce procédé utilise du maïs nettoyé qui est macéré dans l'eau dans des conditions

soigneusement déterminés afin d'attendrir les grains. Cette première opération est suivie du broyage et de la séparation des composants par tamisage, centrifugation et lavage pour extraire l'amidon de l'albumen, l'huile du germe et des produits alimentaires des résidus. L'amidon en tant que tel a des applications industrielles et sert également à produire de l'alcool et des édulcorants par hydrolyse acide ou enzymatique. Cette dernière est obtenue au moyen d'alpha-amylase, gluco-amylase, beta-amylase et pullulanase d'origine bactérienne et fongique. Il y a libération de saccharides de poids moléculaires variables qui donnent des édulcorants aux propriétés fonctionnelles différentes. C'est le cas de la dextrose liquide ou cristalline, des sirops de maïs à haute teneur en fructose, des sirops de maïs ordinaires et des maltodextrines aux nombreuses applications alimentaires.

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

---

## Modifications physiques et chimiques subies par le maïs au cours des différents procédés

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

### Maïs traité à la chaux

## Modifications chimiques

La préparation des tortillas fait appel à un procédé qui utilise l'eau, la chaleur et l'hydrate de calcium. Chacun influe sur la composition chimique du maïs ainsi traité, en déterminant des modifications de la teneur en éléments nutritifs. Ces modifications sont provoquées à la fois par les pertes physiques du grain et par des pertes chimiques. Ces dernières peuvent résulter de la destruction de certains éléments nutritifs et de la transformation chimique de certains autres.

La composition approche du maïs, des tortillas de ménage et des tortillas industrielles est reproduite au tableau 16. On y a fait apparaître les modifications de la teneur en graisses et en fibres brutes et, dans certains cas, une augmentation de la teneur en cendres. Les valeurs relatives aux tortillas, confectionnées à domicile ou dans des établissements industriels, sont comparables pour la plupart des principaux composants chimiques à l'exception des graisses, pour lesquelles les valeurs sont plus élevées dans le cas des tortillas industrielles.

## Pertes en matière sèche

A partir d'études sur la cuisson du maïs par les ménagères des zones rurales utilisant leurs propres recettes traditionnelles, Bressani, Paz y Paz et Scrimshaw (1958) ont fait état d'une perte de matières solides (17,1 pour cent pour le maïs blanc et 15,4 pour cent pour le maïs jaune) lorsque le maïs est transformé en pâte. Bedolla et Rooney (1982) ont signalé des pertes de 13,9 et 10 pour cent respectivement pour le maïs blanc et le maïs jaune avec la méthode traditionnelle, et des pertes de 7 et 5,7 pour cent par la cuisson à la vapeur. Dans le cadre

d'autres études comportant l'évaluation des variations de la technique de transformation, Kahn et al. (1982) ont observé des pertes de 7 à 9 pour cent dans le cas de la transformation commerciale, de 9 à 11 pour cent par la cuisson à la pression et de 11 à 13 pour cent avec la méthode traditionnelle. Ces auteurs ont également signalé que la perte de matière sèche augmentait avec le temps de cuisson. De même, l'intégrité des grains de maïs influe sur les pertes. Jackson et al. (1988) ont indiqué que les pertes de matière sèche en cuisson traditionnelle étaient plus élevées (de 10,8 à 12,1 pour cent) avec des brisures qu'avec des grains indemnes (de 6,3 à 8,9 pour cent). Outre l'intégrité du grain et la source de chaleur utilisée, d'autres facteurs tels que le temps de trempage influent sur les pertes en matière sèche. Une macération prolongée entraîne des pertes plus considérables qu'un trempage de brève durée. Les pertes de matière sèche d'un maïs QPM à albumen corné sont comparables à celles du maïs commun. Récemment, Bressani et al. (1990) ont fait état de pertes de 17,1 pour cent pour la variété Nutricia QPM contre 17,6 pour cent pour un maïs tropical blanc. Sproule et al. (1988) ont observé une perte de matière sèche de 9,6 pour cent pour un maïs QPM contre 10,4 pour cent pour le maïs commun.

**TABLE 16 - Composition approchée du maïs brut et des tortillas de ménage t industrielles**

Produit	Humidité	Protéines	Graisses	Cendres	Fibres brutes	Glucides	Calories
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(par 100 g)
<b>Maïs</b>							

Blanc	15,9	8,1	4,8	1,3	1,1	70,0	356
Jaune	12,2	8,4	4,5	1,1	1,3	73,9	370
Blanc	13,8	8,3		1,2			
<b>Tortillas</b>							
Blanches	47,8	5,4	1,0	0,8	0,7	44,5	204
Jaunes	47,8	5,6	1,3	0,8	0,6	44,4	212
Blanches	41,9	5,8		0,9			
Industrielles	40,5	5,8	0,9	1,1	1,4	50,3	226
Industrielles	44,0	5,3	3,4	1,2	0,7	42,8	215
Industrielles	45,2	5,2	3,1	1,4	1,1	41,1	206

Les pertes de matière sèche dépendent donc d'un certain nombre de variables telles que le type de maïs (albumen corn ou amyloac), l'intégrité des grains (grains entiers ou brisés), le mode de cuisson (traditionnel, cuisson à la vapeur, cuisson sous pression, commercial), les quantités de chaux utilisées, le temps de cuisson et le temps de trempages ainsi que d'autres opérations telles que la friction destinée à éliminer les téguments pendant le lavage des grains. Cette dernière opération élimine également d'autres parties du grain: la coiffe et peut-être l'assise aleurone et de petites quantités de germe. Paredes-Lopez et Saharopulus-Paredes ( 1983) ont fait appel à la microscopie électronique pour montrer que la surface

externe du maïs traitée la chaux présentait d'importantes détériorations structurales. Ils ont indiqué que l'assise aleurone était conservée, ainsi que certaines couches de péricarpe, et que le germe demeurait fixé à l'albumen. Gomez et al. ( 1989) ont observé que la nixtamalisation entraînait d'importantes modifications structurales du maïs. Le traitement alcalin affaiblissait les parois des cellules, facilitant ainsi l'ablation du péricarpe. Il solubilisait la paroi des cellules de l'albumen périphérique, entraînait un gonflement et une destruction partielle des granules d'amidon et modifiait l'aspect des particules de protéines. La pâte contenait des fragments de germe, le péricarpe, l'aleurone et l'albumen, ainsi que de l'amidon libre et des lipides dissous. Ainsi, une partie des modifications chimiques observées peut s'expliquer par les composés chimiques présents dans ces trois ou quatre parties du grain. La teneur en matière sèche a été analysée par Pflugfelder, Rooney et Waniska ( 1988a), qui ont observé 64 pour cent de polysaccharides non amylics (fibres), 20 pour cent d'amidon et 1,4 pour cent de protéines

### Pertes en éléments nutritifs

Les études consacrées aux pertes d'éléments nutritifs pendant la transformation du maïs tortillas sont peu nombreuses. Pourtant, cette transformation entraîne des modifications non négligeables (Cravioto et al,1945; Bressani, Paz y Paz et Scrimshaw, 1958). Des substances pouvant être extraites à l'éther sont perdues, à raison de 33 pour cent pour le maïs jaune et de 43 pour cent pour le maïs blanc. Ce fait est difficile à expliquer, mais il peut trouver une explication partielle dans la perte du péricarpe, de l'assise aleurone, de la coiffe et d'une partie du germe, parties du grain qui contiennent des substances pouvant être extraites par

l'ether. On a chiffré les pertes de fibres brutes environ 46 pour cent pour le maïs blanc et 31 pour cent pour le maïs jaune. Le traitement à la chaux 96 °C pendant environ 55 minutes hydrolyse le péricarpe, qui se détache lors du lavage, entraînant la coiffe avec lui, ce qui pourrait expliquer dans une grande mesure la perte de fibres. Les pertes d'azote s'élevaient environ 10 et 5 pour cent pour le maïs blanc et le maïs jaune, respectivement. Ces effets pourraient nouveau s'expliquer partiellement par la perte physique du péricarpe et de la coiffe. Bien qu'il arrive que les tortillas aient une humidité plus élevée, une teneur en protéines légèrement supérieure au maïs entrant dans leur composition, comme l'ont signalé différents auteurs, cela pourrait s'expliquer par un effet de concentration, puisqu'il y a perte des sucres solubles du grain. La teneur en cendres s'accroît en raison de l'absorption de la chaux, qui entraîne une augmentation sensible de la teneur en calcium (Saldana et Brown, 1984; Ranhotra, 1985). Des pertes importantes sont observées en ce qui concerne la thiamine (de 52 à 72 pour cent), la riboflavine (de 28 à 54 pour cent) et la niacine (de 28 à 36 pour cent). Dans le cas du maïs jaune, on a constaté une perte de 15 à 28 pour cent du carotène (Cravioto et al., 1945; Bressani, Paz y Paz et Scrimshaw, 1958).

*Graisses et acides gras.* Les chiffres des substances pouvant être extraites par l'ether à partir du maïs jaune (33 pour cent) et du maïs blanc (43 pour cent) transformés dans les foyers ruraux du Guatemala ont été donnés par Bressani, Paz y Paz et Scrimshaw (1958). Pflugfelder, Rooney et Waniska (1988b) ont constaté des pertes de 11,8 à 18,1 pour cent et laissent entendre qu'elles pourraient s'expliquer partiellement par le traitement thermique auquel est soumis le maïs cuit dans les établissements industriels. Sur le total des lipides de la masa, de 25 à 50 pour cent étaient libres et partiellement émulsionnés. Bedolla et al. (1983) ont relevé des valeurs



d'extraits de l'éther de 5,0, de 3,1 et de 3,6 pour cent dans le maïs cru, le maïs cuit et les tortillas respectivement soit une modification de 28 pour cent environ. Cette perte n'a pas pu être parfaitement élucidée; toutefois, elle pourrait s'expliquer par la perte du tégument séminal de la coiffe, de l'assise aleurone et, éventuellement, d'une partie du germe, ainsi que de substances solubles dans l'éther qui ne seraient pas nécessairement des graisses. Bien que les substances solubles dans l'éther se perdent au cours de la transformation du maïs en tortillas, la composition des graisses en acides gras n'est pas modifiée dans le maïs commun ou le maïs protéines de qualité, comme indiqué au tableau 17. Les écarts observés entre les échantillons de maïs cru ou transformé sont plus importants qu'entre le maïs cru et les tortillas, ce qui laisse penser que la cuisson et la chaux ne modifie pas la composition des graisses en acides gras.

**TABLEAU 17 - Teneur en acides gras du maïs commun, du maïs protéines de qualité et des tortillas (pourcentage)**

Produit	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2
maïs commun	12,89	2,92	37,08	47,10
Maïs opaque-2	15,71	3,12	36,45	43,83
Tortillas au maïs commun	13,63	2,95	37,14	45,76
Tortillas au maïs opaque-2	15,46	3,25	35,84	43,03

**Terieur en fibres.** La teneur en fibres brutes du maïs - déterminée par la méthode de l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC) diminue avec la transformation des grains en tortillas. Plusieurs chercheurs, notamment Saldana et Brown (1984), ont expliqué comment et pourquoi se produisent ces pertes. En faisant appel aux techniques modernes de détermination de la teneur en fibres, et notamment la méthode Van Soest, Reinhold et Garcia (1979) ont signalé que l'augmentation sensible de la teneur en fibres dans les tortillas (de 6,60 pour cent par la méthode de séparation acide et de 3,75 pour cent par la méthode de séparation neutre), sur la base du poids sec, était supérieure à celle observée dans la paille (respectivement de 5,97 et 2,98 pour cent en moyenne). On n'a pas relevé de différence en ce qui concerne l'hémicellulose, la paille en contenant 3,18 pour cent et les tortillas 2,89 pour cent. Par ailleurs, Bressani, Breuner et Ortiz (1989) ont trouvé, par la méthode de séparation neutre, 10,8 pour cent de fibres dans le maïs et 9 pour cent dans les tortillas. Par la méthode de séparation acide, les chiffres correspondants étaient de 2,79 et 3 pour cent respectivement. La teneur en hémicellulose était en moyenne de 8 pour cent dans le maïs et de 6 pour cent dans les tortillas, alors que les valeurs correspondantes étaient de 0,13 et 0,15 pour cent pour la lignine. On trouvera ces valeurs, avec d'autres, au tableau 18. En utilisant la méthode d'Asp et al. (1983), Acevedo et Bressani (1990) ont décelé une diminution des fibres insolubles lors du passage du maïs cru (13 pour cent) à la paille (6 pour cent) et une augmentation dans les tortillas (7 pour cent). Les fibres solubles passaient de 0,88 pour cent dans le maïs cru à 1,31 pour cent dans la paille, une nouvelle augmentation de 1,74 pour cent étant observée dans les tortillas. La diminution observée lorsqu'on passe du maïs cru à la paille s'explique par les pertes de téguments décrites précédemment. En revanche l'augmentation observée lorsqu'on passe de la paille aux tortillas pourrait s'expliquer par la réaction de brunissement

observé la cuisson des produits céréaliers (Ranhotra et Gelroth, 1988).

**TABLEAU 18 - Teneur en fibres alimentaires du maïs commun, du maïs protéines de qualité et des tortillas (pourcentage)**

Produit	Fibres alimentaires insolubles	Fibres alimentaires solubles	Fibres alimentaires totales	Méthode de séparation neutre	Méthode de séparation acide	Hemicellulose	Lignine
Mais commun brut	11,0	1,4	12,4	10,8	2,8	8,0	0,13
Tortillas au maïs commun	9,5	1,4	10,9	9,0	3,0	6,0	0,15
Mais QPM brut	13,8	1,1	14,9				
Tortillas au maïs QPM	10,3	1,9	12,2				

Autres tortillas	3.4			6,6	3,7	2,9	
Autres tortillas	41				3,8-5,0		

**TABLEAU 19 - Teneur en sels minéraux du maïs brut et d'échantillons de tortillas de ménage et industrielles (mg/100 g)**

Produit	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
Maïs	300	325	48	108	54	4,8	1,3	1,0	4,6
Tortillas de ménage 1	309	273	217	123	71	7,0	2,0	1,0	5,4
Tortillas de ménage 2			202			2,7	0,3		3,4
Tortillas de ménage 3	294		104	72		3,5	1,3		4,6
Tortillas industrielles 1	315		182	106		4,0	2,5		3,2
Tortillas industrielles 2	240	142	198	60	2	1,2	0,17	0,41	1,2
Tortillas									

industrielles 3	269	185	205	63	9	1 5	0,19	0,40	1 1
-----------------	-----	-----	-----	----	---	-----	------	------	-----

**Cendres.** Les modifications de la teneur en cendres n'ont guère retenu l'attention des chercheurs. Cependant, la plupart des observations font état d'une augmentation de la teneur totale en cendres lorsqu'on passe du maïs aux tortillas, ce à quoi on pouvait s'attendre en raison de la chaux utilisée pour la cuisson. Outre cette augmentation de la teneur en cendres, on relève une augmentation sensible de la teneur en calcium. Selon Pfulgfelder' Rooney et Waniska (1988b), la teneur de la pâte en calcium dépend des niveaux de chaux, des températures de cuisson/trempeage et des caractéristiques du maïs. Les modifications observées en ce qui concerne les autres sels minéraux sont variables et pourraient dépendre de la pureté de la chaux utilisée, ainsi que du type de matériel de broyage. Une étude (Bressani' Breuner et Ortiz, 1989; Bressani et al.. 1990) a révélé que la teneur en magnésium augmentait de 8 à 35 pour cent lorsqu'on passait du maïs à la tortilla; le sodium restait sans changement et la teneur en potassium diminuait légèrement. La teneur en fer augmentait également; toutefois, ces modifications pourraient s'expliquer par un phénomène de contamination. La teneur en phosphore augmentait également en passant du maïs à la tortilla, (tableau 19). Un facteur intéressant sur le plan nutritionnel est le fait que le rapport calcium/phosphore, qui est d'environ 1:20 dans le maïs, devient d'environ 1:1 dans la tortilla.

**Glucides.** Le maïs et les tortillas contiennent des quantités non négligeables de glucides solubles, mais on est très mal renseigné sur les modifications qu'ils subissent au cours du processus alcalin. Des pertes d'amidon d'environ 5 pour cent ont été observées; elles sont retrouvées dans les solides perdus. Une diminution du sucre, de 2,4 pour cent dans le maïs

0,34 pour cent dans les tortillas, a également été observé. Robles, Murray et Paredes-Lopez (1988) ont constaté que la cuisson et la chaux et le trempage du maïs entraînaient d'importantes augmentations de la viscosité et que le temps de cuisson avait un effet non négligeable sur les propriétés d'étalement, encore qu'il n'y eut pas de gélification importante de l'amidon. Des études calorimétriques différentielles au scanner ont donné des endothermes de gélification identiques pour le maïs non traité et les farines du type nixtamal. Plus le temps de cuisson augmente, plus l'amidon devient digestible par les enzymes amylolytiques.

*Protéines et acides aminés.* La plupart des chercheurs signalent une légère augmentation de la teneur en azote, qui s'explique par un effet de concentration. La solubilité de l'ensemble des fractions protéiques diminue lorsqu'on passe du maïs cru aux tortillas, avec augmentation de la fraction insoluble.

Bressani et Scrimshaw (1958) ont extrait l'azote du maïs cru et des tortillas avec l'eau, le chlorure de sodium, l'alcool à 70 pour cent et la soude. Dans les tortillas, la solubilité des fractions protéiques dans l'eau, le sel et l'alcool diminuait sensiblement, les protéines solubles dans l'alcool étant les plus affectées. Seule une légère diminution d'environ 13 pour cent de la solubilité de la fraction soluble dans la soude a été décélée. De ce fait, la fraction d'azote insoluble passait de 9,4 pour cent dans le maïs à 61,7 pour cent dans les tortillas.

**TABLEAU 20 Modifications des teneurs en acides aminés durant la cuisson du maïs et la chaux (g/169 N)**

Acidé aminé	Maïs	Tortilla	Maïs	Pâte	Tortilla	QPM	Pâte
Arginine	5,1	4,2	5,4	4,6	5,5	8,3	7,9
Histidine	2,7	2,4	2,9	2,8	3,5	3,9	3,8
Isoleucine	4,2	4,5	3,7	3,8	3,5	3,4	3,3
Leucine	12,2	9,6	12,6	13,4	12,1	8,3	8,3
Lysine	3,0	2,9	3,0	2,7	2,9	5,1	5,2
Méthionine	1,9	1,9	2,8	2,9	2,3	1,9	1,9
Cystine	1,0	0,9	-	-	-	-	-
Hémicystine	-	-	2,0	1,7	1,9	2,5	2,2
Phénylalanine	3,7	3,8	5,0	5,2	4,7	4,3	4,2
Tyrosine	3,8	3,8	4,5	4,6	4,4	3,8	3,7
Thraonine	3,0	3,0	3,8	3,8	3,4	3,6	3,6
Tryptophane	0,5	0,5	-	-	-	-	-
Valine	4,5	4,8	4,8	5,3	4,9	5,1	5,0
Acide glutamique	20,3	19,0	18,8	19,5	18,9	15,4	15,7
Acide aspartique	6,2	6,2	7,2	6,9	5,8	8,4	8,4
Glycine	4,8	4,8	4,0	4,3	3,5	4,7	4,6
Alanine	8,8	8,8	7,7	8,1	7,6	6,1	6,1

Sérine	4,5	4,2	5,0	5,0	4,7	4,4	4,5
Proline	11,0	10,1	9,2	10,7	8,7	7,0	7,6

Des modifications analogues ont été observées par Ortega, Villegas et Vasal ( 1986), aussi bien dans le maïs commun que dans le maïs protéines de qualité (QPM), au moyen de la technique de fractionnement des protéines de Landry-Moureaux (1970). La solubilité des zéines vraies diminuait de 58 pour cent dans les tortillas préparées à partir de maïs commun et de 52 pour cent dans les tortillas de maïs protéines de qualité. Les auteurs ont indiqué que des interactions hydrophobes auraient pu intervenir dans la modification observée en ce qui concerne la solubilité des protéines. Sproule et al. ( 1988) ont noté une diminution des albumines plus globulines, exprimées en pourcentage de l'azote total' lorsqu'on passait du maïs aux tortillas.

TABLEAU 21 - Teneur en vitamines du maïs cru et des tortillas (mg/100 g)

Produit	Thiamine	Rihoflavine	Nacine folique	Acide panto thénique	Acide	Vitamine B <sub>6</sub>	Carotène	Total caroténoïdes
Maïs cru								
Blanc	0,38	0,19	2,00					
Jaune	0,48	0,10	1,85				0,30	1,32



Blanc	0,34	0,08	1,64				0,15	
<b>Tortillas</b>								
Blanches	0,10	0,04	1,01					
Jaunes	0,11	0,05	1,01				0,12	0,41
Blanches	0,19	0,06	0,96				0,06	
Industrielles	0,13	0,08	1,11					
Industrielles	0,07	0,04	1,61	0,014	0,24	0,12		
Industrielles	0,08	0,05	2,11	0,015	0,16	0,27		

Le tableau 20 résume les modifications de la teneur en acides aminés observées lorsqu'on passe du maïs aux tortillas. Des études enzymatiques in vitro portant sur les acides aminés ont indiqué que l'azote total et l'azote alpha-aminé étaient libérés plus rapidement du maïs que des tortillas. Les valeurs de l'azote alpha-aminé libéré, exprimé en pourcentage du total de l'azote libéré, étaient plus élevées au bout de 12 heures d'hydrolyse à la pepsine pour les tortillas que pour le maïs cru. Le pourcentage d'azote alpha-aminé par rapport au total était semblable pour le maïs et les tortillas après 60 heures d'hydrolyse à la trypsine et à la pancréatine. Après 60 heures d'hydrolyse à la pepsine, à la trypsine et à la pancréatine, le pourcentage d'acides aminés libérés par les enzymes par rapport aux acides aminés hydrolysés en milieu acide indiquait une libération plus rapide à partir des tortillas que du maïs. L'information se vérifiait jusqu'à une durée de 36 heures sauf pour la leucine, la phénylalanine, le tryptophane et la valine. qui étaient libérés à peu près au même rythme.

A 60 heures d'hydrolyse, les concentrations d'acides aminés des hydrolysats de maïs et de tortilla atteignaient des niveaux comparables, sauf pour la méthionine (Bressani et Scrimshaw, 1958). Ces auteurs ont mentionné des pertes d'arginine ( 18,7 pour cent), d'histidine ( 11,7 pour cent), de lysine (5,3 pour cent), de leucine (21 pour cent), de cystine ( 12,5 pour cent) et de petites quantités d'acide glutamique, de praline et de sérine.

Sanderson et al. ( 1978) ont observé de légères pertes d'arginine et de cystine après traitement alcalin du maïs commun et du maïs à haute teneur en lysine. Ces mêmes auteurs ont détecté 0,059 g et 0,049 g de lysino-alanine par 100 g de protéines dans le maïs commun et le maïs à haute teneur en lysine. respectivement, mais n'en ont pas détecté dans le maïs cru. Dans la masa du commerce, ils ont détecté 0,020 g de lysino-alanine par 100 g de protéines, alors que dans les tortillas le niveau observé était de 0,081 g par 100 g de protéines.

En utilisant sa propre technique de chromatographie sur colonne, Lunven ( 1968 ) a observé une perte significative de lysine et de tryptophane au cours du traitement à la chaux du maïs commun. Ortega, Villegas et Vasal ( 1986) ont constaté une faible déperdition de tryptophane dans les tortillas confectionnés à partir de maïs commun ( 11 pour cent) et de maïs à protéines de qualité ( 15 pour cent). D'autre part, ils ont signalé des pertes minimales de lysine dans les deux types de maïs, du même ordre que celles précédemment indiquées. Des déperditions plus élevées des deux acides aminés ont été récemment signalées par Bressani et al. ( 1990) dans le maïs commun et le maïs à protéines de qualité (Nutricia) transformés en tortillas selon les techniques rurales. Ortega, Villegas et Vasal ( 1986) ont également indiqué que si l'on s'en rapporte à la perte très faible de lysine observée dans le

produit alcalin' des quantités minimales de lysino-alanine étaient vraisemblablement présente N dans les tortillas confectionnées à partir de maïs et de protéines de qualité utilisées pour leur étude.

**Vitamines.** Des pertes de thiamine, riboflavine, niacine et carotène se sont produites au cours de la transformation du maïs en tortillas par cuisson à la chaux. On trouvera résumées au tableau 21 un certain nombre de données sur ce sujet. La vitamine qui a surtout retenu l'attention des chercheurs était la niacine en raison de ses liens avec la pellagre. Les incidences biologiques de la cuisson à la chaux sur la disponibilité de la niacine et la pellagre sont discutées dans la section suivante.

La présente section traite des modifications de la concentration de niacine causées par la cuisson à la chaux. Bressani, Gomez-Brenes et Scrimshaw ( 1961 ) ont indiqué que le tégument séminal du maïs contenait 4,2 mg par 100 g de niacine, alors que dans le germe et l'albumen la proportion était d'environ 2 mg par 100 g. Environ 79,5 pour cent de la niacine du grain étaient fournis par l'albumen, ainsi que 10 pour cent par le germe et 10 pour cent par le tégument. Après cuisson à la chaux, l'albumen fournissait environ 68 pour cent de la niacine totale et le germe environ 5,5 pour cent. Après cuisson, 26 pour cent du total se retrouvaient dans l'eau de cuisson. Le pourcentage de niacine extrait dans l'eau à partir du grain cru représentait 68,5 pour cent du total, et 76 pour cent pour le maïs cuit à la chaux. En outre, l'hydrolyse enzymatique à la pepsine fournissait 69 pour cent de la niacine de l'ensemble des échantillons, tandis qu'après hydrolyse à la trypsine et à la pancréatine on observait des rendements de 78 et 100 pour cent de niacine, respectivement. L'interprétation donnée à cette

information était que la machine est légèrement plus disponible à partir du maïs traité que la chaux que du maïs cru.

## [Continue](#)

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

---

Disponibilité des éléments nutritifs

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Bien que la cuisson de la chaux destinée à transformer le maïs en tortillas entraîne de fortes pertes d'éléments nutritifs, le procédé détermine également d'importants changements concernant la disponibilité des éléments nutritifs.

*Calcium.* Étant donné que l'on fait appel à l'hydrate de calcium pour transformer le maïs en tortillas, la teneur en calcium du produit augmente sensiblement, jusqu'à 400 pour cent environ. Les études de biodisponibilité entreprises par Braham et Bressani (1966) sur des animaux ont montré que le calcium du maïs traité à la chaux était légèrement moins disponible (85,4 pour cent) que le calcium du lait écrémé (97 pour cent). La biodisponibilité

du calcium s'accroissait lorsque le maïs traité par la chaux était supplémenté par ses acides aminés limitants, la lysine et le tryptophane. Récemment, Poneros et Erdman ( 1988) ont pu confirmer la forte biodisponibilité du calcium des tortillas avec ou sans addition d'acide ascorbique. Comme on l'a fait observer dans une précédente section, l'emploi de l'hydrate de calcium améliore le rapport calcium/phosphore dans les tortillas, ce qui pourrait favoriser l'utilisation de l'ion calcium par l'animal. Cette observation a son importance pour les populations dont le régime alimentaire est carencé à l'égard de ce sel minéral essentiel. En outre, l'observation selon laquelle une meilleure qualité des protéines du maïs favorise la bio-utilisation du calcium n'est pas sans intérêt nutritionnel et fournit un motif supplémentaire de favoriser la production commerciale du maïs protéines de qualité pour les populations dont la nutrition dépend de cette céréale.

**Acides aminés.** Des études de Bressani et Scrimshaw ( 1958) faisant appel à des digestions enzymatiques in vitro avec la pepsine, la trypsine et la pancréatine ont révélé qu'à la fin de la digestion par la pepsine la quantité d'azote alphaaminé en pourcentage de l'azote total digéré était deux fois plus grande dans le cas de la tortilla (43,1 pour cent) que du maïs (21,4 pour cent). A la fin de la digestion par la pepsine, on trouvait des niveaux plus élevés d'histidine, isoléucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine et tryptophane dans l'hydrolysate de tortilla que dans l'hydrolysate de maïs, ce qui suggère une libération plus rapide à partir des protéines. Ces auteurs ont supposé par hypothèse que la différence du taux de libération pourrait résulter d'une diminution sensible de la solubilité de la fraction protéique prolamine dans les tortillas, par rapport au maïs. Toutefois, SernaSaldivar et al. ( 1987), qui travaillaient sur des porcs chez lesquels on avait placé une canule dans l'iléon, ont

constat qu' ce niveau de l'appareil intestinal la digestibilité de la plupart des acides aminés essentiels était légèrement plus élevée s'ils provenaient de maïs cuit l'eau que de maïs cuit la chaux. La digestibilité des protéines diminue légèrement, sans doute en raison du traitement thermique engagé (Bressani et al., 1990). D'autres chercheurs ont laissé entendre qu'au cours de la transformation du maïs, des interactions hydrophobes, une dénaturation des protéines et la réticulation des protéines seraient responsables des modifications affectant la solubilité de ces composants, ce qui pourrait avoir une influence sur la libération des acides aminés pendant la digestion enzymatique.

*Niacine.* On a affirmé que le traitement alcalin du maïs détruisait le facteur pellagragène qu'il contient. Les travaux d'un grand nombre de chercheurs permettent de penser que la pellagre résulte d'un déséquilibre des acides aminés essentiels qui accroît les besoins de l'animal en niacine. Cette question a fait l'objet d'abondantes controverses entre ceux qui affirment que la niacine du maïs est combinée et qu'elle n'est pas disponible pour l'animal et ceux qui penchent pour la théorie d'une amélioration de l'équilibre des acides aminés provoquée par la cuisson alcaline, dans la mesure où le traitement la chaux entraîne la libération de la niacine combinée. Pearson et al. ( 1957 ) ont montré que le fait de faire bouillir le maïs dans l'eau a le même effet, à savoir qu'il augmente la disponibilité de la niacine.

Bressani, Gomez-Brenes et Scrimshaw ( 1961 ) ont constaté que la digestion enzymatique in vitro libérerait l'ensemble de la niacine du maïs cru comme des tortillas, et sont parvenus à la conclusion que ce sont des différences portant sur l'équilibre des acides aminés plutôt que sur la niacine combinée qui expliquent la différence observée entre le maïs cru et le maïs cuit

la chaux en matière d'activité biologique et d'action pellagragène. Le chaulage du maïs améliore l'équilibre des acides aminés, ainsi que l'ont démontré Cravioto et al. ( 1952) et Bressani et Scrimshaw ( 1958). D'autres chercheurs ont montré que les animaux d'expérience profitent davantage lorsqu'ils sont nourris au maïs chaulé plutôt qu'au maïs cru. En se servant de chats - qui ne peuvent pas transformer le tryptophane en niacine Braham, Villareal et Bressani ( 1962) ont montré que la niacine provenant de maïs cru et de maïs chaulé était utilisée également, ce qui laissait penser que sa disponibilité ne dépend pas du procédé de transformation.

TABLEAU 22 - Qualité protéique du maïs et des tortillas

Type de maïs	Qualité protéique (CEP)		
	Mais cru	Tortillas	Caséine
Commun	1,13 ± 0,26	1,27 ± 0,27	
Commun	1,49 ± 0,23	1,55 ± 0,23	2,88 ± 0,20
QPM (opaque-2)	2,79 ± 0,24	2,66 ± 0,14	2,88 ± 0,20
Commun	1,38	1,13	2,50
Commun tropical	0,99 ± 0,25	1,41 ± 0,11	2,63 ± 0,17
Commun des hauts plateaux Xetzoc	0,96 ± 0,19	1,41 ± 0,20	2,63 ± 0,17

Commun des hauts plateaux Azotea	1,02 ± 0,19	1,41 ± 0,17	2,63 ± 0,17
Commun des hauts plateaux Sta Apolonia	0,71 ± 0,20	0,98 ± 0,17	2,63 ± 0,17
QPM Nutricita	1,91 ± 0,23	2,12 ± 0,12	2,63 ± 0,17
Valeur biologique du maïs commun	59,5	59,1	69,4
Utilisation protéique nette du maïs commun	51,2	49,4	64,5

**Fibres alimentaires.** On a pu montrer que lorsque le maïs est transformé en tortillas par cuisson à la chaux, les fibres alimentaires totales régresaient au stade de la pte et augmentaient dans la tortilla jusqu'à des niveaux qui n'étaient que légèrement inférieurs à ceux constatés dans le maïs cru. Dans ces études, les niveaux de fibres alimentaires totales dans les tortillas représentaient en moyenne 10 pour cent sur la base du poids sec. Si quelqu'un consommait environ 400 g de tortilla (poids sec), l'apport en fibres alimentaires totales serait de 40 g. soit sensiblement davantage que l'apport recommandé. Même les jeunes enfants peuvent consommer des quantités relativement importantes de fibres alimentaires, qui peuvent avoir une influence sur la disponibilité du fer. Cependant, Hazell et Johnson (1989) ont indiqué que la cuisson par extrusion de produits coupe-faim à base de maïs s'accompagnait d'une plus grande disponibilité du fer que dans le cas du maïs cru. Pour ces auteurs, le raffinage du maïs cru, la formulation du produit, la cuisson par extrusion et l'addition d'aromatizants en sont



responsables de des degrés divers. De même, l'apport en zinc pourrait s'en trouver affecté. L'autre sel minéral qui pourrait être affecté serait le calcium; toutefois, Braham et Bressani (1966) et Poneros et Erdman (1988) ont montré que le calcium des tortillas est relativement disponible et que la disponibilité s'accroît lorsqu'on améliore la qualité protéique par addition des acides aminés limitants. Ce serait un excès de calcium, plutôt que de fibres alimentaires, qui pourrait être responsable de la disponibilité du zinc, ainsi que l'ont montré un certain nombre d'études.

### Qualité des protéines du maïs et biodisponibilité des éléments nutritifs

Chez des rats en croissance, on obtient une meilleure fixation du calcium lorsqu'on le supplémente au moyen de lysine, son acide aminé limitant, ainsi que d'un mélange d'acides aminés. La qualité protéique est un facteur important de la biodisponibilité des éléments nutritifs provenant du maïs et de ses produits dérivés traités à la chaux. Comme on l'a déjà dit, la disponibilité de la niacine s'améliore également mesure que l'on améliore la qualité des protéines, des études portant sur le maïs à protéines de qualité ayant d'ailleurs donné la preuve d'une meilleure utilisation de la niacine. La même observation a été faite en ce qui concerne l'utilisation du carotène, plus élevée dans le cas du maïs jaune supplémente par la lysine que dans le produit non supplémente.

*Changements de qualité.* Les modifications de la valeur nutritionnelle, et notamment celle des protéines, au cours de la transition du maïs cru aux tortillas ont été étudiées, surtout chez les animaux. Bien que des pertes chimiques de certains éléments nutritifs se produisent au moment de la cuisson du maïs à la chaux, la qualité protéique des tortillas est légèrement

mais systématiquement supérieure à celle du maïs cru. Le tableau 22 résume les résultats de diverses études qui ont servi à évaluer le maïs cru et les tortillas préparées à partir de ce dernier. Le coefficient d'efficacité protéique des tortillas est généralement un peu supérieur à celui du maïs cru, encore que certaines études aient montré le contraire. La différence pourrait s'expliquer par les conditions de transformation, et notamment la concentration de la chaux ajoutée, plus faible dans les foyers ruraux que dans les établissements industriels. La combinaison des acides aminés des tortillas, déterminée chimiquement, n'est pas meilleure que celle du maïs cru. La seule explication est que le procédé augmente la disponibilité des acides aminés clés. On en a un exemple avec les résultats d'études sur l'alimentation de jeunes rats (Bressani, Elías et Braham, 1968). Le maïs cru comme la pâte cuite et la chaux étaient supplémentés moyennant des niveaux croissants de lysine seule (de 0 à 0,47 pour cent du régime). Le CEP atteignait son niveau maximal avec une addition de 0,31 pour cent dans le cas du maïs cru et une addition de 0,16 pour cent pour la pâte cuite et la chaux. A tous les niveaux de lysine ajoutée en supplément, la pâte présentait des valeurs de CEP plus élevées que le maïs cru.

La supplémentation par le tryptophane seul a également été expérimentée; dans ce cas, c'est une addition de 0,025 pour cent qui a fourni le CEP le plus élevé pour le maïs, avec une absence de réponse pour la pâte. L'addition des deux acides aminés à hauteur de 0,41 pour cent pour la lysine et un chiffre compris entre 0,05 et 0,15 pour cent pour le tryptophane améliore la qualité des deux produits, mais plus sensiblement celle de la pâte.

On a expliqué ces résultats par le fait que la qualité du maïs traité et la chaux est

supérieure à celle du maïs cru. Cette explication est corroborée par des études in vitro qui ont montré une plus forte libération d'acides aminés essentiels à partir des tortillas que du maïs, et cela bien que Ortega, Villegas et Vasal ( 1986) aient indiqué que la digestibilité in vitro des protéines du maïs, de la pâte et des tortillas était respectivement de 88, de 91 et de 79 pour cent. Pour le maïs et protéines de qualité, les valeurs respectives étaient de 82, de 80 et de 68 pour cent. Récemment, Serna-Saldivar et al. ( 1987) ont publié des résultats concernant la digestibilité du maïs cuit avec et sans chaux pour la matière sèche, l'énergie brute et l'azote. On n'a pas relevé de différence entre les traitements de transformation à l'égard des valeurs de digestibilité pour la matière sèche et l'énergie brute. En revanche, la cuisson du maïs et la chaux abaissait la digestibilité de l'azote de 76,5 à 72,8 pour cent. Ces valeurs ont été mesurées près de l'extrémité de l'intestin grêle des porcs. Les valeurs de la digestibilité pour la matière sèche, l'énergie brute et l'azote augmentaient lorsqu'elles étaient mesurées sur l'ensemble des voies digestives des porcs. A partir d'études de bilan azoté, les mêmes auteurs ont signalé une rétention de l'azote ingéré de 45,8 pour cent pour le maïs cuit sans chaux et de 41,2 pour cent pour le maïs cuit avec de la chaux. La rétention de l'azote absorbé était de 48,2 pour cent pour le maïs cuit et la chaux et de 52,9 pour cent pour le maïs cuit et l'eau seule. Les énergies digestibles et métabolisables étaient les mêmes pour le maïs préparé avec et sans chaux. Les auteurs en ont conclu que la cuisson et la chaux abaisse la valeur nutritive du maïs.

Dans une autre étude de Serna-Saldivar et al. ( 1988b), conduite cette fois-ci chez les rats, les auteurs ont relevé une augmentation en pourcentage des digestibilités de la matière sèche et de l'énergie brute lorsqu'on passait du maïs au nixtamal (pâte) et aux tortillas; en revanche, la

digestibilité des protéines diminuait. Les études in vitro ont confirmé les valeurs in vivo. Braham, Bressani et Guzman (1966) ont mis en évidence un gain de poids plus élevé chez les porcs Duroc-Jersey nourris au maïs traité à la chaux que chez les porcs nourris au maïs cru, avec un meilleur rendement des aliments. Dans des études sur des chiens, la lysine et le tryptophane ajoutés au maïs cuit à la chaux ont amélioré le bilan azoté, le rendant identique à la valeur obtenue avec le lait écrémé (Bressani et de Villareal, 1963; Bressani et Marenco, 1963). Il a de plus été démontré qu'après ces deux acides aminés l'isoleucine, la thréonine, la méthionine et la valine portaient la rétention azotée au-dessus des valeurs mesurées avec la lysine et le tryptophane. Le maïs traité à la chaux a également été évalué chez les enfants (voir chapitre 6). Les résultats d'études sur le bilan azoté ont montré une forte réponse à l'addition de lysine et de tryptophane, laquelle à son tour est fonction du niveau des protéines ingérées. Aux faibles niveaux, seule la lysine améliorerait la qualité, mais à mesure que s'accroissait l'azote ingéré, l'addition de tryptophane avec la lysine prenait de l'importance. Toutes les études tendent à montrer que, dans le maïs traité à la chaux, la lysine est légèrement plus déficiente que le tryptophane, et il semble que ce soit le contraire pour le maïs cru. Néanmoins, si l'on veut apporter une amélioration significative à la qualité nutritionnelle protéique du maïs traité à la chaux, ces deux acides aminés sont nécessaires.

*Utilisation du maïs à protéines de qualité.* Après cuisson à la chaux et transformation en tortillas, le maïs amélioré sur le plan nutritionnel (QPM) présente les mêmes modifications de la qualité protéique et de la biodisponibilité que le maïs normal. La seule différence est que les tortillas et produits à base de QPM sont supérieurs d'un point de vue nutritionnel aux

**produits obtenus à partir de maïs commun. Ils sont tout aussi acceptables pour les consommateurs.**

**Autres effets de la cuisson à la chaux**

***Formation de lysino-alanine.*** En 1969, De Groot et Slump ont démontré que le traitement alcalin des protéines donnait lieu à des peptides telles que la lysino-alanine, la lanthionine et l'ornithine, qui avaient des effets négatifs sur les animaux. Ces peptides n'étaient pas biologiquement disponibles et avaient des effets défavorables sur la qualité des protéines. Par conséquent, l'effet de la cuisson alcaline lors de la transformation du maïs en tortillas a retenu l'attention de plusieurs chercheurs. Sternberg, Kim et Schwende ( 1975) ont indiqué que des échantillons commerciaux de farine de masa, de tortillas et de coques de taco contenaient 480, 200 et 170 µg de lysinoalanine par gramme. Sanderson et al. ( 1978) ont également constaté qu'il y avait formation de lanthionine et d'ornithine au cours de la cuisson alcaline du maïs. Ces auteurs n'ont pas trouvé de lysino-alanine dans le maïs commun ou le maïs à haute teneur en lysine à l'état cru; toutefois, la protéine a été détectée à raison de 0,059 et de 0,049 g pour cent dans les produits dérivés du maïs traités à la chaux. Un échantillon commercial de masa contenait 0,020 pour cent et des tortillas 0,081 pour cent de la protéine. Ces auteurs ont également détecté de la lanthionine et de l'ornithine dans la masa préparée à partir des deux types de maïs. Chu, Pellet et Nawar ( 1976) ont trouvé des valeurs de 133,2 µg de lysinoalanine par gramme de protéine lorsque le maïs était préparé avec 4,1 mol par kilogramme de chaux pendant 30 minutes à 76,6 °C. L'emploi de soude dans les mêmes conditions donnait des niveaux plus élevés de lysino-alanine Etant donné que des niveaux plus

Les niveaux de lysino-alanine étaient obtenus avec NaOH et KOH, les auteurs ont suggéré que les ions de calcium pourraient, d'une certaine manière, entraver le mécanisme de formation de la lysino-alanine. Il est difficile d'évaluer la signification que revêt la formation de lysino-alanine pendant la confection des tortillas pour des personnes qui consomment chaque jour des quantités relativement importantes de cet aliment. Comme cela se pratique depuis très longtemps, les petites quantités dont il s'agit ne sauraient compromettre la valeur nutritive ni entraîner d'effets pathologiques. Des études sur l'effet du niveau de chaux sur la qualité des protéines du maïs ont montré, cependant, que des niveaux supérieurs à 0,5 pour cent du poids du grain réduisent la qualité protéique. Le type de maïs utilisé et sa taille ont leur importance de ce point de vue. Les grains plus tendres sont davantage affectés que les grains durs cuits dans les mêmes conditions (Bressani et al. données non publiées).

*Mycotexines et cuisson alcaline du maïs.* La présence de mycotoxines dans un grand nombre de céréales et autres denrées alimentaires ou aliments pour animaux est aujourd'hui largement reconnue, et le maïs ne fait pas exception. En Amérique centrale, où le maïs revêt une grande importance alimentaire, le grain est récolté deux fois par an dans les zones tropicales. L'une de ces récoltes a lieu en août, alors que les conditions idéales de pluie et de température sont réunies pour la croissance des moisissures. Martinez et al. (1970b) ont signalé la présence de six moisissures différentes dans des échantillons de maïs prélevés sur différents marchés du Guatemala. La fréquence d'*Aspergillus versicolor* était de 57,1 pour cent; celle d'*Aspergillus wentii* de 32,1 pour cent; celle d'*Aspergillus ruber* de 26,8 pour cent; celle d'*Aspergillus echinulatus* de 25 pour cent; celle d'*Aspergillus flavus* de 25 pour cent et celle de *Chaetosporium* spp. de 26,8 pour cent.

A cause de la signification que revêt la présence de mycotoxines dans les céréales, on a mené un certain nombre d'études en vue d'évaluer le degré de rétention des mycotoxines au cours de la transformation des grains. C'est ainsi que l'effet de la cuisson du maïs et la chaux a retenu l'attention. MartinezHerrera ( 1968) a nourri des poulets et des rats au maïs infecté, cru et préparé et la chaux. Le maïs a été infecté avec *Fusarium s. p.*, *Penicillium spp.*, *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus*. L'auteur a constaté une forte mortalité parmi les volailles nourries au maïs infecté cru, mais aucune dans le groupe de poulets nourris au même maïs préparé et l'hydrate de calcium.

Chez les jeunes rats, les grains crus et infectés abaissaient le gain de poids et entraînaient mortalité. En revanche, les grains infectés préparés et la chaux n'entraînaient aucune mortalité, le gain de poids ainsi que le rendement de l'aliment étaient semblables à ceux des témoins. Des rats adultes ont également été affectés par le maïs infecté, mais non par le maïs infecté préparé et la chaux. L'étude ne précise pas les niveaux de mycotoxines avant et après la cuisson.

Martinez (1979) a publié des études sur des échantillons de tortilla recueillis à Mexico à différentes époques de l'année. Il a constaté que de 15 à 20 pour cent des échantillons recueillis au printemps de 1978 et au cours de la saison des pluies de 1977-1978 contenaient des aflatoxines. De plus, il a mentionné que les concentrations d'aflatoxines B 1 variaient entre 50 et 200 ppb. Il a également indiqué que la cuisson du maïs et la chaux réduisait les concentrations d'aflatoxines de 50 à 75 pour cent. Martinez, ainsi que de Campos, CrespoSantos et Olszyna-Marzys (1980) ont indiqué que les concentrations de chaux jusqu'à 10 pour cent ne

réduisaient pas plus efficacement les aflatoxines qu'une concentration de 2 pour cent.

Ulloa-Sosa et Schrooder (1969) ont montré que la préparation des tortillas n'éliminait pas les aflatoxines du maïs contaminé. Pourtant, d'autres chercheurs ont obtenu des résultats différents. C'est ainsi que Solorzano Mendizabal (1985) a constaté que du maïs inoculé avec *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parastiticus* produisait des niveaux élevés d'aflatoxines qui étaient réduits par la cuisson à la chaux, complètement dans certains cas, mais le plus souvent jusqu'à 80 pour cent. La concentration de chaux variait entre 0,6 et 8 pour cent, et les analyses étaient pratiquées sur le maïs, la masa les tortillas et les eaux de cuisson. Dans une autre étude, de Arriola et al. (1987, 1988), qui travaillaient sur du QPM Nutricia, ont constaté que les teneurs en chaux auxquelles le nixtamal est normalement préparé au Guatemala ne réduisent pas suffisamment l'aflatoxine des grains contaminés pour les rendre propres à la consommation humaine.

Des teneurs en chaux de 2 pour cent et plus permettaient de réduire considérablement les aflatoxines, mais les tortillas n'étaient plus consommables. Ce serait l'aflatoxine B<sub>1</sub> qui subirait la réduction la plus importante. Torreblanca, Bourges et Morales (1987) ont trouvé des niveaux d'aflatoxines relativement élevés tant dans le maïs que dans les tortillas, lors d'une étude conduite au Mexique. L'aflatoxine B<sub>1</sub> a été détectée dans 72 pour cent des échantillons de tortilla de maïs analysés; de plus, 24 pour cent des échantillons réagissaient positivement à la zéaralénone. Carvajal et al. (1987) ont trouvé des mycotoxines dans le maïs et les tortillas d'échantillons mexicains et ont indiqué que les aflatoxines, la zéaralénone et le désoxyynivalénol n'étaient pas détruits par le traitement à la chaux ni par des températures



de 110°C.

Price et Jorgensen ( 1985) ont constaté que la cuisson alcaline ramenait les niveaux d'aflatoxines de 127 µg par kilogramme dans le maïs cru à 68,6 µg par kilogramme dans les tortillas. Les auteurs en ont conclu que le procédé n'était guère efficace, étant donné que la valeur la plus faible obtenue restait supérieure à la valeur tenue pour acceptable (environ 20 µg par kilogramme). Ces auteurs ont constaté que l'acidification - ainsi qu'elle se produit dans les voies intestinales - augmentait les niveaux d'aflatoxines. Abbas et al. ( 1988) ont commenté l'effet de la cuisson du maïs avec 2 pour cent de chaux sur la décomposition de la zéaralénone et du désoxynivalénone. Ils ont constaté des réductions significatives, de 58 à 100 pour cent pour la zéaralénone et de 72 à 82 pour cent pour le désoxynivalénone. En outre, l'acétyl-15 désoxynivalénone était complètement détruit.

Les résultats obtenus par les différents chercheurs ne sont pas toujours concordants, dans la mesure où plusieurs d'entre eux annoncent une réduction partielle de certaines mycotoxines, alors que d'autres font état d'une élimination totale. Dans de nombreuses études, les niveaux de mycotoxines étaient relativement élevés, ce qui nécessitait des conditions de transformation plus énergiques, qu'il s'agisse de la concentration de chaux ou du temps de cuisson. L'étude du problème mérite d'être approfondie. C'est, semble-t-il, la qualité des grains qui, de préférence aux effets partiellement destructeurs de la chaux, est la meilleure garantie de l'absence de mycotoxines dans le produit fini.

*Aspects microbiologiques des tortillas et de la farine de tortilla.* Les études sur la microflore des tortillas de maïs cuites à la chaux sont très limitées. Capparelli et Mata ( 1975) ont montré

que les principaux contaminants des tortillas, telles qu'elles sont confectionnées sur les hauts plateaux du Guatemala, sont des coliformes, *Bacillus careus*, deux espèces de *Staphylococcus* et de nombreuses sortes de levures. Lorsque les tortillas venaient d'être cuites, les numérations bactériennes étaient au plus d'environ 10<sup>3</sup> organismes par gramme, ce qui est sans danger pour le consommateur. Après avoir cuit environ cinq minutes sur une plaque chaude, elles sont placées toutes chaudes dans un panier, souvent recouvert d'un linge. Celui-ci recueille la vapeur qui s'élève des tortillas, créant ainsi un milieu favorable à la croissance microbienne. Après une dizaine d'heures dans ces conditions, la surface des tortillas empilées les unes sur les autres devient visqueuse et elles ne sont plus consommables.

Même si les occasions de contamination ne manquent pas dans les zones rurales pendant la transformation du maïs en tortillas, les facteurs qui y contribuent sans doute le plus sont l'eau utilisée lors de la transformation du maïs cuit en pâte et le moulin utilisé pour broyer le maïs cuit. Molina, Baten et Bressani (1978) ont signalé une plus forte augmentation des numérations bactériennes dans les tortillas fortifiées à la farine de soja et aux vitamines que dans les tortillas non fortifiées. Dans ce cas, le moulin utilisé pour broyer le maïs cuit en vue de préparer la pâte a été lavé à l'eau de Javel; cela a contribué à abaisser la numération bactérienne dans le maïs supplémenté au soja. Les tortillas ainsi confectionnées présentaient elles aussi une numération bactérienne plus faible. Le taux d'accroissement du nombre des bactéries a également diminué. Valverde et al. (1983) ont signalé des numérations bactériennes plus élevées dans la pâte et les tortillas confectionnées à partir de QPM Nutricia que dans le maïs commun, ce qui s'explique par l'effet de la qualité nutritionnelle sur la croissance bactérienne.

Leur teneur en humidité relativement élevée, responsable d'une durée de conservation très brève, a limité les possibilités de commercialisation des tortillas. Toutefois, une demande existe dans les zones urbaines où elles sont commercialisées à l'état réfrigéré. Un certain nombre de tentatives ont été faites en vue d'en accroître la durée de conservation. Rubio (1972a, 1972b, 1973, 1974a, 1974b, 1975) a fait breveter un certain nombre de méthodes faisant appel à divers additifs: l'épichlorohydrine et l'acide polycarboxylique et leurs anhydrides; des gels inorganiques hydrophiles; l'acide sorbique et ses sels, ainsi que les parahydroxybenzoates de méthyle, d'éthyle, de butyle et de propyle, et les acides acétique et propionique. Peleaz et Karel (1980) ont mis au point une tortilla à teneur en humidité intermédiaire à durée de conservation stable. Elle était exempte de croissance microbienne, y compris *Staphylococcus aureus*, les levures, les moisissures et les enterotoxines. Pour cela, il a été fait appel au glycérol, aux matières solides du blé DE-42 et au sel, ainsi qu'à l'agent mycostatique qui est le sorbate de potassium. La protection conférée par un emballage approprié était revendiquée pour une durée d'au moins 30 jours, tandis que l'aspect, la texture et les autres caractéristiques étaient semblables à celles des tortillas ordinaires, avec une activité de l'eau de 0,97. Hickey, Stephens et Flowers (1982) ont relevé une protection relativement bonne des tortillas moyennant de faibles concentrations de sorbates ou de propionates ajoutés à la pâte, et une pulvérisation superficielle de sorbate (des deux côtés) après cuisson sur la plaque chaude. Plus récemment, Islam, Lirio et Delvalle (1984) ont assuré que le propionate de calcium prolongeait la durée de conservation des tortillas à température ambiante jusqu'à 2 à 5 jours; avec le fumarate de diméthyle, cette durée était de 2 à 11 jours, aux mêmes conditions de stockage et en utilisant des sacs de polyéthylène. Bien que des progrès aient été accomplis en ce qui concerne le prolongement de la durée de conservation, le problème

continue [↔](#) se poser pour les gens qui s'approvisionnent dans les supermarchés [↔](#).

On ne dispose pas de travaux sur la microbiologie de la farine [↔](#) tortilla et des tortillas préparées [↔](#) partir de cette dernière. Compte tenu du procédé [↔](#) utilisé pour préparer la farine et l'utiliser [↔](#) domicile, il est néanmoins probable que les numérations bactériennes soient plus faibles.

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

---

**Ogi et autres produits fermentés base de maïs**

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

**Modifications chimiques**

Le procédé consistant à faire fermenter le maïs, le sorgho, le mil ou le riz pour produire de l'ogi n'élimine pas seulement des parties du grain de maïs telles que le tégument et le germe, mais il implique également des opérations de lavage' de tamisage et de décantation qui entraînent toutes des modifications de la composition chimique et de la valeur nutritive du produit fini. Akinrele ( 1970) a publié des travaux sur les éléments nutritifs d'un certain

nombre d'échantillons d'ogi produit de différentes manières: non fermenté, fermenté avec *Aerobacter cloacae*, *Lactobacillus plantarum* et un mélange des deux bactéries. Il a comparé les valeurs obtenues avec celles fournies par le produit fermenté selon la recette traditionnelle. Etudiant le rapport de l'azote aminé à l'azote total, cet auteur a constaté que toute espèce bactérienne dégradait les protéines jusqu'à une très faible quantité. Par comparaison avec l'ogi non fermenté, *Aerobacter cloacae* semblait synthétiser davantage la riboflavine et la niacine, ce qui ne se produisait pas avec *Lactobacillus plantarum*. L'ogi produit selon la recette traditionnelle contenait davantage de thiamine, et légèrement moins de riboflavine et de niacine que l'ogi confectionné avec du maïs et *Aerobacter cloacae*. De toute façon, il s'agissait de changements minimes, surtout en comparaison du maïs entier, alors qu'en comparaison du maïs dégermé les produits du type ogi contenaient davantage de riboflavine et de niacine. Akinrele (1970) et Banigo et Muller (1972) ont consacré des travaux aux acides carboxyliques de l'ogi et constaté que c'était l'acide lactique qui y figurait à la plus forte concentration (0,55 pour cent) suivi de l'acide acétique (0,09 pour cent) et de quantités plus faibles d'acide butyrique; ces chercheurs ont proposé, comme objectifs des évaluations aromatiques, des niveaux de 0,65 pour cent pour l'acide lactique et de 0,11 pour cent pour l'acide acétique, responsable du goût aigre. Banigo, de Man et Duitschaeffer (1974) ont publié la composition approchée de l'ogi obtenu à partir de maïs commun soit non cuit et congelé, soit cuit et congelé après fermentation. Les modifications concernant les principaux éléments nutritifs étaient relativement faibles, avec une légère augmentation de la teneur en fibres et une diminution de la teneur en cendres par rapport au maïs entier.

Ces auteurs ont également communiqué la teneur en acides aminés; ils n'ont trouvé aucune

différence entre la farine de maïs et l'ogi à l'égard de l'ensemble des acides aminés, y compris les acides aminés indispensables. Toutefois, les échantillons d'ogi présentaient environ deux fois plus de sérine et des valeurs légèrement supérieures pour l'acide glutamique. Adeniji et Potter ( 1978) ont indiqué que la préparation de l'ogi ne faisait pas diminuer la valeur protéique du maïs, mais que la lysine totale et disponible était sensiblement réduite. D'autre part, les niveaux de tryptophane étaient plus stables et même en augmentation dans deux échantillons, vraisemblablement cause de la fermentation. Ces auteurs ont également relevé une augmentation des fibres (méthode de séparation neutre) et des cendres, mais aucune modification de la lignine. Akingbala et al. ( 1987) ont observé une diminution des protéines, de l'extrait ether, des cendres et des fibres brutes dans l'ogi par rapport au maïs en grains entiers ou usiné sec.

## Modifications nutritionnelles

Il n'existe que peu d'évaluations nutritionnelles de l'ogi et autres produits fermentés à base de maïs. Adeniji et Potter ( 1978) ont constaté une réduction substantielle de la qualité protéique de l'ogi de maïs commun séché au tambour; ils l'ont attribuée au séchage. Ces mêmes auteurs ont signalé des pertes non négligeables de lysine. Plusieurs auteurs ont analysé plus récemment le maïs et le sorgho et ont affirmé que la fermentation améliorerait la qualité nutritionnelle du produit. Akinrele et Bassir (1967) ont constaté que l'utilisation protéique nette, le coefficient d'efficacité protéique et la valeur biologique de l'ogi étaient inférieurs à ces mêmes valeurs dans le maïs entier, même s'il y avait une certaine augmentation de la teneur en thiamine et en niacine. On a pu indiquer que certains des micro-

organismes responsables de la fermentation de l'ogi, tels qu'*Enterobacter cloacae* et *Lactobacillus plantarum*, utilisent pour leur croissance une partie des acides aminés. Ce fait, joint à l'élimination du germe des grains, explique la très faible qualité protéique de l'ogi et des produits à base de maïs obtenus dans des conditions analogues.

Cependant, il existe des exceptions, telles que le kenkey et le pozol, produits dans lesquels le maïs est fermenté avec le germe. Bien que l'on ne dispose pas de valeurs au sujet de la qualité protéique du kenkey, Cravioto et al. (1955) ont trouvé des niveaux plus élevés de tryptophane et de lysine disponible, ce qui évoque une qualité protéique supérieure à celle du maïs cru ou du maïs préparé à la chaux. Plus récemment, Bressani (inédit) a indiqué que le produit fermenté était supérieur au maïs cru du point de vue de la qualité protéique.

Utilisation du maïs à haute qualité protéique

Adeniji et Potter (1978) ont utilisé le maïs à haute qualité protéique pour la confection de l'ogi et ont trouvé des résultats analogues à ceux obtenus avec le maïs commun, si ce n'est que la qualité protéique était plus élevée (encore qu'inférieure à celle du maïs cru utilisé). Le pozol fabriqué avec du maïs à haute qualité protéique est sensiblement supérieur sous le rapport de la qualité protéique à ce même maïs cru (Bressani, données non publiées).

## Arepas

## Modifications chimiques

La farine arepa est obtenue à partir d'un procédé de mouture sec qui élimine le péricarpe et le germe du maïs. En conséquence, on peut s'attendre que la farine arepa diffère de la farine de maïs entier, et c'est en effet ce qu'ont signalé Cuevas et al. (1985). Les teneurs en protéines, extrait l'éther, fibres et cendres de la farine arepa obtenue à partir de maïs blanc et jaune étaient inférieures à celles du maïs entier. Il en va de même de la thiamine, de la riboflavine et de la niacine, ainsi que du calcium, du phosphore et du fer. Ces modifications résultent évidemment de la suppression du germe et du tégument séminal.

## Valeur nutritive

Chavez (1972a) a soumis la farine arepa à un titrage biologique pour en déterminer la qualité protéique. Il a fait état d'une diminution d'environ 50 pour cent de la qualité protéique entre le maïs (0,74) et l'arepa (0,33 pour cent), même s'il observait une certaine augmentation de la digestibilité des protéines.

## Utilisation du maïs à haute qualité protéique

Le maïs à haute qualité protéique a été utilisé pour confectionner des arepa. Chavez (1972b) a constaté que le procédé abaissait la teneur en azote, en lysine et en tryptophane, en thiamine et en niacine; il a attribué ces résultats à la suppression du germe. Il a également constaté une perte importante de qualité protéique par rapport au maïs entier; mais même pour une valeur moindre, la qualité protéique restait supérieure à celle du maïs commun et



des arepas obtenues à partir de ce dernier. Tous les produits - tortillas, ogi, pozol, kenkey et arepas - obtenus à partir de maïs de haute qualité protéique ont une qualité protéique et une valeur énergétique supérieures à celles des produits dérivés du maïs commun.

## Autres produits obtenus par mouture sèche

### Modifications chimiques

Les principaux produits alimentaires dérivés du maïs par mouture sèche comprennent les semoules plus ou moins fines, les flocons de maïs et la farine de maïs. Il s'agit de produits dont on a enlevé le péricarpe et le germe et qui ne diffèrent les uns des autres que par la granulométrie, les grits et flocons ayant la taille particulière la plus grande et la farine la plus faible. Pour l'essentiel, leurs compositions chimiques, basées sur les données de la composition alimentaire, sont très semblables.

### Valeur nutritive

Comme pour la plupart des dérivés du maïs usinés et secs, la qualité protéique de ces produits est inférieure à celle du grain entier utilisé pour les obtenir. S'il y a des modifications, elles proviennent des procédés utilisés pour donner à ces produits les différentes formes sous lesquelles ils sont consommés. Par exemple, selon Wolzak, Bressani et Gomez-Brenes (1981), la digestibilité des protéines de la farine de maïs serait de 86,5 pour cent et celle des flocons de maïs de 72 pour cent. On observe une diminution sensible de la qualité protéique

**dans la mesure où la lysine disponible diminue.**

**Produits à base de maïs à haute qualité protéique**

Il n'existe que peu d'études sur la mouture sèche du maïs à haute qualité protéique, et notamment sur les types à albumen corné. Wichser (1966) a observé des rendements de 8,8 pour cent de grits à partir de maïs à haute qualité protéique, alors que le rendement en grits des hybrides de maïs était d'environ 17 pour cent. Les rendements des farines étaient essentiellement les mêmes, qu'elles proviennent de maïs à haute qualité protéique ou de maïs hybride. Toutefois, les teneurs en graisses, protéines, fibres et cendres dans les grits, les céroïdes pour petits déjeuner et la farine tirés de maïs à haute qualité protéique étaient plus élevées que celles des produits comparables tirés du maïs hybride.

On est peu renseigné sur la valeur nutritionnelle des produits de mouture sèche du maïs à haute qualité protéique. Toutefois, Wichser (1966) a montré que l'albumen de maïs à haute qualité protéique avait un rapport protéique net de 76 pour cent de la valeur de la caséine (100 pour cent), tandis que l'albumen du maïs hybride avait un rapport protéique net de 47 pour cent de la valeur de la caséine. Comme l'a montré Chavez (1972a), ces résultats sont très semblables à ceux de la farine de maïs fabriquée pour la production d'arepa à partir de maïs à haute qualité protéique et de maïs commun.

## Comparaison de la valeur nutritive du maïs commun et du

# maïs haute qualité protéique

## Consommation de maïs

Sous ses différentes formes, le maïs est une denrée alimentaire importante pour de nombreuses populations du monde en développement auxquelles il fournit des quantités significatives d'éléments nutritifs, et notamment de calories et de protéines. Sa valeur nutritionnelle est particulièrement importante pour les jeunes enfants. Le tableau 23 fait apparaître la consommation de maïs sous forme de tortillas ou de maïs traité à la chaux par les enfants du Guatemala. Les quantités variaient entre 64 et 120 g par jour, fournissant environ 30 pour cent de l'apport quotidien en protéines et près de 40 pour cent de l'apport quotidien en énergie. García et Urrutia (1978) ont fait état d'une consommation de 226 g de tortillas par des enfants sevrés de trois ans, auxquels elle fournissait environ 47 pour cent de leurs calories.

Bien que ces chiffres ne soient pas fondamentalement mauvais, les aliments d'appoint convenables ne sont que rarement fournis et, lorsqu'ils le sont, ce n'est qu'en quantités insignifiantes. Les légumes secs sont les aliments d'appoint le plus facilement disponibles dans les pays en développement; or, les quantités données en supplément sont généralement très faibles (Flores, Bressani et Elias, 1973). La consommation moyenne de haricots par groupe d'âge pour les six pays d'Amérique centrale était de 7, 12, 21 et 27 g par enfant et par jour aux âges de 1, 2, 3 et 4/5 ans, respectivement. Sur la base de 22 pour cent de protéines brutes

contenues dans les haricots, les quantités des protéines apportées par cet aliment étaient de 1,5, 2,6, 4,6 et 5,9 g. respectivement; cependant, les quantités de protéines digestibles sur la base d'une digestibilité vraie de 70 pour cent n'étaient que de 1,8, 3,2 et 4,1 g. Ces chiffres représentaient environ 14, 18,22 et 30 pour cent des protéines alimentaires dans la consommation totale de maïs et de haricots. Ces quantités, et leurs effets de supplémentation, étaient extrêmement faibles, notamment dans le cas des enfants de un et deux ans.

**TABLEAU 23** Consommation de maïs et sa contribution à l'apport quotidien en calories et en protéines chez des enfants d'une région rurale du Guatemala

Age (années)	Maïs ingéré (g/jour)	Apport en protéines			Apport en calories		
		Maïs (g/jour)	Total (g/jour)	Pourcentage du total	Maïs (cal/jour)	Total (cal/jour)	Pourcentage du total
1-2	64	5,4	20,0	27	231	699	33
2-3	86	7,3	21,7	34	310	787	39
3-4	120	10,2	27,9	36	433	981	44
4-5	89	7,6	23,3	33	321	819	39

Des données en provenance de la FAO (1984) ont montré que, de 1979 à 1981, sur les 145 pays recensés, 22 disposaient d'une consommation de maïs de plus de 100 g par personne et par jour, comme indiqué au tableau 24, qui fait également apparaître les calories et les protéines fournies par le maïs. Il convient de faire observer, cependant, que les bilans alimentaires de la FAO pour les années 1960-1962 (FAO, 1966) étaient plus élevés dans certains pays que les chiffres de 1979-1981. Les chiffres confirment l'importance du maïs comme aliment de base dans certains pays d'Amérique latine, notamment le Mexique et l'Amérique centrale, ainsi que dans certains pays d'Afrique. Il s'ensuit que, si la consommation de maïs est élevée, ce dernier contribue pour une part importante à l'apport protéino-calorique quotidien des populations de ces pays.

Le tableau 25 résume l'apport en maïs, les calories et les protéines par jour parmi les populations rurales et urbaines des six pays d'Amérique centrale.

**TABLEAU 24 - Apport en maïs et sa contribution en calories et en protéines au régime alimentaire quotidien**

Pays	Apport (g/personne/jour)	Calories (par personne /jour)	Protéines (g/personne/jour)
Afrique du Sud	314,7	961	24,6
Bénin	160,5	481	12,7

Botswana	209,3	665	17,5
Cap-Vert	334,1	1 052	28,0
Egypte	149,7	508	13,4
El Salvador	245,0	871	23,3
Guatemala	276,2	977	15,4
Honduras	255,9	878	22,8
Kenya	286,1	808	21,3
Lesotho	315,4	1 002	26,4
Malawi	468,8	1 422	37,6
Mexique	328,9	1 061	27,1
Népal	116,4	379	9,4
Nicaragua.	131,0	472	11,1
Paraguay	131,2	445	11,6
Philippines	152,1	399	8,7
Roumanie	128,6	373	8,6
Singapour	122,2	345	8,6
Swaziland	381,4	1 279	33,7

Tanzanie, Rép.-Unie	129,1	421	10,0
Togo	136,9	411	10,8
Venezuela	118,3	339	7,4
Zambie	418,6	1 226	31,3
Zimbabwe	330,9	958	25,2

**TABLEAU 25 - Importance de la consommation de maïs dans les zones rurales**

Pays	Apport en maïs dans les zones urbaines (g/jour)	Apport en maïs dans les zones rurales (g/jour)	Apport en calories dans les zones rurales (par jour)		Apport en protéines dans les zones rurales (g/jour)	
			A partir du maïs	Total	A partir du maïs	Total
Costa Rica	14	41	148	1 894	3,5	54
El Salvador	166	352	1 271	2 146	29,9	68
Guatemala	102	318	1 148	1 994	27,0	60
Honduras	135	225	812	1 832	19,1	58

Nicaragua	56	131	472	1 986	11,1	64
Panama	4	4	14	2 089	0,3	60

Deux tendances se dégagent de l'évidence. La première est que l'apport en maïs diminue du nord au sud. La céréale qui le remplace est le riz. La seconde tendance est que l'apport en maïs est plus élevé dans les campagnes que dans les zones urbaines. Dans au moins trois pays, le maïs représente une proportion sensiblement plus importante de l'ensemble des aliments consommés dans le secteur rural et, par conséquent, une source importante d'éléments nutritifs du régime alimentaire. Le tableau montre que le maïs fournit respectivement jusqu'à 45 et 59 pour cent de l'apport quotidien en calories et en protéines.

Bien que ces informations aient été tirées d'enquêtes diététiques remontant à 1969, les chiffres n'ont pas sensiblement évolué ces dernières années. Par exemple, en 1976, la consommation moyenne variait en El Salvador entre 146 et 321 g par personne et par jour; au Honduras, en 1983, la consommation dans les différentes régions variait entre 111 et 246 g par personne et par jour; au Costa Rica, enfin, en 1986, l'apport variait entre 14 et 31 g par personne et par jour. Chavez (1973) a indiqué qu'au Mexique environ 45 pour cent de l'apport national en calories est fourni par le maïs. Dans les zones rurales pauvres, les hommes consomment jusqu'à 600 g de maïs environ, et les femmes 400 g. De ce point de vue, l'importance de la qualité nutritionnelle du maïs est manifestement considérable. Bien que tous les éléments nutritifs aient leur valeur, c'est la qualité des protéines qui a surtout retenu l'attention des chercheurs.

**TABLEAU 26 Bilan azoté chez des enfants nourris au maïs traité avec la chaux comme seule**



## source de protéines

Apport en protéines (g/kg/jour)	Bilan azoté (mg/kg/jour)			Pourcentage de l'apport	
	Apport	Absorbe	Fixé	Absorbé	Fixé
3	470	339	9	72	2
	(435 ? 479)	(327 ? 369)	(-8 ? 174)	(61 ? 77)	(-2 ? 36)
2	331	260	22	78	7
	(308 ? 367)	(207 ? 284)	(-41 ? 59)	(65 ? 82)	(-13 ? 17)
1.5	238	180	- 11	76	-4
	(235 ? 241)	(168 ? 193)	(-22 ? -2)	(70 ? 82)	( 9 ? 1 )

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

## Maïs commun

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

### Qualité des protéines pour les enfants

La qualité des protéines de maïs évaluée pour les enfants relevant de malnutrition protéino-calorique a été étudiée par différents chercheurs. Le tableau 26 fait apparaître les résultats de leurs travaux lorsque le maïs cuit et la chaux est supplémenté par du gluten de maïs, afin d'obtenir un produit à plus forte teneur en protéines et de permettre de renforcer l'apport protéique pour une moindre consommation d'aliments solides. Les carences en acides aminés des protéines du maïs se sont trouvées ainsi mises en évidence, ce qui a facilité leur dépistage au moyen de la technique du bilan azoté (Scrimshaw et al., 1958; Bressani et al., 1958, 1963). Comme il fallait s'y attendre, les résultats ont fait apparaître une diminution de la rétention azotée et mesure que diminuait l'apport en azote; pourtant, même pour un apport élevé en azote de 469 mg par kilogramme de poids corporel et par jour, la rétention était sensiblement inférieure à la rétention azotée obtenue à partir de lait donné en quantités fournissant le même niveau de protéines. La digestibilité apparente des protéines, exprimée en disponibilité d'azote, était sensiblement comparable pour les différents apports azotés, l'écart étant de 72 pour cent à 78 pour cent. Le tableau 27 résume des études de bilan azoté menées chez des enfants nourris au maïs cuit et l'eau. La rétention azotée à partir du maïs était sensiblement inférieure à celle du lait pour un même niveau d'apport protéique. La digestibilité des protéines était de 80 pour cent pour le lait et de 75 pour cent pour le

maïs (Viteri, Martinez et Bressani, 1972). Comme l'indique le tableau 28, des données analogues ont été obtenues avec l'albumen de maïs cuit et le maïs normal entier (Graham, Placko et Maclean, 1980). Dans ce cas, le bilan azoté était plus faible pour l'albumen de maïs commun que pour les grains entiers et inférieur aux résultats obtenus avec la caséine, protéine de référence. Graham et al. (1980) ont calculé que pour équilibrer la rétention azotée obtenue avec la caséine, il faudrait que les enfants obtiennent du maïs 203,9 pour cent de leurs besoins énergétiques, ce qui est évidemment impossible.

TABLEAU 27 - Bilan azoté chez des enfants nourris au maïs commun et au lait

Alimentation	Apport (g/kg/jour)	Apport en protéines (g/kg/jour)	Azote absorbé (g/kg/jour)	Azote fixé (g/kg/jour)	Pourcentage de l'apport d'azote absorbé	Pourcentage de l'apport d'azote fixé
Lait	195	1,25	157	75	80	38
	(175 ? 210)	(114 ? 181)	(40 ? 106)	(61 ? 47)	(22 ? 50)	
Maïs commun	192	1,25	144	30	75	16
	(183 ? 198)	(129 ? 157)	(10 ? 59)	(66 ? 20)	(5 ? 30)	

**TABLEAU 28 - Bilan azoté chez les enfants nourris aux grains entiers de maïs commun et la farine d'albumen de maïs.**

Alimentation	Azote absorbé (Pourcentage d'ingestion)	Azote fixé (Pourcentage d'ingestion)
Albumen	64,1 ± 11,4	15,1 ± 8,9
Caséine	81,8 ± 5,2	37,0 ± 14,2
Grains entiers	73,1 ± 1,9	26,8 ± 4,6
Caséine	83,5 ± 2,5	39,6 ± 9,1

**TABLEAU 29 - Effets sur la rétention azotée d'additions de lysine, de tryptophane et de méthionine au maïs préparé à la chaux (valeurs de l'azote en mg/kg/jour)**

Régime	Azote ingéré	Azote fécal	Azote urinaire	Azote absorbé	Azote fixé
Régime de base (B)	461	117	334	344	10
B + tryptophane	457	115	289	342	53
B + tryptophane + lysine	464	135	243	329	86

B + tryptophane + lysine + méthionine	459	135	272	324	52
---------------------------------------	-----	-----	-----	-----	----

Comme cela a été dit précédemment, les protéines du germe apportent effectivement une contribution importante en acides aminés indispensables, aussi les produits alimentaires à base de maïs de germes, y compris l'albumen de maïs à haute qualité protéique, sont-ils toujours plus pauvres en qualité protéique que les grains entiers. De même, un maïs à haute teneur en zéine est de moindre qualité qu'un maïs à plus faible teneur en prolamine, en raison d'une plus forte carence relative en lysine et d'un plus fort déséquilibre des acides aminés essentiels, par exemple le rapport leucine/isoleucine.

### Supplémentation en acides aminés

Ainsi que l'ont montré les études sur l'animal, il est largement admis que les protéines du maïs sont déficientes en lysine et en tryptophane. Toutefois, lors d'études chez l'enfant, on s'est attaché à comparer la teneur en acides aminés indispensables du maïs traité à la chaux supplémenté par 5 pour cent de gluten de maïs pour obtenir un produit à plus forte teneur en protéines (Scrimshaw et al., 1958; Bressani et al., 1958, 1963). Les niveaux d'acides aminés indispensables de cet aliment à base de maïs ont été comparés avec la teneur en acides aminés de la protéine de référence de la FAO (1957). Cette comparaison a fourni, par ordre d'importance, les carences suivantes en acides aminés: tryptophane, lysine, méthionine, valine, isoleucine et thréonine. Elle a aussi donné les quantités d'acides aminés nécessaires pour atteindre le niveau de référence. Des résultats représentatifs obtenus chez deux enfants nourris à raison de 3 g de protéines par kilogramme de poids corporel et par jour sont

reproduits au tableau 29. Il y a eu apparemment réaction à l'addition de 148 mg de DL-tryptophane par gramme d'azote, considérablement améliorée par l'addition simultanée de tryptophane et de lysine, cette dernière à raison de 243 mg par gramme d'azote. L'addition de méthionine a réduit la rétention azotée. Dans d'autres études, des expériences portant sur le bilan azoté ont été entreprises pour s'informer de la réponse précédemment obtenue par l'addition du tryptophane seul. Les résultats concernant deux sujets (tableau 30) montrent clairement que le tryptophane n'a en rien amélioré la qualité protéique. En revanche, l'addition de lysine a paru entraîner une réponse, ce qui laisse supposer que la lysine est un facteur plus limitant que le tryptophane. Des études analogues ont été conduites en donnant à des enfants 2 g de protéines par kilogramme de poids corporel et par jour. Les résultats concernant deux enfants sont résumés au tableau 31. L'addition de tryptophane n'a pas entraîné de rétention azotée positive, mais l'addition de tryptophane et de lysine avec et sans isoleucine a amélioré le bilan azoté. Comme cela avait été précédemment démontré, l'addition de méthionine a diminué la rétention azotée.

TABLEAU 30 - Réponse à la lysine et au tryptophane ajoutés seuls (valeurs de l'azote en mg/kg/jour)

Régime	Azote ingéré	Azote fécal	Azote urinaire	Azote absorbé	Azote fixé
Sujet no 1					
Lait	586	93	320	393	73

Régime de base	474	185	349	289	- 60
(B)					
B + tryptophane	474	108	352	366	14
B	479	111	346	368	22
B + lysine	482	120	324	362	38
<b>Sujet n°2</b>					
Lait	392	45	295	347	52
Régime de base	320	56	273	264	- 9
(B)					
B + lysine	335	54	257	285	24
B	346	63	287	283	- 4
B + tryptophane	337	52	308	285	- 23

**TABLEAU 31 - Effets sur la rétention azotée d'additions de lysine, de tryptophane, d'isoleucine et de méthionine du maïs préparé à la chaux (valeurs de l'azote en mg/kg/jour)**

Régime	Azote ingéré	Azote fécal	Azote urinaire	Azote absorbé	Azote fixé
Régime de base (B)	320	68	270	252	-18
B + tryptophane	320	91	241	229	-12

B + tryptophane + lysine	321	105	201	216	15
B + tryptophane + lysine + isoleucine	321	90	207	231	24
B + tryptophane + lysine + isoleucine + méthionine	314	84	217	230	13
B	319	98	242	221	-21

Des expériences de bilan azoté ont été conduites avec un apport protéique de 1,5 g par kilogramme de poids corporel et par jour. Les résultats concernant un enfant sont reproduits au tableau 32. Bien que l'addition de lysine n'ait pas entraîné de bilan positif, elle a effectivement eu tendance à provoquer une diminution des pertes d'azote. L'amélioration apportée par la lysine et le tryptophane, avec et sans isoleucine, est évidente. L'addition de méthionine, même à ce niveau d'ingestion de protéines, a déprimé le bilan azoté, comme précédemment démontré pour des apports de protéines plus importants.

**TABLEAU 32 - Effets de la supplémentation en acides aminés du maïs en ingestions de 1,5 g de protéines par kilogramme de poids corporel et par jour (valeurs de l'azote en mg/kg/jour)**

Traitement	Azote ingéré	Azote fécal	Azote urinaire	Azote absorbé	Azote fixé
Régime de base (B)	241	71	187	170	-17
B + lysine	239	59	184	180	-4



B + lysine	239	48	193	191	-2
B + lysine + tryptophane	239	47	162	192	30
B + lysine + tryptophane + isoleucine	240	44	150	196	46
N + lysine + tryptophane + isoleucine + méthionine	240	55	162	185	23
B	235	45	193	190	-3

Devant la cohérence des résultats, les données obtenues par niveaux protéiques pour les différents traitements diététiques ont été réunies. Les résultats sont reproduits au tableau 33. Il n'y a eu de réponse à l'addition de tryptophane qu'au niveau supérieur d'apport en protéines alimentaires, mais la réponse à la lysine a été cohérente à tous les niveaux d'ingestion de protéines, ce qui laisse supposer que cet acide aminé est plus déficient que le tryptophane. Toutefois, la réponse à l'addition de la seule lysine était faible et sans grande signification nutritionnelle, ce qui implique la nécessité d'ajouter les deux acides aminés en même temps, comme c'est le cas dans les aliments supplémentaires.

Un niveau d'azote de 239 mg par kilogramme de poids corporel et par jour équivaut à 20 g de maïs par kilogramme et par jour, soit à peu près aux 200 g de maïs normalement ingérés par les enfants. La supplémentation par la seule lysine resterait sans beaucoup d'effet. Cependant, lorsqu'on y ajoute aussi le tryptophane, la rétention azotée est sensiblement plus élevée et surpasse même celle du lait au niveau supérieur de protéines alimentaires. La

conclusion générale qui se dégage des résultats obtenus par la supplémentation du maïs en acides aminés est qu'il faut ajouter la fois lysine et tryptophane pour obtenir une réponse significative sur le plan de la qualité des protéines, mesurée en rétention azotée. Il apparaît en même temps que les deux acides aminés sont également limitants, bien que l'addition de la lysine seule ait eu tendance à améliorer légèrement la qualité protéique, alors que les résultats fournis par l'addition de tryptophane n'étaient pas significatifs.

**TABLEAU 33 - Bilan azote chez des enfants nourris au maïs préparé à la chaux à différents niveaux d'ingestion de protéines avec et sans supplémentation en acides aminés (niveaux d'azote en mg/kg/jour)**

Traitement	2,9 g de protéines/kg/jour		2,1 g de protéines/kg/jour		1,5g de protéines/kg/jour diététique	
	Apport azoté	Bilan azoté	Apport azoté	Bilan azoté	Apport azoté	Bilan azoté
Régime de base (B)	469	14	326	-5	238	-10
B + tryptophane	465	33	327	-17	-	-
B + lysine	482	38	335	24	239	-4
B + lysine	461	83	328	36	239	30

+tryptophane B + tryptophane + lysine + isoleucine	475	108	335	40	240	46
Lait	458	70	364	73	-	-

L'effet de la méthionine mérite une observation. On l'a expliqué par un déséquilibre des acides aminés, parce que le maïs contient déjà suffisamment de cet acide aminé pour satisfaire les besoins nutritionnels.

Les résultats reproduits au tableau 34 indiquent que la valine déprime elle aussi la rétention azotée et que cet effet peut être inversé par addition d'isoleucine et de thréonine. Une étude plus approfondie chez le chien a permis de conclure qu'il existe également une étroite interrelation entre ces quatre acides aminés - méthionine, valine, isoleucine et thréonine (Bressani, 1962, 1963).

**TABLEAU 34 - Effet de la supplémentation du maïs par des acides aminés multiples (valeurs de l'azote en mg/kg/jour)**

Régime	Azote ingéré	Azote fécal	Azote urinaire	Azote absorbé	Azote fixé
Régime de base(B)	471	117	315	354	39
B + lysine + tryptophane +	451	223	244	228	-16

méthionine					
B + lysine + tryptophane + méthionine + valine	454	241	242	213	-29
B + lysine + tryptophane + méthionine + valine + isoleucine	460	128	265	332	67
B + lysine + tryptophane + méthionine + valine + isoleucine + thréonine	447	190	218	257	39
B + lysine + tryptophane + méthionine + valine + isoleucine + thréonine	450	129	23e	321	83

Il est très important d'apprendre que les enfants sont sensibles à d'aussi faibles modifications des proportions des acides aminés, faciles à déceler sur une courte période par analyse du bilan azoté. Les données présentées ici montrent quel point il importe d'établir un juste équilibre entre les acides aminés essentiels si l'on veut obtenir une rétention maximale de l'azote. C'est le principe même de la supplémentation en acides aminés. Les résultats obtenus à la supplémentation du maïs en acides aminés confirment les données des études chez le rat, le porc et d'autres animaux. Les résultats des études effectuées sur des sujets humains adultes sont présentés à la section suivante.

**TABLEAU 35 Résumé des bilans azotés d'enfants nourris au lait entier et au maïs opaque-2 (valeurs de l'azote en mg/kg/jour)**

Traitement	Azote ingéré	Azote fécal	Azote urinaire	Azote absorbé	Azote fixé	Pourcentage d'azote absorbé	Pourcentage d'azote fixé
<b>1,8 g de protéines/kg/jour</b>							
Lait	277	52	157	225	68	81,2	24,5
Opaque-2	295	72	140	223	83	75,6	28,1
Lait	271	42	152	229	77	84,5	28,4
<b>1,5 g de protéines/kg/jour</b>							
Lait	187	31	88	156	68	83,4	36,4
Opaque-2	238	68	108	170	62	71,4	26,0
Lait	190	34	108	156	48	82,1	25,3

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

## Maïs haute qualité protéique

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

### Enfants

La forte consommation de maïs par la population humaine d'un certain nombre de pays d'Amérique latine et d'Afrique, ainsi que les carences bien connues en lysine et en tryptophane des protéines du maïs ont conduit les chercheurs à essayer d'obtenir un grain de maïs dont la protéine contiendrait de plus fortes concentrations de ces acides aminés indispensables. Trois faits permettaient de penser qu'il était possible d'obtenir de meilleures variétés de maïs. Le premier était que, par sélection, on pouvait augmenter la teneur en huile du grain de maïs d'environ 4 à 15 pour cent (Dudley et Lambert, 1969). Cet accroissement a été obtenu en développant la taille du germe, puisqu'il s'agit de la partie du grain où l'huile se trouve concentrée. Ces mêmes chercheurs ont montré qu'il était possible de porter la teneur totale en protéines d'environ 6 à 18 pour cent en augmentant la fraction prolamine (zéine) de l'albumen du maïs. La troisième constatation était la très grande variabilité de la teneur en lysine des différentes variétés et sélections de maïs.

La recherche d'un maïs haute qualité protéique répondant à ces conditions a abouti lorsque Mertz, Bates et Nelson (1964) ont annoncé qu'ils avaient découvert que le gène

**opaque-2 utilisé comme marqueur pour la multiplication du maïs accroissait sensiblement la teneur en lysine et en tryptophane de la protéine.**

**Les résultats des premières études sur le traitement alcalin du maïs opaque-2 (cultivé en Indiana, aux Etats-Unis, en 1965) ont montré que le procédé n'entraînait de modifications nutritionnelles significatives ni dans la pâte ni dans les tortillas, ainsi que permettaient de le conclure les données chimiques et les expériences biologiques sur le rat.**

**La qualité protéique du maïs opaque-2 préparé à la chaux a été évaluée chez les enfants au moyen de l'indice du bilan azoté (rapport entre l'absorption et la rétention de l'azote). Six enfants en bonne santé ont servi à effectuer deux études. Les résultats moyens des bilans azotés, pour un apport de 1,8 et 1,5 g de protéines par kilogramme de poids corporel et par jour sont reproduits au tableau 35. (Bressani, Alvarado et Viteri, 1969). Comme on peut le voir, il n'y avait pas de différences significatives de la rétention azotée chez les enfants recevant les régimes à base de lait et à base de maïs opaque-2 traité à la chaux lorsque le niveau de l'apport en protéines était de 1,8 g par kilogramme et par jour. Les données font apparaître des différences d'absorption de l'azote. Dans le cas du maïs opaque-2 traité, la digestibilité apparente des protéines représentait en moyenne 73,5 pour cent dans ces études. Sur la base de l'azote métabolique fécal déterminé chez les enfants, la digestibilité vraie des protéines était de 83,8 pour cent. A partir de ces résultats, on a pu conclure que les quantités de maïs opaque-2 ingérées par les enfants étaient de 16,3 et 16,7 g et de 12,9 et 14,5 g par kilogramme de poids corporel, pour obtenir 1,8 et 1,5 g de protéines par kilogramme et par jour, respectivement. Ces chiffres sont équivalents à un apport total en maïs de 140 g**

**227 g par jour, quantités semblables à celles qui sont communément ingérées par les enfants au Guatemala.**

**Au moyen des données recueillies dans le cadre de cette étude et des données relatives à l'azote endogène urinaire, on a pu calculer le rapport entre l'absorption et la rétention d'azote en provenance du lait et du maïs opaque-2. Cet indice de bilan azoté constitue une bonne approximation de la valeur biologique des protéines. L'indice a donné 0,80 pour le lait et 0,72 pour le maïs opaque-2, ce qui permet de conclure que la valeur protéique du maïs opaque-2 représente 90 pour cent de celle du lait. Lorsqu'on utilisait le chiffre correspondant à la digestibilité vraie, on a pu calculer que la valeur biologique des protéines du maïs opaque-2 était de 87,1 pour cent. Les chiffres indiquaient également qu'il fallait 90 mg d'azote absorbé à partir du maïs opaque-2 pour obtenir l'équilibre azoté.**

**Aux fins de comparaison, on a procédé au même type d'analyse pour le maïs commun chez les enfants (Scrimshaw et al., 1958; Bressani et al., 1958, 1963). Les données relatives à l'indice de bilan azoté ont été obtenues à partir de diverses études au cours desquelles des enfants recevaient un régime alimentaire dont les seules protéines étaient celles du maïs. La valeur biologique a été calculée à 32 pour cent. Ces données ont permis de démontrer une fois de plus la médiocre qualité des protéines du maïs commun.**

**La différence entre la valeur nutritive des protéines du maïs opaque-2 et celle du maïs commun apparaît clairement à la figure 2, établie à partir de données provenant des études décrites plus haut. La figure fait apparaître la rétention azotée chez des groupes d'enfants nourris exclusivement au maïs opaque-2 et celle d'autres groupes nourris au maïs**



commun, dans les deux cas différents niveaux d'ingestion de protéines. La figure fait également apparaître l'effet de supplémentation de la lysine et du tryptophane sur le maïs commun. Même pour des ingestions de 400 g ou 500 g de maïs commun, la rétention azotée reste très faible et elle tombe des niveaux plus faibles encore lorsque l'ingestion est ramenée à 200 g ou 300 g par jour. Avec l'opaque-2, au contraire, des ingestions de 140 g ou 230 g par enfant et par jour entraînent des rétentions positives excédant même celles que l'on obtient avec le maïs commun supplémenté en la lysine et au tryptophane. Cela tend à prouver qu'il pourrait être nécessaire de supplémenter le maïs commun par d'autres acides aminés pour le rendre comparable, sous le rapport de la valeur protéique, au maïs opaque-2.

La différence entre l'opaque-2, le maïs commun et ce dernier supplémenté par la lysine et le tryptophane s'explique par une meilleure combinaison spécifique d'acides aminés indispensables dans le cas du maïs opaque-2, puisque la digestibilité des trois est essentiellement la même. De plus, le maïs à haute qualité protéique a également une plus faible teneur en leucine, incriminée dans la faible valeur nutritionnelle du maïs.

### [FIGURE 2 - Rétention azotée chez des enfants nourris au lait, au maïs commun \(seul et supplémenté\) et au maïs opaque-2](#)

Les informations présentées font clairement apparaître la supériorité des protéines du maïs opaque-2 sur celles du maïs commun, fait d'une grande importance pour les populations dont le régime alimentaire habituel comporte la consommation de grandes quantités de maïs.

Dans une étude conduite par Luna-Jaspe, Parra et Serrano (1971), la rétention azotée du

maïs commun, du maïs opaque-2 colombien (ICA H208) et du lait a été comparé chez trois enfants de 24 à 29 mois, pesant de 5,9 à 10,1 kg. L'apport protéique et calorique était d'environ 1g et 100 calories par kilogramme de poids corporel et par jour. La rétention azotée était négative lorsque les enfants recevaient le maïs opaque-2. Toutefois, le maïs commun entraînait un chiffre encore plus faible ou plus négatif. Lorsqu'on a donné du lait à ces enfants, l'un d'entre eux a présenté un bilan négatif et les deux autres un bilan positif, le bilan moyen étant positif.

TABLEAU 36 - Bilans azotés comparés chez des enfants nourris au QPM et au maïs commun

Protéines	Digestibilité des protéines	Utilisation protéique nette	Valeur biologique	Rétention de la source d'azote
	(%)	(%)	(%)	(g/jour)
Caséine	98	75	77	1,81
H-208 opaque	91	89	76	1,52
H-208 cristalline	87	65	75	1,50
H-208 commun	78	36	47	0.93

Les auteurs ont indiqué que la digestibilité apparente des protéines du maïs commun était de 61,5 pour cent, celle du maïs opaque-2 de 57,9 pour cent et celle du lait de 66,4 pour cent. Ils

sont également parvenus à la conclusion que le maïs opaque-2 a une plus grande valeur nutritionnelle que le maïs commun. Ils ont cependant fait observer que son utilisation chez de jeunes enfants en rapide croissance devrait être surveillée attentivement et qu'ils ne pouvaient pas le recommander comme source principale de l'apport quotidien en protéines.

Les résultats obtenus par ces chercheurs rejoignent ceux qu'ont communiqués d'autres auteurs (Bressani, Alvarado et Viteri, 1969). Ces derniers ont constaté qu'avec 90 mg d'azote absorbé par kilogramme de poids corporel et par jour l'équilibre azoté était atteint. Les chercheurs qui ont travaillé en Colombie ont constaté que 90 mg d'azote absorbé fournissaient une rétention négative relativement faible, alors que 100 mg d'azote absorbé réalisaient l'équilibre azoté. Les différences entre les résultats n'étaient pas significatives et pouvaient s'expliquer par l'âge des enfants, plus jeunes dans le cas de l'étude colombienne et de plus faible poids corporel que les sujets utilisés lors de l'étude de 1969. Un facteur plus important était l'apport protéique moindre. En tout cas, ces données conduisent à penser qu'un apport journalier minimal d'environ 125 g de maïs opaque-2 pourrait garantir l'équilibre azoté. Or, il s'agit d'un résultat que l'on ne pourrait même pas obtenir en utilisant le double de maïs commun.

[TABLEAU 37 - Digestibilité et utilisation de l'énergie et des protéines fournies par des régimes à base de maïs commun, de maïs à haute qualité protéique et de caféine, mesurés chez six enfants en bas âge](#)

Des études similaires ont été conduites par Pradilla et al. (1973) en utilisant la même variété de maïs mais avec le gène opaque-2 (H-208 opaque). Un albumen cristallin contenant

le gène opaque-2 a également été essayé. Les résultats sont reproduits au tableau 36 où l'on peut observer des valeurs similaires pour la digestibilité, la valeur biologique et la rétention azotée pour les deux sélections de maïs contenant le gène opaque-2. Ces valeurs étaient légèrement inférieures à celles de la caséine, mais sensiblement supérieures à celles du maïs commun. Lors d'études plus récentes, Graham et al. (1989) ont procédé à une évaluation biologique du QPM Nutricia, variété de maïs qui contient le gène opaque-2. C'est un maïs à haut rendement, à albumen corné, qui contient des niveaux élevés de lysine et de tryptophane, mais moins élevés que ceux du maïs opaque-2 étudié en premier. Ces auteurs se sont servis de six enfants de sexe masculin âgés de 7,9 à 18,5 mois qui relevaient d'épisodes de malnutrition. Ces enfants ont reçu un régime à base de maïs commun et de QPM ainsi que de caséine, destinée à assurer 6,4 pour cent des calories sous forme de protéines. L'apport total en énergie était d'environ 125 kcal par kilogramme et par jour, calculé pour permettre un gain de poids et une croissance à des rythmes probablement établis. Les résultats du bilan azoté sont reproduits au tableau 37. L'absorption d'azote du maïs à haute qualité protéique et du maïs commun était de 70 et 69 pour cent respectivement, et de 82 pour cent pour la caséine. La rétention azotée exprimée en pourcentage de l'apport était de 32 pour cent pour le maïs QPM, contre 41 pour cent pour la caséine et 22 pour cent pour le maïs commun. Ces résultats, au même titre que ceux précédemment communiqués par d'autres chercheurs, confirment l'indéniable supériorité du maïs opaque-2 sur le maïs commun comme aliment de l'enfance.

**TABLEAU 38 - Bilan azoté quotidien moyen chez des adultes recevant des quantités différentes de maïs opaque-2**

Grains de maïs	Poids corporel (kg)	Azote (g)		
		Fèces	Urine	Bilan
300	64,4	1,38	4,33	0,29
250	64,6	1,23	4,63	0,07
200	64,9	1,17	4,93	-0,09
150	65,0	0,97	5,37	-0,34

Graham et al. ( 1980) et Graham, Placko et MacLean ( 1980) ont également publié les résultats d'études portant sur huit enfants mal nourris convalescents, âgés de 10 à 25 mois, nourris au maïs opaque-2, à l'albumen d'opaque-2 sucré et aux grains entiers. Les protéines devaient fournir 6,4 pour cent du total de calories protéiques, et les régimes alimentaires assuraient de 100 à 125 kcal par kilogramme de poids corporel et par jour. Les résultats ont fait apparaître une rétention apparente d'azote à partir de la farine d'albumen inférieure à celle des farines à base de grains entiers, et inférieure dans les deux cas à celle de la caséine. L'écart entre les rétentions d'azote des grains entiers et de l'albumen s'expliquait probablement par les acides aminés fournis par le germe. Au sujet des acides aminés libres plasmatiques envisagés dans les études décrites plus haut, les mêmes chercheurs ont conclu que les maïs expérimentés étaient peut-être carencés en lysine, tryptophane et isoleucine.

Les auteurs ont également indiqué que pour que les enfants puissent atteindre la rétention d'azote apportée par la caséine, supposée par hypothèse égale aux besoins, il leur faudrait obtenir 203,9, 148 ou 122,5 pour cent de leurs besoins en énergie des farines d'albumen de maïs commun, d'opaque-2 ou d'opaque-2 sugary-2, ce qui est impossible. Pour les farines entières, il leur faudrait obtenir 108,2, 90,3 ou 84,2 pour cent de leur énergie du maïs commun, du maïs opaque-2 ou du maïs sugary-2.

Des études de croissance chez des enfants nourris au maïs QPM ont été entreprises par différents chercheurs, et notamment Amorin (1972) et Valverde et al. (1981). Dans tous les cas, le maïs QPM était sensiblement supérieur au maïs commun et légèrement en dessous de la réponse de croissance observée dans le cas d'alimentation lactée.

Graham et al. (1989) ont expliqué que pour quiconque connaît les problèmes nutritionnels des enfants sevrés et des jeunes enfants des pays en développement, et sait que des millions d'entre eux tirent du maïs l'essentiel de leur énergie alimentaire, de leur azote et de leurs acides aminés essentiels, les avantages potentiels du maïs à haute qualité protéique sont énormes. Admettre que ces enfants recevront toujours le complément voulu en azote et en acides aminés est une mauvaise plaisanterie.

## Adultes

Deux études ont été publiées sur l'évaluation de la qualité protéique du maïs opaque-2 chez les adultes. Dans la première de ces études, Clark et al. (1967) ont utilisé comme sujets de deux expériences des étudiants de l'université. Le maïs utilisé était finement broyé et

renfermait le grain entier. Il contenait de 11 à 12 pour cent de protéines, 4,65 g de lysine par 16 g d'azote et 1,38 g de tryptophane par 16 g d'azote, soit des valeurs semblables à celles du maïs opaque-2 utilisés dans l'étude chez l'enfant de Bressani, Alvarado et Viteri (1969). Le maïs a été donné à raison de 300 g, 250 g, 200 g et 150 g par jour, qui fournissaient 5,58 g, 4,65 g, 3,72 g et 2,79 g d'azote par individu et par jour. Les résultats de l'une de ces expériences sont reproduits au tableau 38. Tous les individus présentaient un bilan positif lorsque l'apport était de 300 g de maïs, et tous étaient en état d'équilibre lorsqu'ils en recevaient 250 g. Lorsque l'apport était de 200 g et 150 g, le bilan était négatif. A partir de ces données, on a calculé l'équation de régression entre le bilan azoté et le maïs consommé. En moyenne, l'équilibre azoté était obtenu pour un apport de 230 g.

Les mêmes auteurs ont étudié l'effet de la supplémentation par la lysine ou le tryptophane seuls. Ils ont constaté qu'un seul sujet avait amélioré sa rétention d'azote. L'addition de méthionine n'apportait aucun changement. Cela montrait que les protéines du maïs opaque-2 n'étaient pas carencées à l'égard de ces trois acides aminés dans le cas des adultes. Des résultats analogues ont été communiqués par Clark et al. (1977) lorsque des adultes recevaient du maïs QPM et du maïs opaque-2 sugary-2.

**TABLEAU 39 - Apport en protéines et en acides aminés du maïs opaque-2 et du maïs commun nécessaire pour obtenir l'équilibre azoté (g/jour)**

	Opaque-2	Commun
Maïs	250	547

Protéines	27,9	43,8
Isoleucine	1,01	2,00
Leucine	2,70	5,60
Lysine	1,34	1,25
Méthionine	0,60	0,80
Cystine	0,55	0,56
Phénylalanine	1,33	1,96
Tyrosine	1,14	1,64
Thréonine	1,10	1,72
Tryptophane	0,39	0,26
Valine	1,54	2,20
Total pour les acides aminés	11,70	18,99

Malheureusement, il n'y a pas eu de comparaison du maïs opaque-2 et du maïs commun dans une même étude portant sur des adultes. La qualité protéique du maïs commun a, cependant, été évaluée chez les adultes par Kies, Williams et Fox (1965). Dans l'une de ces études, 10 sujets ont reçu du maïs dégermé destiné à fournir des apports en azote de 4 g. 6 a et 8 a par jour. Les résultats ont indiqué clairement que lorsque le maïs dégermé



fournissait 4 a et 6 a d'azote, le bilan azoté moyen était négatif. Lorsque l'apport était porté à 8 a d'azote par jour, le bilan devenait positif. La régression entre l'apport d'azote et l'azote fixé a été calculée. On a pu calculer à partir de l'équation qu'il fallait 6,9 a d'azote fourni par du maïs d'germe pour assurer l'équilibre azoté. Le coefficient de régression, multiplié par 100 et divisé par la digestibilité des protéines, donne la valeur biologique de ces protéines. Dans le cas présent, cette valeur était de 46,5 pour cent.

Sur la base de 8,0 a de protéines pour 100 a de maïs d'germe, un apport de 6,9 a d'azote équivaut à 539 a de maïs. Ce chiffre est proche des quantités de maïs consommées par les adultes du Mexique, du Guatemala et d'El Salvador.

Dans l'étude décrite précédemment, la lysine et le tryptophane ajoutés seuls n'ont pas apporté de changement en ce qui concerne la rétention moyenne d'azote. Lorsque ces deux acides aminés étaient ajoutés ensemble, cependant, la rétention d'azote s'accroissait - sans que cela fût nécessairement dû à la quantité plus élevée d'azote administrée avec l'addition de ces deux acides aminés. Cette possibilité peut être écartée étant donné la réponse obtenue lorsqu'on ajoutait de l'azote non spécifique. Ces données démontrent que les protéines du maïs commun sont carencées en lysine et en tryptophane pour les adultes, comme elles le sont pour les enfants (voir plus haut dans ce chapitre).

Les résultats de ces études sur l'apport d'acides aminés fourni par le maïs QPM et le maïs commun (Clark et al., 1967; Kies, Williams et Fox, 1965) sont comparés au tableau 39. Comme on l'a montré précédemment dans ce même chapitre, il faut deux fois plus de maïs commun pour obtenir l'équilibre azoté chez les adultes. Cela équivaut à un apport en protéines

environ 1,6 fois plus important dans le cas du maïs commun que dans celui du maïs opaque-2. L'ingestion d'acides aminés essentiels suit la même tendance que l'ingestion d'azote total.

En retenant une valeur biologique de 82 pour cent pour le maïs opaque2, sur les 28 acides aminés environ 23 sont fixés, ce qui est la quantité approximative (21 acides aminés) à partir du maïs commun, qui a une valeur biologique de 46,5 pour cent. Ces données font apparaître les pertes considérables d'azote qui se produisent dans le cas du maïs commun. Mis à part la lysine et le tryptophane, le maïs commun fournit une plus grande quantité d'acides aminés essentiels. Ces derniers constituent toutefois une charge dont l'organisme doit se débarrasser, charge qui est plus grande dans le cas de la leucine, de la tyrosine et de la valine. Le coût physiologique de la métabolisation de ces acides aminés superflus n'est pas connu, mais il faudrait l'estimer.

En outre, la spécificité de composition des protéines en acides aminés est déséquilibrée, ce qui pourrait être une explication supplémentaire de la médiocre valeur biologique des protéines du maïs commun. Une autre méthode d'analyse de cette ingestion consiste à l'exprimer en pourcentage de l'apport total en acides aminés, calcul qui met en relief la carence en lysine et en tryptophane du maïs commun et fait apparaître l'excès des autres acides aminés. Cette information, qu'il s'agisse d'adultes ou d'enfants, met une fois de plus en évidence l'excellente qualité des protéines du maïs opaque-2 et la médiocre qualité des protéines du maïs commun.

## Valeur bioéologique des protéines du maïs commun et du maïs à haute qualité protéique

Il n'existe pas d'études comparées directes sur la digestibilité et la valeur biologique des protéines du maïs commun et du maïs opaque-2. Pour les comparer on fera donc appel aux études sur le maïs commun de Truswell et Brock ( 1961, 1962) et celles de Young et al. ( 1971 ) sur le maïs opaque-2. Dans l'une des études conduites par Truswell et Brock (1962), les sujets d'expérience ont reçu 90 pour cent de leur apport en azote du maïs et 10 pour cent d'autres aliments. Un bilan azoté positif était atteint lorsque l'apport en azote était supérieur à 7 g par jour, encore que, comme dans les autres études, on ait observé une grande variabilité. Les auteurs ont calculé la valeur biologique, qui représentait en moyenne 45 pour cent quand le niveau d'ingestion était élevé et 57 pour cent à un niveau moins élevé d'apport en azote. La différence était attendue puisque la valeur biologique d'une protéine dépend du niveau de l'apport protéique. Comme tous les sujets d'expérience présentaient un bilan azoté positif lorsque l'apport était élevé, les auteurs en ont conclu que la valeur biologique du maïs est proche du chiffre de 57 pour cent. Des résultats analogues ont été obtenus par Young et al. ( 1971). Truswell et Brock ( 1961 ) ont également constaté que chez les adultes nourris au maïs l'addition de lysine, de tryptophane et d'isoleucine portait le bilan azoté de 0,475 à 0,953 g d'azote par jour dans une étude, et de 0,538 à 1,035 g d'azote par jour dans une seconde étude. La farine donnée aux sujets était de la farine de maïs dégermé dans laquelle les carences apparaissent davantage.

La valeur biologique des protéines du maïs opaque-2 a été étudiée par Young et al. (1971). Les protéines de l'œuf ont été utilisées comme référence, à raison d'apports de 2,64 à 3,95 g d'azote par jour. Les auteurs ont calculé la digestibilité vraie des protéines et la valeur biologique à partir de l'azote métabolique fécal et de l'azote endogène urinaire. La

digestibilité des protéines du maïs opaque-2 variait entre 67 et 106 pour cent, avec une moyenne de 92 pour cent pour les huit individus de l'étude, tandis que pour les protéines de l'œuf la variabilité était de 78 à 103 pour cent avec une moyenne de 96 pour cent. La valeur biologique moyenne du maïs opaque-2 était de 80 pour cent et celle de l'œuf de 96 pour cent.

### Signification pratique de l'évaluation des protéines du maïs opaque-2

Les résultats des études conduites chez des enfants et des adultes indiquent l'évidence la supériorité du maïs opaque-2 sur le maïs commun. Malgré cela, de tous les pays consommateurs de maïs, seuls la Colombie et le Guatemala se sont efforcés au cours de ces dernières années d'introduire ce maïs amélioré dans leurs systèmes de production agricole. Les raisons n'en apparaissent pas clairement, étant donné que les études agronomiques conduites en plusieurs endroits ont montré qu'entre le maïs à haute qualité protéique et le maïs commun il n'existe pas de différences de pratiques culturales, de rendement par unité de superficie ou de qualité physique du grain. De plus, les plantes ont le même aspect; les grains du maïs QPM sont cristallins et les rendements en grains sont comparables à ceux du maïs commun. Mais il se peut que ces acteurs revêtent davantage d'importance aux yeux des cultivateurs que les avantages nutritionnels du maïs à haute qualité protéique.

La teneur en énergie des deux types de maïs est semblable, mais la teneur en protéines du maïs QPM est mieux utilisée en raison de son meilleur équilibre des acides aminés essentiels. Cependant, la valeur protéique du maïs opaque-2 peut s'analyser selon d'autres points de vue. On pourrait utiliser les informations du tableau 39 pour se prononcer sur l'introduction des variétés de maïs opaque-2 dans les pays consommateurs de cette céréale. Il a été établi

que l'ingestion des deux types de maïs, ainsi que leur teneur en azote (protéines) sont semblables, mais que leurs pourcentages de digestibilité sont très différents: sur 48 a d'azote ingéré à partir du maïs commun, 39,4 a seulement sont absorbés et 8,6 a sont perdus dans les fèces. Dans le cas du maïs opaque-2, sur 48 a d'azote ingéré, 44,2 a sont absorbés et 3,8 a sont perdus dans les fèces.

Le fait à retenir est la valeur biologique, qui se définit comme la quantité d'azote absorbé requis pour fournir les acides aminés nécessaires aux différentes fonctions métaboliques. La valeur biologique du maïs commun est de 45 pour cent; sur 39,4 a absorbés, 17,7 a sont fixés et 21,7 a sont excrétés. Dans le cas du maïs opaque-2, la valeur biologique des protéines est de 80 pour cent; sur 44,2 a d'azote absorbé, 35,4g sont fixés et 8,8 a sont excrétés. La quantité totale d'azote perdu lorsque le maïs commun est consommé est égale à 30,3 g. alors que la perte n'est que de 12,6 g. quantité égale, dans le cas du maïs opaque-2.

En d'autres termes, 37 pour cent seulement de l'apport en maïs commun sont utilisés, contre 74 pour cent dans le maïs opaque-2. La production et la consommation de maïs à haute qualité protéique dans les pays consommateurs aurait ainsi un effet extrêmement bénéfique sur l'état nutritionnel des populations, sans compter l'aspect économique, étant donné qu'il serait fait un meilleur usage des quantités produites et consommées.

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

## Comment améliorer la valeur nutritive du maïs

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Etant donné la grande importance du maïs comme aliment de base pour des populations nombreuses, en particulier dans les pays en développement, et sa faible valeur nutritionnelle, surtout du point de vue des protéines, beaucoup de tentatives ont été faites pour améliorer l'utilisation biologique des éléments nutritifs qu'il contient. Trois approches ont été retenues: les manipulations génétiques, la transformation et la fortification. La grande variabilité de la composition chimique du maïs est abondamment attestée. Bien que le milieu naturel et les pratiques culturales puissent jouer un rôle, la variabilité des divers composants chimiques est d'origine génétique; par conséquent, ils peuvent être modifiés moyennant des manipulations appropriées. Les efforts déployés dans ce sens ont surtout porté sur la composition en glucides, la quantité et la qualité de l'huile et des protéines. Certaines tentatives se sont également orientées vers d'autres composants chimiques tels que l'acide nicotinique et les caroténoïdes. Le potentiel d'amélioration de la valeur nutritive que recèle la transformation est moins largement admis; pourtant, on en proposera ci-après quelques exemples. Enfin, on s'est efforcé de fortifier le maïs de diverses manières, et cela avec des résultats remarquables mais, malheureusement, à petite échelle. Cependant, cette méthode pourrait prendre de l'importance à l'avenir, à mesure que les populations consommeront davantage de denrées alimentaires d'origine industrielle, plus faciles à fortifier efficacement.

## Méthodes génétiques

### Glucides

Le composant qui se trouve à la plus forte concentration dans le grain de maïs est l'amidon. Étant donné que la plante accumule l'amidon dans l'albumen, sujet à influence génétique, l'amidon peut devenir une bonne source d'énergie. La quantité et la qualité de la fraction glucides peuvent être modifiées par multiplication, comme l'ont décrit Boyer et Shannon (1983) et Shannon et Garwood (1984).

On a pu montrer que le gène waxy (Wx) du maïs contrôle déterminait l'amylopectine de l'amidon de l'albumen jusqu'à 100 pour cent, avec de très faibles quantités d'amylose (Creech, 1965). Il a été établi aussi que d'autres gènes ou combinaisons de gènes étaient responsables de la composition de l'amidon dans l'albumen. Le gène amylose-extendeur (Ae) accroît la fraction amylose de l'amidon de 27 à 50 pour cent (Vineyard et al., 1958). D'autres gènes entraînent un accroissement des sucres réducteurs et du saccharose. Les gènes sugary (Su) produisent des quantités relativement importantes de polysaccharides hydrosolubles et d'amylose. Les grains de maïs contenant ce gène sont sucrés et revêtent une certaine importance pour la conserve. Leur teneur en amidon et leur qualité ont également des incidences nutritionnelles parce que certains granules d'amidon présentent une faible digestibilité, alors que d'autres ont une digestibilité élevée, comme l'ont montré Sandstead, Hites et Schroeder (1968). Ces chercheurs ont avancé l'hypothèse que les variétés de maïs à gènes waxy ou sugary pourraient offrir une meilleure valeur nutritionnelle pour les animaux

**monogastriques, en raison de la plus grande digestibilité de l'amidon qu'elles produisent.**

### **Quantité de protéines**

**Les études entreprises à l'Université d'Illinois ont montré qu'il était possible de modifier la teneur en protéines du grain de maïs par sélection. Ces études ont permis de montrer que la teneur en protéines pouvait être portée de 10,9 à 26,6 pour cent dans la souche à haute teneur en protéines (HP) après 65 générations de sélection. Dudley, Lambert et Alexander (1974) et Dudley, Lambert et de la Roche (1977) ont démontré que la teneur en protéines de lignées autofécondes standard pouvait être accrue par croisement avec la souche HP de l'Illinois puis rétrocroisement avec la lignée stable. Woodworth et Jugenheimer (1948) sont parvenus à la conclusion que la teneur totale en protéines pourrait être augmentée par sélection dans une variété pollinisée ouverte ou par croisement de lignées autofécondes standard avec une souche HP, suivi de rétrocroisement et de sélection dans des populations en disjonction.**

**La pleine expression des gènes du maïs qui contrôlent les protéines peut être atteinte avec des niveaux appropriés d'engrais azotés. Tsai, Huber et Warren (1978, 1980) et Tsai et al. (1983) ont montré que l'application d'engrais azotés sur les cultures de maïs accroissait les protéines totales par suite d'une augmentation de la teneur en prolamine. D'autres études ont montré, toutefois, que la qualité protéique des souches HP était inférieure à celle du maïs commun étant donné que l'accroissement des protéines était dû à une augmentation de la fraction prolamine. Eggert, Brinegar et Anderson (1953), qui ont fait des études sur le porc, ont montré que le maïs HP avait une moindre valeur biologique que le maïs commun,**



constatation qu'ils ont attribuée à la teneur plus élevée en prolamine du maïs HP par rapport au maïs à teneur normale en protéines. La valeur d'un grain de maïs HP dépendra de la manière dont il se comporte sur les plans agronomiques et économiques par rapport à un maïs contenant environ 10 pour cent de protéines. Les données disponibles montrent que ces types de maïs non seulement exigent davantage d'azote dans le sol, mais rendent moins que le maïs à teneur protéique normale.

### Qualité des protéines

La faible qualité protéique du maïs s'explique avant tout par la carence en protéines des acides aminés indispensables que sont la lysine et le tryptophane. Pourtant, une certaine variabilité de la teneur de ces deux acides aminés a pu être mise en évidence (Bressani, Arroyave et Scrimshaw, 1953; Bressani et al., 1960). Dès 1949, Frey, Brimhall et Sprague ont pu mettre en évidence la variabilité génétique à l'égard de la teneur en tryptophane dans un croisement entre les souches Illinois à haute comme à faible valeur protéique, ainsi que dans les hybrides. Une expérimentation biologique dans laquelle des souches de maïs fournissaient un même niveau de protéines dans l'alimentation, a également fait apparaître une certaine variabilité.

L'ensemble de ces données tend à montrer qu'il est possible d'améliorer la qualité des variétés de maïs. Mertz, Bates et Nelson (1964) ont constaté que le gène opaque-2 augmentait sensiblement la teneur en lysine et en tryptophane de l'albumen du maïs. Ce gène abaissait également le niveau de leucine, ce qui donnait un meilleur rapport leucine/isoleucine. En 1965, Nelson, Mertz et Bates ont montré que le gène floury-2, s'il est homozygote, peut

également accroître les teneurs du maïs en lysine et en tryptophane. Les recherches du Centre international d'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) ont permis d'obtenir des lignées de maïs QPM qui, d'un point de vue agronomique, se comportent comme le maïs commun. Comme indiqué ailleurs dans cet ouvrage, la qualité protéique de ces maïs est sensiblement supérieure à celle du maïs commun, ainsi que l'a démontré l'expérimentation chez l'homme.

Bien que ces maïs soient disponibles, il a été difficile de les cultiver à échelle commerciale, alors même que les bénéfices en attendre pour des populations consommant de grandes quantités de maïs seraient considérables.

## Huile

Les études génétiques ont également révélé que la teneur en huile du maïs est soumise à l'influence génétique, avec de fréquentes variations, bien que le milieu et les pratiques agronomiques puissent influencer sur la composition en acides gras (Jellum et Marion, 1966; Leibovits et Ruckenstein, 1983). En ce qui concerne la teneur en protéines, la sélection de masse sur 65 ans a permis de porter la teneur en huile de 4,7 à 16,5 pour cent. Pour cela, on a procédé à des augmentations de la taille du germe. Le problème que posent les variétés à forte teneur en huile reste leur faible rendement, encore que l'on ait indiqué que des variétés contenant de 7 à 8 pour cent d'huile rendaient autant que des variétés à plus faible teneur en huile. Outre la teneur totale en huile, certaines études ont montré que la teneur en acides gras peut également être déterminée génétiquement, comme en témoignent des modifications de la teneur en acide linoléique de l'huile de maïs. Poneleit et Alexander (

1965) ont proposé l'explication d'un gène unique ou d'un gène unique plus modificateur. D'autres chercheurs ont proposé un système d'héritage à gènes multiples. On a constaté que la composition en acides gras de l'huile de maïs à haute qualité protéique était similaire à celle du maïs commun.

### Autres éléments nutritifs

A cause de l'association de la consommation de maïs avec la pellagre et de la faible disponibilité de l'acide nicotinique dans le maïs, on s'est efforcé d'accroître la teneur du maïs en niacine par des moyens génétiques. Pour 22 variétés semées en un même endroit, la variabilité allait de 1,25 à 2,6 mg par 100 a (Aguirre, Bressani et Scrimshaw, 1953). Le problème que pose la niacine du maïs et des autres céréales est qu'elle n'est pas disponible pour l'organisme animal.

L'autre élément nutritif qui a retenu l'attention est le carotène, précurseur de la vitamine A. Les résultats obtenus par certains chercheurs ont mis en évidence une variation de l'activité en vitamine A du maïs jaune, allant de 1,52 à 2,58 µg par gramme. La cryptoxanthine assurait de 38,3 à 57,3 pour cent de l'activité totale, le solde étant fourni par le bêta-carotène (Squibb, Bressani et Scrimshaw, 1957). D'autres chercheurs ont indiqué que l'activité de la provitamine A serait déterminée génétiquement dans le grain de maïs.

### Transformation

Le plus souvent, la transformation des produits alimentaires stabilise les éléments nutritifs, mais des pertes peuvent se produire lorsque les conditions optimales sont dépassées. Toutefois, il existe des cas où la transformation entraîne des modifications bénéfiques. L'élimination des facteurs antiphysiologiques des haricots en est l'exemple classique.

### Cuisson à la chaux

La cuisson à la chaux du maïs, décrite au chapitre 4, entraîne quelques pertes d'éléments nutritifs, mais elle est également l'origine de certaines modifications nutritionnelles importantes. Ses effets sur la teneur en calcium, en acides aminés et en niacine ont été décrits au chapitre 3.

### Autres procédés

Outre la cuisson à la chaux, d'autres procédés amélioreraient la qualité du maïs. L'un de ces procédés est la fermentation naturelle du maïs cuit, qui se traduit par une élévation de la concentration en vitamine B et de la qualité protéique (Wang et Fields, 1978). C'est ainsi qu'on a pu montrer que le pozol aliment préparé à partir de maïs traité à la chaux qu'on laisse fermenter naturellement - avait une qualité supérieure au maïs cru ou aux tortillas. On a également signalé que la germination du grain améliorerait la valeur nutritionnelle du maïs en élevant la teneur en lysine et en tryptophane (Tsai, Dalby et Jones, 1975; Martinez, Gomez-Brenes et Bressani, 1980) et en abaissant la teneur en zéine. Un résultat comparable a été obtenu avec le maïs à haute qualité protéique.

## Fortification

Un troisième moyen auquel on a fréquemment recours pour améliorer la valeur nutritive des produits alimentaires, et notamment des céréales, est la fortification. Étant donné les importantes limitations nutritionnelles du maïs, de nombreux efforts ont été consacrés à l'amélioration de sa qualité, et surtout de celle de ses protéines, grâce à l'addition d'acides aminés ou de sources de protéines riches en acides aminés limitants.

### Supplémentation par les acides aminés

On a pu montrer que les protéines du maïs cru étaient pauvres en valeur nutritive à cause des carences en lysine et en tryptophane, deux acides aminés indispensables. De nombreuses études sur l'animal ont démontré que l'addition de l'un et l'autre acides aminés améliore la qualité des protéines. Certains chercheurs ont même constaté qu'outre la carence en lysine et en tryptophane il y a également carence en isoleucine, peut-être par suite d'un excès de leucine dans les protéines du maïs (Rosenberg, Rohdenburg et Eckert, 1960). Des résultats analogues ont été fournis par des études sur l'animal lorsque le maïs traité à la chaux était supplémenté par la lysine et le tryptophane (Bressani, Elías et Braham, 1968). Ces résultats ont été confirmés lors d'études sur le bilan azoté faites sur des enfants, comme indiqué au chapitre 6. (Le tableau 32 reproduit un certain nombre de ces résultats.) On n'a pas toujours tenu suffisamment compte de la constatation que l'addition de lysine et de tryptophane aux niveaux inférieurs d'ingestion de protéines donnait une rétention d'azote sensiblement supérieure à celle que donnaient les niveaux supérieurs d'ingestion des protéines,

**l'importance de la qualité des protéines étant quelque peu obscurcie par celle de l'apport en énergie.**

**TABLEAU 40 - Niveaux recommandés de concentrations de protéines destinés à améliorer la qualité protéique du maïs traité à la chaux**

Source de protéines	Niveau recommandé (%)	Coefficient d'efficacité protéique
Néant		1,00
Caséine	4,0	2,24
Concentré de protéines de poisson	2,5	2,44
Isolat de protéines de soja	5,0	2,30
Farine de soja	8,0	2,25
Levure de torula	2,5	1,97
Protéines d'œuf	3,0	2,24
Farine de viande	4,0	2,34
Farine de coton	8,0	1,83

## Supplémentation par des sources de protéines

Les résultats d'études animales et humaines, avec addition d'acides aminés limitants au maïs préparé à la chaux ont servi de base pour évaluer différents types de suppléments protéiques destinés à améliorer sa qualité en protéines. Des études sur la supplémentation protéique de la farine de maïs traitée à la chaux ont été publiées par de nombreux chercheurs qui ont fait appel à différentes sources alimentaires, parmi lesquelles le lait, le sorgho, la farine de coton, la farine de poisson, la levure de torula et la caséine. Le tableau 40 résume les résultats obtenus en ajoutant de petites quantités recommandées de diverses sources de protéines. Le gain de qualité est d'au moins 200 pour cent de la valeur qualitative des protéines du maïs. Lors d'expériences sur de jeunes chiens, les bilans azotés obtenus avec le maïs supplémenté au moyen de 5 pour cent de lait écrémé, 3 pour cent de levure de torula et 4 pour cent de farine de poisson étaient sensiblement supérieurs à ceux mesurés lorsque l'alimentation ne comprenait que du maïs. La plupart des suppléments qui ont été expérimentés ont plusieurs caractéristiques en commun. Ils ont tous une teneur relativement élevée en protéines et sont de bonnes sources de lysine, à l'exception des protéines des graines de coton et de la farine d'huile de sésame. Cette dernière est une excellente source de méthionine. Mis à part la caséine, le lait et le concentré de protéines de poisson, ces suppléments sont tous d'origine végétale.

### [FIGURE 3 - Coefficient d'efficacité protéique de combinaisons de maïs commun ou opaque-2 et de farine de soja](#)

L'amélioration de la qualité des protéines dans la farine de tortilla procède dans la plupart

des cas de la synergie de l'amélioration qualitative due à la lysine et au tryptophane, et de la réponse due au renforcement des protéines, fournies l'une et l'autre par le supplément. Etant donné que les protéines de soja sous différentes formes sont le supplément de la farine de tortilla le plus fréquemment expérimenté par les différents chercheurs, et parce que c'est le seul supplément à avoir été testé chez les enfants, avec des résultats comparables à ceux des études chez l'animal, son importance et ses effets seront passés en revue dans cette section. La figure 3 fait apparaître le coefficient d'efficacité protéique obtenu dans des combinaisons de maïs commun ou opaque-2 et de farine de soja dans différentes proportions.

Les études montrent que le coefficient d'efficacité protéique maximal est obtenu par addition de 4 à 6 pour cent de protéines de soja, que celles-ci proviennent du soja entier, de la farine de soja (50 pour cent), de concentré de protéines de soja ou d'isolat de protéines de soja (Bressani, Elias et Braham, 1978; Bressani et al., 1981). Pour des raisons de disponibilité, de coût et d'applications pratiques dans les pays en développement, les résultats obtenus avec le soja entier sont discutés ici. Le niveau de 4 à 6 pour cent de protéines supplémentaires peut être fourni soit par 15 pour cent de soja entier, soit par 8 pour cent de farine de soja, lesquels ont permis d'obtenir une amélioration comparable de la qualité protéique. L'avantage des fèves de soja entières à 15 pour cent est que la supplémentation peut être assurée au domicile au moyen du soja produit par le ménage. Les fèves de soja sont très économiques; elles fournissent un produit alimentaire dont l'apport protéique est supérieur en quantité et en qualité, et elles apportent un complément d'énergie grâce à l'huile qu'elles contiennent.



Que la supplémentation soit faite à domicile ou dans un établissement industriel, on a démontré que la qualité nutritionnelle s'améliore, dans la mesure où le procédé est capable de détruire l'ensemble de l'activité inhibitrice de la trypsine des fèves de soja (Del Valle et Pérez-Villasenor, 1974; Del Valle, Montemayor et Bourges, 1976; Bressani, Murillo et Elías, 1974; Bressani et al., 1979). On a pu montrer que les tortillas préparées avec 15 pour cent de fèves de soja sont acceptables pour les consommateurs ruraux et qu'elles présentent un bon nombre des propriétés des tortillas sans fèves de soja, si ce n'est qu'elles sont plus souples et plus moelleuses. Diverses tentatives ont été faites pour acclimater cette technologie au niveau industriel et dans les ménages, mais cela n'a pas pu être durablement réalisé pour diverses raisons' parmi lesquelles le coût du soja et (peut-être) des modifications des caractéristiques organoleptiques.

#### [TABLEAU 41 - Bilan azoté d'enfants d'âge préscolaire nourris au lait, au maïs normal et au maïs supplémenté en sojallysine](#)

Compte tenu de l'accroissement relatif des quantités de farine de maïs traitée à la chaux fabriquées à l'échelle industrielle, la fortification au moyen de sources de protéines et autres éléments nutritifs est réalisée dans de bonnes conditions de rentabilité par mélange sec, comme dans le cas des autres farines de céréales. Ce n'est pas la technologie qui pose le plus de problèmes mais l'absence d'une réglementation qui, si elle était appliquée, permettrait d'améliorer la qualité des tortillas de maïs, comme cela se fait dans de nombreux pays du monde pour la farine de froment. Les études décrites plus haut ont conduit à la mise au point d'un supplément sec de la farine de tortilla contenant 97,5 à pour cent de farine de soja (50 pour

cent de protéines), 1,5 pour cent de L-lysine HCl, 26,8 mg pour cent de thiamine, 16,2 mg pour cent de riboflavine, 19,3 mg pour cent de niacine, 0,60 pour cent d'orthophosphate ferrique, 0,031 pour cent de vitamine A 250 et 0,13 3 pour cent d'amidon de maïs. La quantité recommandée pour addition de la farine de tortilla était de 8 pour cent en poids. Le tableau 41 (Viteri, Martnez et Bressani, 1972) fait apparaître les résultats d'études de bilan azoté chez les enfants nourris ainsi. Le bilan azoté du maïs ne représentait que 42 pour cent du bilan azoté du lait. Lorsqu'on donnait du maïs additionné du supplément, l'équilibre azoté représentait 84 pour cent de celui du lait. Toutes les études, chez les animaux comme chez les enfants, font apparaître la même réponse, c'est-à-dire une amélioration significative de la qualité protéique du maïs. L'efficacité de ce supplément a été partiellement expérimentée par Urrutia et al. (1976), les premiers résultats faisant apparaître une certaine amélioration de l'état nutritionnel des jeunes enfants. On a pu montrer que d'autres aliments à base de maïs, tels que les arepas et les produits fermentés dérivés du maïs, étaient améliorés par la supplémentation de la farine de soja.

#### [FIGURE 4 - Valeur protéique de mélanges de deux céréales](#)

#### Supplémentation aux légumes verts

Dans certains pays, la masa est consommée sous forme de tamalito. Ce dernier est confectionné en enveloppant la pâte dans des spathes de maïs et en la plaçant au-dessus d'une source de vapeur. Les tumalitos sont fréquemment consommés à la place des tortillas et ils ont l'avantage de rester moelleux plus longtemps. Il existe plusieurs recettes, dont certaines font appel aux jeunes pousses de légumes indigènes tels que la crotalaria et l'amarante. Des études

chimiques et nutritionnelles ont montré que l'addition de 5 pour cent environ de ces feuilles améliore la qualité protéique de la pâte (Bressani, 1983). La raison en est qu'elles contiennent des niveaux relativement élevés de protéines riches en lysine et en tryptophane. Elles fournissent également des sels minéraux et des vitamines, et notamment de la provitamine A. On a pu montrer aussi que des concentrés de protéines des feuilles amélioreraient la qualité protéique des grains de céréales (Maciejewicz-Rys et Hanczakowski, 1989).

### Supplémentation par d'autres grains

Le sorgho a également été traité par cuisson à la chaux au Mexique et en Amérique centrale, en particulier dans les régions où le maïs ne pousse pas bien. Toutefois, les tortillas de sorgho n'ont pas la même qualité organoleptique ou nutritionnelle que les tortillas de maïs. Plusieurs tentatives réussies ont été faites pour utiliser des mélanges de ces deux céréales, notamment par Vivas, Waniska et Rooney (1987) et Serna-Saldivar et al. (1987, 1988a, 1988b). Il existe d'autres méthodes, par exemple l'utilisation de mélanges de maïs commun, puisque l'on a affirmé que la germination accroissait la teneur en lysine. Des mélanges de farines de tortilla et de riz, ou de farine de tortilla et de farine de froment, ont également été étudiés. Les produits à base de riz/maïs ont une plus grande valeur nutritive que les tortillas de froment/maïs, ainsi qu'il ressort de la figure 4. Ces résultats font apparaître la supériorité du riz sur la farine de maïs entier et celle de cette dernière sur la farine de froment. Plus récemment, on a pu montrer que des mélanges de grains d'amarante et de farine de maïs cuite à la chaux présentaient une qualité protéique améliorée en raison de la

teneur très supérieure en lysine et en tryptophane de l'amarante par rapport au maïs. On a affirmé que le produit offrait une qualité organoleptique acceptable. Parmi les autres produits d'ajout, on peut citer la pomme de terre, le riz et les haricots pinto, qui fournissent des aliments aux qualités organoleptiques acceptables.

### FIGURE 5 - Coefficient d'efficacité protéique de combinaisons de maïs commun ou opaque-2 et de haricots noirs

#### Aliments protéiques de haute qualité

La valeur nutritionnelle du maïs, et particulièrement celle des protéines, peut aussi être améliorée par un complément de protéines. Ici, l'objectif consiste à combiner au maïs deux sources protéiques ou plus pour maximiser la qualité du produit en réalisant un bon équilibre des acides aminés essentiels. Cette approche a permis de mettre au point un certain nombre d'aliments de haute qualité. (Des résultats similaires peuvent être obtenus avec d'autres céréales.)

On trouvera dans la figure 5 un exemple de complémentarité du maïs commun et du maïs à haute qualité protéique avec des haricots noirs communs. Ici, le remplacement égale de l'azote des haricots par l'azote du maïs à haute qualité protéique s'est traduit par un accroissement constant jusqu'à un niveau correspondant à 50 pour cent des protéines de chaque composante, sans autre modification de mesure que l'azote du mélange était assuré en quantité croissante par le maïs QPM. Un résultat similaire est observé avec des mélanges de haricots et de maïs commun, avec cette différence que plus l'azote alimentaire est fourni par le

mais et plus la qualité protéique s'abaisse. D'autres études ont indiqué que, sur le côté gauche de la réponse maximale, la méthionine était l'acide aminé limitant, tandis que sur le côté droit c'était la lysine. Le pic a été obtenu quand le maïs bénéficiait de la lysine des haricots et les haricots de la méthionine du maïs. Cette réponse a servi de base pour formuler des mélanges d'aliments de haute qualité protéique contenant 70 pour cent de maïs et 30 pour cent de haricots communs.

Une réponse analogue est observée avec des mélanges de maïs commun et de maïs QPM et de farine de soja. En poids, le pic de ce mélange équivaut à 77 pour cent de maïs et 23 pour cent de farine de soja. Toutefois, lorsqu'on utilise de la farine de soja entière, le mélange représente en poids 70 pour cent de maïs et 30 pour cent de farine de soja. Ce produit, appelé 'maïsoy', est vendu en Bolivie. Il sert à améliorer le maïs traité à la chaux destiné à la confection des tortillas ou de substance d'ajout de la farine de froment pour les produits de boulangerie. D'autres farines d'oléagineux ont été utilisées dans des conditions analogues, par exemple la farine de coton et le maïs. Dans ce cas, les deux ingrédients qui se complètent n'ont pas d'effet de synergie. On obtient des mélanges de qualité optimale lorsque la farine de coton fournit environ 78 pour cent des protéines et le maïs 22 pour cent. En poids, cette répartition équivaut à 40 pour cent de farine de coton et 60 pour cent de farine de maïs, ce qui constitue la proportion de l'incaparina produite au Guatemala depuis 1960.

De nombreux autres mélanges de maïs et d'autres produits alimentaires ont été mis au point. Le Département de l'agriculture des États-Unis est associé depuis 1957 à la mise au point des produits et des procédés; des produits tels que le lait de maïs-soja instantané et

sucre et le pain de maïs-soja sont bien connus dans les pays en développement. De nombreux autres mélanges ont été mis au point à partir de maïs commun et de maïs haute qualité protéique ainsi que d'autres sources de protéines, fournissant des produits à la fois très nourrissants et parfaitement acceptables.

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

---

## Amélioration des régimes à base de maïs

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Sur le plan de la valeur nutritive, le maïs est tout fait comparable aux autres céréales. En fait, il est légèrement supérieur à la farine de froment et très légèrement inférieur au riz. Il s'agit des trois céréales les plus consommées dans le monde. Le problème du maïs tient au régime alimentaire dont il fait partie, régime essentiellement carencé à l'égard des aliments supplémentaires qui seraient nécessaires à l'amélioration des éléments nutritifs ingérés avec les quantités relativement importantes de maïs. Les populations qui consomment du maïs auraient tout à gagner sur le plan nutritionnel si le maïs qu'elles consomment comportait les gènes lysine et tryptophane du maïs haute qualité protéique ou si elles le consommaient additionné de quantités suffisantes d'aliments protéiques tels que

les légumineuses secs, le lait, les fèves de soja ou les graines et feuilles d'amarante. Mais étant donné que cela ne se produira pas dans un proche avenir, il convient de prendre d'autres mesures. C'est pourquoi la présente section propose un certain nombre de possibilités, résultats des études destinées à améliorer la qualité nutritionnelle des régimes à base de maïs.

## Consommation de maïs/légumineuses secs

Dans le monde entier, notamment dans les pays en développement, le régime alimentaire des populations est basé sur la consommation d'une céréale, généralement le maïs, le sorgho ou le riz, et d'un légume sec, haricots communs ou autres. Les résultats de nombreuses études ont montré que ces deux types de nourriture de base se complètent l'un l'autre. Un effet de complément a été observé, par exemple quand des animaux étaient nourris de rations dans lesquelles les protéines étaient dérivées du maïs et des haricots communs, en proportions variables allant de 100:0 à 0:100. Lorsque chaque composante fournissait près de 50 pour cent des protéines de l'alimentation, on obtenait une qualité élevée, supérieure aux qualités de chaque composante prise individuellement. Ce fait s'explique par la spécificité de composition en acides aminés de chaque composante. Les protéines du maïs sont déficitaires en lysine et en tryptophane mais comportent d'assez importantes quantités d'acides aminés soufrés (méthionine et cystine). En revanche, les protéines des légumineuses sont relativement riches en lysine et en tryptophane mais pauvres en acides aminés soufrés (Bressani et Elias, 1974). À partir de ces études, on est parvenu à la conclusion que c'est dans la proportion de 30 parties de haricots pour 70 parties de maïs que les protéines des haricots ou des légumineuses

complètent le mieux celles du maïs.

Cette même réponse s'observe également avec le maïs complété par des niébs, des haricots velus de la basse Nubie, des fèves de soja et autres légumineuses. La réponse reste identique, même si le niveau protéique du régime n'est pas fixé comme dans l'exemple ci-dessus, mais elle varie en fonction de la teneur en protéines de chaque composante. Des résultats bénéfiques ont été obtenus en ajoutant de l'huile au régime en raison de quantités allant de 0 à 10 pour cent. Il est à noter également que l'ingestion alimentaire était la plus élevée au niveau maximal de complémentation. En d'autres termes, il y avait également apport plus élevé en énergie.

La grande importance de la qualité des protéines a échappé à ceux qui assurent que, dans les régimes alimentaires, l'énergie est plus limitante que les protéines. L'effet de complément mentionné ci-dessus a également été décrit chez les humains. Le bilan azoté a été expérimenté dans des études concernant des enfants nourris au maïs traité à la chaux et aux haricots, selon deux proportions fixes et une troisième ad libitum, au choix des enfants (figure 6). Le bilan azoté obtenu avec la proportion fixe de la phase 1 (76:24) était inférieur à celui obtenu lorsque la proportion du maïs par rapport aux haricots dans le régime alimentaire était de 60:40 (phase 2). Le bilan azoté s'améliorait lorsque les enfants étaient laissés libres de choisir, et leur choix approchait de sept parts de maïs pour trois parts de haricots en poids. Tout aussi important est le fait que l'ingestion totale d'aliments augmentait également. L'ingestion habituelle de maïs et de haricots, établie par des enquêtes alimentaires remontant aux années 60, variait entre 11:1 et 18: 1; la supplémentation en haricots était donc



relativement faible. Des données plus récentes (Garcia et Urrutia, 1978) concernant des enfants de trois ans ont montré un rapport de 8:4 entre le maïs et les haricots, et le rapport était encore plus faible chez les enfants de 6 à 11 mois.

### FIGURE 6 - Retention azotée chez des enfants recevant des régimes à base de maïs/haricots

Les combinaisons de protéines du maïs et des haricots? même si elles ont une valeur protéique relativement élevée dans les expériences chez l'animal ne conviennent pas au traitement des enfants souffrant de malnutrition protéique. De plus, l'accroissement des niveaux d'acides aminés plasmatiques constaté par Arroyave et al. (1961) à la suite d'un repas expérimental de lait était beaucoup plus élevé après une période de traitement faisant appel à une combinaison maïs-haricots 1:1 que la réponse observée lorsqu'on donnait des protéines du lait après traitement soit au lait soit avec un mélange végétal composé de maïs, de farine de coton, de levure de torula et de sels minéraux (Bressani et Scrimshaw, 1961). Ces résultats ont confirmé l'insuffisance du régime à base de maïs et de haricots. De même, les résultats de bilans azotés d'enfants nourris avec des mélanges de maïs et de haricots, comparés au lait et à d'autres protéines végétales, ont été relativement faibles. Gomez et al. (1957) ont fait connaître les résultats d'expériences de bilans azotés chez huit enfants, de un à cinq ans, souffrant de malnutrition chronique grave qui, pendant l'expérience, ont été mis à un régime de farine de maïs et de haricots. L'absorption comme la fixation d'azote étaient extrêmement variables selon les enfants; quatre d'entre eux présentaient un bilan azoté positif et quatre un bilan négatif. L'addition de tryptophane et de lysine au régime à base de maïs et de haricots a considérablement amélioré l'absorption et la retention

d'azote dans quatre cas. Ces études ne précisait pas les quantités de maïs et de haricots mélangés, et l'ingestion de protéines variait entre 1,53 g et 8,50 g par jour. Frenk ( 1961 ) a également observé de médiocres résultats chez des enfants nourris au maïs et aux haricots. Une amélioration sensible était obtenue lors de la supplémentation par la farine de poisson.

Comme d'autres chercheurs, Hansen ( 1961 ) a constaté que le lait permettait d'amorcer la guérison du kwashiorkor sans difficulté; en revanche, un mélange à deux composantes, à raison de 66 pour cent de farine de maïs et 33 pour cent de farine de niébes n'a pas permis d'entamer la guérison dans les trois cas traités par ce moyen. Un mélange à trois composantes constitué de parties égales de farine de maïs, de germes de maïs et de doliques (*Vigna sinensis*) a permis d'obtenir une guérison satisfaisante dans le seul cas où elle a été employée.

Il faudrait 238 g du mélange sec à trois composantes et 267 g du mélange à deux composantes pour fournir les acides aminés essentiels contenus dans 100 g de lait écrémé. Etant donné que les formules végétales supposent aussi une dilution relativement plus importante, il est difficile d'en donner suffisamment pour satisfaire les besoins en protéines.

Scrimshaw et al. (1961) ont estimé que l'échec rencontré lorsqu'on a voulu amorcer la guérison du kwashiorkor avec des mélanges de maïs et de haricots s'explique par le volume excessif de l'aliment par rapport à sa teneur en protéines. Hansen et al. ( 1960) ont fait valoir que les différences de valeur biologique des protéines essayées se traduisaient à l'évidence dans la rétention azotée, qui représentait en moyenne de 13 à 14 pour cent pour le lait, 8,8 pour cent pour le mélange à deux composantes et 5,7 pour cent seulement pour le mélange à

trois composantes. On en a conclu que les mélanges de deux et de trois composantes suffisaient chacun à assurer la prévention du kwashiorkor après guérison de la maladie, mais que seul le mélange de trois composantes comportait des protéines en concentration suffisante et de qualité satisfaisante pour pouvoir servir au traitement.

Il convient de noter que le mélange de deux composantes de 66 pour cent de farine de maïs et 33 pour cent de farine de niébé n'est pas la meilleure combinaison de ces deux sources de protéines. Bressani et Scrimshaw ( 1961 ) ont indiqué que, dans les meilleurs mélanges de ces deux aliments, les niébé fournissaient de 50 à 75 pour cent des protéines et le maïs de 50 à 25 pour cent.

D'autres études conduites par Hansen et al. ( 1960 ) et Brock ( 1961 ) ont permis de mesurer, au moyen du bilan azoté, la valeur nutritive du maïs seul et du maïs supplémenté par la lysine et le tryptophane, par la farine de pois additionnée de farine de poisson et par la farine de pois additionnée de lait. La rétention d'azote a été sensiblement accrue par chacune de ces formes de supplémentation, mais à des ingestions de protéines de moins de 2,5 g par kilogramme de poids corporel et par jour elle était sensiblement moindre avec le supplément de lysine et de tryptophane ou le supplément de farine de pois qu'avec un régime lacté. Ces différences disparaissaient avec des ingestions de protéines plus élevées. Le mélange maïs-pois supplémenté avec 12 pour cent de lait ou 10 pour cent de farine de poisson a donné des rétentions d'azote comparables à celles observées avec un régime lacté pour tous les niveaux d'ingestion de protéines. Ces résultats variables concernant les protéines de haricots ou d'autres légumineuses peuvent s'expliquer par le type de légumineuse utilisée, par des

carences en acides aminés ou par quelque facteur inconnu. Ils mériteraient d'être approfondis car les légumineuses recèlent d'importantes potentialités pour la solution des problèmes nutritionnels de la planète.

**TABLEAU 42 - Effet sur la valeur nutritive d'un régime base de maïs/haricots (90/10) de l'addition de lysine et de tryptophane au maïs ou de méthionine aux haricots**

Traitement diététique	Gain de poids moyen (g/28 jour)	Coefficient d'efficacité protéique
Mais		
Haricots	69	2,11
Mais+ lysine + tryptophane		
Haricots	103	2,64
Maïs		
Haricots+ méthionine	66	1,93
Mais+ lysine + tryptophane		
Haricots+ méthionine	108	2,64

**Baptist et de Mel (1955) ont obtenu une réponse très satisfaisante chez 23 enfants cingalais, de**

un régime mixte composé de trois céréales et de quatre légumes secs, supplémenté au lait écrémé. D'autre part, Navarrete et Bressani ( 1981 ) ont indiqué, d'après des études de bilan azoté chez les adultes, qu'un régime à base de haricots réalisait l'équilibre azoté pour une ingestion de 114 mg d'azote par kilogramme et par jour; toutefois, un mélange maïs/haricots dans la proportion 87:13 permettait de réaliser l'équilibre azoté pour une ingestion de 98 mg d'azote par kilogramme et par jour.

Toutes ces études tendent à montrer que, même si la valeur nutritive des protéines du maïs est améliorée par l'addition de haricots, la qualité de ces protéines n'est toujours pas suffisante pour nourrir des enfants en bas âge ou d'âge préscolaire. Cela est apparu lorsque des suppléments de protéines de haute qualité ont également été expérimentés avec le régime maïs/haricots.

Le volume des aliments, qui limite l'ingestion, et la qualité nutritionnelle sont deux facteurs d'importance dans les mélanges ou régimes à base de maïs/haricots.

## Facteurs limitants d'un régime maïs/haricots

### Acides aminés

On a pu montrer que l'addition de 0,3 pour cent de L-lysine HCl et de 0,1 0 pour cent de DL-tryptophane à un régime contenant 90 pour cent de maïs et 10 pour cent de haricots entraînait une sensible augmentation du gain de poids et de la qualité protéique. Aucune

autre amélioration n'était observée lorsqu'on ajoutait aussi de la méthionine (voir tableau 42). On a pu constater la signification que revêt la qualité protéique dans un régime à base de maïs et de haricots lorsqu'on offrait des régimes composés de mélanges de maïs et de haricots additionnés de méthionine. Les résultats ont confirmé la limitation de cet acide aminé dans les haricots puisque l'on observait une réponse lorsqu'on ajoutait encore d'autres haricots au régime. De même, ces régimes à base de maïs et de haricots additionnés de méthionine amenaient de surcroît les sujets à consommer de plus grandes quantités d'aliments et d'énergie, preuve de la valeur de la qualité protéique lorsqu'il s'agit de stimuler l'ingestion alimentaire (Contreras, Elías et Bressani, 1980, 1981). Les résultats ont encore permis de démontrer que, même lorsque la combinaison est idéale - à savoir une proportion maïs/haricots de 7:3 -, la qualité du régime reste insuffisante pour les jeunes enfants. et à plus forte raison lorsque la proportion de haricots tombe au-dessous de 3.

### Vitamines et sels minéraux

Un régime de maïs et de haricots dans la proportion 7:3 répond à la seule addition d'un mélange complet de vitamine B et de vitamines liposolubles et plus encore à un supplément complet de sels minéraux, mais non aux calories ni à la lysine et au tryptophane. Avec les doubles combinaisons, les meilleurs résultats ont été obtenus avec les sels minéraux additionnés d'acides aminés, les sels minéraux additionnés de vitamines, les sels minéraux additionnés de calories, les vitamines additionnées d'acides aminés et les vitamines additionnées de calories. L'addition de calories plus acides aminés n'améliorait sensiblement ni le gain de poids des sujets ni le coefficient d'efficacité protéique du régime. Pour les

combinaisons triples, une ingestion suffisante de vitamines et de sels minéraux est nécessaire avant que l'on puisse obtenir un effet. Les animaux auxquels on donne une alimentation enrichie en acides aminés font probablement une carence en vitamines et en sels minéraux. Même si cela peut apparaître évident, il n'en est généralement pas tenu compte dans la pratique.

**TABEAU 43 - Valeur nutritive d'un régime à base de maïs/haricots (90110) supplémenté en vitamines, sels minéraux, calories et acides aminés**

Supplément	Gain de poids moyen (g/28 jours)	Coefficient d'efficacité protéique
Néant (régime de base)	26 ± 2,3	1,11 ± 0,07
+ mélange de vitamines	49 ± 4,0	1,55 ± 0,06
+ mélange de sels minéraux	65 ± 4,3	1,94 ± 0,06
+ calories (5 pour cent d'huile)	23 ± 1,2	0,95 ± 0,05
+ acides aminés	26 ± 2,5	1,13 ± 0,08

On a observé que des animaux recevant des rations enrichies en acides aminés faisaient des carences en vitamines et en sels minéraux et que beaucoup mouraient. L'interprétation retenue

Il était que cela résultait d'une déplétion de ces éléments nutritifs provoquée par l'effet catalytique de l'amélioration de la qualité protéique sur le potentiel de l'animal à réagir à ce stimulus.

L'apport d'un supplément de calories dans le régime alimentaire a entraîné une légère diminution de la qualité de ce dernier. Cela laisse entendre que l'addition de calories abaissait l'apport protéique du régime alimentaire, ce qui, à son tour, en réduisait la qualité en renforçant les carences en acides aminés essentiels du mélange de maïs et de haricots. Des résultats analogues ont été obtenus par Contreras, Elias et Bressani ( 1980, 1981 ) chez de jeunes rats en croissance et des porcs à qui l'on donnait des mélanges de maïs/haricots dans les proportions, en poids, de 87:13 ou de 70:30. Ces auteurs ont confirmé les résultats précédemment communiqués et indiqué que l'une des principales contraintes des régimes à base de maïs et de haricots est leur volume, qui en restreint l'ingestion. Les résultats de certaines de ces suppléments chez le rat sont résumés au tableau 43.

Un certain nombre d'études ont été entreprises pour savoir si un accroissement de la teneur en protéines du régime faisant appel au même genre de protéines que celles du maïs et des haricots améliorerait les performances animales. Elles ont montré que l'utilisation dans le régime à base de maïs et de haricots d'un maïs à 13 pour cent de protéines venant remplacer un maïs à 8,3 pour cent de protéines se traduisait par une certaine augmentation du gain de poids et des protéines utilisables, malgré la diminution de la qualité des protéines, ainsi qu'en témoignent les chiffres du coefficient d'efficacité protéique et de la valeur nutritive. Il fallait s'y attendre étant donné que les protéines utilisables dépendent de la quantité et



de la qualité des protéines. Lorsque les deux échantillons de maïs (à faible et à haute teneur en protéines) ont été supplémentés dans ce régime à base de maïs et de haricots par la lysine et le tryptophane, on a obtenu une amélioration du gain de poids et des protéines utilisables supérieure à l'amélioration obtenue à partir du régime utilisant le maïs à haute qualité protéique. Des augmentations du gain de poids et des protéines utilisables, par rapport au régime de base, ont également été obtenues lorsque la quantité de haricots du régime a été augmentée de 10 à 20 pour cent, mais elles étaient moins élevées en comparaison des régimes correspondants supplémentés aux acides aminés. On a donné pour explication ces résultats le fait que les régimes à base de maïs et de haricots dans la proportion 90:10 sont limitants, d'abord sous le rapport de la qualité protéique et ensuite, dans une moindre mesure, de la quantité de protéines (Gomez-Brenes, Elías et Bressani, 1972; Elías et Bressani, 1971; Bressani, Elías et de España, 1981). Cela rejoint les travaux de Arroyave (1974), qui a indiqué que pour obtenir chez des enfants de un à deux ans une rétention azotée adéquate à partir du maïs et des haricots, comparable à celle obtenue avec 1,27 g de protéine de lait par kilogramme et par jour, il fallait 1,7 g de protéine par kilogramme et par jour. Ces résultats montrent que les protéines du maïs commun du régime alimentaire sont améliorées par l'addition de lysine et de tryptophane.

## Amélioration du régime à base de maïs/légumes secs

### Suppléments pour animaux

Diverses études conduites chez les animaux ont montré que la méthionine est l'acide aminé

limitant dans les régimes contenant plus de 30 parties de haricots, tandis que les régimes contenant plus de 70 parties de maïs sont limitants en lysine. Le régime assurant la meilleure qualité est carencé dans ces deux acides aminés (Bressani, Valiente et Tejada, 1962). En même temps, ces régimes ont une faible teneur en protéines totales. Ainsi, pour améliorer la qualité des mélanges maïs/haricots, il est nécessaire d'ajouter des sources de protéines riches en ces deux acides aminés. Des études chez des animaux nourris à base de maïs/haricots et de diverses sources de protéines animales, telles que la volaille ou le boeuf ont indiqué que l'addition de 20 à 30 pour cent de protéines animales se traduirait par des accroissements significatifs de la valeur nutritive (Bresani, 1987). Dans d'autres expériences, des chercheurs ont nourri des animaux ad libitum avec 1, 2, 3 et 4 g de lait à titre de supplément quotidien d'un régime à base de maïs et de haricots. Les résultats ont démontré qu'environ 1 à 2 g de lait par jour ajoutés à une ingestion de base de 15 g par jour suffisaient à accroître la qualité nutritionnelle du régime alimentaire, évaluée du point de vue de la qualité des protéines. Dans ces études, on a constaté que 12 pour cent de lait était le minimum nécessaire pour amener une amélioration relativement importante de la qualité du régime à base de maïs et de haricots. En outre, l'effet du supplément était plus cohérent lorsqu'il était donné journalièrement. Chez des chiens en croissance pris comme animaux d'expérience, Murillo, Cabezas et Bressani (1974) ont constaté que 20 pour cent de lait était le complément minimum pour conférer à un régime à base de maïs/haricots le bilan azoté le plus élevé. Ce résultat n'était pas obtenu lorsque le régime de base maïs/haricots était supplémenté par la lysine, la méthionine et le tryptophane, tels qu'on les trouve dans les protéines du lait. Torun et Viteri (1981) et Toron et al., (1984) ont montré, par leurs études sur le métabolisme d'enfants, qu'un régime à base de haricots/maïs dans la proportion 85:15

en

poids, avec 18 pour cent de protéines animales (lait), était le moyen d'obtenir des réponses biologiques de valeur et cohérentes. Ces auteurs en ont conclu qu'en retenant le régime utilisé pour l'étude les ingestions de protéines étaient suffisantes lorsque les ingestions d'énergie correspondaient aux estimations des besoins énergétiques.

### Maïs a haute qualité protéique

Le remplacement du maïs commun par du maïs à haute qualité protéique est une autre solution qui pourrait améliorer la qualité des régimes à base de maïs/haricots. Les résultats obtenus en nourrissant des animaux de mélanges de maïs à haute qualité protéique et de haricots ont montré que, comme avec le maïs commun, la complémentarité optimale a lieu pour un rapport 50:50 des protéines du régime, équivalant à une proportion de maïs/haricots de 70:30 en poids (Bressani et Elías 1969). Cependant, deux différences sont à noter. L'une tient au fait que le gain de poids des animaux tout comme la qualité des protéines étaient plus élevés avec les mélanges maïs à haute qualité protéique/haricots qu'avec les mélanges maïs commun/haricots. Le second point à signaler, peut-être plus important encore, est que le gain de poids et la qualité des protéines fournies par les mélanges contenant plus de 70 parties de maïs ne différaient pas des valeurs obtenues avec le meilleur mélange, soit un régime à 70:30. De même, au cours d'une période expérimentale de 28 jours, l'ingestion est passée de 224 g par animal à 388 g au point maximum et est demeurée constante pour tous les autres régimes dont le mélange comportait des niveaux plus élevés de maïs à haute qualité protéique.

Dans d'autres séries d'études, la qualité protéique du maïs à haute qualité protéique en tant que composante d'un régime maïs/haricots à 82,8 pour cent de maïs et 10,5 pour cent de haricots cuits a été évaluée chez de jeunes chiens et des chiens adultes nourris à deux niveaux de protéines (Bressani et Elías, 1972; Murillo, Cabezas et Bressani, 1974). L'effet du régime maïs à haute qualité protéique/haricots a été comparé à des régimes analogues composés de maïs commun et de haricots et de maïs commun supplémenté par la lysine et le tryptophane et de haricots. Les bilans azotés ont montré que la rétention d'azote chez les jeunes chiens ou les chiens adultes nourris aux haricots et au maïs à haute qualité protéique était aussi élevée, voire plus élevée, que lorsque le maïs commun du régime était supplémenté par la lysine et le tryptophane, et que dans les deux cas elle était sensiblement plus élevée que lorsqu'on donnait du maïs et des haricots seuls.

#### [TABLEAU 44 - Effet de différents légumes ajoutés pour améliorer la valeur nutritive d'un régime à base de maïs commun/haricots \(87/13\)](#)

Ces études, ainsi que d'autres effectuées chez les porcs en croissance, ont indiqué également que les régimes à base de maïs/haricots sont volumineux, ce qui limite la quantité pouvant être ingérée pour satisfaire pleinement les besoins nutritionnels (Contreras, Elías et Bressani, 1980, 1981).

#### Mélanges alimentaires de haute qualité

Dans de nombreux pays en développement et depuis fort longtemps, beaucoup d'efforts ont été faits pour mettre au point des mélanges alimentaires de haute qualité susceptibles

d'apporter les éléments nutritifs, et notamment les protéines, que fournissent normalement les produits alimentaires d'origine animale. La plupart de ces aliments ont une teneur relativement élevée en protéines ainsi qu'une bonne composition spécifique en acides aminés essentiels, qui permet de corriger jusqu'à un certain point les carences en acides aminés et autres éléments nutritifs des régimes à base de maïs/haricots condition qu'ils soient consommés en quantités suffisantes. Des études ont confirmé l'existence de cet effet supplémentaire. De jeunes animaux en croissance ont reçu un régime de base composé d'environ 85 pour cent de maïs traité à la chaux et de 15 pour cent de haricots noirs cuits. Ce régime a été convenablement supplémenté au moyen de sels minéraux, de vitamines et d'énergie. Des groupes d'animaux ont reçu chaque jour 1, 2, 3 et 4g d'un aliment à haute valeur protéique à base de maïs, de fèves de soja et de lait écrémé. Les résultats ont démontré que ces niveaux, et notamment les plus élevés, permettaient effectivement de compléter le régime de base, ainsi qu'en témoignaient le gain de poids, l'utilisation protéique et les paramètres biochimiques (de Souza, Elías et Bressani, 1970).

Ces régimes à base d'aliments d'origine animale et d'aliments de haute qualité sont efficaces car ils peuvent fournir les éléments nutritifs qui continuent à faire défaut dans les régimes à base de maïs et de haricots. Par conséquent, toute nourriture d'origine animale et certains végétaux tels que le soja et les légumes verts à feuilles contribueraient également à améliorer la qualité de ces régimes.

### Légumes verts

Lorsqu'on examine le régime à base de maïs/haricots, on constate qu'outre la qualité

protéique d'autres éléments nutritifs font défaut. On a déjà parlé de l'effet obtenu lorsqu'on ajoute des vitamines et/ou des sels minéraux à un tel régime. D'autres études ont fait appel pour la supplémentation du régime de base maïs/haricots, de petites quantités de légumes verts tels que l'amarante, les épinards et le chipilin (crotalaria). Ces légumes feuillus ne fournissent pas seulement des acides aminés indispensables et des protéines, mais aussi des vitamines et des caroténes qui assurent jusqu'à un certain point les besoins de l'animal en vitamine A.

Divers légumes verts destinés à compléter les régimes maïs/haricots, ont été décrits: les résultats en sont indiqués au tableau 44. Parmi les légumes étudiés figurent les pommes de terre bouillies, les carottes, les pois verts, les haricots verts, et les feuilles d'épinards, d'amarante et de crotalaria. Deux ensembles de régimes ont été expérimentés, l'un avec vitamines et l'autre sans. L'addition était de 5 pour cent en poids sec. Tous les légumes de l'un et l'autre ensembles de régimes ont amélioré le gain de poids et accru l'ingestion. Les protéines utilisables étaient également plus élevées dans les régimes maïs/haricots, additionnés de légumes verts que dans les régimes témoins, l'utilisation la plus élevée étant obtenue avec les légumes verts en branches. Les valeurs nutritionnelles étaient plus élevées avec l'addition de vitamines que sans. Ces études montrent l'évidence que l'on peut obtenir une amélioration nutritionnelle des régimes maïs/haricots 87:13 en fournissant des vitamines et en ajoutant des protéines et des acides aminés indispensables.

---

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

## Bibliographie

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Abbas, H.K., Mirocha, J.K., Rosiles, R. & Carvajal, M. 1988. Decomposition of zeuralenone and deoxynivalenol in the process of making tortillas from corn. *Cereal/ chem.*, 65:15- 19.

Abramson, D., Sinka, R.N. & Mills, J.T. 1980. Mycotoxin and odor formation in moist cereal grain during granary storage. *Cereal Chem.*, 57: 346-351.

Acevedo, E. & Bressani, R. 1990. Contenido de fibra dietética de alimentos Centroamericanos. Guatemala. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 40: 439-451.

Adeniji, A.O. & Potter, N.N. 1978. Properties of ogi powders made from normal, fortified and opaque-2 corn. *J.Food Sci.*, 43: 1571-1574.

Aguirre, F., Bressani, R. & Scrimshaw, N.S. 1953. The nutritive value of Central American corns. 111. Tryptophan, niacin, thiamine and riboflavin content of twenty-three varieties in Guatemala. *Food Res.*, 18: 273-279.

Akingbala, J.O., Onochie, E.V., Adeyemi, I.A. & Oguatimein, J.B. 1987. Steeping of whole and dry

**milled maize kernels in ogi preparation. J. Food Proc. Preserv. 11: 1-11.**

**Akingbala, J.O., Rooney, L.W. & Faubion, J.M. 1981. A laboratory procedure for the preparation of ogi, a Nigerian fermented food. J. Food Sci , 46: 1523- 1526.**

**Akinrele, I.A. 1970. Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starchcake food..I. Sci. Fand Agric., 21: 619-625.**

**Akiarele, I.A. & Bassir, O. 1967. The nutritive value of ogi, a Nigerian infant food. J. Trop. Med. Hyg., 70: 279-280.**

**Amorin, P.J. de. 1972. Opaque-2 maize for feeding infants. Pcclich: Pral. 43: 235244.**

**Arroyave, G. 1974. Amino acid requirements by age and sex. /n P.L. White et D.C. Fletcher. ♦ds. Nutrients in prncessed Jbad. Prale♦s'p. 15Proteins28. Acton, Mass., EtatsUnis, Publishing Sciences Group Inc.**

**Arroyave, G., Wilson, D., Behar, M. & Viteri, F. 1961. The development of INCAP vegetable mixtures 11. Biochemical testing. In Progress ♦? meeting protein needs of infants and preschool C hildren. NRC Pub. 843, p. 49-55. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Counc.**

**Asp, N.G., Johansson, C.G., Hallmer, H. & Siljeström, M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. J. Agric. Food Chem.. 33: 476-482.**



**Banigo, E.O.I., de Man, J.M. & Duitschaever, C.L. 1974. Utilization of high-lysine corn for the manufacture of ogi using a new, improved processing system. Cereal Chem. 51: 559-572.**

**Banigo, E.O.I. & Muller, H.G. 1972. Carboxylic acid patterns in ogi fermentation. J. Sci. Food Agric . 23: 101-111.**

**Barber, S.A. 1979. Corn residue management and soil organic matter. Agron. J., 71: 625-627.**

**Baptist, N.G. & de Mel, B.V. 1955. Growth and amino acid intakes of children on acereal-legume vegetable diet. Br. J. Nutr. 9: 156-170.**

**Bazua, C.D., Guerra, R. & Sterner, H. 1979. Extruded corn flour as an alternative to lime-treated corn flour for tortilla preparation../. Food Sci.,44: 940-941.**

**Bedolla, S., de Palacios, M.G., Rooney, L.W., Ciehl, K.C. & Khan, M.N. 1983. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. Cereul Chenz. 60: 263-268.**

**Bedolla, S. & Rooney, L.W. 1982. Cooking maize for masa production. Cereal Foods World, 27: 219-221.**

**Bedolla, S. & Rooney, L.W. 1984. Characteristics of US and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparations. Cereal Foods World 29: 732-735.**

**Benton, D.A., Harper, A.E. & Elvehjem, C.A. 1955. Effect of isoleucine supplementation on the growth of rats fed zein or corn diets. Arch. Biochem. Biophys. 57: 13-19.**

**Benton, D.A., Harper, A.E., Spivey, H.E. & Elvehjem, C.A. 1956. Leucine, isoleucine and valine relationships in the rat. Arch. Biochem. Biophys. 60: 147-155.**

**Boyer, C.D. & Shannon, J.C. 1983. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. In J. Janick, Ed. Plant breeding reviews Vol.1, p.139-161. Westport, Conn., Etats-Unis, AVI Publishing Co.**

**Boyer, C.D. & Shannon, J.C. 1987. Carbohydrates of the kernel. In S.A. Watson & P.E. Ramstad, Eds. Corn: chemistry and technology, p. 253-272. St Paul, Minn., Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem.**

**Braham, J.E. & Bressani, R. 1966. Utilization of calcium from home treated maize. Nutr. Biochem. Toxicol., 5: 14-19.**

**Braham, J.E., Bressani, R. & Guzman, M.A. 1966. Effect of lysine and tryptophan supplementation on nicotinic acid metabolism in pigs given raw or lime-treated corn diets. Metabolism. 15: 548-556.**

**Braham, J.E., Villareal, A. & Bressani, R. 1962. Effect of lime treatment of corn on the availability of niacin for cats. 1. Nutr., 76: 183- 186.**

**Bressani, R. 1962. Effect of amino acid imbalance on nitrogen retention. 1. Effect of a relative**

**deficiency of tryptophan in dogs. .1. Nutr:, 78: 365 -370.**

**Bressani, R.1963. Effect of amino acid imbalance on nitrogen retention. II. Interrelationships between methionine, valine, isoleucine and threonine as supplements to corn proteins for dogs../. Nutn, 79: 389-394.**

**Bressani, R. 1971. Amino acid supplementation of cereal grain flours tested in children. In N.S. Schrimshaw & A.M. Altschul. eds. Amino acid fortification of protein foods, p. 1 84204. Cambridge, Mass., EtatsUnis,MIT Press.**

**Bressani, R. 1972. The importance of maize for human nutrition in Latin America and other countries. In Nutritional improvement of maize. INCAP publication L-4, p. 5-29. Guatemala. INCAP.**

**Bressani, R. 1983. World needs for improved nutrition and the role of vegetables and legumes. Asian Vegetable Research and Development Center,10th Anniversary Monograph Series. AVRDC Pub. 83- 185. Shanhua, Taiwan, AVRDC.**

**Bressani, R.1987. The incorporation of nutritional goals in agricultural research in developing countries. Benson Inst. Rev., 10: 18-28.**

**Bressani, R.1988. Protein complementation of foods. In E. Karmas & R.S. Harris, eds. Nutritional evaluation of food processing and nutrition, p. 627-657. New York, Van Nostrand Reinhold Company.**

**Bressani, R.1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. Food Rev. /nt. 6:**

**225-264.**

**Bressani, R., Alvarado, J. & Viteri, F. 1969. Evaluacion en ninos de la calidad de la proteina del maiz opaco-2. Arch Latinoam. Nutr., 19: 129- 140.**

**Bressani, R., Arroyave, G. & Scrimshaw, N.S.1953. The nutritive value of Central American corns. 1. Nitrogen, ether extract, crude fiber and minerals of twenty-four varieties in Guatemala. Food Res., 18: 261-267.**

**Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E. & Ortiz, M.A. 1990. Changes in selected nutrient content and in protein quality of common and quality protein maize during tortilla preparation. Cereal Chem., 67(6): 515-518.**

**Bressani, R., Braham, J.E., Elias, L.G. & Rubio, M. 1979. Further studies on the enrichment of lime-treated corn with whole soybeans. J. Food Sci., 44: 1707-1710.**

**Bressani, R., Breuner, M. & Ortiz, M.A.1989. Contenido de fibra, ácido y contenido de fibra, ácido y detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. Arch. Latinoam. Nutr., 39: 382-391.**

**Bressani, R., Castillo, S.V. & Gunzón, M.A. 1962. The nutritional evaluation of processed whole corn flour. J. Agric. Food Chem., 10: 308-312.**

**Bressani, R. & de Villareal, E.M.1963. Nitrogen balance of dogs fed limetreated corn supplemented**

**with proteins and amino acids. J. Food Sci., 28:611-615.**

**Bressani, R. & F,lias, L.G.1969. Studies on the use of opaque-2 corn in vegetable protein-rich foods.J. Agri< . Food Chem., 17: 659-662.**

**Bressani, R. & Ellas, L.G. 1972. La calidad proteinica del maiz opaco-2 como ingrediente de dietas rurales de Guatemala. Arch. Latinoam. Nutr., 22: 577-594.**

**Bressani, R. & El◊as, L.G. 1974. Legume foods. In A.M. Altschul, ◊d. New protein foods, Vol. IA, p. 231297. NewYork,Academic Press Inc.**

**Bressani, R. & El◊as, L.G. 1981 . Estudios nutricionales sobre dietas. Valor proteinico de mezclas de cereales. INCAP Informe Anual 1980, p. 10-11. Managua,Nicaragua, INCAP.**

**Bressani, R., El◊as, L.G. & Braham, J.E. 1968. Suplementacion con aminoacidos del maiz y de la tortilla. Arch. Latinoam. Nutr, 18: 123-134.**

**Bressani, R., El◊as, L.G. & Braham, J.E.1978. Improvement of the protein quality of corn with soybean protein. Adv. Exp. Med. Biol., 105: 29-65.**

**Bressani, R., El◊as, L.G. & de F,spana, M.E.1981. Posibles relaciones entre medidas fisicas, quimicas y nutricionales en frijol comun (Phasealus vulgaris). Ar< h. Latinoum. Nutr., 31: 550-570.**

**Bressani R., El◊as, L.G., Santos, M., Navarrete, D. & Scrimshaw, N.S. 1960. El contenido de**

**nitrogeno y de aminoacidos esenciales de diversas selecciones de maiz. Arch. Venez. Nutr., 10: 85-100.**

**Bressani, R., Gómez-Brenes, R. & Scrimshaw, N.S. 1961. Effect of processing on distribution and in vitro availability of niacin of corn (Zea mays). Food Technol., 15: 450-454.**

**Bressani, R., Hernandez, E., Colon, A., Wolzak, A. & Gómez-Brenes, R. 1981. Efecto suplementario de 3 fuentes de proteína de soya sobre diferentes selecciones o productos de maiz. Arch. Latinoam. Nutr., 31: 52-62.**

**Bressani, R. & Marengo, E. 1963. Corn flour supplementation: the enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan and vitamins. J. Agric. Food Chem., 11: 517-522.**

**Bressani, R., Medrano, J.F., Elias, L., Gómez-Brenes, R., Gonzalez, J.M., Navarrete, D. & Klein, R.E. 1982. Estudios de control de insectos para la preservación del maíz opaco almacenado y efectos sobre su valor nutritivo. Turritia, 32: 51-58.**

**Bressani, R. & Mertz, E.T. 1958. Studies on corn protein. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. Cereal Chem., 35: 227-235.**

**Bressani, R., Murillo, B. & Elias, L. 1974. Whole soybeans as a means of increasing protein and calories in maize-based diets. J. Food Sci., 39: 577-580.**

**Bressani, R., Paz y Paz, R. & Scrimshaw, N.S. 1958. Chemical changes in corn during preparation of**

**tortillas. J. Agri<. Food Chem., 6: 770774.**

**Bressani, R. & Scrimshaw, N.S.1958. Effect of lime treatment on in-vitro availability of essential amino acids and solubility of protein t`ractions in corn. J. Agri<. Food Chem., 6: 774778.**

**Bressani, R. & Scrimshaw, N.S.1961. The development of INCAP vegetable mixtures. I. Basic animal studies.In Progress in meeting protein needs af inJr7nls and preschool children NRC Pub. 843, p. 35-48. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Counc.**

**Bressani, R., Scrimshaw, N.S., B◆har, M. & Viteri, F. 1958. Supplementation of cereal proteins with amino acids. II. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at intermediate levels of protein intal;e on the nitrogen retention of young children../. Nutr., 66: 501-513.**

**Bressani, R., Valiente, A.T. & Tejada, C. 1962. All vegetable protein mixtures tor human feet7ing. VI. The value of combinations of lime-treatetl corn and cooked black beans. J. Food S< i., 27: 394-400.**

**Bressani, R., Wilson, D., Chung, M., B◆har, M. & Viteri, F. 1963. Supplementation of cereal proteins with amino acids. V. Effect of supplementing lime-treuted corn with different levels of lysine, tryptophan and isoleucine on the nitrogen retention of young children. J. Nuh: 80:80-84.**

**Brock, J.F.1961. Protein mainutrition, requirements and supplementation. In Pragress h7 meeting protein needs ot infants ancl preschool <hildren. NRC Pub.843, p.103- 118. Washington D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Counc.**

- Burge, R.M. & Duensing, W.J. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. Cereu/ FOODS Worl<l. 34: 535-538.**
- Camacho, L., Banados, E. & Fernandez, E. 1989. Enlatado de humitas preparados de maiz opaco-2 complementando con lupino dulce (Lupinu.↻ alhus var. Multolupu) cambios nutricionales y de calidad. Ar<h. Latinoam Nutr. 39(2): 185199.**
- Capparelli, E. & Mata, L. 1975. Microflora of maize prepared as tortillas. Appl. Microbiol. 29: 802806.**
- Carvajal, M., Rosiles, R.,Abbas, H.K. & Moricha, C.J. 1987. Mycotoxin carryover from grain to tortillas in M↻xique. /n M.S. Zuber, E.B. Lillehoj & B.L. Renpro, ↻ds. Aflutoxin in maize pm< proceedings oJ the workshop p. 318-319. El Batan, Mexique, CIMMYT.**
- Chakrabarti,A.G.1981. Detoxification of corn. J. Food Prot. 44: 591 -592.**
- Chavez,A.1973. El maizen la nutricion de M↻xico. In Simposio sobre desarro//o y utilizacion de maices es de alto valor nutritivo,janio29-30, /972 Co/egio de Postgraduados ENA p. 911. Chapingo, Mexique, SAG.**
- Chavez, ,I.F. 1972a. Composicion del malz opaco-2 venezolano. Analisis y calidad biologica de la arepa de opaco-2 y de maiz corriente. Arch Latinoam. Nutr., 22: 147-160.**
- Chavez, J.F. 1972b. Calidad nutritiva de la protema de la harina de arepa y su mejoramiento por**



**medio de la fortificacion en Venezuela. In R. Bressani, J.E. Braham & M. Bhandari, eds. Mejoramiento nutricional del muiz. INCAP Pub. L-3, p. 116- 125. Guatemala, INCAP.**

**Chavez, J.F. & Obregon, J.P. 1986. Composicion y valor nutritivo del maiz dulce Pajimaca y del Pajimaca opaco-2 cultivados en Venezuela. Arch. Latinoam. Nutr 36: 312-318.**

**Christensen, C.M. 1967 Some changes in No. 2 corn stored two years at moisture contents of 14.5% and 15.2% and temperatures of 12°C, 20°C and 25°C Cereal Chem., 44 95-99**

**Christensen, C.M. & Sauer, D.B. 1982 Microflora In C.M Christensen, ed Storage of cereal grains and their products, 2nd ed. p.219-240 St Paul, Minn EtatsUnis, Am Assoc Cereal Chem**

**Christianson, D.D., Wall, J.S., Dimler, R.J. and Booth, A.N. 1968 Nutritionally available niacin in corn. Isolation and biological activity. J Agric Food Chem. 16 100- 104.**

**Chu, N.T., Pellet, P.I., & Nawar, W.W. 1976 Effect of alkali treatment on the formation of lysinoalanine in corn. J. Agr. Chem 24: 1084- 1085**

**Clark, H.E., Allen, P.E., Meyers, S.M., Tuckett, S.F. & Yamumura, Y. 1967 Nitrogen balances of adults consuming opaque-2 maize protein. J. Clin. Nutr. 20:825-833.**

**Clark, H.F., Glever, D.V., Betz, J.L. & Bailey, L.B. 1977. Nitrogen retention of young men who consumed isonitrogenous diets containing normal, opaque-2 or sugary-2 opaque-2 corn. J. Nutr 107: 404-411**

**Contreras, G., Elías, L.G. & Bressani, R. 1980. Limitations of corn (Zea mays) and common bean (Phaseolus vulgaris) diets as protein and calorie sources Plant Foods Human Nutr., 30:145-153.**

**Contreras, Elías, L.R & Bressani, R. 1981 . Efecto de la suplementación con vitaminas y minerales sobre la utilización de la proteína de mezclas de maíz y frijol Arch. Latinoam. Nutr. 31: 808-826**

**Conway, H.F. & Anderson, R.A. 1978. Detoxification of aflatoxin contaminated corn by roasting Cereal Chem. 55:115-117**

**Cortez, A. & Wild-Altamirano, C. 1972 Contributions to the lime-treated corn flour technology. In R. Bressani, J.E. Brahm & M. Bhandari, eds Nutritional improvement of maize. INCAP Pub. L4.p.99-106. Guatemala. INCAP.**

**Cox, L.I., Caicedo, B., Vanos, V., Heck, F., Hofstaeter, S. & Cordier, J.L. 1987. A catalogue of some Ecuadorean fermented beverages, with notes on their microflora. Microbiol. Rev. 51:143-153**

**Cravioto, R., Anderson, R.K., Lockhart, E.F., De Miranda, F. de P. & Harris, R.S. 1945. Nutritive value of the Mexican tortilla Science 102: 91**

**Cravioto, R.O., Cravioto, O.Y., Massieu, G. & Guzman, G.J. 1955. El pozol, forma indígena de consumir el maíz en el Sur-Este de México y su aporte de nutrientes a la dieta. Ciencia (Mex.), 15: 27-30.**

**Cravioto, R.O., Massieu, G.H., Cravioto, O.Y. & Figueroa, M. 1952. Effect of untreated corn and**

**Mexican tortilla upon the growth of rats on a niacin-tryptophan deficient diet. / . Nutr., 48: 453-459.**

**Creech, R.G. 1965. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. Genetics, 52: 1175- 11 86**

**Cuevas, R., de Padua, M.R., Paredes, G. & Ortega, C. 1985. Precooked corn flour for Venezuelan arepa preparation: characterization of particle size fractions. / . Food Sci.. 50: 1668- 1671.**

**Cuevas, R., Figueroa, E. & Racca, E. 1985. The technology for industrial Foodproduction of precooked corn flours in Venezuela. Cereal Foods World, 30: 707-712.**

**Daniel, V. A., Rajan, P., Sanjeevarayappa, K.V., Srinivasan, K.S. & Swaminathan, M.1977. Effectof insect infestation on the chemical composition and protein efficiency ratio of the proteins of kaffir corn and green gram. Indian J. Nutr. Diet, 14: 38-42. de Arriolo, M.C., de Porres, E., de**

**Cabrera, S., de Zepeda, M. & Rolz, C. 1987. Aflatoxinandtortilla preparation in Guatemala. In M.S. Zuber, E.B. Lillehoj & B.L. Renpro, eds. Aflato.rin 1 maize, proceedings of the workshop, p. 298-307. El Batan, Mexique, CIMMYT. de Arriola, M.C., de Porres, E., de Cabrera, S., de Zepeda, M. & Rolz, C. 1988. Aflatoxin t`ate during alkaline cooking of corn for tortilla preparation. J. Agrie. Food Chem., 36: 530-533.**

**De Buckle, T.S., Pardo, C.A., de Sandoval, A.M. & Silva, A. 1972. Propiedades fancionales de harina de maiz y tortificada para la preparaci3n de arepa. In R. Bressani, J.E. Braham & M. B3har, eds.**

**Nutritionu/ improvement of maize INCAP Pub. L-4, p.131 - 146. C;uatemala, INCAP.**

**de Campos, M., Crespo-Santos, J. & Olszyna-Marzys, A.E. 1980. Aflatoxin contamination in grains from the Pacific coast in Guatemala and the effect of storage upon contamination. Bull. Environ Cantunn Toxicol., 24: 789795.**

**De Groot,A.P. & Slump, P.1969. Effect of severe alkali treatment of proteins on amino acid composition and nutritive value. J. Nutr,;, 98: 45-46.**

**Del Valle, F:R.1972. Industrial production, distribution and marketing of maiz,e flour t`or tortilla in Mexico.In R. Bressani, J.E. Braham & M. B◊har, ◊ds. Nutritional improvement of maize. INCAP Pub. L-4, p. 57-83. Guatemala, INCAP.**

**Del Val le, F.R ., Montemayor, E. & Bourges, H. 1976. Industrial fortification of corn tortilla.s with oilseed flour by lime cooking of whole raw corn/soybean mixtures..J. Food Sci.. 41: 349-351.**

**Del Valle, F. R . & P◊rez - Vi l lasenor, J . 1974. Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cocking of whole raw soybean mixtures../. Food Sci. 39: 244247.**

**Deschamps, A.1. 1985. Aprovechamiento industrial del maiz en la manUFACTURA de productos alternos a los de panificacation originados en el trigo. Congreso Tecnologia Alimentos Vi◊a del Mar, Chili.**

**de Souza, N., El◊as, L.G. & Bressani, R.1970. Estudios en ratas del efecto de una dieta basica del**

**medio rural de Guatemala suplementada con leche de vaca y una mezcla de proteínas. Arch. Latinoam. Nutr 20: 293-307.**

**Dudley, J.W. & Lambert, R.J. 1969. Genetic variability after 65 generations of selection in Illinois high oil, low oil, high protein and low protein strains of Zea mays L. Crop Sci. 9: 179-181.**

**Dudley, J.W., Lambert, R.J. & Alexander, D.E. 1974. Seventy generations of selections for oil and protein concentration in the maize kernel. In J.W. Dudley, Ed. Seventy generations of selection for oil/ and protein in maize p. 181-211. Madison, Wis., Etats-Unis, Crop. Sci. Soc. Am.**

**Dudley, J.W., Lambert, R.J. & de la Roche, I.A. 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. Crop. Sci., 17: 111 - 117.**

**Earll, L., Earll, J.M., Navjokaitis, S., Pyle, S., McFalls, K. & Altschul, A.M. 1988. Feasibility and metabolic effects of a purified corn fiber food supplement. J. Am. Diet. Assoc. 88: 950-952.**

**Eggert, R.G., Brinegar, M.J. & Anderson, C.R. 1953. The quality of protein of normal and high protein corn for growing swine. J. Anim. Sci., 12: 282-290.**

**Elías, L.G. & Bressani, R. 1971. Improvement of the protein quality of corn-bean diets by the use of fortified corn or opaque-2 corn. In Third Western Hemisphere Nutrition Congress Bal Harbour, Fla., Etats-Unis.**

**FAO. 1966. Bilans alimentaires, moyenne 1960-62. Rome, FAO.**

**FAO. 1984. Bilans alimentaires moyennes 1979-81. Rome,FAO.**

**FAO. 1988. Annuaire FAO de la production (1987). Vol.41. Rome, FAO.**

**FAO. 1989. Utilisation des aliments tropicaux: céréales. Etude FAO: Alimentation et nutrition, 47/1. Rome, FAO.**

**Fennell, D.I., Lillehoj, E.B., Kwolk, W.F., Guthrie, W.D., Sheeley, R., Sparks, A.N., Widstrom, N.W. & Adams, G.L. 1978. Insect larval activity on developing corn ears and subsequent aflatoxin contamination of seed. Econ. Entomol., 71: 624.**

**Flores, M., Bressani, R. & Ellas, L.G. 1973. Factors and tactics influencing consumer food habits and patterns. In Potential offield beans and other food legumes in Latin Americo p.88114. Cali, Colombie, CIAT.**

**Flynn, L.M., Zuber, M.S., Leweke, D.H., Grainger, R.B. & Hogan, A.G. 1954. Relationship between protein content of corn and concentration of amino acids and nicotinic acid. Cereal Chem. 3 1: 217-228.**

**Frenk,S. 1961. Biological value of some new sources of protein in Mexican malnourished children. In Progress in meeting protein needs of infants and preschool children. NRC Pub. 843, p. 21-38. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Council.**

**Frey, K.J. 1951. The interrelationships of proteins and amino acids in corn. Cereal Chem. 28:123-**

**132.**

**Frey, KJ., Brimhall, B. & Sprague, G.F. 1949. The effects of selection upon protein quality in the corn kernel. Agron. J. 41:399-403.**

**Galinat, W.C. 1977. The origin of corn. In G.F. Sprague, ed. Corn and corn improvement 1-47. Madison, Wis., Etats-Unis, Am. Soc. Agron.**

**Garcia, B. & Urrutia, J.J. 1978. Descripciones de las condiciones socioeconomicas de la comunidad de Santa Maria Cauque. In Tecnologia de Alimentos y Nutricion. Memorias Conferencia /nrraccion, entre Produccion Agricola p. 1 16-132. Guatemala, INCAP.**

**Gomez, M.H., McDonough, C.M., Rooney, L.W. & Waniska, R.D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. J. Food Sci. 54:330-336.**

**Gomez, F., Ramos-Galvan, R., Craviato, J., Frenk, S., de la Pena, C., Moreno, M.E. & Villa, M.E. 1957. Protein metabolism in chronic severe malnutrition (kwashiorkor). Absorption and retention of nitrogen from a typical poor Mexican diet. Br. J. Nutr. 11: 229-233.**

**Gomez-Brenes, R.A., Elias, L.G. & Bressani, R. 1968. Efecto del proceso de maduración del maíz sobre su valor nutritivo. Arch. Latinoam. Nutr: 18: 65-79.**

**Gomez-Brenes, R.A., Elias, L.G. & Bressani, R. 1972. Improvement of the protein quality of diets of low nutritive value through the use of fortified maize and opaque-2 maize. In R. Bressani, J.E.**

**Braham & M. B. Bhar. eds. Nutrition Improvement of maize. INCAP Pub. L4, p. 256-272. Guatemala, INCAP.**

**Gopalan, C. & Rao, K.S.I. 1975. Pellagra and amino acid imbalance. Vitum. Horm., 33: 505-528.**

**Graham, G., Glover, D.V., de Romana, G.L., Morales, E. & MacLean, W.C Jr. 1980. Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. I. Digestibility and utilization. Nutr.: 110: 1061-1069.**

**Graham, G.G., Lembcke, J., Lancho, E. & Morales, F.. 1989. Quality protein maize: digestibility and utilization by recovering malnourished infants. Pediatrics 83: 416-421.**

**Graham, G.G., Placko, R.P. & Maclean, W.C. Jr. 1980. Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. 2. Plasma-free amino acids. J. Nutr., 110: 1070-1075.**

**Hansen, J.D.L. 1961. The effects of various forms of supplementation on the nutritive value of maize for children. In Progress in meeting protein needs of infants and preschool children. NRC Pub. 843, p. 89-102. Washington, D.C., Etats-Unis, Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Council.**

**Hansen, J.D.L., Schendel, H.E., Wilkins, A. & Brock, J.F. 1960. Nitrogen metabolism in children with kwashiorkor receiving milk and vegetable diets. Pediatrics, 25: 258-282.**

**Harper, A.E., Benton, D.A. & Elvehjem, C.A. 1955. L-leucine, an isoleucine antagonist in the rat.**



**Arch. Biochenu Biophys. 57: 1 - 12.**

**Hazell, T. & Johnson, I.T. 1989. Influence of food processing on iron availability in vitro from extruded maizebased snack foods. J. Sc i. Food Agric., 46: 365 -374.**

**Herum, F.L. 1987. Harvesting and postharvest management. /n S.A. Watson & P.E. Ramstad, eds. Corn. chemistry and techno/ogie K p. 83- 123. St Paul, Minn., Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem.**

**Hesseltine, C.W.1979. Some important fermented foods of mid-Asia, the Middle East and Africa. J. Am. Oil Chem. Soc. 56: 367-374.**

**Hickey, C.S., Stophens, D.O. & Flowers, R.S. 1982. Preservation of flour tortillas. Document n° 221, présenté la 42<sup>e</sup> C R union unnuelle, Inst. Food Technol., Las Vegas, Nev.. Etats-Unis.**

**Hogan, A.G., Gillespie, C.,T., Kocturk, O., O'Dell, B.L. & Flynn, L.M. 1955. The percentage of protein in corn and its nutritional properties. J. Nutr., 57: 225239.**

**Howe, E.E., Janson, G.R. & Gilfillan, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. Am. J. Clin. Nuh:, 16: 315320.**

**Illescas, R. 1943. La teoria quimica de la formacion del nixtamal. Rev. Soc. Me.r. Hist. Nat., 4: 129.**

**Ingle, J., Bietz, D. & Hageman, R.H. 1965. Changes in composition during development and maturation of maize seed. Plant Physiol., 40: 835839.**

**Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP).1969. Evaluacion nutritional de /u poblacion de Centro Améri<a y Punama. Guatemala, INCAP; Oficina de investigaciones internacionales de los institutos nacionales de salud; Ministerio de salubridad publica. 144 pp.**

**Instituto de investigaciones tecno logicas.1971. Harinas precocidas de cereales. Primera fase. informe preparado para la OEA (Ahril), p. 2739. Bogota, Colombie, IIT.**

**Islam, M.N., Lirio, M.E. & Delvalle, F.R.1984. Mold inhibition in tortilla by dimethyl fumarate. J. Food PJ OC. Preserv., 8: 41-45.**

**Jackson, D.S., Rooney, L.W., Kunze, O.R. & Waniska, R.D. 1988. Alkaline processing. Properties of stress-cracked and broken corn (Zeu mays). Cereal Chem., 65: 133-137.**

**Jellum, M.D. & Marion, J.E. 1966. Factors affecting oil content and oil composition of corn (Zea mays) grain. Crop. Sci.. 6: 41-42.**

**Johnson, B.A., Rooney, L.W. & Khan, M.N. 1980. Tortilla-making characteristics of microni<ed sorghum and corn flours. J. Food Sci., 45: 671674.**

**Khan, M.N., Desrosiers, M.C., Rooney, L.W., Morgan, R.G. & Sweut, V.E. 1982. Corn tortillas: evaluation of corn cooking procedures. Cereul Chem., S9: 279-284.**

**Khan, N.H. & Bressani, R. 1987. Preparation and nutritional quality of high protein food extracts from immature corn, whole soybean and dry whole milk. Plant Food Human Nutr., 37: 141 149.**

- Kies, C., Williams, E. & Fox, H.M.1965. Determination of first limiting nitrogenous factor in corn protein for nitrogen retention in human adults. J. Nutr., 86: 350-356.**
- Krause, V.M.1988.. Rural-urban variations in lime and maize consumption and the mineral content of tortilla in Guatemala. Center for Studies of Sensory Impairment, Aging and Metabolism, Guatemala; School of Dietetics and Human Nutrition. McGill University, Montreal, Canada.**
- Landry, J. & Moureaux, T. 1970. Hétérogénéité des glutamines du grain de maïs: Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. Bull. Soc. Chinn Biol., 52: 1021-1037.**
- Landry, J. & Moureaux, T.1980. Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological parts of maize grain. J. Agric. Food Chem. 28: 1186-1191.**
- Landry, J. & Moureaux, T.1982. Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. Phyto-chemistry, 21: 1865-1869.**
- Leibovits, Z. & Ruckenstein, C.1983. Our experiences in processing maize (corn) germ oil./. Am. Chem. Soc., 60: 395-399**
- Luna-Jaspe, G.,H., Parra,I.O.M. & Serrano, S.P.1971. Comparacion de la retencion de nitrogeno en niños alimentados con maíz, común, maíz de genotipo opaco-2 y leche de vaca. 1. Resultados con baja ingesta de proteína. Arch. Latinoam. Nutr. 21: 437-447.**

**Lunven, P. 1968. Le tryptophane dans / alimentation intertropicale. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Paris.**

**Maciejewicz-Rys, J. & Hanczakowski, P. 1989. Improvement of the nutritive value of cereals by leaf protein supplementation. J. Sei. Food Agric., 50: 99-104.**

**Mangelsdorf, P.(1. & Reeves, R.C.. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. Bulletin NU. 574 Texas Agric. Exp. Stn. College Station, Texas, EtatsUnis.**

**Martinez, A.B., Gomez-Brenes, R.A. & Bressani, R. 1980. Relacion del contenido de lisina y triptofano con el de zeina, durante la germinacion del grano de maiz y su posible vinculacion con el ciclo vegetativo de la planta. Arch. Latinoam Nutr, 30: 607-633.**

**Martinez, M.L., Elías, I.,G., Rodriguez, J.F., Jarquin, R. & Bressani,R. 1970a. Valornutritivo del maiz infectado con hongos en pollos y de tortilla de maiz fungoso en ratas. Arch. Latinoum. Nutr. 20: 217240.**

**Martinez, M.L., Schieber, E., Gomez Brenes, R. & Bressani, R. 1970b. Prevalencia de hongos en granos de mafz (Zea mays, L.) de Guatemala. Turialba 20: 311 -319.**

**Martinez, R.R. 1979. Las aflatoxinas en las tortillas. Vet. Mex. 10: 37-44.**

**Martinez-Herrera, M.L. 1968. Efecto de ciertos hongos sobre el valor nutritivo calidad y conservacion del maiz en (Guatemala. Thèse, Universidad de San Carlos de Guatemala.**

**Martinez-Herrera, M.L. & Lachance, P.A. 1979. (Iorn (Zeu may) kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. J. Food Sc i. 44: 377-380.**

**Mertz, E.T., Bates, L.S. & Nelson, O.E.1964. Mutant gene that changes prote in composition and increases lysine content of maize endosperm. Science 145: 279-280.**

**Mertz, E.T., Jambunathan, R., Villegas, E., Bauer, R. Kies, C., McGinnis, J. & Shenk, J.S. 1975. Use of small animals for evaluation of protein quality in cereals. In Highquality protein malze, CIMMYTPurdue International Symposium on Protein Quality in Maize, 1972, El Batan, Mexique, p. 306-329. Stroudsburg, Pa., Etats-Unis.Dowden Hutchinson & Ross.**

**Mitchell, H.H., Hamilton, T.S. & Beadles, J.R. 1952. The relationship between the protein content of corn and the nutritional value of the protein. J. Nutr., 48: 461-476.**

**Mitchell, H.H. & Smuts, D.B. 1932. The amino acid deficiencies of beef, wheat, corn, oats and soybeans for growth in the white rat. J. Biol. Chem. 95: 263-281.**

**Molina, M.R., Baten, M.A. & Bressani, R. 1978. Caracteristicas microbiologicas de la masa y tortillas con y sin agregado de harina de soya y el efecto de clorinacion. IAICAP Infor me Anual 1977 p. 39-42. Guatemala, INCAP.**

**Molina, M.R., Letona, M. & Bressani, R. 1977. Drum-drying for the improved production of instant tortilla flour. J. Food Sci., 42: 1432- 1434.**

**Mosqueda Suarez, A. 1954. I.a arepa criolla. Arch. l'ene-. Nutr., 5: 407-423.**

**Murillo, B., Cabezas, M.T. & Bressani, R. 1974. Influencia de la densidad calorica sobre la utilizacion de la proteina en dietas elaboradas a base de mafz y frijol. Arch. Latinoam. Nutr., 24: 223-241.**

**Navarrete, D.A. & Bressani, R. 1981. Protein digestibility and protein quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*) fed alone and with maize. in adult humans using a short-term nitrogen balance assay. Am. J. Clin. Nutr., 34: 1893- 1 898.**

**Nelson, O.E., Mertz, E.T. & Bates, L.S. 1965. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. Science, 150: 1469- 1470.**

**Norad, M.N., Iskander, I.Y., Rooney, L.W. & Erp, C.F. 1986. Physicochemical properties of alkalicooked corn using traditional and presoaking procedures. Cereu/ Chem. 63: 255259.**

**Oke, O.L. 1967. Chemical studies on the Nigerian foodstuff <<ogi>>. Food Technol., 21: 202-204.**

**Onigbinde, A.O. & Akinyele, I.O. 1989. Association between chemical composition and protein digestibility of hent-damaged maize (*Zea moys*) flour. Food Chern. 34: 35-39.**

**Orr, M.L. & Watt, B.K. 1957. Amino acid content of foods. Home Economics Research Report No.4. Washington D.C. Etats-Unis USDA 88p.**

**Ortega, F.I., Villegas, E. & Vasal, S.K. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. Cereal Chem. 63: 446-451.**

**Paredes-Lopez, O. & SaharopulosParedes, M.R. 1983. A review of tortilla production technology. Baker's Dig. 57(5): 16-25.**

**Patterson, J.I., Brown, R.R., Linkswiler, H. & Harper, A.E. 198Q. Excretion of tryptophan metabolites by young men: effects of tryptophan, leucine and vitamin B intakes. Am. J. Clin. Nutr., 33: 21572167.**

**Pausen, M.R. & Hill, L.D.1985. Corn quality factors affecting dry milling performance. J. Agric. Eng. Res. 31: 255-263.**

**Pearson, W.N., Stempfel, S.J., Valenzuela, T.S., Utle, M.H. & Darby, W.J. 1957. The influence of cooked vs. raw maize on the growth of rats receiving a 9% casein ration. 1. Nutr. 62: 445-463.**

**Pelaez, J. & Karel, M.1980. Development and stability of intermediate moisture tortillas. .1. Food Proc. Preserr. 4: 5165.**

**Perez, R.A., Tuite, .1. & Baker, K. 1982. Effect of moisture, temperature and storage time on subsequent stability of shelled corn. Cereal Chem. 59: 205209.**

**Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. & Waniska, R.D. 1988a. Dry matter losses in commercial corn masa production. Cereal Chem. 65: 127**

**132.**

**Pflugfelder, R.L., Roonev, L.W. & Waniska, R.D. 1988b. Fractionation and composition of commercial corn masa. Cereal Chem., 65: 262-266.**

**Poey, F.R., Bressani, R., Garcia, A.A., Garcia, M.A. & Ellas, L.G. 1979. Germ-endosperm relationship in the nutritional improvement of maize grain. In Seed protein improvement in cereals and grain legumes, Vol. I, p. 369-384. Vienne, AIEA.**

**Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z. & Lai, F.S. 1986. Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercially dried corn. Cereal Chem., 63: 39-43.**

**Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z., Martin, G.R. & Lai, F.S. 1985. Determination of corn hardness by the Stenvert hardness tester. Cereal Chem., 62: 108-112.**

**Pomeranz, Y., Martin, C.R., Traylor, D.D. & Lai, F.S. 1984. Corn hardness determination. Cereal Chem., 61: 147-150.**

**Poneleit, C.G. & Alexander, D.E. 1965. Inheritance of linoleic and oleic acids in maize. Science. 147: 1585-1586.**

**Poneros, A.G. & Erdman, J.W. Jr. 1988. Bioavailability of calcium from tofu, tortillas, non-fat milk and mozzarella cheese in rats: effect of supplemental ascorbic acid. J. Food Sci., 53: 208-210.**



**Pradilla, A., Linares, F., Francis, C.A. & Fajardo, L.1973. El maiz de alta lisina en nutricion humana. In Simposio sobre desarrollo y utilizacion de maices de alto valor nutritivo, junio 29-3V, 1971. Colegio de Postgraduados, ENA, Chapingo, Mexique, SAG.**

**Price, R.L. & Jorgensen, K.V. 1985. Effects of processing on aflatoxin levels and on mutagenic potential of tortillas made from naturally contaminated corn. J. Food Sci., 50: 347349.**

**Quackenbush, F.W. 1963. Corn carotenoids: effects of temperature and moisture on losses during storage. Cereal Chem., 40: 266-269.**

**Rajan, P., Daniel, V.A., Padmarani, R. & Swaminathan, M.1975. Effect of insect infestation on the protein efficiency ratio of the proteins of maize and cowpea. Indian J. Nutr: Diet., 12: 354-357.**

**Ranhotra, G.S. 1985. Nutritional profile of corn and flour tortillas. Cereal Foods World, 30: 703-704.**

**Ranhotra, G. & Gelroth, J. 1988. Soluble and total dietary fiber in white bread. CereulCheCereal Chem., m., 65: 155156.**

**Reinhold, J.G. & Garcia J.S. 1979. Fibre of the maize tortilla. Am. ./ Clin. Nutr.. 32: 1326-1329.**

**Robles, R.R., Murray, E.D. & Paredes-Lopez, O. 1988. Physicochemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tort il la making. J. Foods Sci i. Tec hnal., 23: 91-98.**

- Robutti, J.L., Hoseny, R.C. & Deyoe, C.W. 1974. Modified opaque-2 corn endospenn. 1. Protein distribution and amino acid composition. Cereal Chem.,51: 163-172.**
- Robulti,,I.I.,, Hoseny, R.C. & Wasson, (C.E. 1974. Modifiedopaque-2corn endosperrn. II. Structure viewed with a scanning electron microscope. Cereal Chem.. 51: 173- 180.**
- Rodriguez,, (1.F. 1972. Industrial production, market and distribution of mai ze fl ou r for the preparation of arepa in Venezuela. In R. Bressani, J.E. Braham & M. B◆har, ◆ds. Nutritional improvement oJ rmai:e. INCAP Pub. L4, p. 107-112. Guatemala, INCAP.**
- Ronney, L.W. & Serna-Saldivar, S.O. 1987. Food uses of whole corn and drymilled fractions.In S.A. Watson &P.E. Ramsted,◆ds. Corn : chemistry and technology. St Paul., Minn., EtatsUnis, Am. Assoc. Cereal Chem.**
- Rosenberg, H.R., Rohdenburg, E.L. & Eckert, R.E.1960. Multiple amino acid supplementation of white com meal. J. Nutr., 72: 415-422.**
- Rubio,M.J.1972a Tortilla and process using epichlorohydrim US Patent 3,690, 893.**
- Rubio, M.J.1972b Tortilla and process using carboxylic acids and their anhydrides. US Patent 3,694,224.**
- Rubio, M.J. 1973. Tortilla and process using hydrophylic inorganic gels. US Patent 3,709,696.**

**Rubio, M.J.1974a. Tortilla and process using sorbic acid and its salts. U.S Patem 3,853,997.**

**Rubio, M.J.1974b. Tortillaand process using methyl, ethyl, butyl and propyl esters of parahydroxy benzoic ackl. US Patent 3.853,998.**

**Rubio, M..1.1975. Tortilla and process using acetic and propionic acid. US Patent 3,859,44Y.**

**Saldana, G. & Brown, H.E. 1 984. Nutritional composition of corn and flour tortillas..J. Food Sci., 49: 12021203.**

**Sanderson, J., Wall, J.S., Donaldson, G.L. & Cavins, J.F. 1978. Et'fect of alkaline processing of corn on its amino acids. Cereul Chem., 55: 204213.**

**Sandstend, H.H., Munoz, J.M., Jacob, R.A., Kelvay, L.M., Reck, S..1., Logan, G.M. Jr., Dintzis, F.R., Inglett, (..E. & Shvey, W.(h 1978. Influence of` dietary fiber on trace element balance. Anl. J. Clin. NUn:, 31: 5180-.5180.**

**Sandstead, R.M., Hites, B.H. & Schroeder, H. 1968. Genetic variations in maize. effects on the properties of the starches. Cereal Sci. Today. 13: 82-94, 156.**

**Sauer, D.B. & Burroughs, R. 1980. Fungal growth, aflatoxin production and moisture equilibrium in mixtures of wet and dry corn. Phytapathalogy, 70: 516-521.**

**Schneider, K. 1987. Experienciu del proyer to para la reduccion de p◊rdidas postrosecha en**

**Handuras. Honduras, Ministerio de Recursos Naturales, Honduras y Cooperación Suiza al Desarrollo**

**Scrimshaw, N.S., Bhandar, M., Wilson, D., Viteri, F., Arroyave, G. & Bressani, R. 1961. All-vegetable protein mixtures for human feeding. V. Clinical trials with INCAP mixtures 8 and 9 and with corn and beans. Am. J. Clin. Nutr., 9: 196-205.**

**Scrimshaw, N.S., Bressani, R., Bhandar, M. & Viteri, F. 1958. Supplementation of cereal proteins with amino acids. 1. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at high levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. J. Nutr, 66: 485-4'39.**

**Serna-Saldivar, S.O., Canett, R., Vargas, J., Gonzalez, M., Bedolla, S. & Medina, (1. 1988a. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tonillas produced by extrusion cooking. Cereal Chem., 65: 44-48.**

**Serna-Saldivar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W. & Tanksley, T.D. Jr. 1987. Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. Cereal Chem., 64: 247-252.**

**Serna-Saldivar, S.O, Knabe, D.A., Rooney, L.W., Tanksley, T.D. Jr. & Sproule, A.M. 1988b. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. J. Cereal Sc i., 7: 83-94.**

**Shannon, J.C. & Garwood, D.1., 1984. Genetics and physiology of starch development. In R. L. Whistler, J.N. Bemiller & E.F. Paschall, eds. Starch: chemistry and technology p. 2586. Orlando, Fla., Academic Press.**

**Sirischa, P., Kawashima, K., Kawasagi, S., Saito, M. & Tombonn-lk,P.1989. Post-harvest contamination of Thai corn with *Aspergillus flavus*. Cereal Chem., 66: 445-448.**

**Solorzano-Mendizabal, M. de C.1985.Destruccion de aflatoxinas cturante elproceso cte nixtmalizacion. Thése, Universidad de San Carlos de Guatemala.**

**Sproule, A.M., Serna-Saldivar, S.O.,Buckholt, A.,I., Rooney, L.W. & Knabe, D.A. 1 988. Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from quality protein maize. Cereal Foods WorkS, 33: 233-236.**

**Squibb, R.L., Bressani, R. & Scrimshaw, N.S. 1957. Nutritive value of Central American corns. V. Carotene content and vitamin A activity of three Guatamalan yellow corns. Food Res., 22: 303-307.**

**Sternberg, M., Kim,C.Y. & Schwende, F.J. 1975. Lysino-alanine: presence in foods and food ingredients. Science 190: 992-994.**

**Tanaka, A. & Yamaguchi, J.1972. Dry matterproduction, yield components and grain yield of the maize plant. J. Fac. Agric Hakkaido Univ., 57: 71-132.**

**Torreblanca, A., Bourges, H. & Morales,.1.1987. Aflatoxin in maize and tortillas in Mexique. In M.S. Zuber, E.B. Lillehoj & B.L. Renpro, eds. Aflatoxin in maize proceeding at the workshop. p. 310-317. El Batan, Mexique. CIMMYT.**

**Torun, B., Caballero, B., FloresHuerta, S. & Viteri, F. 1984. Habitual Guatemalan diets and catch-up growth of children with mild to moderate malnutrition. Food Nutr Bull Suppl . 10: 216-231.**

**Torun, B. & Viteri, F.F., 1981 .Capacity of habitual Guatemalan diets to satisfy protein requirements of preschool children with adequate dietary energy intakes. Food Nutr. Bull. .Suppl., 5 210228.**

**Trejo-Gonzalez, A., Feria-Morales, A. & Wild-Altamirano, C. 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. Adv. C'henn Sen. 198: 245-263.**

**Truswell, A.S. & Brock, J.F. 1961. Effect of amino acid supplements on the nutritive value of maize protein for human adults. A.m. J. Clin. Nutr.: 9: 715-728.**

**Truswell, A.S. & Brock, J.F. 1962. The nutritive value of maize protein for man. Am. J. Clin. Nutr., 10: 142.**

**Tsai, C.Y., Dalby, A. & Jones, R.A. 1975. Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. Cereal Chem., 52: 356-360.**

**Tsai, C.Y., Huber, D.M. & Warren, H.L.1978. Relationship of the kernel sink to N to maize productivity. Crop Sci., 18: 399-405.**

**Tsai, C.Y., Huber, D.M. & Warren, H.L. 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sinks in maize. Plant Physiol.. 66: 330-333.**

**Tsai, C.Y., Warren, H.I., Huber, I.M. & Bressani, R.A. 1983. Interaction between the kernel N sink grain yield and protein nutritional quality of maize. J. Sei. Food/Agric., 34: 255-263.**

**Ulloa-Sosa, M. & Schroeder, H.W. 1969. Note on aflatoxin decomposition in the process of making tortillas from corn. Cereal Chem., 46: 397-400.**

**Urrutia, J.J., Garcia, B., Bressani, R. & Mata, L.J. 1976. Report of the maize fortification. In H.L. Wilcke, ed. Improving the nutrient quality of cereals. Report of 2nd Workshop on Breeding and Fortification, Boulder, Colorado, Etats-Unis, p. 28-68. Washington, D.C., Etats-Unis, AID.**

**Valverde V., Delgado, H., Belizan, J.M., Martorell, R., Mejia-Pivaral, V., Bressani, R., Elias, L.G., Molina, M.R. & Klein, R. 1983. The Patulul project: production, storage, acceptance and nutritional impact of opaque-2 corns in Guatemala. Puh. INCAP p. 179. Guatemala, INCAP.**

**Valverde, V., Martorell, R., Delgado, H., Pivaral, V.M., Elias, L.G., Bressani, R. & Klein, R.E. 1981. The potential nutritional contribution of opaque-2 corn. Nutr Rep. Int. 23: 585-595.**

**Van Soest, P.J., Fadel, J. & Sniffen, C.J. 1979. Discount factors for energy and protein in ruminant feeds. In Proceedings Cornell nutrition conference for feed manufacturers p.63-75. Ithaca, N.Y., Etats-Unis, Cornell Univ.**

**Vargas, E., Munoz, R. & Gomez, J. 1986. Composicion quimica y valor biologico de tortillas y pan producidos a nivel industrial en Costa Rica. Arch. Latinoam. Nutr. 36: 456-465.**

**Vineyard, M.L., Bear, R.P., MacMasters, M.M. & Dentherage, W.L. 1958. Development of <<Amylomaize>> corn hybrid with high amylose starch: 1. Genetic considerations. Agron. J., 50: 595-598.**

**Viteri, F., Martinez, C. & Bressani, R. 1972. Evaluacion de la calidad proteínica del malz comun, del maiz opaco-2 y del maiz comun suplementado con aminoácidos y otras fuentes de proteina. /n R. Bressani, J.E. Braham & M. B. har, eds. Mejorar el contenido nutritivo del maiz. INCAP Pub. L-3, p.195-208. Guatemala, INCAP.**

**Vivas, N.E., Waniska, R.D. & Rooney, L.W. 1987. Effect of tortilla production on proteins in sorghum and maize. Cereal Chem. 64: 384-389).**

**Wang, Y.Y.D. & Fields, M.L. 1978. Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritive value. J. Food Sci., 43: 1113-1115.**

**Watson, S.A. 1962. The yellow carotenoid pigments of corn. /n W. Hechendorff & J.J. Sutherland' eds.**

**Proc Corn Res. Conf. , 17th. Washington, D.C.. Etats-Unis, Am. Seed Trade Assoc.**

**Watson, S.A. 1987. Structure and composition. /n S.A. Watson & P.E. Ramstad. eds. Corn. chemistry and technology p. 53-82. St Paul, Minn. Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem.**

**Weber, E.J. 1987. Lipids of the kernel. /n S.A. Watson & P.E. Ramstad, eds. Corn. chemistry and technology p. 101-110. St Paul, Minn. Am. Assoc. Cereal Chem.**



**technology. p. 311-349. St Paul, Minn.' Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem.**

**Wichser, W.R. 1966. Comparison of the dry milling properties of opaque2 and normal dent corn. In E.T. Mertz & O.E. Nelson, eds. Proc. High Lysine Corn Conference and e. P. 104- 116. Lafayette, Ind., Etats-Unis, Purdue Univ.**

**Wolf, M.J., Buzan, C.L., MacMasters, M.M. & Rist, C.E. 1952. Structure of the mature corn kernel. Cereu/ Chem., 29: 321 -382.**

**Wolf, M.J., Khoo, V. & Seckinger, H.L. 1969. Distribution and subcellular structure of endospenn protein in varieties of ordinary and high-lysine maize. Cereal chem ,46: 253-263.**

**Wolzak, A., Bressani, R. & GomezBrenes, R.1981. A comparison of in vivo and in V;tr a estimates of protein digestibility of native and thenally processed vegetable proteins. Plant Foods Human Nutr., 31: 31-43.**

**Woodworth, C.M. & Jugenheimer, R.W.1948. Breeding and genetics of high protein corn. Ind. Re.s. Rep., 3: 7583.**

**Yen, J.T., .lensen, A.H. & Baker, D.H. 1976. Assessment of the concentration of biologically available vitamin B in corn and soybean meal.J.Anim. .Sci..42: 866870.**

**Young, V.R., Ozalp, I., Chokos, B.V. & Scrimshaw, N.S.1971. Protein value of Colombian opaque-2 corn for youngadultmen.J. Nutn 101: 14751481.**

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

## Autres ouvrages conseillés

[Table des matières](#) - [Précédente](#)

**Adeyemi, I.A. 1983. Dry-milling of sorghum for ogi manufacture. J. Cereal Sci. 1: L221 -227.**

**Akingbala, J.O., Rooney, L.W. & Faubion, J.M. 1981. Physical, chemical and sensory evaluation of ogi from sorghum of differing kernel characteristics. J Food.Sci..46: 15321516.**

**Akinrele, I.A. 1964. Fermentation of cassava. J. Sci. Food Agric 15: 589594.**

**Akiarele, I.A. & Edwards, C.C.A. 1971. An assessment of the nutritive value of maize-soya mixture. SoyOgi, as a weaning food in Nigeria. Br. J. Nutr. 26: 177- 185.**

**Andah, A. & Muller, H.G. 1973. Studies on koko, a Ghanaian fermented maize porridge. Ghana J. Agric. Sci. 6: 93102.**

**Bagley, E.B. 1979. Decontamination of corn containing aflatoxin by treatment with ammonia. J.**

**Argn Oil Chen7. Soc., 56: 808811.**

**Banigo, E.O.I. & Adeyemi, A.1. 1975. A comparative study of the commercial practice of traditional ogi manufacture using high-lysine (opaque-2) corn and normal corn. Proc. 10th /nt. Congr. Nutr. Kyoto Japon, p. 402.**

**Bothast, R.J., Anderson, K.A., Warner, K. & Kwolek, W.F.1981. Effects of moisture and temperature on microbiological and sensory properties of wheat flours and corn meal during storage. Cereal Chem., 58: 309-311.**

**Braham, J.E., Flores, M., Ehas, L.(., de Zaghi, S. & Bressani, R. 1969. Mejoramiento del valor nutritivo de dietas de consumo humano. II. Suplementacion con mezcla vegetal INCAP 9 y leche. Arch. Latinoam. Nutr., 19: 253-264.**

**Brekke, O.L. 1968. Corn dry-milling: stress crack formation in tempering of lowmoisture corn and effect on degerminator performance. Cereal Chem.. 45: 291-303.**

**Bressani, R. 1974. Complementary amino acid patterns. In P.L. White & D.C. Fletcher, eds. Nutrients in processed food proteins. Acton, Mass., EtatsUnis, Publishing Sciences Group.**

**Bressani, R.1981. The role of soybeans in food systems. ./ . Am. Oil Chem. .Soc., 58: 392-400.**

**Bressani, R., Campos, A.M., Squibb, R.L. & Scrimshaw, N.S. 1953. Nutritive value of Central American corns. IV. The carotene content of thirtytwo selections of Guatemalan corn . Food Res.,**

**18: 618-624.**

**Bressani, R. & Conde, R. 1961. Changes in the chemical composition and in the distribution of nitrogen of maize at different stages of development. Cereal Chem.' 38: 76-84.**

**Bressani, R., Ellas, L.G., Scrimshaw, N.S. & Guzman, M.A. 1962. Nutritive value of Central American corns. VI. Varieta1 and environmental influence on the nitrogen, essential amino acids and fat content of 10 varieties. Cereal Chem., 39: 59-67.**

**Bressani, R., Elías, L.G. & GómezBrenes, R.A. 1969. Protein quality of opaque-2 corn. Evaluation in rats. J. Nutr., 97: 173- 180**

**Brown, R.B., Fulford, G.N., Daynard, T.B., Meiering, A.G. & Otten, L. 1979. Effect of drying methods on grain corn quality. Cereal Chem., 56: 529-533.**

**Brunson, A.M. & Quackenbush, F.W. 1962. Breeding corn with high provitamin A in the grain. Crop.Sci.,2: 344-347.**

**Cantor, S.M. & Roberts, H.J. 1967. Improvement in protein quality in cornbased foods. Cereal.Sc i. Tottay. 12: 443445, 460-462.**

**Choto, C.E., Morad, M.M.& Rooney, L.W. 1985. The quality of tortillas containing whole sorghum and pearled sorghum alone and blended with yellow maize. Cereal Chem., 62: 51-55.**

**Cravioto, B., Cravioto, R.O. & Cervantes, M. 1965. Eficiencia proteica de la harina de masa enriquecida con harina de soja y de la adicionada con proteina de ajonjolí. Ciencia (Méx.), 24:159- 162.**

**De Padua, M.R. & Maroun, H.P.1984. Rheological behavior of Venezuela arepa dough from precooked corn flour. Cereal Chem.. 61: 37-41.**

**Dutra de Oliveira, J.E. & de Souza, N. 1972. El valor nutritivo de productos de la molienda del maíz, de la suplementación con aminoácidos y de mezclas de maíz común y de opaco2. In R. Bressani, E. Braham & M. Behar, eds. Mejoramiento tecnológico del maíz. INCAP Pub. L-3, p. 209-215. Guatemala, INCAP.**

**Earle, F.R., Curtis, J.J. & Hubbard, J.E. 1946. Composition of the component parts of the corn kernel. Cereal Chem., 23: 504-511.**

**Frdmenger, J.J., Elias, L.G, de Souza, N., Salomon, J.B., Bressani, R., Aroyave, J. & Habicht, J.P.1972. Estudio, en ratas, del efecto de la suplementación proteínica de una dieta típica de una comunidad rural de Guatemala. Arch. Latinoam. Nutr., 22: 179- 190.**

**Evans, J.W. 1941. Changes in biochemical composition of the corn kernel during development. Cereal Chem., 18: 468-473.**

**FAO/OMS.1973. Be.sains énergétiques et besoins en protéines Reunions de la FAO sur la nutrition, rapport n° 52: OMS: Serie de rapports techniques n° 522. Rome, FAO.**

**Feria-Morales, A.M. & Pangborn, R.M. 1983. Sensory attributes of corn tortillas with substitutions of potato, rice and pinto beans. ./ . Food Sci.,48 1124-1134,**

**Fernandez, J.J., Guerra, M.J. & Racca, E.1991. Precoccion de harina de soya y maiz por microonda y SU uso en la preparacion de arepas. Arch. Latinoam Nutr., 41(3).**

**Fields, M.1., Hamad, A.M. & Smith, D.K. 198 1. Natural lactic acid fermentation of corn meal. J. Faacl Sc i.. 46: 900-902.**

**Flores, M. 1966. Food intake of Guatemalan Indian children aged 1 to 5. J. Am Diet Assoc., 48: 480.**

**Franz, K.1975. Tortillas f`ortified with whole soybeans prepared by dit't`erent methods. ./ . Faac/ Sci. 40: 12751277.**

**Frey, K.J. 1949. The inheritance of protein and certain of its components in maize. Agran. ./ . 41: 113- 117.**

**Garcia-Lopez, S. & Wyatt, C.J. 1982. Et'tect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability. J. Agric. Faacl Chem. 30: 724-727.**

**Gopalan, C., Belavady, B. & Krishnamurthi, D. 1969. The role of leucine in the pathogenesis of canine black-tongue and pellagra. Lancet 11: 956-957.**

**Graham, G.(., 1,embcke, J. & Morales, E. 1990. Quality-protein maize as a sole source ot' dietary**

**protein and t`at for rapidly growing young children. Pediatrics 85: 8591.**

**Green, J.R., Lawhon, J.T., Cater, C.M. & Mattil, K.F. 1976. Protein fortification of com tortillas with oilseed flour. J. Food Sci., 41: 656-660.**

**Green, J.R., Lawhon, J.T., Cater, C.M. & Mattil, K.F. 1977. Utilization of whole undefatted glandless cottonseed kernels and saybeans to protein tortify corn tortillas. J. Food Sci i.. 42: 790-794. Crogan, C.O. & Blessin, C.W. 1968.**

**Characterization of major carotenoids in yellow maize lines of different pigment concentration. Crop Sci., 9: 730-732.**

**Hamad, A.M. & Fields, M.L. 1979. Evaluation of the protein quality and available lysine of germinated and fermented cereals. J. Food Sc i., 44: 456-459.**

**Hansen, D.W., Brimhall, B. & Sprague, G.F. 1946. Relationship of zein to the total protein in corn. Cereal Chem., 23: 329-335.**

**Holder, D.G., Glover, D.V. & Shannon, J.C. 1974. Interaction of shrunken-2 and five other carbohydrate genes of corn endosperm. Crop Sci 14: 643-646.**

**Jellum, M.D. 1967. Fatty acid composition of corn (*Zea mays* L.) as influenced by kernel position on ear. Crop Sci., 7: 593-595.**

**Jellum, M.D. 1970. Plant introductions of maize as a source of oil with unusual fatty acid composition. J. Agric. Food Chem., 18: 365-370.**

**Joao, W.S.J., Elías, L.G. & Bressani, R. 1980. Efecto del proceso de cocción-extrusión (Brady Crop Cooker) sobre el valor nutritivo de mezclas elaboradas a base de frijol campo (Vigna sinensis) maíz y de frijol caupi-yuca. Arch. Lituam. Nutr., 30: 539-550.**

**Kodicek, E., Braude, R., Kon, S.K. & Mitchell, K.G. 1956. The effect of alkaline hydrolysis of maize on the availability of its nicotinic acid to pigs. Br. J. Nutr., 10: 51.**

**Kodicek, E., Braude, R., Kon, S.K. & Mitchell, K.G. 1959. The availability to pigs of nicotinic acid in tortilla baked from maize treated with lime water. Br. J. Nutr., 13: 363-384.**

**Kodicek, E. & Silson, P.W. 1959. The availability of bound nicotinic acid to the rat. 1. The effect of lime water treatment of maize and subsequent baking into tortilla. Br. J. Nutr., 13: 418.**

**Krehl, W.A., Henderson, L.M., de la Huerga, J. & Elvehjem, C.A. 1946. Relation of amino acid imbalance to niacin-tryptophan deficiency in growing rats. J. Biol. Chem., 166: 531-540.**

**Laguna, J. & Carpenter, K. 1951. Raw versus processed corn in niacin deficient diets. J. Nutr., 45: 21.**

**Lillehoj, E.B., Kwolek, W.F., Horner, E.S., Widstrom, N.W., Josephson, L.M., Franz, A.O. & Catalano, E.A. 1980. Aflatoxin contamination of preharvest corn: role of *Aspergillus flavus* inoculum and**



**insect damage. Cereul Chem., 57: 255-257.**

**Makinde' M.A. & Lachange, P.A. 1976. Tryptophan: first limiting amino acid in ogi. Nutn Rep. Int. 14: 671 -679.**

**Makinde, M.A. & Lachange, P.A. 1989. Optimization of protein nutritive value of ogi. Nigen J. Nufn Sc i., 10: 85-93.**

**Mitchell, H.H., Hamilton, T.S. & Beadles,J.R.1952. Therelationship between the protein content of corn and the nutritional value of the protein..l. ALutn 48: 461-476.**

**Mottern, H.H., De Buckle, T.S. & Pardo, C.1970. Protein enrichment of Colombian corn cakes. Cereu/ Sai. Today 15: 108- 112.**

**Nofsinger, G.W. & Anderson, R.A. 1979. Note on inactivation of aflatoxin in ammonia-treated shelled corn at low temperatures. Cereal Chem., 56: 12U122.**

**Pardo T., F., Mora, J.O., Paez F.,J., de Onshuss, Y. & de la Cruz de Villota, M. 1972. Aceptabilidad del maiz opaco2 en Colombia. Arch**

**Latinoam. Nutn 22: 561-575.**

**Plahar, W.A. & Leung, H.K. 1983. Composition of Ghanaian fermented maize meal and the effect of soya fortification on sensory properties. J. Sci. Food Agric., 34: 407.**

- Plahar, W.A., 1,eung, H.K. & Coon, C.N. 1983. Effect of dehydration and soy fortification on physicochemical nutritional and sensory properties of Cihanaian fermented maize meal. J. Food Sci., 48: 1255.**
- Reddy, V. & Gupta, C.P. 1974. Treatment of kwashiorkor with opaque-2 maize. Am. J. Clin. Nutr., 27: 122-124.**
- Reinhold,J.G., Garcia,J.S. & Garzon, D. 1981. Binding of iron by fiber of wheat and maieze. Am. J. Clin. Nutn 34: 1384 - 1391.**
- Sanchez-Marroquin, A., FeriaMorales, A., Maya, S. & RamosMoreno, V. 1978. Processing. nutritional quality and sensory evaluation of amaranth enriched corn tortillas. J. Food Sci., 52: 1611 1614.**
- Sauberlich, H.E., Chan, W.U. & Salmon,W.D.1953. Theaminoacid and protein content of corn as related to variety and nitrogen t`ertilization. J. Nutr: 51: 241-250.**
- Singh, J. & Koshy,, S. 1974. Role of opaque-2 maize in child nutrition. Indian J. Genet. 34: 1182-1190.**
- Sirinit, K.,Soliman,A.(,M., Van Loo, A.T. & King, K.W.1965. N utrit ional value of Haitian cereul-legume blends. J.Nutn 86:415.**
- Smith, O., De Buckle, T.S., de Sandoval, A.M. & (,onzalez, A.E. 1979. Production of precooked corn**

**flours for arepa making using an extrusion cooker. J. Food Sci., 44:816-819.**

**Squibb, R.L., Braham, J.E., Arroyave, G. & Scrimshaw, N.S. 1959. A comparison of the effect of raw corn and tortillas (lime-treated corn) with niacin, tryptophan or beans on the growth and muscle niacin of rats. J. Nutr., 67: 351-361.**

**Tellez-Giron, A., Acuff, G.R., Vanderzant, C., Rooney, L.W. & Waniska, R.D. 1988. Micro-biological characteristics and shelf-life of corn tortillas with and without antimicrobial agents. J. Food Prot., 51: 945-948.**

**Tuite, J., Foster, G.H., Eckhoff, S.R. & Shotwell, O.L. 1986. Sulfur dioxide treatment to extend corn drying time. Cereal Chem., 63: 462-464.**

**Ulloa, M., Herrera, T. & Taboada, J. 1977. Pozol, a fermented maize dough consumed in Southern Mexico. In Symposium on indigenous fermented foods. Bangkok, Thailand. Gouvernement thaïlandais, PNUE, Unesco, FIS, CFT, ICRO.**

**Viteri, F.E., Torun, B., Arroyave, G. & Pineda, O. 1981. Use of corn-bean mixtures to satisfy protein and energy requirements of preschool children. In B. Torun, V.R. Young & W.M. Rand, eds. Protein-energy requirements of developing countries: evaluation of new data, p. 202-209. Tokyo, Université des Nations Unies.**

**Watson, S.A. & Yahl, K.R. 1967. Comparison of wet milling properties of opaque-2 high-lysine corn and normal corn. Cereal Chem., 44: 488-498.**

**Wolzak,,A., Elias, L.G. & Bressani, R. 1981. Protein quality of vegetable proteins as determined by traditional biological methods and rapid chemical assays. J. Agrit . Food Chem.,29: 10631068.**

**Yamaguchi, J. 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical maize. IV. Plant traits and productivity of tropical varieties. Soil St'i. Plant Nutr., 20: 287304.**

**Where to purchase FAO publications locally  
Points de vente des publications de la FAO  
Puntos de venta de publicaciones de la FAO**

**📍 ANGOLA**

**Empresa Nacional do Disco e de**

**Publicações, ENDIPU-U .E.E..**

**Rua Clirilo da Conceição Silva, No 7**

**CP.No.1314C Luanda**

**📍 ARGENTINA**

**Libreria Argentina Agropecuaria**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Avda. Santa Fe 690**

**1059 Capital Federal**

**📍 AUSTRALIA**

**Hunter Publications**

**58A Gipps Street**

**Collingwood, Vic, 3067**

**📍 AUSTRIA**

**Gerold Buch & Co.**

**Weihburggasse 26**

**1010 Vienna**

**📍 BAHRAIN**

**United Schools International**

**P O Box 726**

**Manama**

📍 **BANGLADESH**

**Association of Dvelopment**

**Agencies In Bangladesh**

**House No 1/3, Block F. Lalmatia**

**Dhaka 1207**

📍 **BELGIQUE**

**M.J De Lannoy**

**202, avenue du Roi**

**1060Bruxelles**

**CCP 000-0808993-13**

📍 **BOLIVIA**

**Los Amigos del Libro**

**Peru 3712 Casilla 450,**

**Cochabamba Mercado**

**1315, La Paz**

**📍 BOTSWANA**

**Botsalo Bocks (Pty) Ltd**

**P O. Box 1532**

**Gaborone**

**📍 BRAZIL**

**Funda📍📍o Getulio Vargas**

**Praia do Botafogo 190, C P. 9052**

**Rio de Janeiro,**

**📍 CANADA (See North America)**

**📍 CHILE**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Libreria - Oficina Regional FAO**

**Avda. Santa Maria 6700**

**Casilla 10095, Santiago**

**Tel. 228-80-58**

**Fax 228-25-47**

**📍 CHINA**

**China National Publications Import &**

**Export Corporation**

**P O. Box 88**

**100704Beijing**

**📍 COLOMBIA**

**Banco Ganadero,**

**Revista Carta Ganadera**



25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Carrera 9. N 72-21, Piso 5**

**Bogotá**  **D E.**

**Tel. 2170100**

 **CONGO**

**Office national des**

**librairies populaires**

**B.P 577**

**Brazzaville**

 **COSTA RICA**

**Libreria Imprenta y Litografia**

**Lehmann S.A**

**Apartado 10011**

**San José** 

 **CUBA**

**Ediciones Cubanas, Empresa de**

**Comercia Exterior de Publicaciones**

**Obispo 461, Apartado 605**

**La Habana**

 **CYPRUS**

**MAM**

**P O. Box 1722**

**Nicosia**

 **CZECHOSLOVAKIA**

**Artia**

**Ve Smeckach 30, P. O. Box 790**

**11127 Prague 1**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

📍 DENMARK

**P.O. Box 2148**

**DK 1016 Copenhagen K.**

**Tel. 4533128570**

**Fax 45331293B7**

📍 ECUADOR

**Libri Mundi, Libreria Internacional**

**Juan Leon Mera 851,**

**Apartado Postal 3029**

**Quito**

📍 ESPAÑA

**Mundi Prensa Libros S.A**

**Castello 37 28001 Madrid**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Tel. 4313399 Fax 575 3998**

**Libreria Agricola Fernando**

**VI2 28004 Madrid Libreria**

**Internacional AEDOS**

**Consejo de Ciento 39 08009**

**Barcelona Tel. 3018615**

**Fax 317 0141 Libreria de la**

**Generalitat de Catalunya**

**Rambla dels Estudis, 118 (Palau Moja)**

**08002 Barcelona**

**Tel. (93) 302 6462**

**Fax 302 1299**

** FINLAND**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Akateeminen Kirjakauppa**

**SF 00381 Helsinki**

**📍 FRANCE**

**La Maison Rustique**

**Flammarion 4**

**26 rue Jacob**

**75006 Paris**

**Librairie de l'UNESCO**

**7. place de Fontenoy**

**75700 Paris**

**Editions A. Padone**

**13 rue Soufflot**

**75005 Paris**

 **GERMANY**

**Alexander Horn Internationale**

**Buchhandlung**

**Kirchgasse 22, Posilach 3340**

**6200 Wiesbaden**

**Uno Verlag**

**Poppelsdorfer Alle 55**

**D-5300 Bonn 1**

**S. Toeche-Mittler Gmbh**

**Versandbuchhandlung**

**Hindenburgstrasse 33**

**6100 Darmstadt**

 **GREECE**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**G.C. Eleftheroudakis S.A..**

**4 Nikis Street**

**105 C3 Athens**

**John Mihalopoulos L Son S.A.**

**75 Hermou Street, P.O. Box 10073**

**541 10 Thessaloniki**

**📍 GUYANA**

**Guyana National Trading**

**Corporation Ltd**

**45-47 Water Street, P O. Box 308**

**Georgetown**

**📍 HA📍TI**

**Librairie "A la Caravelle"**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**26, nue Bonne Foi, B.P. 111**

**Port-au-Prince**

**📍 HONDURAS**

**Escuela Agricola Panamericana**

**Libreria RTAC**

**Zamorano, Apartado 93**

**Tegucigalpa**

**Officina de la Escuela Agricola**

**Panamaricana en Tegucigalpa**

**Bld.. Morazán, Apts. Glapson -**

**Apartado 93**

**Tegucigalpa**

**📍 HONG KONG**



**Swindon Book Co.**

**13-15 Lock Road Kowloon**

**🇭🇺 HUNGARY**

**Kultura**

**P.O. Box 149**

**H-1389 Budapest 62**

**🇮🇸 ICELAND**

**Snaebjörn Jónsson and CO. h.f.**

**Hafnarstraeti 9, P.O. Box 1131**

**101 Reykjavik**

**🇮🇳 INDIA**

**Oxford Book and Stationery CO.**

**Scindia House, New Delhi 110 001:**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**17 Park Street, Calcutta 700 016**

**Oxford Subscription Agency,**

**Institute for Development Education**

**1 Anasuya Avenue, Kilpauk**

**Madras 600 010**

**IRELAND**

**Publications section Stationery**

**Office**

**Bishop Street**

**Dublin 8**

**ITALY**

**FAO (See last column))**

**Libreria Scientifica Dott. Lucio de**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Biasio "Aeiou"**

**Via Meravigli 16**

**20123 Milano**

**Libreria Concessionaria Sansoni**

**S.p.A. "Licosa"**

**Via B. Fortini 120, C.P. 552**

**50125 Firenze**

**Libreria Internazionale Rizzoli**

**Galleria Colonna. Largo Chigi**

**00187 Roma**

**🇯🇵 JAPAN**

**Maruzen Company Ltd**

**P.O. Box 5050**

**Tokyo International 100-31**

**📍 KENYA**

**Text Book Centre Ltd**

**Kijabe Street. P.O. Box 47'540**

**Nairobi**

**📍 KOREA, REP. OF**

**Eulyoo Publishing Co. Ltd**

**46-1 Susong-Dong. Jongro-Gu**

**P.O. Box 362, Kwangwha-Mun**

**Seoul 110**

**📍 KUWAIT**

**The Kuwait Bookshops Co. Ltd**

**P.O. Box 2942**

**Safat**

📍 **LUXEMBOURG**

**M.J. De Lannoy**

**202. avenue du Roi**

**1060 Bruxelles (Belgique)**

📍 **MAROC**

**Librairie "Aux Belles**

**Images 281 avenue**

**Mohammed V , Rabat**

📍 **MEXICO**

**Libreria, Universidad Autonoma**

**de i Chapingo 56230 Chapingo**

📍 **NETHERLANDS**

**Keesing Uitgeversmaatschappij B.V.**

**Hogeliweg 13,1101 CA Amsterdam**

**Postbus 1119. 1000 BC Amsterdam**

**📍 NEW ZEALAND**

**Legislation Services**

**P.O. Box 12418**

**Thorndon, Wellington**

**📍 NICARAGUA**

**Centroamericana**

**Apartado 69**

**Managua**

**📍 NIGERIA**

**University Bookshop (Nigeria) Ltd**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**University of Ibadan**

**Ibadan**

**📍 NORTH AMERICA**

**Publications:**

**UNIPUB**

**4611/F, Assembly Drive**

**Lanham, MD 20706 4391, USA**

**Toll-free**

**800 233-0504 (Canada)**

**800 274-4BBB (USA)**

**Fax 301-459-0056**

**Periodicals:**

**Ebsco subscription services**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**P.O Box 1431**

**Tel 205) 991-6600**

**Telex 78-2661**

**Fax (205) 991-1449**

**The Faxon Company Inc.**

**15 Southwest Park**

**Westwood MA 02090, USA**

**Tel. 6 t t 7-329-3350**

**Telex 95- t 980**

**Cable F W Faxon Wood**

**📍 NORWAY**

**Narvesen Info Center**

**Bertrand Narvesens vei 2**



25/10/2011

Le mais dans la nutrition humaine - Te...

**P.O. Box 6125,Etterstand**

**0602 Oslo 6**

**📍 PAKISTAN**

**Mirza Book Agency**

**65 Shahrah e-Quaid-e-Azam**

**P. O Box 729**

**Lahore 3**

**Sasi Book Store**

**Zaibunnisa Street**

**Karachi**

**📍 PARAGUAY**

**Mayer's Internacional -**

**Publicaciones Tecnicas**

**Gral Diaz. 629 c 15 de Agosto**

**Casilla de Correo N° 1416**

**Asunción Tel 448 246**

**PERU**

**Libreria Distribuidora "Santa Rosa"**

**Jirón Apurimac 375, Casilla 4937**

**Lima 1**

**PHILIPPINES**

**International Book Center**

**5th Flr. Ayata Life Building**

**Ayala Avenue, Makati**

**Metro Manila**

**POLAND**

**Ars Polona**

**Krakowskie Przedmiescie 7**

**00-950 Warsaw**

**📍 PORTUGAL**

**Livraria Portugal,**

**Dias e Andrade Ltda**

**Rua do Carmo 70-74, Apartado 2681**

**1117 Lisboa Codex**

**📍 REPUBLICA DOMINICANA**

**Editors Taller, C. por A.**

**Isabel la Católica 309**

**Santo Domingo D N.**

**📍 ROMANIA**

**Calea Grivitei No 64066**

**Bucharest**

**📍 SAUDI ARABIA**

**The Modern Commercial University**

**Bookshop**

**P. O. Box 394**

**Riyadh**

**📍 SINGAPORE**

**Select Boocks Pte Ltd**

**03-15 Tanglin Shopping Centre**

**19 Tanglin Road**

**Singapore 1024**

**📍 SOMALIA**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**"Samater's"**

**P.O. Box 936**

**Mogadishu**

**📍 SRI LANKA**

**M D Gunasena & Co. Ltd**

**217 Olcott Mawatha, P.O. Box 246**

**Colombo 1 1**

**📍 SUISSE**

**Librairie Payot S.A.**

**107 Freiestrasse. 4000 Basel**

**10 6, rue Grenus, 1200 Genève**

**Case Postale 3212, 1002**

**Lausanne Buchhandlung und**

**Antiquariat Heinemann & Co.**

**Kirchgasse 17 8001 Zurich**

**UN Bookshop Palais des Nations**

**CH-1211 Genève 1**

**📍 SURINAME**

**Vaco n.v in Suriname**

**Domineestraat 26, P O. Box 1 841**

**Paramaribo**

**📍 SWEDEN**

**Books and documents:**

**C.E. Fritzes Kungl. Hovbokhandel**

**Regenngsgatan 12, P. O. Box 16356**

**103 27 Stockholm**

**Subscriptions:**

**Vennergren-Willams AB**

**P.O Box 30004**

**104 25 Stockholm**

**📍 THAILAND**

**Suksapan Panit**

**Mansion 9, Rajadamnern Avenue**

**Bangkok**

**📍 TOGO**

**Librairie du Bon Pasteur**

**1 BP 1164**

**Lom📍**

**📍 TUNISIE**

**Société tunisienne de diffusion**

**S. avenue de Carthage**

**Tunis**

**🇹🇷 TURKEY**

**Kultur Yayiniari is - Turk Ltd Stl.**

**Ataturk Bulvari No. 191, Kat 21**

**Ankara**

**Bookshops In Istambul and Izmir**

**🇬🇧 UNITED KINGDOM**

**H M SO Publications Centre**

**P.O. Box 276**

**London SW8 5DT**

**Tel (071) 873 9090 (orders)**



25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**(071) 873 0011 (inquiries)**

**Fax (071) 873 8463**

**HMSO Bookshops::**

**49 High Holborn, London WC1V 6HB**

**Tel ((071)) 873 0011**

**258 Broad Street. Birmingham**

**Tel. (021 t 643 3740**

**SoutheY House 33 Wine Street**

**Bristol BS1 2BQ**

**Tel (0272) 264306**

**9-21 Princess Street,**

**Manchester M60 BAS**

**Tel. (061) 834 7201**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**80 Chichester Street, Belfast**

**BT1 4JY**

**Tel. (0232) 238451**

**71 Lothian Road, Edinburgh**

**I EH3 9AZ**

**Tel. (031 ) 2284181**

**📍 URUGUAY**

**Libreria Agropecuaria S.R.L.**

**Alzaibar 1328,**

**Casilla 1755**

**Montevideo**

**📍 USA (See North American)**

**📍 VENEZUELA**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Tecni-Ciencia Libros S.A.**

**Torre Phelps-Mezzanina, Plaza**

**Venezuela**

**Tel 782 8687-781 9945-781 9954**

**Tamanaco Libros Técnicos S.R.L.**

**Centro Comercial Ciudad Tamanaco,**

**Nivel C-2**

**Caracas**

**Tel. 261 3344-261 3335-959 0016**

**Tecni-Ciencia Libros, S.A.**

**Centro Comercial, Shopping Center**

**Av. Andrés Bello, Urb. El Prebo**

**Valencia, Edo. Carabobo**

25/10/2011

Le maïs dans la nutrition humaine - Te...

**Tel 222 724**

**FUDECO, Libreria**

**Avenida Libertador-Este, Ed Fudeco**

**Apartado 523**

**Barquisimeto C.P. 3002, Ed Lara**

**Tel (051) 538 022**

**Fax (051)544394**

**Telex (051) 51314 FUDEC VC**

**YUGOSLAVIA**

**Jugoslovenska Kinjiga, Trg.**

**Republike 5/8, P O Box 36**

**11001 Belgrade**

**Cankarjeva Zalozba**

**P.O. Box 201-IV**

**61001 Ljubljana**

**Prosveta**

**Terazije 16/1 ,Belgrade**

**↔ Other countries/Autres pays/Otros países**

**Distribution and Sales Section,**

**FAO Viale delle Terme di Caracalla**

**00100 Rome. Italy**

**Tel. (396) 57974608 ;**

**Telex 625852 625853/610181 FAO**

**Fax (39-6) 57973152 5782610 5745090**

---

[Table des matières](#) -  [Précédente](#)