

LA TECHNOLOGIE DE LA "NIXTAMALISATION"

AU MEXIQUE

RAPPORT DE MISSION

DU 11/2 AU 12/3/1988

Thierry FERRE

Cette enquête a pu être réalisée grâce à l'aide:

- de la famille MONROY, propriétaire d'une "tortillerie" à Huejutla dans l'état d'Hidalgo.
  
- des enseignants et chercheurs de "Escuela Nacional de Ciencias Biologicas Instituto Politecnico Nacional" Departamento de Graduados e Investigaciones en Alimentos:
  - Dra. Gloria DAVILA ORTIZ
  - Men<sup>C</sup>. Yoja GALLARDO N.
  - Claudia DUENAS
  - Raoul RENE
  
- du Dr. Enrique GAVALDON ENCISO, "Gerente de planeacion y presupuesto" à la CONASUPO.
  
- de l'Ingénieur Rigoberto OTAL PEREZ, responsable de la production à l'usine de la CONASUPO à Tlalnepantla (état de Mexico).

## SOMMAIRE

	pages
INTRODUCTION	3
I LA TRANSFORMATION DE TYPE ARTISANAL	6
1) Nettoyage	7
2) Nixtamalisation	7
3) Lavage	10
4) Broyage	11
5) Mélange	16
6) Fabrication des "tortillas"	17
II LA FABRICATION INDUSTRIELLE DE FARINE "NIXTAMALISEE"	21
1) Réception et stockage	22
2) Nixtamalisation	24
3) Mouture	25
4) Séchage	25
5) Tamisage	26
6) Emballage	27
ANNEXES	28

## INTRODUCTION

Le maïs constitue l'aliment de base de la population de nombreux pays d'Amérique Centrale et notamment du Mexique. Dans ce pays, il est presque toujours associé à une technologie de transformation: la "nixtamalisation", technique de cuisson alcaline du grain de maïs (par traitement à la chaux). Le principal produit final de cette transformation, au Mexique, est la "tortilla" (galette de maïs "nixtamalisé").

Les différentes étapes de ce processus sont représentées dans un schéma récapitulatif (page 5). Nous distinguons dans cette chaîne opératoire, deux transformations:

-la première transformation: du maïs brut à la "masa".

-la deuxième transformation: de la "masa" à la "tortilla".

Ces deux transformations occupent des organisations différentes au Mexique, ainsi:

-la fabrication de la "masa" concerne trois types d'organisations:

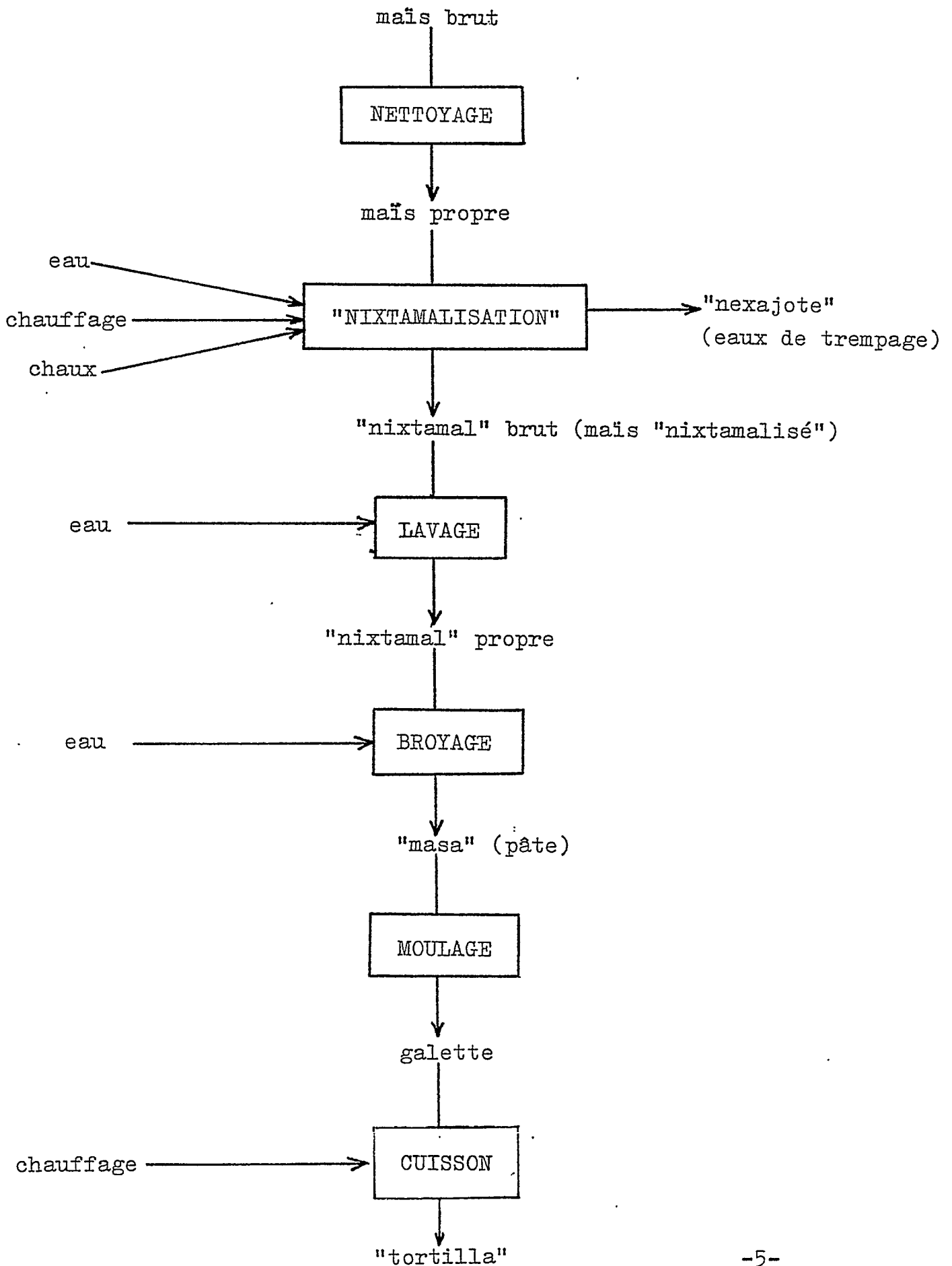
- la technologie familiale.
- la petite industrie: les moulins de "nixtamal".
- les fabriques de farine "nixtamalisée".

-la deuxième transformation concerne:

- la méthode familiale.
- les "tortilleries": petites unités de fabrication de "tortillas" qui peuvent être combinées avec un moulin de "nixtamal" ou fonctionner en achetant de la "masa" et de la farine pour faire des "tortillas".
- les productions industrielles de "tortillas": activité marginale.

Cette enquête porte sur une petite unité de production de "tortillas" ainsi que sur une unité industrielle de fabrication de farine "nixtamalisée".

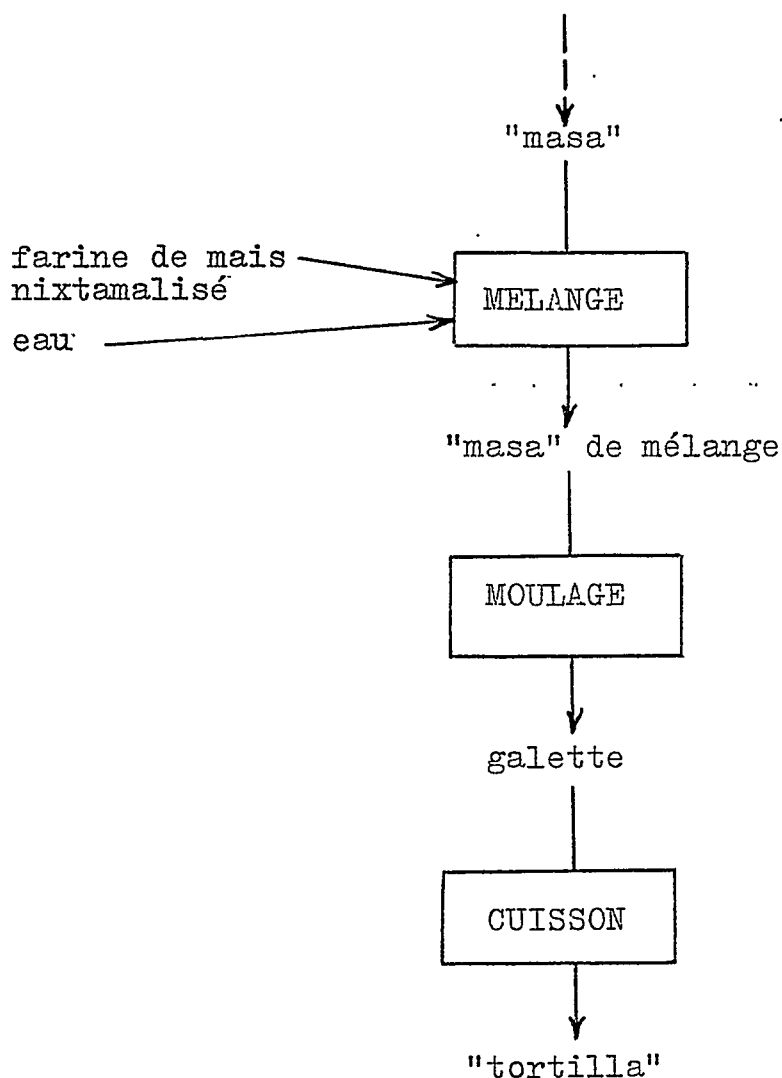
Le processus de transformation du maïs en "tortilla"



## I-LA TRANSFORMATION DE TYPE ARTISANAL

Dans cette partie, nous détaillons l'ensemble des opérations entrant dans la transformation du maïs en "tortilla" et ceci d'après l'exemple d'un atelier produisant environ 300 kg par jour et employant 5 personnes. Nous serons aussi amenés à parler de la technologie familiale par comparaison.

La transformation artisanale comprend une opération supplémentaire, le mélange de la "masa" avec une farine de maïs nixtamalisé :



## 1) Nettoyage

Lors de l'achat du maïs au marché, la qualité de celui-ci est vérifiée de manière très soignée. Le maïs doit être blanc, bien nettoyé c'est-à-dire exempt d'impuretés, de branches, de morceaux d'épis, de cailloux, etc... Le grain doit être sain et être le moins parasité possible (présence d' orifices dus aux charançons). La présence de peu de grains cassés est aussi un critère de choix.

Aussi, après l'achat du grain, dans cet atelier, on ne procède pas à un nettoyage supplémentaire du grain; parfois seulement, on peut réaliser un simple tamisage maïs qui n'est absolument pas systématique.

## 2) Nixtamalisation

Elle est faite dans 3 fûts de 200 litres. Chaque fût va contenir:

- 86 litres d'eau du robinet.
- 750 grammes de chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).
- 54 kilogrammes de maïs propre.

Déroulement des opérations:

Le fût est rempli avec la quantité d'eau nécessaire (ici 86 litres) puis elle est chauffée grâce à un brûleur à gaz. La chaux est rajoutée indifféremment, en milieu de chauffage ou lorsque l'eau bout. La quantité de chaux représente environ 0,9 % de la quantité d'eau (soit



750 g). Quand l'eau bout, on verse le maïs (54 kg); on remue le tout de façon à bien homogénéiser et on arrête le chauffage. Lorsqu'on mélange, des impuretés (morceaux d'épis surtout...) ainsi que des grains creux remontent en surface du liquide, on procède alors à un écumage. Le contenu du fût va maintenant reposer durant toute la nuit (ou environ 14 heures).

La cinétique de cuisson que l'on obtient au cours de la "nixtamalisation" est la suivante:

temps (en minute)	température (en °C)
40	100 (eau bouillante avec chaux)
on ajoute le maïs	
42	91,2
46	86
56	82,2
66	77
76	74
120	66
180	58,9
240	49,6

La température est mesurée au coeur du "nixtamal" grâce à un thermocouple.

Dans cette petite unité de fabrication, 2 ou 3 fûts sont utilisés afin de répondre à la demande.



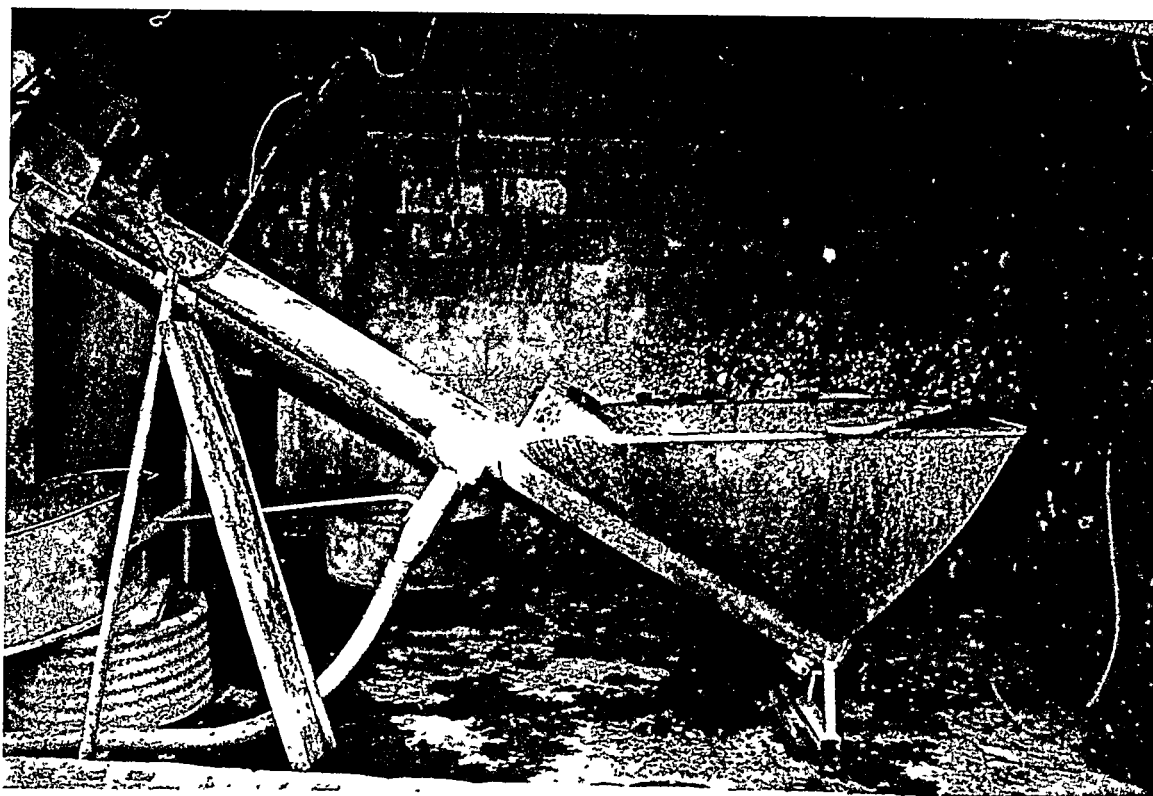
bacs de "nixtamalisation"

L'eau de trempage (ph = 12) appelée "nexayote" est jetée tandis que le "nixtamal", grain de maïs ayant subi le traitement, va être lavé.

Dans la technologie familiale, on prépare souvent la quantité de "nixtamal" nécessaire à une semaine de consommation. Le "nixtamal" est maintenu dans son bac la semaine entière, ainsi la "masa" obtenue à la fin présente une forte alcalinité que les familles atténuent grâce à quelques gouttes de citron.

### 3) Lavage

Il s'effectue dans une machine prévue à cet effet.



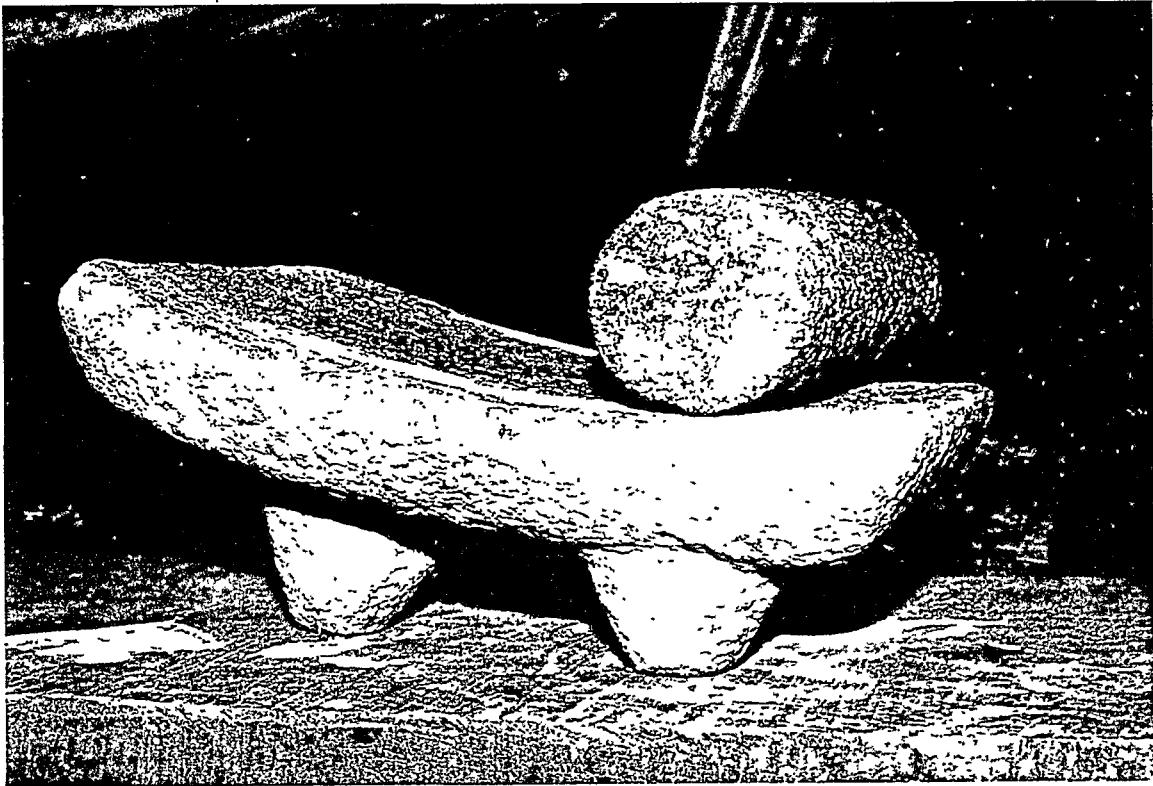
machine servant au lavage du "nixtamal"

Le maïs "nixtamalisé" est versé dans une cuve et mélangé avec de l'eau, une vis sans fin qui plonge dans la cuve permet de remuer le tout. Ce lavage a un double effet: d'une part, il permet de se débarrasser de l'excès de chaux et d'autre part, il provoque le dépellucage du grain. Après un bon lavage, on inverse le sens de rotation de la vis afin d'extraire le maïs de la cuve et on élimine l'eau de rinçage. Le maïs tombe dans un bac où il sera à nouveau rincé à l'eau.

Puis, au moyen de seaux à fond perforé, le maïs est récupéré et mis à égoutter; il est alors prêt à être broyé.

#### 4) Broyage

Dans de nombreuses familles, notamment indiennes, la mouture du "nixtamal" est faite à la main avec un instrument appelé "metate".



le "metate"

Le "metate" se compose de deux éléments en pierre, un cylindre ("mano") et d'une partie plane inclinée ("metate").

Le produit à moudre est placé à l'extrémité supérieure du "metate" face à l'opérateur. Ce dernier prend alors la "mano" par ces extrémités et écrase le maïs en imprimant au cylindre un mouvement semi-rotatif de va-et-vient. Le produit moulu se trouve rassemblé à l'extrémité opposée du "metate".

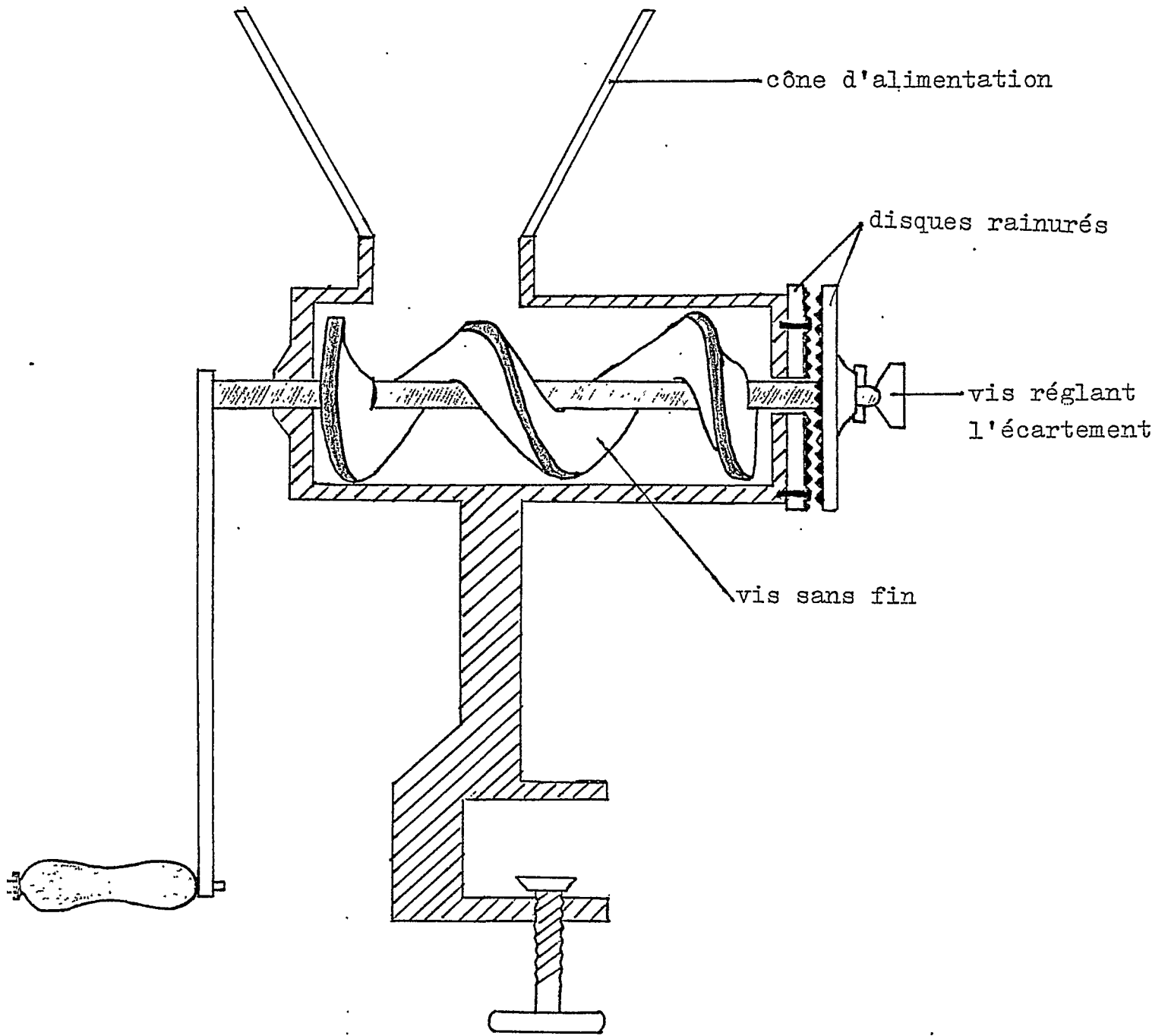
Il est nécessaire pour obtenir une granulométrie satisfaisante de procéder à plusieurs passages. En fin de mouture, la granulométrie est appréciée en prenant un peu de pâte entre deux doigts et en frottant les doigts l'un contre l'autre, on ne doit sentir aucun granule.

Ce travail manuel, laborieux, est traditionnellement réalisé par les femmes.

De plus en plus, des moulins manuels (cf. schéma page 13.) sont utilisés pour l'obtention de la "masa". L'ensemble des pièces qui les constituent sont faites en métal. Deux disques rainurés, l'un fixe et l'autre mobile, dont on peut régler l'écartement, assurent le broyage du maïs.

Malgré cette amélioration technique, la granulométrie est souvent peu satisfaisante et les ménagères procèdent à un rebroyage en utilisant le "metate".

Cette technologie familiale est très souvent remplacée par une petite industrie: moulin de "nixtamal" où l'on amène à moudre son maïs "nixtamalisé". Dans ce cas, le broyage est réalisé par un moulin à moteur.



moulin manuel

L'atelier sur lequel porte notre enquête, possède à la fois une "tortillerie" et un moulin de "nixtamal" qui alimente cette première.

Le moulin est formé de deux disques en pierre d'origine volcanique, l'un fixe et l'autre mobile autour d'un axe horizontal. Cet axe horizontal est une vis sans fin qui permet d'amener le "nixtamal" au centre des pierres et au fur et à mesure du broyage, il sort par la périphérie.



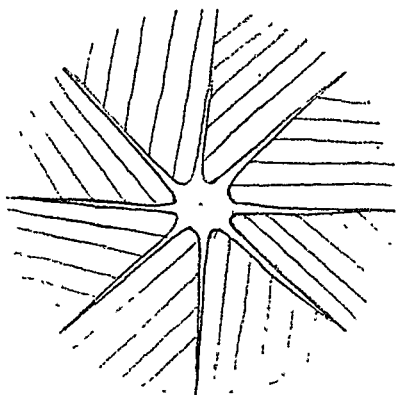
moulin à moteur

Les disques de pierre ont un diamètre d'environ 25 cm; lors de leur première utilisation, les pierres sont mises en place dans le

moulin et on les fait tourner avec du sable. Les faces des pierres qui seront en contact lors du broyage sont taillées au moyen d'un marteau et d'un ciseau; on donne aux disques une forme concave puis la surface est taillée selon un motif précis (cf. schéma ci-dessous). On effectue régulièrement, environ tous les 15 jours, un retailage des sillons.



retailage des pierres



détail du dessin des pierres



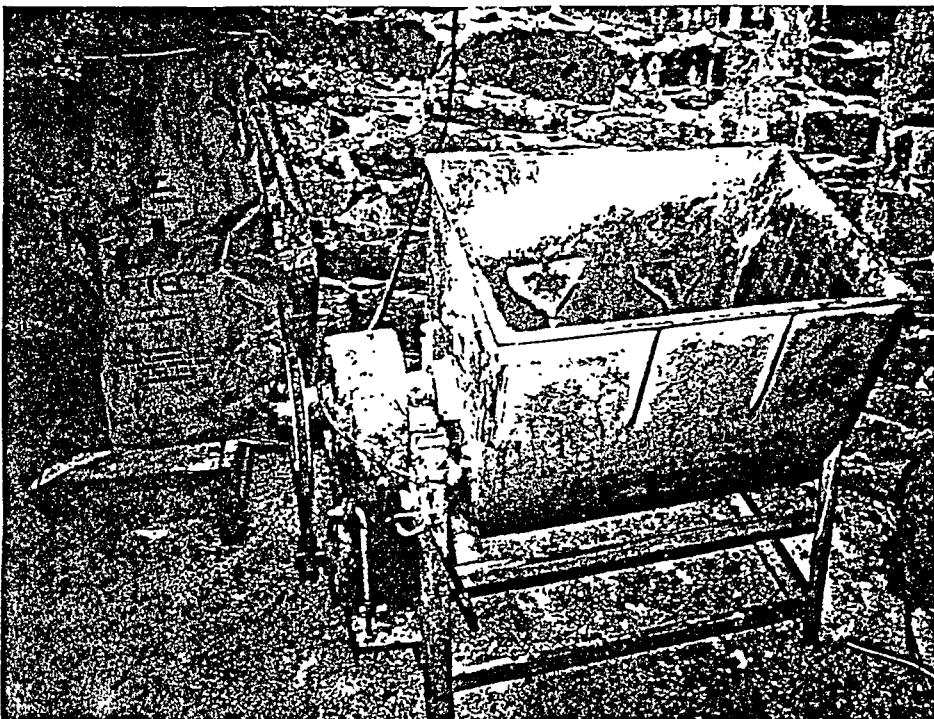
Ce moulin fonctionne grâce à un moteur de 10 chevaux et la transmission se fait par courroie.

A l'issue du broyage, la "masa" obtenue est agglomérée en boule; cette pâte va être mélangée à une farine. Une partie de la "masa" sera vendue directement à des particuliers qui feront des "tortillas" à la maison.

### 5) Mélange

La "masa" obtenue du broyage précédent va être mélangée avec de la farine "nixtamalisée" (cf. schéma page 6) et de l'eau.

Dans un pétrin, on procède d'abord au mélange farine et eau; les quantités utilisées étant d'environ 20 kg de farine et 20 l d'eau. Puis la "masa" est rajoutée et on malaxe le tout jusqu'à obtenir une pâte homogène. On confectionne alors des boules d'environ 35 cm de diamètre qui vont servir à la confection des "tortillas".



pétrin

## 6) Fabrication des "tortillas"

La "masa" doit être utilisée rapidement sinon elle perd en quelques heures ses propriétés élastiques.

La "tortilla" est une galette de maïs "nixtamalisé" d'environ 2 mm d'épaisseur et de 12 cm de diamètre qui est cuite sur une plaque chaude.

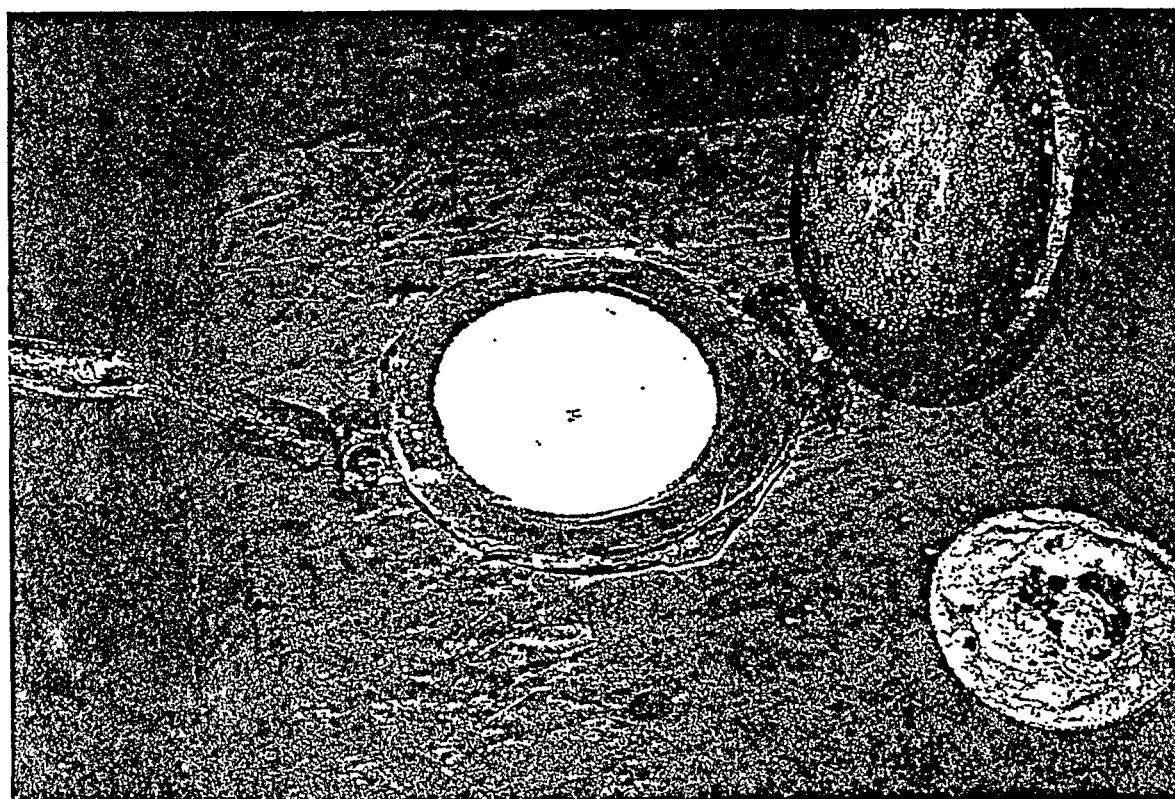
Dans la technologie familiale, avec la "masa" on forme des petites boules qui sont ensuite aplaties soit à la main (cf. photo page 18), soit avec une petite presse manuelle en bois ou en métal (cf. photo page 18). Cette presse se compose de deux plaques qui s'articulent grâce à une charnière, l'une des plaques est munie d'un manche qui permet d'exercer une pression pour aplatir la petite boule de pâte.

Cette galette est cuite sur une plaque chaude, appelée "comal", faite de terre ou de fer. La "tortilla" commence à cuire sur une face puis elle est retournée pour cuire sur l'autre face, enfin on la remet sur la première face, là elle va gonfler temporairement; on la retire alors de la plaque, elle est alors prête à être consommée.

Dans le cas de l'atelier qui est un établissement intégré "moulin-tortillerie", la "masa" est transformée sur place grâce à une machine automatique de marque Celorio (cf. photo page 19). Cette machine réalise à la fois le moulage de la galette et sa cuisson.



Mexicaine faisant des "tortillas"



presse manuelle



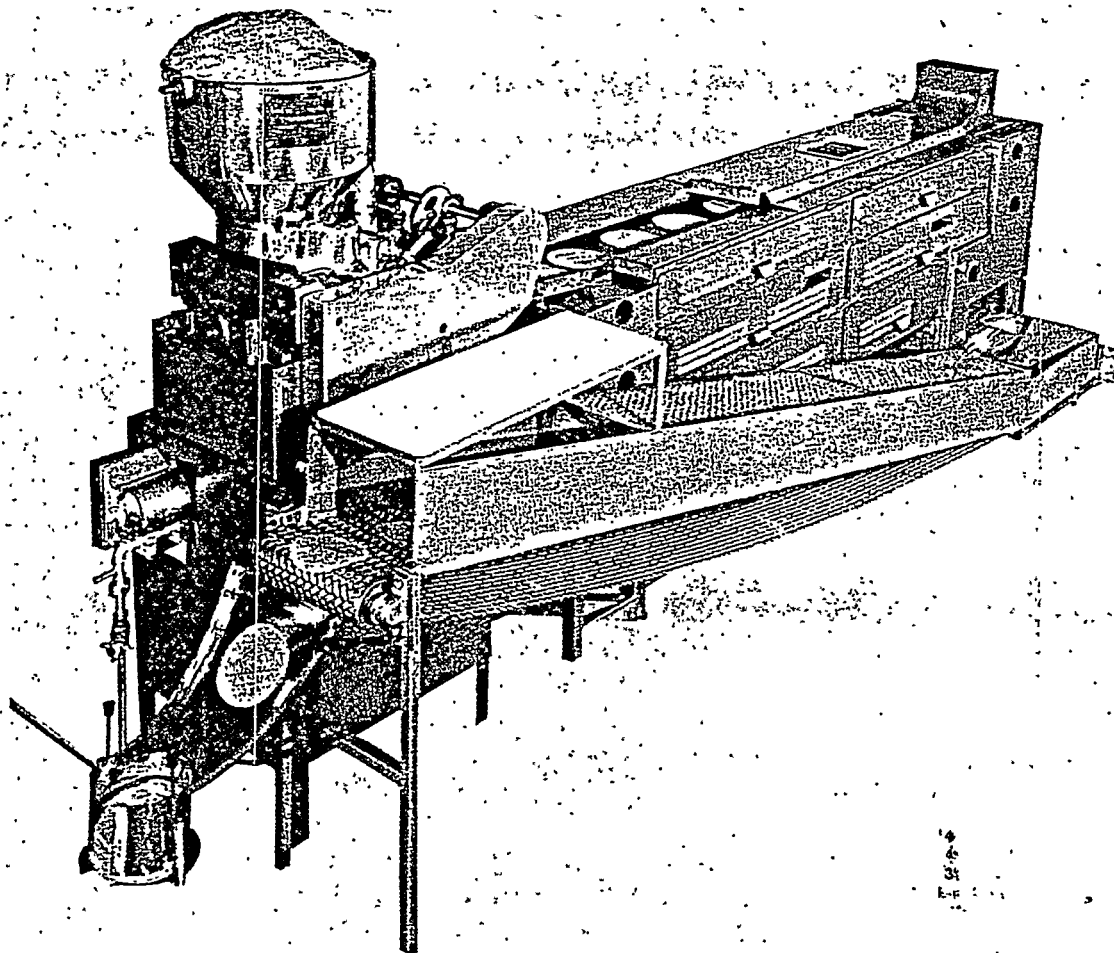
"tortilladora"

La section de moulage de la "tortilladora" se compose d'une série de vis sans fin qui amène la pâte jusqu'à une presse qui se compose de deux barres de métal dont on règle l'écartement et en sortie de presse, un couteau vient couper la pâte en forme de galette.

La section de cuisson se compose essentiellement de trois tapis roulants superposés et chauffés par des brûleurs à gaz

La consommation de gaz est de 3,750 kg pour 100 kg de "tortilla" (d'après le constructeur). Le temps de cuisson total est de 36 secondes (avec passage sur les deux faces de la galette et retour sur la première), la température de cuisson est d'environ 230 °C. En sortie de la machine, la "tortilla" est gonflée temporairement puis refroidit. Elle est alors stockée pour la vente directe au consommateur.

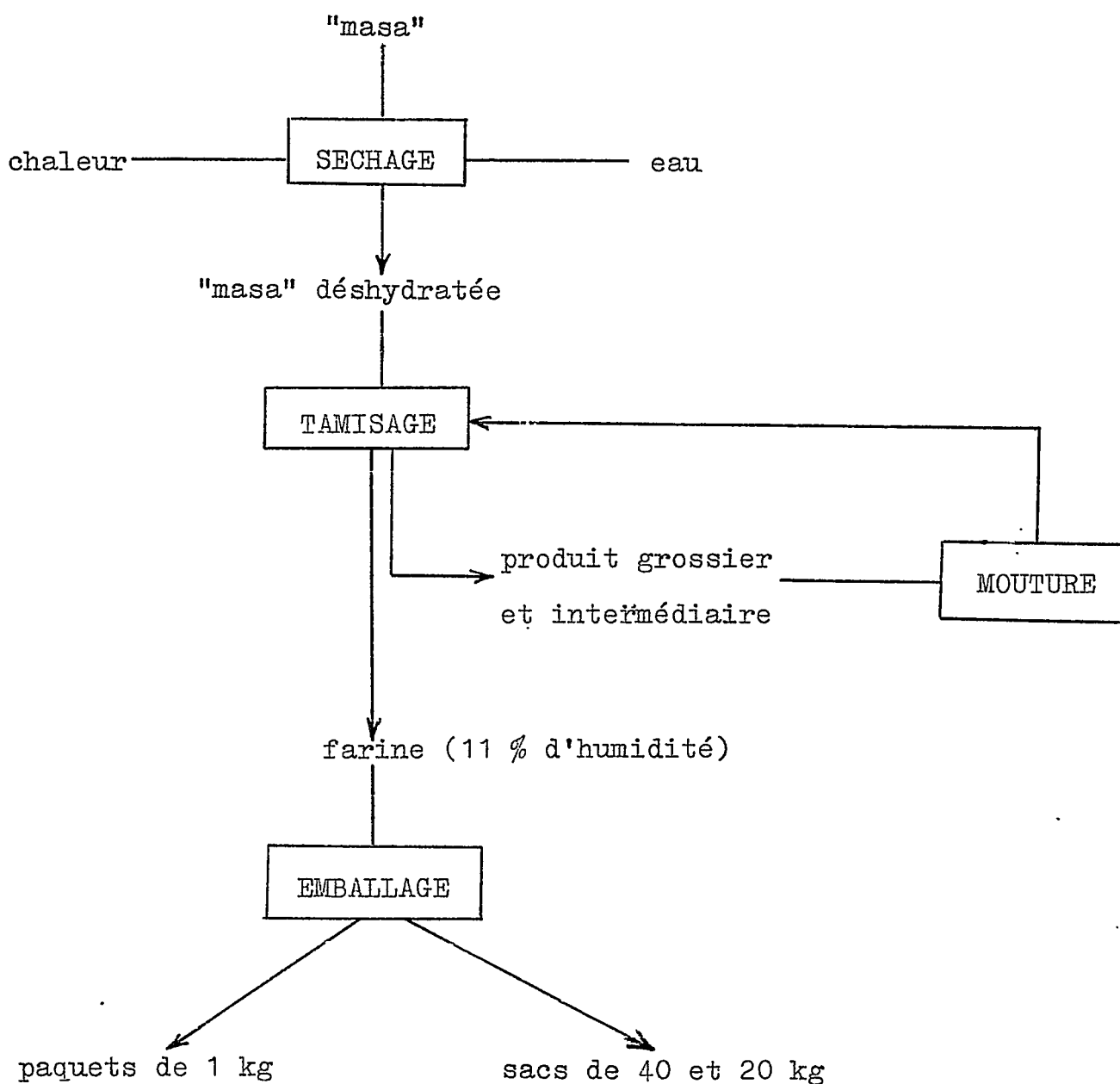
Le rendement "masa" → "tortilla" est de l'ordre de 80 %,  
l'humidité des "tortillas" est de 42 %.



tortilladora

## II-1A FABRICATION INDUSTRIELLE DE FARINE "NIXTAMALISEE"

Les opérations de base représentées dans le schéma de la page 5 restent les mêmes. Dans le schéma qui suit, nous ne mentionnons que les opérations spécifique à la fabrication de la farine:



Notre enquête a porté sur l'usine de Tlalnepantla (banlieue de Mexico) fabriquant de la farine "nixtamalisée" de marque "Minsa". dans le schéma de principe du procédé (page 23), nous pouvons distinguer trois parties principales:

-première partie: réception et stockage du grain.

-dans la partie centrale, la plus importante, on peut observer l'opération de stockage du grain avant qu'il ne subisse le processus de cuisson ou "nixtamalisation, les moulins, le séchage et le tamisage.

-la troisième partie dans la zone de droite du diagramme, comprend le double système d'emballage automatique.

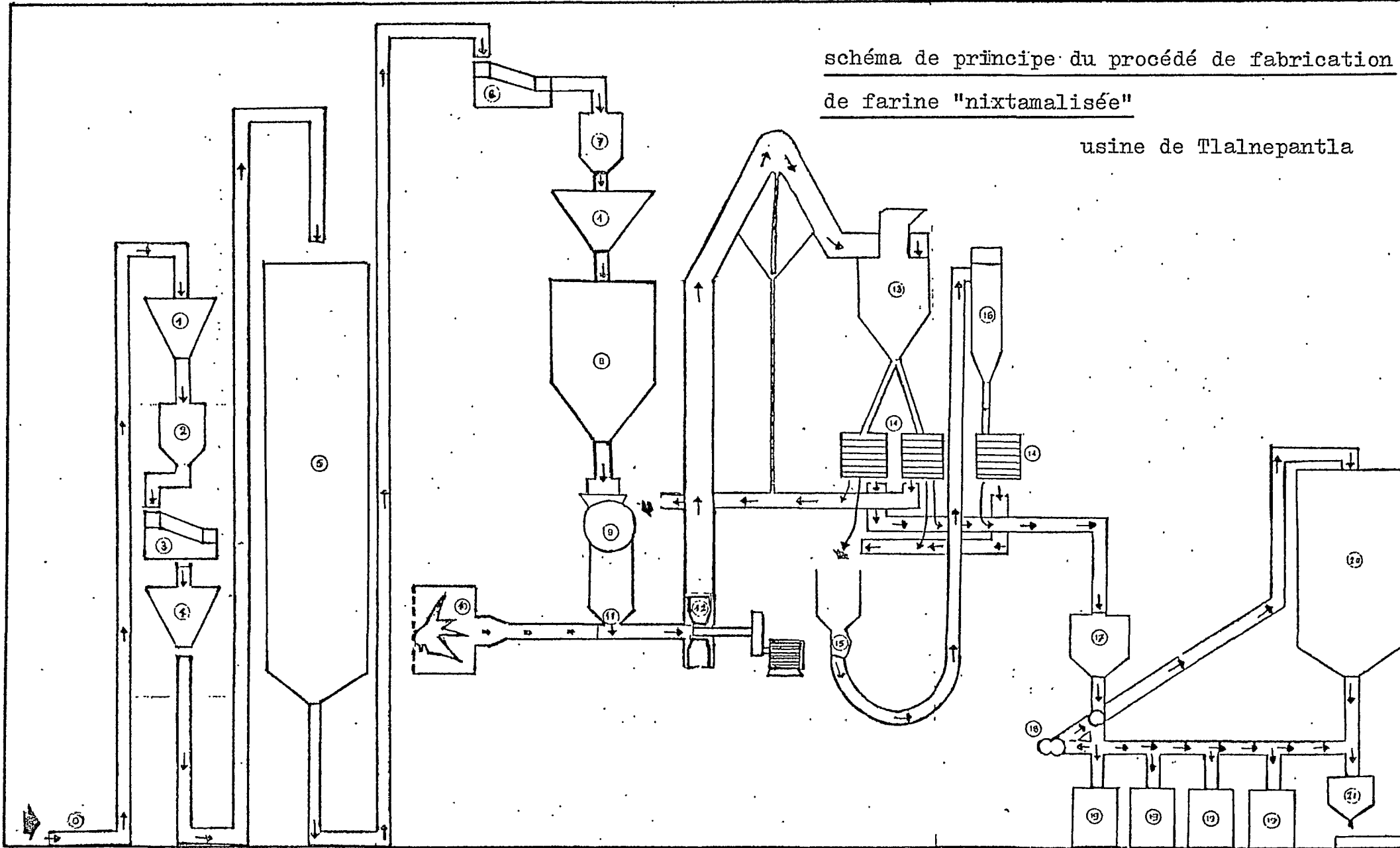
### 1) Réception et stockage

Le maïs est déchargé des camions, puis il est acheminé par une vis sans fin jusqu'à une chaîne à godets. Le maïs brut est alors pesé et subit un premier nettoyage; il est tamisé afin d'éliminer les particules étrangères telles que restes d'épis, pierres, bois, etc... Ces pertes à la réception ne doivent pas excéder 0,5 % du poids total de maïs.

Le pré-stockage est réalisé dans un silo d'une capacité de 650 tonnes. Puis, le maïs est stocké dans 12 silos d'une capacité totale

schéma de principe du procédé de fabrication  
de farine "nixtamalisée"

usine de Tlalnepantla



- 0 transporteur
- 1 trémis de reception
- 2 bascule
- 3 Nettoyeur
- 4 trémis

- 5 silo
- 6 Nettoyeur
- 7 bascule
- 8 bac de nixtamalisation
- 9 Moulins à marteaux

- 10 Four
- 11 Ventury
- 12 Ventilateur
- 13 cyclone
- 14 Tamiseurs

- 15 Moulins intermediaires
- 16 Filtre
- 17 bascule
- 18 Ventilateur
- 19 Emballeuses

- 20 silo à farine
- 21 Trémis



de 2300 tonnes, correspondant à la quantité nécessaire pour trois jours de travail.

Avant de passer dans les bacs de "nixtamalisation", le maïs sera débarassé des poussières et des pailles par un système de succion, alors qu'un tamisage par vibration élimine les grains brisés (ils seront vendus comme aliment pour animaux).

## 2) Nixtamalisation

Dans une cuve, on verse 15 m<sup>3</sup> d'eau préchauffée à une température d'environ 60 °C puis on décharge 15 tonnes de maïs et un lait de chaux qui se compose d'un mélange d'eau et de 125 kg de chaux; soit 0,83 kg de chaux pour 100 kg de maïs alors que dans le cas de la "nixtamalisation" artisanale, nous avons 1,38 %.

On injecte alors de la vapeur directement dans le bac pour amener la température au point d'ébullition. Le temps de traitement dépend des caractéristiques du grain (variété, région, couleur...). Actuellement, le grain jaune, qui est le plus couramment utilisé, subit un traitement de 30 minutes à la vapeur. Un mélangeur sert à homogénéiser la température de cuisson. L'eau de cuisson "nexayote" est jetée. On ajoute alors 10 m<sup>3</sup> d'eau froide, cette eau a une double fonction: d'une part, enlever les résidus de chaux et d'autre part, abaisser la température pour éviter que le "nixtamal" soit trop cuit. Après avoir retiré l'eau de rinçage, on laisse reposer le tout pendant deux à trois heures, ceci étant fonction de l'étape suivante

qui est la mouture.

Il y a 6 bacs de "nixtamalisation" qui fonctionnent suivant un cycle précis: un bac est en "nixtamalisation", un bac décharge vers les moulins et les quatre autres sont au repos.

### 3) Mouture

Elle est réalisée avec des moulins à marteaux (3250 tours par minute) d'une capacité de broyage d'environ 1,5 tonne de "nixtamal" par heure chacun. Lors du broyage, il se dégage une énergie calorifique qui aide à la déshydratation de la mouture.

### 4) Séchage

Dans la partie inférieure des moulins se trouvent 12 séchoirs de type flash qui se composent chacun d'un brûleur, d'une chambre de combustion, d'un tube type Ventury et d'un ventilateur. Ce dernier a une double fonction: il sert comme transporteur pneumatique en aspirant le produit dans le tube type Ventury et il produit un courant d'air chaud qui déshydrate la mouture. Le produit va alors directement dans un séparateur de type cyclone. La farine est recueillie au fond du cyclone alors que l'air chaud est évacué par le haut.

## 5) Tamisage

A la sortie du cyclone, le produit est dirigé vers un ensemble de tamis vibreurs. Ce tamisage est réalisé par 24 tamiseurs primaires d'environ 80 cm<sup>3</sup> chacun et équipés de 8 tamis en toile d'acier inoxydable. On obtient trois produits de granulométrie différente:

-la farine, le produit le plus fin, représente 60 % de l'ensemble; elle sera ensuite conditionnée.

-le produit intermédiaire de mouture représente 30 % et sera remoulu par des moulins "intermédiaires". Puis, il sera acheminé par un transporteur pneumatique jusqu'à de nouveaux tamiseurs; là, ou le produit a la finesse désirée et dans ce cas, il sera conditionné, ou bien il est encore insuffisamment fin et il sera alors moulu à nouveau.

- le produit grossier de mouture représente 10 % et est formé de la tête et du péricarpe du maïs plus résistant à la mouture. Ce produit grossier retourne aux moulins primaires.

Avant l'emballage, la farine est pesée (sur une bascule Howe-Richardson de 300 kg par pesée), ce qui permet de connaître la quantité produite quotidiennement. Cette quantité varie avec la

qualité du maïs: les rendements vont de 94 à 96 % en fonction de l'humidité du maïs. Le rendement actuel est de 94 % et l'humidité du maïs est de 14 %. La perte de 6 % dans le processus, provient:

-perte dans la "nixtamalisation": 2,5 %

-1,5 % dans l'eau de cuisson ("nexayote").

-1 % dans l'eau de lavage.

-perte au séchage: 3 %

en fonction de l'humidité du maïs, ici 14 % alors que la norme pour la farine est de 11 %.

-pertes dans les différents séparateurs (cyclones, filtres):

0,5 %.

## 6) Emballage

Une partie de la farine est stockée dans 4 silos d'une capacité de 80 tonnes chacun. L'autre partie sera directement emballée au moyen de machines automatiques assurant à la fois l'emballage et l'impression des sacs. La farine est conditionnée en paquets de 1 kg pour les consommateurs ou en sacs de 40 et 20 kg pour les "tortilleries".

## ANNEXES

### Bibliographie recueillie à l'Ecole Nationale des sciences biologiques

Institut Polytechnique National (Mexico D.F.)

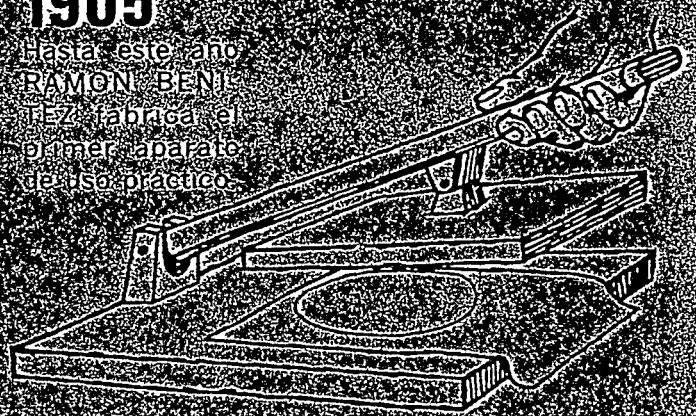
- VASQUEZ-MORENO Beatriz 1978 Alkaline-treatment of corn to prepare masa. Thesis of Master of science, Faculty of the North Dakota state.
  
- MUNGUIA MONROY C.C. 1983 Cambios ocurridos en los nutrimentos del maiz por el proceso de Nixtamalisation. Mémoire d'Ingénieur Biochimiste, Instituto Polytechnico Nacional (Mexico D.F.).
  
- MARTINEZ-HERRERA M.L. and LACHANCE P.A. 1979 Corn (Zea mays) kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. In journal of Food science Vol. 44, N°2.
  
- ILLESCAS R. 1943 La teoria quimica de la formacion del Nixtamal. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural Tomo IV, N°3-4.
  
- DEL VALLE F. R. and PERCE-VILLASENOR J. 1974 Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures. Journal of Food Science Volume 39

- RIZTLEY N.F. and SUTER D.A. 1977 Sorghum tortillas: process and product attributes. Journal of Food Science Vol. 42, N°6.
  
- KATZ S.H., HEDIGER M.L., VALLEROY L.A. 1974 Traditional Maize Processing Techniques in the new world. Science Vol. 184, p. 765-770.
  
- ICYT 1979 La tecnologia de la tortilla. CONACYT Vol. I, num. 6.
  
- ROE DAPHNE A. 1973 A plague of corn, the social history of pellagra. Cornell University Press/ITHACA & London.
  
- ALCANTARA GONZALEZ 1978 Aislamiento de amidon y determinacion de calcio para 3 variedades de maiz nixtamalizado. Tesis Ingenior Bioquimicos Agosto 1978. Instituto Politecnico Nacional Mexico D.F.
  
- SANCHEZ LUCERO M. 1978 Estudios de laboratorio para la elaboracion de harina de sorgho nixtamalizado para tortillas. Tesis de Maestro en Ciencias (Alimentos). Instituto Politecnico Nacional Mexico D.F.
  
- ALCANTARA LOPEZ L. 1981 Estudio del comportamiento de la textura del grano de maiz durante su procesamiento para la obtencion del Nixtamal. Tesis de Ingeniero Bioquimico. Instituto Politecnico Nacional. Mexico D.F.

La historia del maíz es la historia de las civilizaciones Americanas. Donde hubo maíz, existió cultura, y en el Anáhuac, asiento de la Cultura aborigen más avanzada, fué donde apareció la tortilla, el más valioso alimento hecho de maíz. Por siglos fué preocupación el problema de fabricar tortillas económicamente y en grandes cantidades. Ya en la época de la colonia se diseñaron aparatos para ese objeto, y en el transcurso del Siglo XIX muchos más, pero todos resultaron un fracaso.

**1905**

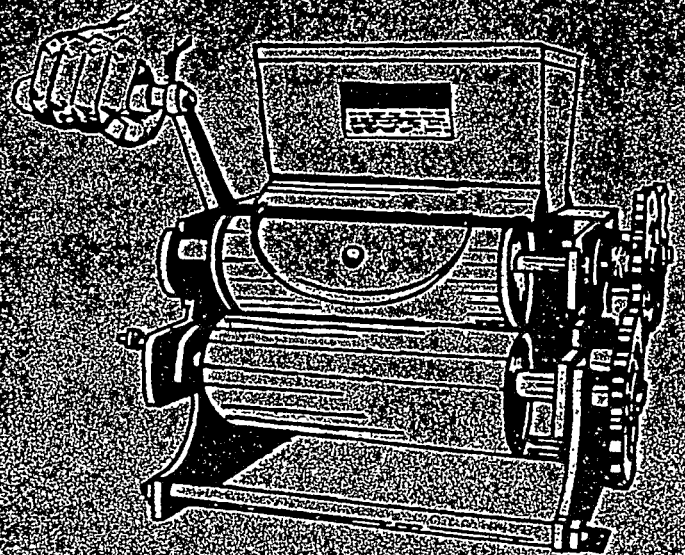
Hasta este año RAMÓN BENITEZ fabrica el primer aparato de uso práctico.



**1910**

Patente No. 4260

Luis Romero marca otro paso en la fabricación de tortillas con su MAQUINA DE RODILLOS ALAMBRES DESPECADORES Y TROQUELEADO DE LA TORTILLA.



Patente No. 10147

1915



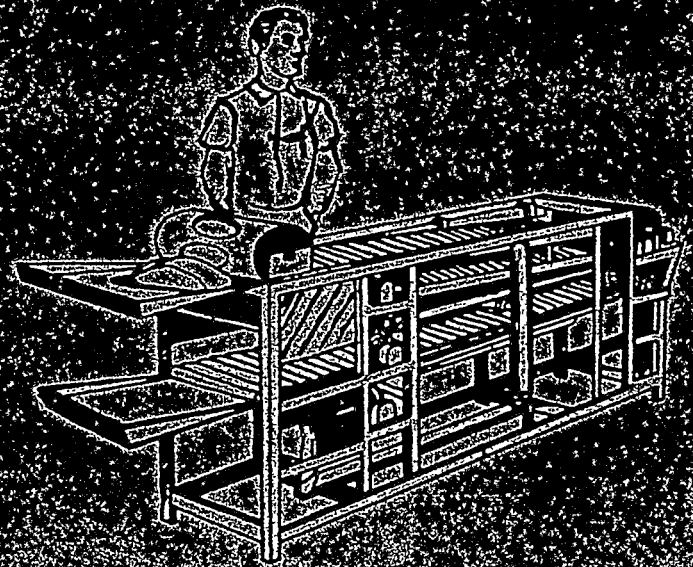
La Compañía "LA INDIA", S. A.

Introduce el cocimiento Automático pero  
persiste el uso de RODILLOS, ALAMBRES, DESPE-  
GADORES Y TROQUELADO DE LA TORTILLA.

Patente No. 15793

1920

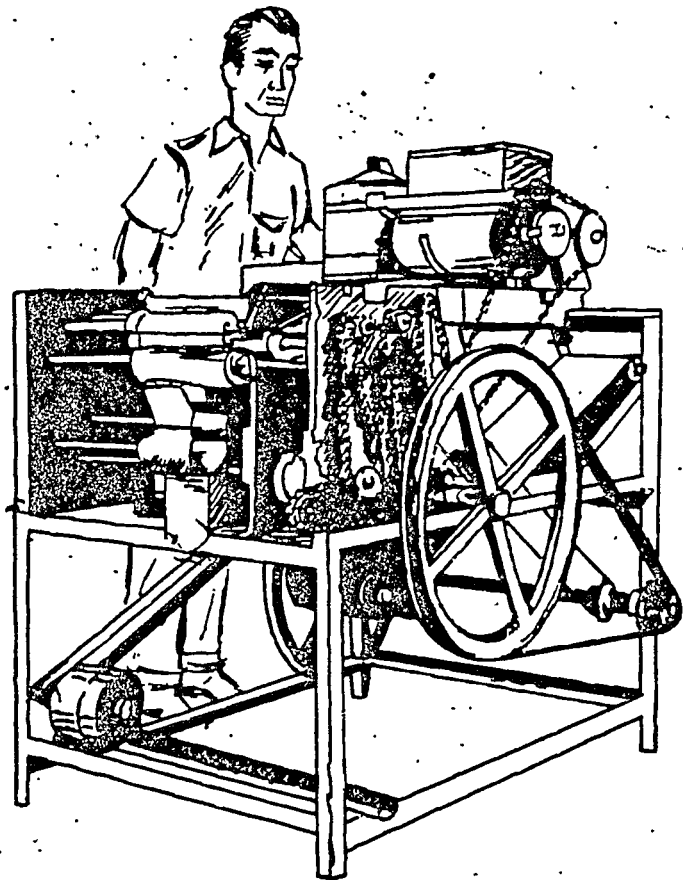
Aparece un tipo de máquina operada con gas de  
C. Icaza y A. S. OLAGUE Contra el uso de  
RODILLOS, ALAMBRES, DESPEGADORES Y  
TROQUELADO.



Patente No. 19628



1921



Surge la ingeniosa máquina tubular de Luis Romero, accionada eléctricamente y calentada por petróleo. SIGUEN USANDOSE LOS RODILLOS, ALAMBRES DESPEGADORES Y TROQUELES.

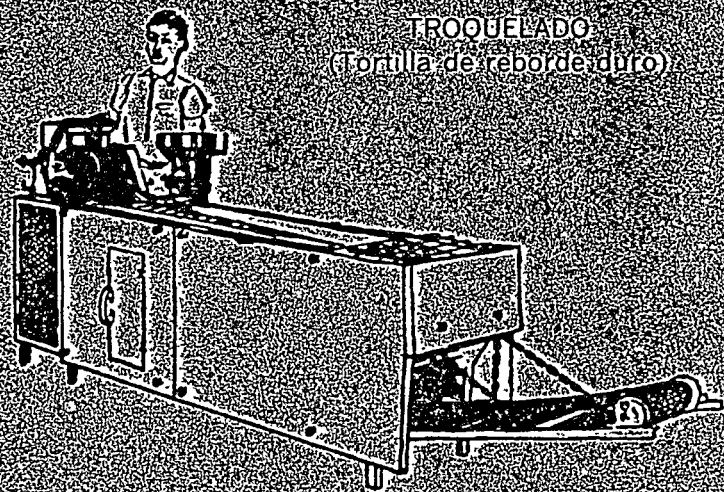
1947

Aparece la primera máquina de F. Celorio que reproduce mecánicamente el cocimiento tradicional de la tortilla, PERO AUN SE PERSISTE EN EL USO DE RODILLOS, ALAMBRES DESPEGADORES Y TROQUELADO DE LA TORTILLA

CON RODILLOS  
(Tortilla Aspera)

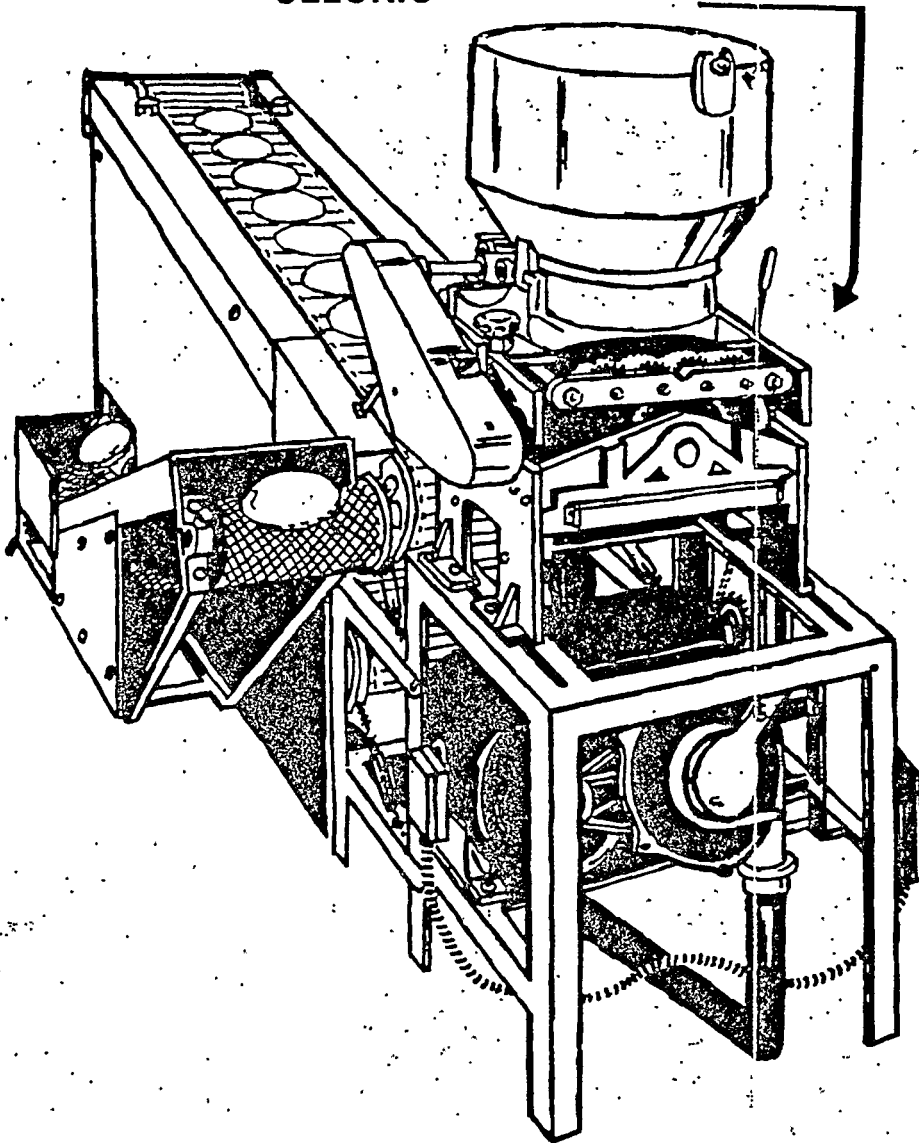
ALAMBRES DESPEGADORES  
(Tortilla rasposa)

TROQUELADO  
(Tortilla de reborde duro)



Patente No. 45792

Quince años (1948-1963) de esfuerzo y experimentación se necesitaron para lograr la gran eficiencia del Mod. **"CELORIO"**



**UNA FABRICA DE TORTILLAS COMPLETAMENTE AUTOMATICA.-AMASA, HACE LA TORTILLA, LA CUECE Y LA ENFRIA SIN PROBLEMAS DE PEGOSTAMIENTOS, RECORTES, ALAMBRES. O TELAS AHULADAS.**

**TRABAJA CON CUALQUIER MASA HASTA RECOIDA O MARTAJADA Y NO REQUIERE ALIMENTACION CONSTANTE, PUES PERMITE CARGA PARA MEDIA HORA DE TRABAJO.**

**LA SUPERFICIE TERSA Y SIN PORO DE LA TORTILLA QUE PRODUCE, EVITA EXCESIVA EVAPORACION - (DÉSHIDRATACION) AUMENTANDO EL RENDIMIENTO HASTA 85 KILOS DE TORTILLAS POR 100 KILOS DE MASA.**

**NUESTRA TORTILLADORA "CELORIO" REPRODUCE MECANICAMENTE LAS OPERACIONES QUE LA TRADICION ACONSEJA Y ELABORA TORTILLAS INFLADAS CON TODAS LAS BUENAS CUALIDADES TRADICIONALES; RESISTENCIA AL ENDURECIMIENTO, TERSURA, SUAVIDAD Y ORILLA SIN REBORDE.**

**PRODUCE: 66 KILOS DE TORTILLAS POR HORA.**

**CONSUME: 6 KILOS DE GAS POR HORA.**

# Aprovechamiento de los sólidos de las aguas residuales (nejayote) de la nixtamalización de maíz

Helbert David Almeida Domínguez  
Thelma Rubí Millán León

## RESUMEN

*Se extrajeron los sólidos totales y/o en suspensión de las aguas residuales de la nixtamalización de maíz mediante 3 métodos: evaporación con flama directa, centrifugación y filtrado. Los tres métodos mostraron eficiencia en la recuperación de los sólidos obteniendo desde el 58 hasta el 91% de los sólidos totales del nejayote. La caracterización de los sólidos recuperados mostró que su composición en proteínas, lípidos, carbohidratos y fibra cruda (concentrado en polvo) es muy semejante a la del grano original. Sin embargo, la alcalinidad, el pH y el contenido de cenizas fueron superiores al grano original. Mediante fermentación se logró la utilización de más del 70% de su contenido de azúcares. La composición total de nutrientes sugiere la posibilidad de utilizar los concentrados en polvo como suplemento de alimento animal.*

## INTRODUCCION

Durante la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado se utilizan grandes volúmenes de agua para el cocimiento del grano, aproximadamente un volumen de agua de 3 veces el peso del grano a nixtamalizar [3]. El agua residual (nejayote) contiene del 6 al 8% de los sólidos secos iniciales del grano [4], que incluye parte del pericarpio, endospermo y el germen del grano. Estas aguas normalmente se desechan y contaminan el medio ambiente. Solamente en la ciudad de Mérida, Yucatán, las 3 plantas nixtamalizadoras industriales producen aproximadamente 98,000 l diarios de nejayote con un contenido aproximado de 2% de sólidos totales lo cual da casi 2 ton. de sólidos secos (nutrientes de maíz) que no sólo se desperdician sino también contaminan el ambiente. Además de estas 3 plantas industriales existen más de 50 pequeños molinos en la ciudad que también nixtamalizan maíz produciendo más de 500 l de nejayote al día por cada molino. Esto nos da una idea de la magnitud del problema a nivel regional. Tomando en cuenta que la nixtamalización de maíz se emplea en todo México y en la mayor parte

de América Latina. El desperdicio de nutrientes de maíz adquiere proporciones enormes con la imperiosa necesidad de aprovecharlos en forma directa o indirecta para consumo humano.

En el presente trabajo se propone recuperar los sólidos del nejayote, caracterizarlos y probar su utilización como sustrato para fermentación microbiana. Esto nos dará una idea más real de la factibilidad de la utilización de los sólidos del nejayote con el fin de lograr el aprovechamiento integral del maíz nixtamalizado.

## MATERIALES Y METODOS

La muestra de maíz, tortilla y nejayote de nixtamal de maíz fueron tomadas de una planta nixtamalizadora industrial en la ciudad de Mérida, Yucatán.

Para los análisis de calcio se usó un cromatógrafo de absorción atómica marca Hilger y para los análisis bromatológicos se usaron equipos Labconco de 6 unidades de análisis.

Las muestras de maíz y tortilla fueron secadas hasta un contenido de humedad menor al 10% y molidas en un molino de martillos a través de una malla de 40

mesh. Las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno en refrigeración hasta ser analizadas.

**Concentrado seco evaporado (CSE).**- Con el fin de concentrar el nejayote, se calentaron 3 muestras de 10 l de nejayote en ollas con flama directa, hasta que se evaporó el 60% del contenido original de agua. Se completó el secado de los volúmenes restantes en un horno a 100°C durante 72 h. El CSE se molió (40 mesh) y se almacenó en refrigeración.

**Concentrado seco centrifugado (CSC).**- Para la concentración del nejayote mediante centrifugación se hicieron pruebas preliminares variando la fuerza centrífuga aplicada desde 600 hasta 3000 x g durante diferentes tiempos. Todas las corrientes consistieron en la centrifugación de 6 l de nejayote a la vez, secando el precipitado en un horno a 100°C durante 30 h. El CSC se molió (40 mesh) y se almacenó en refrigeración. Los sobrenadantes centrifugados se almacenaron en tanques de plástico en refrigeración hasta ser analizados.

**Concentrado seco filtrado (CSF).**- Con el fin de separar los sólidos en suspensión, el nejayote se pasó con ayuda de vacío (450 mm Hg) a través de un filtro de tela de seda con abertura de 140 micrómetros. El residuo retenido en el filtro se secó en un horno a 90°C durante 72 h. El CSF se molió (40 mesh) y se almacenó en refrigeración.

Para la obtención de la cantidad total de muestras de CSE, CSC, y CSF requeridos para los diferentes análisis se procesaron 30 l de nejayote por cada método.

**Análisis.**- Los análisis de humedad, cenizas y lípidos se realizaron con los métodos del A.O.A.C. (1980), números 14.002, 14.006, y 14.018 respectivamente.

Para la determinación del contenido de fibra se digirieron muestras desengrasadas en ácido sulfúrico al 1.25% y después en hidróxido de sodio al 1.25%. Los residuos se incineraron y se calculó el contenido de fibra restándole la ceniza presente en las muestras.

Los contenidos de proteínas se determinaron con el método Macrokjeldahl usando un equipo Labconco de 6 unidades de análisis.

**Fraccionamiento de lípidos.**- Para la obtención del aceite de nejayote se extrajeron 45 l de nejayote con hexano y éter de petróleo. Luego, se evaporaron estos solventes y se disolvió el aceite en etanol absoluto para iniciar el fraccionamiento de los lípidos. Para la cuantificación de los ácidos grasos libres, neutros, saponificados y no saponificados se usaron los métodos 9.411 y 9.412 de Bateman (1970).

La alcalinidad se determinó con el método 33.014 del A.O.A.C. (1980).

El pH de las muestras se determinó con el método 14.022 del A.O.A.C. (1980).

Para la determinación del índice de solubilidad de nitrógeno (ISN) se usó una modificación del método de Smith y Circle (1972).

Para la determinación del contenido de calcio las muestras se disolvieron con ácido clorhídrico 4 M, se

diluyeron y se analizaron en un cromatógrafo de absorción atómica.

Los azúcares totales fueron cuantificados promoviendo la reacción violenta con fenol al 5% y ácido sulfúrico concentrado. Luego se calentó durante 15 min en agua hirviendo, se dejó enfriar y se leyó la absorbancia.

**Fermentación del nejayote.**- Para la fermentación del nejayote se usaron 100 ml de volumen de trabajo que fueron inoculados con 3 g de *Z. cerevisiae*. Las muestras fueron incubadas a 29°C durante 72 con agitación periódica.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La recolección de las muestras homogéneas en los tanques de almacenamiento en la planta industrial requirió de agitación completa del nejayote inmediatamente antes de tomar las muestras ya que los sólidos en suspensión sedimentan muy rápido. La propiedad de sedimentación rápida de los sólidos en suspensión del nejayote será aprovechada en pruebas futuras para la recuperación de dichos sólidos.

Para la elaboración de un concentrado seco a partir de los sólidos totales del nejayote se probaron tres métodos: secado directo a flama, filtración y centrifugación.

**Método de secado directo a flama (MSDF).**- Mediante la aplicación de fuego directo a un recipiente conteniendo 1600 ml de nejayote manteniéndolo en ebullición constante se requirieron 80 min para evaporar el 60% del contenido inicial de agua. Es de esperar que este tiempo sea diferente cuando se trabaje con volúmenes mayores (1000 l) y con recipientes de tamaño y forma diferentes. Se evaporó a fuego directo sólo el 60% del agua debido a que al intentar mayor evaporación el nejayote comienza a quemarse, oscureciéndose y pegándose en las paredes del recipiente. El contenido de sólidos se llevó hasta un 9% (Tabla 1). La muestra se trasladó a un horno donde se completó el secado hasta el 5.96% de humedad. Mediante este método la recuperación de los sólidos es casi completa, alcanzando el 91.5% de los sólidos totales originales. El tiempo promedio necesario para evaporar el 60% del contenido inicial de agua en 10 l de nejayote en un recipiente de 15 l calentado con un mechero Fisher fue de 5.6 h. Este tiempo podría disminuirse aplicando mayor calor, quizá una flama más grande, vapor sobrecalentado directo, una mayor superficie de calentamiento y evaporación, etc. El volumen residual después del calentamiento fue de 3.205 l con un contenido de sólidos de 9%. A nivel industrial el MSDF podría constituir el paso previo a una evaporación a vacío donde se completara la remoción del agua hasta el nivel de humedad deseado, alrededor del 10% para un producto en polvo o bien para obtener un concentrado semisólido que podría usarse como suplemento de alimento para aves.

**Método de filtrado (MF).**- Como resultado de filtrar muestras de 300 ml y a través de una malla de seda, se separaron 70 ml de sólidos y 220 ml de líquido filtrado.

El proceso de filtración fué muy tardado pues el filtro se obstruye rápidamente aún con la ayuda de vacío. Para completar la remoción del agua, tanto el residuo retenido en el filtro como el líquido filtrado se secaron en un horno. Se encontró que en el residuo se recuperaron el 58% (Tabla 1) de los sólidos totales originales en forma de una masa semisólida de 9.4% de sólidos que representa el 23% del volumen total original del nejayote. El concentrado seco (sólidos del residuo) presentó un color café amarillento y fácil de moler. Sería recomendable realizar más pruebas con la ayuda de un filtro de mayor capacidad y versatilidad.

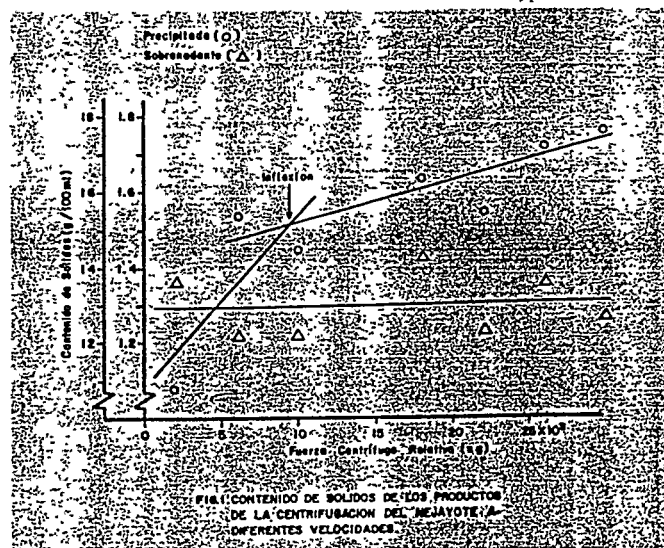
Una comparación de los tres procesos nos muestra que el MSDF requiere de mucha energía para el calentamiento lo que encarece el proceso. Sin embargo, el proceso es simple pues sólo requiere de un contenedor suficientemente grande, posiblemente una marmita, para calentar el nejayote. Además, no produce desechos ya que el agua es eliminada como vapor a la atmósfera y la recuperación de los sólidos del nejayote es casi completa. El MF requiere de menos energía que el MSDF ya que únicamente requiere vacío para acelerar el filtrado, sin embargo, sólo recupera el 58% de los sólidos del nejayote y requiere de la remoción continua

TABLA 1.- RECUPERACION DE LOS SOLIDOS PRESENTES EN EL NEJAYOTE DE MAIZ

Método <sup>a</sup>	Volumen (%) <sup>bc</sup>	Contenido de sólidos (g/100ml) <sup>c</sup>	Recuperación de sólidos (g/100g) <sup>c</sup>
<b>Secado directo a flama</b>			
Nejayote	100	3.8	
Concentrado líquido	36	9.0	
Concentrado seco (CSE)		94	91.5
<b>Filtración</b>			
Residuo	23	9.4	58.5
Filtrado	73	2.1	40.2
<b>Centrifugación</b>			
Precipitado	20	17.1	81.4
Sobrenadante	78	0.9	16.4

<sup>a</sup> Se utilizó un volumen de 1000 ml para todas las pruebas  
<sup>b</sup> Concentración con respecto a los 1000 ml originales de nejayote  
<sup>c</sup> Los valores reportados son promedios de 3 o más observaciones

**Método de centrifugación (MC).**- Para la centrifugación del nejayote se hicieron pruebas con diferentes velocidades de centrifugación durante 15 min y se midió la concentración de sólidos y cantidad de sólidos recuperados en el precipitado (Figs. 1 y 2). Se encontró que una centrifugación a 970 x g permite una buena recuperación de dichos sólidos no aumentó al aumentar la fuerza centrífuga aplicada. En estas condiciones el tiempo de secado del precipitado semisólido en un horno fue aceptablemente corto. Otra prueba de centrifugación con la fuerza centrífuga relativa fijada y a diferentes tiempos mostró que 10 min. es el tiempo mínimo para recuperar prácticamente el máximo (81%) de los sólidos suspendidos en el nejayote. El resto de los sólidos del nejayote se encontró disuelto en el sobrenadante en una concentración menor al 1%. La extracción de estos sólidos resultaría demasiado costosa debido a la gran cantidad de agua a remover por lo que deberán usarse directamente en solución posiblemente como sustrato para fermentación microbiana.



de los sólidos que obstruyen el filtro. Los sólidos restantes (42%) se obtienen en solución en el líquido filtrado que representa el 73% del volumen original del nejayote. A nivel industrial sería recomendable usar un

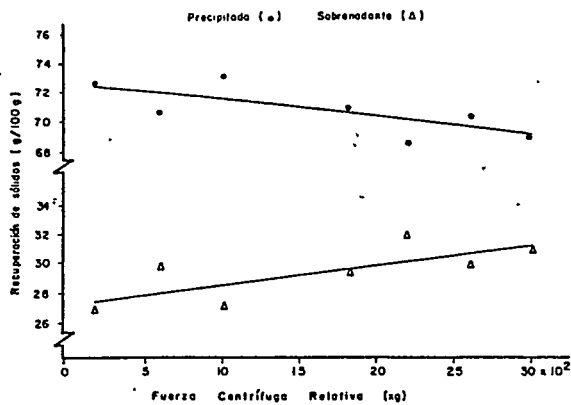


FIG. 2 RECUPERACION DE LOS SOLIDOS PRESENTES EN EL NEJAYOTE DURANTE LA CENTRIFUGACION A DIFERENTES VELOCIDADES.

filtro con una superficie de filtrado bastante grande y con un sistema automático de limpieza del filtro. El MC requiere de menos energía que los dos anteriores pudiendo recuperar alrededor del 81% de los sólidos del nejayote. Sin embargo, a nivel industrial se requerirán centrifugas de gran capacidad ya que los volúmenes totales a procesar son mayores de 100,000 l. Este método genera un residuo líquido (el sobrenadante) que representa el 78% del volumen original del nejayote.

#### CARACTERISTICAS DE LOS CONCENTRADOS

**Concentrado seco evaporado (CSE).**— El CSE presentó una coloración café oscura y un olor a tostado, probablemente debido al sobrecalentamiento tanto durante el el MSDF como durante el secado final en el horno. El contenido de proteínas fue similar al de maíz (Tabla 2) mientras que el contenido de cenizas fue

mayor debido a la cal adicionada. El contenido de carbohidratos fue menor en un 10% que el de maíz debido a la pérdida de almidón en el agua durante el cocimiento. El pH y la alcalinidad del CSE fueron superiores a los del maíz crudo (Tabla 3). Estas condiciones dificultan su utilización como alimento animal. Sin embargo, su alto contenido de calcio lo convierte en un buen alimento para aves ponedoras, quienes requieren de un alto suministro de este mineral para elaborar el cascarón del huevo. El análisis del ISN mostró que el nitrógeno protéico del CSE (ISN= 38.3 mg n/g N total) es tres veces más disponible en medio acuoso que en el maíz crudo (ISN= 12.4). Esto sugiere una mayor digestibilidad de las proteínas del CSE comparado con las del maíz crudo.

**Concentrado seco centrifugado (CSC).**— El CSC presentó una coloración café claro. Los contenidos de proteína y fibra fueron similares a los del maíz crudo (Tabla 2), mientras que el contenido de lípidos fue menor. Esto último probablemente se deba a que parte de los lípidos, de menor densidad que el agua, en el nejayote flotan en el sobrenadante y por lo tanto no se recogen en el precipitado. A semejanza del CSE, el CSC presentó valores de pH y alcalinidad mayores que el maíz crudo, pero su contenido alto de calcio lo convierte en un buen alimento para aves ponedoras. Los resultados del análisis de ISN sugieren que la proteína del CSC (ISN = 20.7 mg N/ g N total) será más digerible en medio acuoso que en el maíz crudo (ISN = 12.4). El sobrenadante del centrifugado mostró valores de cenizas, pH y alcalinidad bastante altos, lo que podría inhibir a los microorganismos al ser usado como sustrato para fermentación. Sin embargo, su alto contenido de carbohidratos lo convierte en una buena fuente de carbono para fermentación, además de sus contenidos de proteínas, fibra y lípidos.

TABLA 2. ANALISIS BROMATOLOGICOS (%)<sup>a</sup> DE LOS PRODUCTOS DE LA NIXTAMALIZACION Y LOS CONCENTRADOS DEL NEJAYOTE DE MAIZ

Sustrato	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra	Lípidos	Carbohidratos
Maíz	9.8	1.3	9.8	4.7	3.5	80.7
Tortilla	49.6	1.7	10.1	2.6	2.5	83.1
Nejayote	96.0	11.7	8.0	5.4	1.0	74.0
Concentrado seco evaporado	6.0	11.0	9.2	5.3	3.6	70.9
Concentrado seco centrifugado	6.2	7.9	9.4	4.8	2.4	75.5
Sobrenadante centrifugado	99.1	15.1	9.0	9.0	1.7	65.3
LSD (0.05)		0.36	0.33	0.31	0.18	0.47

<sup>a</sup> Los valores están reportados en base seca.  
<sup>b</sup> Los valores están reportados en base húmeda.  
<sup>c</sup> Calculado en g/100 ml.

TABLA 3.- ANALISIS<sup>a</sup> DE ALCALINIDAD, pH Y CALCIO DE LOS PRODUCTOS DE LA NIXTAMALIZACION DE MAIZ Y LOS CONCENTRADOS DE NEJAYOTE

Sustrato	pH	Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /100g)	Calcio	
			(g/100g de ceniza)	(g/100g de muestra)
Maíz	6.36	0.29	1.81	0.03
Tortilla	9.11	0.30	24.74	0.43
Nejayote	12.03	4.03	42.33	5.44
Concentrado seco evaporado <sup>b</sup>	9.30	1.34	68.79	7.54
Concentrado seco centrifugado <sup>b</sup>	9.27	0.49	89.87	7.13
Sobrenadante centrifugado <sup>b</sup>	11.49	12.36	32.81	4.95
LSD (0.05)	0.29		1.87	0.16

<sup>a</sup> Los valores son promedios de tres o más observaciones

<sup>b</sup> Ver la descripción en la sección de materiales y Métodos

**Análisis del aceite del nejayote.**— El fraccionamiento del aceite presente en el nejayote mostró que está compuesto principalmente de ácidos grasos libres (Tabla 4) que podrían ser el resultado del efecto hidrolítico de cocimiento alcalino (nixtamalización) sobre los triglicéridos. La cantidad de ácidos grasos saponificados (jabones) es muy pequeña. Esto indica que este aceite es de buena calidad para ser usado como alimento animal.

5). Probablemente la producción de alcohol y/o proteína unicelular sería mejorada reduciendo el pH del nejayote y aumentando la concentración inicial de azúcares. Se propone realizar más pruebas con otros microorganismos para la fermentación del nejayote o de los concentrados obtenidos a partir del nejayote con el fin de producir antibióticos, enzimas, vitaminas o aminoácidos.

TABLA 4.- COMPOSICION DEL ACEITE DEL NEJAYOTE

	Nejayote	Soya
Contenido total (g/100g)	0.95	23.5
Composición del aceite (g/100g aceite)		
Acidos grasos libres	81.48	27.40
Jabones	1.82	1.61
Acidos grasos no saponificados	26.43	11.36
Acidos grasos neutros	9.73	59.60

Nota: Para los análisis se usó aceite extraído del nejayote y aceite crudo de soya

TABLA 5.- FERMENTACION DEL NEJAYOTE DE NIXTAMAL CON Z. CEREVISIAE

	Muestra	
	1	2
<b>Formulación</b>		
Nejayote (ml)	100	50
Agua (ml)	0	50
<b>Azúcares totales (g/100 ml)</b>		
Inicial	4.64	3.57
Final	1.25	0.52
Azúcar fermentado (g/100 g azúcar total)	74.6	85.5
Alcohol (g/100g azúcar)	4.6	5.5

<sup>a</sup> Los sólidos totales del nejayote contenían 77.4 y 19.7 g de azúcares totales/100 g de sólidos al inicio y al final, respectivamente

**Fermentación del nejayote de nixtamal.**— La fermentación del nejayote, sin la adición de ningún aditivo, con *Z. cerevisiae* mostró que esta levadura fermentó más del 70% de los azúcares totales presentes (Tabla

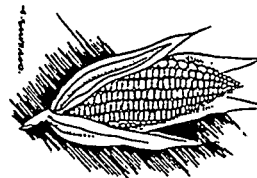


## CONCLUSIONES

El método de centrifugación tiene la ventaja de ser rápido y de no requerir un consumo alto de energía con una recuperación de sólidos bastante alta. El método de filtrado pudiera ser práctico a nivel industrial contando con un sistema de filtrado con la capacidad y versatilidad adecuada; sin embargo, sólo recupera la mitad de los sólidos totales en el nejayote. Estos 2 métodos presentan la desventaja de producir como residuo volúmenes grandes de una solución acuosa muy diluida. En general, la composición de nutrientes de los concentrados producidos muestran que pueden ser utilizados como suplemento de alimento animal. Como alimento para aves serían adecuados; sin embargo, como alimento para ganado requerirían de un tratamiento previo para disminuir su alcalinidad. El nejayote, los concentrados y los residuos diluidos (sobrenadantes centrifugado y líquido filtrado) podrían ser utilizados como sustrato para fermentación microbiana. Se requiere de estudios adicionales de fermentación de dichos sustratos para la obtención de otros productos como vitaminas, enzimas, antibióticos y aminoácidos.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- AOAC. 1980. "Official Methods of Analysis" 13 th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington. D.C.
- 2.- Bateman John V. 1970. "Nutrición Animal". Editorial Herrero Hermanos y Sucesores S.A.
- 3.- Bedolla. S y Rooney, L.W. 1982. Cooking maize for masa production. Cereal Foods World 25(5):219.
- 4.- Goldstein, T.M. 1983. Effects of Environment and Genotype and Hordnes and Alkaline Cooking Properties of Maize. Tesis de Maestría. Texas A&M. University. College Sta., TX. U.S.A.
- 5.- Smith, A.K. and Circle, S.J. (eds.). 1972. Proteins. Page 451 in: "Soy beans: Chemistry and Technology". Vol. I. The AVI Publishing Co., Inc. Westport, CT.





LA TRANSFORMATION DU MAIS EN GALETTES  
PAR CUISSON ALCALINE ET SON  
APPLICATION AU SENEGAL

Projet de Mastère : Thierry FERRE

- Coordonnateurs : José MUCHNIK (INRA-CEEMAT)  
Christian MESTRES (IRAT)
- Partenaire : Nicolas BRICAS (ENDA-ALTERSIAL)

Le maïs constitue l'aliment de base de la population de nombreux pays d'Amérique Centrale et notamment du Mexique. dans ce pays, il est toujours associé à une technologie de transformation: la "NIXTAMALISATION", technique de cuisson alcaline du grain de maïs. Le principal produit final de cette transformation, au Mexique, est la "tortilla".

Le maïs a été introduit récemment en Afrique, aussi les technologies qui lui sont associées n'ont pas toutes suivi; ce projet envisage la diffusion de ce procédé de transformation au Sénégal.

Calendrier prévisionnel :

- Novembre à Janvier :
  - Définition du cahier des charges du produit final à partir de produits témoins importés du Mexique. Evaluation des qualités organoleptiques: rhéologie, texture, couleur.
  - Essais avec des variétés sénégalaises de maïs et évaluation des différents paramètres pertinents intervenant dans le processus de transformation.

- Février : Mission au Mexique
  - Stage dans une entreprise industrielle produisant des tortillas.
  - Enquêtes sur d'autres unités de production.
  - Enquêtes sur les modes de commercialisation et de consommation.
  - Recherche bibliographique.
  
- Mars à Juillet :
  - Ajustement du procédé aux variétés sénégalaises et fabrication du produit final dans l'atelier du CEEEMAT.
  - Contrôles de la fabrication et de la qualité des produits, intermédiaires et final, par différentes méthodes de mesures rhéologiques et biochimiques.
  
- Août à Novembre : Mission au Sénégal
  - Réalisation du produit sur place.
  - Tests gustatifs sur un échantillon représentatif.
  - Tests de commercialisation.

Dans un objectif de valorisation des céréales locales, ce projet vise à proposer une technologie de transformation du maïs utilisant les variétés locales et ~~de~~ <sup>de</sup> mettre à la disposition du consommateur <sup>un</sup> produit nouveau: la "tortilla sénégalaise".