

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
Y CIENCIA DE ALIMENTOS



**EFEECTO DE LA NIXTAMALIZACION DEL MAIZ
SOBRE EL CONTENIDO DE ACIDO FITICO,
CALCIO Y HIERRO**

ANA LUCRECIA URIZAR HERNANDEZ

**Trabajo de investigación presentado para optar
el grado académico de
Licenciado en Ingeniería en Ciencia de Alimentos**

Guatemala

1995

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
Y CIENCIA DE ALIMENTOS**

**EFEECTO DE LA NIXTAMALIZACION DEL MAIZ
SOBRE EL CONTENIDO DE ACIDO FITICO,
CALCIO Y HIERRO**

ANA LUCRECIA URIZAR HERNANDEZ

**Trabajo de investigación presentado para optar
el grado académico de
Licenciado en Ingeniería en Ciencia de Alimentos**

Guatemala

1995

**EFFECTO DE LA NIXTAMALIZACION DEL MAIZ
SOBRE EL CONTENIDO DE ACIDO FITICO,
CALCIO Y HIERRO**

DEDICATORIA

A Dios

Quien durante toda mi vida ha sido mi amigo, mi guía y mi fortaleza.

A mis Padres, Lázaro y Miriam.

Con todo mi amor y agradecimiento porque en todo momento de mi vida han sido mis mejores amigos y maestros; porque a través de esfuerzo, abnegación, ejemplo y amor me han apoyado en todas mis decisiones y me han enseñado y alentado a alcanzar todas mis metas como la que hoy he logrado.

A mis hermanos: Miriam Eugenia, Lázaro Manuel, Carmencita y Juan Carlos.

Quienes a través del tiempo me han dado apoyo, amor y ejemplo. Ejemplo que con dedicación, esfuerzo y voluntad pueden lograrse todas las metas deseadas.

A tí Julito.

Todo mi amor y agradecimiento por toda tu colaboración y comprensión durante este tiempo y porque a través de tu amor, apoyo y ayuda logré culminar este trabajo.

Agradezco muy especialmente al Doctor Ricardo Bressani, al Licenciado Roberto Benavides y al Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), por su valiosa colaboración y asistencia técnica en la preparación y realización de este documento. Y también un agradecimiento a la Señora Silvia de Pineda y Licenciada Blanca de Gálvez por su colaboración y ayuda; y a Industria Nacional de Harineros S.A. (INHSA), por su cooperación en el suministro de material para el estudio.

Vo.Bo.: (f)

Ricardo Bressani

Doctor Ricardo Bressani
Asesor

Tribunal:

(f) *Patricia de Palomo*
Licenciada Patricia Palacios de Palomo

(f) *Roberto Benavides Soza*
Licenciado Roberto Benavides Soza

(f) *Ricardo Bressani*
Doctor Ricardo Bressani

Fecha de aprobación: 17 de Octubre de 1995

PREFACIO

Vale la pena señalar que el objetivo principal de este estudio es ampliar más los conocimientos del proceso de nixtamalización y los efectos que las diferentes operaciones de éste conllevan sobre ciertos compuestos del grano que están asociados con la biodisponibilidad de sus nutrientes. Por ser la nixtamalización un proceso generalizado, es sumamente importante conocer los efectos positivos o negativos que puede tener sobre el alimento y a la vez sobre la persona. El ácido fítico, como se ha mostrado en la literatura de este trabajo, es un factor adverso nutricionalmente, sin embargo los datos y resultados mostrados en el estudio señalan que el proceso puede ser altamente beneficioso para incrementar el valor nutritivo de los productos nixtamalizados a través de una reducción significativa del ácido fítico que deje biodisponibles los minerales importantes para el hombre, como el hierro y calcio.

A través de este estudio se ha comprobado la reducción significativa del compuesto durante el proceso y se han señalado las relaciones que existen entre las tres variables de proceso en estudio (nivel de cal, tiempo de cocción y tiempo de remojo) y los minerales y porcentajes de interés al mismo, que son: calcio, hierro total, hierro biodisponible y % de absorción de hierro. El contenido de ácido fítico está altamente relacionado con los niveles de hierro ionizable y, por tanto, con la biodisponibilidad del hierro (% de absorción in Vivo) a través de una relación inversamente proporcional que se ve afectada directamente por el nivel de cal y tiempo de cocción empleado en el proceso de nixtamalización.

Es interesante indicar que durante el trabajo experimental y en el análisis de los resultados obtenidos se puede notar y concluir que además de las variables estudiadas en este trabajo, existen otras fuentes de proceso como partes físicas del grano que en algún momento pueden influir en los parámetros de estudio e influir en los resultados obtenidos; y por consiguiente deben estudiarse después para ampliar mayormente el proceso de nixtamalización y los beneficios que de dicho proceso pueden obtenerse.

El contenido de ácido fítico está muy relacionado con los niveles de hierro ionizable y por tanto con la biodisponibilidad del hierro (% de absorción in Vivo) a través de una relación inversa que se ve afectada directamente por el nivel de cal y tiempo de cocción empleado.

CONTENIDO

	Páginas
PREFACIO	ix
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
III. HIPÓTESIS	6
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
A. El Grano de maíz	7
1. Descripción del grano	7
2. Características del grano	8
3. Consumo de maíz y productos de maíz nixtamalizado	9
B. Descripción del proceso de nixtamalización	11
1. Proceso tradicional	11
2. Proceso industrial	13
3. Nuevas posibilidades de procesamiento	16
C. Cambio en contenido de nutrientes	19
D. Biodisponibilidad de nutrientes	22
1. Calcio	22
2. Niacina	23
3. Fibra dietética (DF)	24
4. Hierro	25

E. Ácido fítico	26
1. Estructura y función biológica	26
2. Distribución en los cereales	30
3. Comportamiento en el grano a distintos procesos	33
4. Efectos adversos sobre la biodisponibilidad de hierro, calcio y otros nutrientes	40
V. MATERIALES Y MÉTODO	51
A. Fuentes del grano, harina y cal	51
B. Metodología	52
1. Nixtamalización con las diferentes variables	52
2. Metodología química	52
VI. ANÁLISIS DE DATOS	54
A. Análisis estadístico	54
B. Cálculos	56
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
VIII. CONCLUSIONES	75
IX. RECOMENDACIONES	78
X. BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	84
A. Cuadros	84
B. Diagramas	91
C. Tablas de resultados	98
D. Figuras y gráficas	115

RESUMEN

Se investigó el efecto de la nixtamalización sobre el contenido de ácido fítico, hierro ionizable (hierro biodisponible) y calcio. El ácido fítico es un factor inhibitorio en la absorción de minerales como el calcio y hierro; sin embargo, mediante ciertos procesos se ha visto la factibilidad de disminuir la cantidad de éste y permitir un aumento en la biodisponibilidad de los elementos. La base del presente trabajo fue estudiar el comportamiento del ácido fítico a diferentes condiciones de operación del proceso de nixtamalización, con el fin de correlacionar el contenido de éste con la biodisponibilidad del hierro a través de la medición del hierro ionizable a pH 7.5 y definir el efecto que el tiempo de cocción, nivel de cal y tiempo de remojo pudieran tener sobre el compuesto y su interacción con el hierro biodisponible.

El estudio se dividió en dos fases. En la primera se comparó el proceso industrial con el tradicional y se definió que el ácido fítico se reduce significativamente durante el proceso, hasta un 35% de la cantidad inicial y que dicha reducción se presenta mayormente durante la nixtamalización o cocción alcalina, por lo que éste fue el foco del estudio posterior (la conversión del grano a nixtamal). En la segunda fase se emplearon cuatro niveles de cal: 0.0, 0.4, 0.8 y 1.2% (sobre el peso del grano), tres tiempos de cocción: 55, 65 y 75 min.; y dos tiempos de remojo: 0 hrs para representar el proceso industrial y 12 hrs. como en

el proceso casero. Los datos fueron analizados estadísticamente por análisis de regresión y de varianza, así como por medio de correlaciones entre las diferentes variables. Los resultados mostraron de nuevo una baja significativa del contenido de ácido fítico, la cual se presentó más alta a los niveles altos de cal y a tiempos de cocción más extensos (65,75 min.). El porcentaje de reducción máximo se dio en el tratamiento de 1.2% de cal y 75 min. de cocción y fue de un 35%, aproximadamente. De forma similar, el aumento del hierro ionizable también se presentó en forma gradual; es decir al subir el nivel de cal y el tiempo de cocción el incremento respecto del contenido del grano inicial era mayor. Se alcanzó un incremento de hasta un 77% a 240mg% de Calcio presente y un 727.37mg% de ácido fítico. Estos datos se pudieron correlacionar con el % de hierro absorbido (in Vivo) a través de las ecuaciones establecidas por Naransinga (1978) y se obtuvo un rango de absorción entre 2.72 y 3.46%. Los datos más altos están en el rango de 3.05 y 3.46% de hierro absorbido, que al compararse con el % de absorción de hierro en el grano crudo (2.65%) representa un incremento en la absorción del 15-30%.

Basándose en los resultados obtenidos se tiene que el ácido fítico puede disminuir de un 20 a un 35% durante el proceso de nixtamalización y que la disminución del mismo está relacionada principal y directamente con el nivel de calcio presente. Una cantidad mínima de calcio es capaz de saturar el ácido fítico (0.342mg Calcio-mg AF), por lo que con las altas cantidades de calcio que se

logran en el nixtamal a través del proceso, se obtiene en cierta forma que el calcio provoque una saturación del compuesto o bien una reacción que permite que el hierro esté más biodisponible. El tiempo de cocción influye también directamente en las variables, sin embargo esta variable independiente está muy ligada con el nivel de cal. Por el contrario, el tiempo de remojo no tuvo algún efecto significativo sobre el comportamiento del ácido fítico y la interacción de éste con el calcio y hierro. El comportamiento del ácido fítico puede predecirse a través de la siguiente ecuación: $y(\text{AF}) = -1.5273 x_1 (t \text{ cocción}) + 0.0567 x_2 (t \text{ remojo}) - 1.3743 x_3 (\text{calcio}) + 1188.9841$ y el hierro ionizable de la misma forma: $y(\text{Fei}) = 0.0035 x_1 + 0.0006 x_2 + 0.0030 x_3 + 0.617$.

En general, los resultados muestran y verifican que el calcio, en el proceso de nixtamalización, ayuda a eliminar o bloquear el efecto antagónico que el ácido fítico tiene en algún momento sobre el hierro y que la reducción de éste contribuye al aumento de la biodisponibilidad del hierro y el calcio, ya que éste último está presente en cantidades sumamente mayores en relación a las del ácido fítico. Por otro lado, el tiempo de cocción y el tratamiento térmico son factores que, unidos con el calcio, refuerzan la disminución del ácido fítico durante el proceso.



I. INTRODUCCIÓN

Las antiguas civilizaciones Azteca, Maya e Inca dependían ampliamente del consumo del maíz como un alimento primordial y ya desde ese entonces realizaban con el mismo un proceso alcalino, como cocimiento con cal o cenizas, que les permitiera convertir el grano en una forma apropiada de alimento. A pesar del tiempo que ha transcurrido desde que estas civilizaciones existieron, la nixtamalización y el consumo de maíz en forma de tortillas sigue constituyendo un producto básico en la dieta alimenticia de la mayoría de la población guatemalteca y de muchos países latinoamericanos.

La tortilla es un producto relativamente barato que proporciona nutrientes que en el maíz, como grano, no están disponibles. Por lo tanto, la tortilla es un alimento de alto valor nutricional adecuado para las personas que dependen de ella como su primordial fuente alimenticia.

En la actualidad se ha estudiado, analizado y evaluado, tanto el proceso de nixtamalización tradicional, originario de las civilizaciones antes mencionadas, como el proceso a nivel industrial y las tecnologías aplicadas para convertir el maíz en tortilla o un producto similar (harinas). Además, se ha investigado la química, los efectos de biodisponibilidad nutritiva y antimicrobiana que el proceso de cocción alcalina conlleva. Se ha encontrado que los productos inmediatamente después de preparados, como la tortilla, tamalitos y otros provenientes del nixtamal, poseen recuentos microbianos significativamente inferiores a los presentes en el maíz original y se ha observado la destrucción de factores tóxicos

como las aflatoxinas. Aunque los productos pierden ciertos nutrientes, ocurre un mejoramiento en la disponibilidad de otros, por ejemplo el calcio (Bressani, 1990). Sin embargo, poco se ha estudiado los efectos que el proceso de nixtamalización tiene sobre el contenido de ácido fítico en el maíz. El ácido fítico (éster ácido hexafosfato de inositol o mioinositol de hexafosfato) ocurre normalmente como sal de calcio o magnesio; y se encuentra en granos o semillas que comúnmente contienen pequeñas cantidades de hierro inorgánico (Miller, 1959). Este ácido posee propiedades antinutricionales dado que, por su habilidad de ligar metales y/o trazas de elementos, reduce su biodisponibilidad. Diversos autores (8, 9, 13, 15, 16, 18) relacionan la disminución del ácido fítico, bajo ciertas condiciones, con el aumento en la disponibilidad de minerales como calcio, zinc, magnesio y hierro. Estudios realizados por Khan et al. indican que el procesamiento del maíz con un tratamiento térmico reduce el contenido de ácido fítico inicial, mejorándose de esta manera la disponibilidad de minerales en dichos productos de maíz. La reducción del ácido fítico por un proceso térmico puede ser un factor determinante en el aumento de la disponibilidad de hierro que se presenta en la tortilla obtenida a partir del nixtamal. Este incremento puede atribuirse a que la molécula del ácido fítico es lábil al calor, por lo que se destruye en tal tratamiento de cocción alcalina; o bien, las altas concentraciones de calcio saturan la molécula permitiéndose así la disponibilidad de hierro presente.

La importancia del conocimiento sobre el contenido del ácido fítico en el grano y en la tortilla, radica en que éste es un factor antagónico cuya presencia puede ser un índice que evalúe la biodisponibilidad de minerales, como el hierro, esenciales para los requerimientos nutricionales. El hierro es substancial en la

formación de hemoglobina y es el elemento necesario para que la hemoglobina transporte el oxígeno a todas partes del cuerpo. Alrededor del 80% de todo el hierro en el organismo está contenido en la hemoglobina. Una vez que se han gastado las reservas de éste en el cuerpo, es difícil recuperarlas, solamente a través de la alimentación. El tracto gastrointestinal sólo absorbe 1mg de hierro por cada 10mg presentes en los alimentos. La deficiencia de hierro puede causar anemia y, por lo tanto, los alimentos primordiales de un individuo, como la tortilla en el área rural, pueden ser suplementos de hierro si poseen una elevada biodisponibilidad de éste. Estando el hierro quelado como fitato, será un compuesto insoluble no aprovechable.

Por medio de este estudio se ampliarán los conocimientos sobre el proceso de nixtamalización del maíz, variándose distintos parámetros como lo son: el tiempo de cocción, tiempo de remojo y nivel de cal utilizados, con el fin de obtener las condiciones óptimas donde la disminución de ácido fítico sea mayor, la biodisponibilidad de hierro incremente y se conserven las características organolépticas deseables. De esta forma, se tratará de explicar el efecto que la cocción alcalina tiene sobre el contenido de ácido fítico, hierro y calcio; y se relacionará la cantidad de fitato presente con la disponibilidad del hierro.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVOS GENERALES

1. Ampliar los conocimientos del proceso de nixtamalización.
2. Evaluar si el contenido de ácido fítico durante el proceso de nixtamalización disminuye y si éste tiene alguna relación con el calcio y con una mayor biodisponibilidad de hierro.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar el método de nixtamalización tradicional con el método industrial en relación al contenido de ácido fítico.
2. Evaluar los cambios que se presentan en el contenido de ácido fítico, calcio, hierro biodisponible (ionizable) y hierro total durante las distintas fases del proceso de nixtamalización.
3. Evaluar el comportamiento del ácido fítico en el proceso de nixtamalización y determinar sus posibles interacciones.
4. Conocer los efectos que el tiempo de cocción (55, 65 y 75 min.) del maíz tiene sobre el contenido de ácido fítico y hierro biodisponible.

5. Determinar si el remojo tiene o no un efecto en el ácido fítico y hierro biodisponible.
6. Evaluar el efecto del nivel de cal (calcio) sobre el contenido de ácido fítico y hierro biodisponible.
7. Asociar los niveles de ácido fítico con la disponibilidad de hierro o el aumento del hierro ionizable.

III. HIPÓTESIS

1. El tratamiento térmico reduce los niveles de ácido fítico.
2. El ácido fítico se reduce significativamente durante el proceso de nixtamalización.
3. La reducción del ácido fítico se presenta principalmente por la inactivación de sus grupos reactivos por el ion calcio; es decir, el calcio satura los sitios activos del compuesto evitando la quelación del hierro ionizable.
4. Al reducirse el contenido de ácido fítico durante el proceso, el hierro se hace biodisponible. El hierro ionizable aumenta.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. EL GRANO DE MAÍZ

1. Descripción del grano

El maíz es un cereal que es consumido en varias formas: como vegetal en su forma húmeda y la mayor parte como una fracción específica o modificada del grano original, al someterse a diversos procesos como la molienda, fermentación o fritura.

El maíz pertenece a la familia Graminae y las principales variedades cultivadas son: maíz de vaina, duro, dulce, palomero, harinoso y ceroso. La diferencia entre cada variedad radica en sus composiciones, tejidos, semilla y técnicas de cosecha y post-cosecha. El grano cultivado en Centroamérica es principalmente el harinoso. Este es un grano grande, blando y el endospermo se desmenuza con facilidad; lo que le permite molerse muy bien, formando una harina, lo cual es ventajoso para los métodos domésticos (Desrosier, 1990).

El grano de maíz es un fruto compuesto de tres partes principales que son: el pericarpio (6% en peso); el endospermo, que constituye la fracción mayor del grano (82.4% en peso) y el germen (11.6% en peso) (5). Watson (46) señala que la humedad del grano varía entre 16-20% y en el grano maduro oscila entre 28-32%. En el Cuadro No. 1 se muestra un análisis promedio del grano (Desrosier, 1990; Potter, 1973). En general, los principales componentes del grano son carbohidratos, proteínas y lípidos. La proteína es deficiente en los aminoácidos

esenciales lisina y triptófano. El endospermo contiene del 76-79% de la proteína total, el germen del 15.1 al 20.5% y la cáscara del 2.9 al 5.3% (5). De los carbohidratos, el almidón es el principal y contiene un 27% de amilosa y un 73% de amilopectina. La mayor parte de fibra cruda se encuentra en el pericarpio (46). En cuanto a minerales, vitaminas y otros compuestos orgánicos, el germen contiene alrededor de un 80% de minerales. El salvado es, sin embargo, la parte más rica del germen. Destaca el fósforo y potasio. Hay una escasa cantidad de calcio relacionado con las necesidades diarias y la cantidad de hierro es buena pero no todo es aprovechable (Inglett, 1970). En los Cuadros No. 2a, 2b. y 2c. se muestra los componentes minerales del grano. Además, todas las vitaminas hidrosolubles están presentes en el grano: la niacina está disponible luego de un tratamiento alcalino, está presente en 29.5mg/kg; el ácido pantoténico en 4.4mg/Kg; riboflavina en 1.5mg/Kg y tiamina en 4mg/kg (20, 31).

2. Características fisicoquímicas/calidad

El maíz puede ser fácilmente procesado a altos rendimiento de masa y debe tener excelentes propiedades tanto para la molienda como para la cocción alcalina. Watson (1991) y Rooney (1993) señalan que el maíz ideal para procesos alcalinos es aquel que posee las siguientes características: (a) tamaño uniforme del grano con una cantidad baja de grano roto y cuarteado, (b) alta densidad, (c) alto peso hectolítico (test), (d) textura del endosperma dura o intermedia (facilita remoción del pericarpio), (e) granos intactos, libres de fisuras o roturas por stress, (f) carencia de dientes prominentes en la corona (corona esférica), (g) de color amarillo claro o blanco brillante y (h) con facilidad de adsorción de agua, ya que

el nivel de cocción estará afectado por el radio con que el grano se hidrate con agua y álcali dándole la capacidad de gelatinizar o no.

3. Consumo del maíz y de productos de maíz nixtamalizado

El maíz es el primordial alimento de poblaciones de bajo nivel socioeconómico en Centroamérica, la parte sur de Norteamérica (México) y la parte norte de Sudamérica, constituyendo la principal fuente de calorías, proteínas y calcio (16).

En Estados Unidos, alrededor de un 10% de la producción total de maíz es usada para consumo humano, mientras que en Centroamérica y México casi todo el maíz producido se consume tradicionalmente como tortillas y éstas representan más del 80% del consumo diario (44). El consumo se ha expandido de las regiones rurales a las urbanas. En México el 72% de la producción total es para consumo humano, principalmente en forma de tortillas (6, 10, 46). En forma similar, en Guatemala y el resto de Centroamérica el consumo de maíz es alto. Bressani (6) reporta que el consumo diario por persona, en Guatemala, es de 318g, en El Salvador es de 350g y en Honduras y Nicaragua es de 225 a 131g, respectivamente.

Sin embargo, en los últimos diez años el consumo de tortillas y productos similares elaborados a partir de tortilla o maíz nixtamalizado se ha expandido rápidamente; se ha popularizado principalmente la comida mexicana y ha habido un crecimiento rápido del consumo de tortilla en todas las regiones de Estados Unidos y Canadá (37). En ciertos países orientales como Corea, Filipinas, China y Japón,

se han ido adaptando las tecnologías artesanal e industrial para la producción de los productos a base de maíz nixtamalizado.

Las tortillas y tostadas de maíz son los productos más consumidos en Estados Unidos y Canadá. En 1990 las ventas al menudeo de ambos fueron de 1.9 billones de dólares. Ya en 1991, en Estados Unidos, los snacks o boquitas de maíz nixtamalizado y las tortillas de maíz alcanzaron ventas de más de US \$ 3 billones (Rooney, 1993).

Los estudios muestran, a nivel mundial, un alto consumo del grano de maíz como tortilla y un aumento en la importancia del valor nutritivo de dicho productos. El maíz, un alimento de la canasta básica en las áreas populares y una nueva forma de alimento en los países desarrollados, debe proporcionar al consumidor la mejor biodisponibilidad de nutrientes que sea posible alcanzar durante el proceso de nixtamalización.

Así pues, dado la importancia y popularidad que han cobrado estos productos, el proceso de nixtamalización se ha modernizado y se ha presentado una rápida transición de la industrial tradicional artesanal a la industria moderna. Se han creado grandes y medianas compañías en las que se desarrollan métodos alternos para la producción de la tortilla y productos varios (5, 20, 37) tratando de optimizar la calidad nutricional de los mismos.

B. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN

1. Proceso Tradicional

Desde los inicios del consumo de maíz las civilizaciones Maya, Azteca y otras poblaciones de América aplicaban un método de cocción alcalina; de tal forma de convertir el grano en un material útil para la preparación de distintos productos alimenticios característicos, como lo es primordialmente la tortilla (5, 6, 20, 37, 41, 47).

Dicho proceso alcalino, conocido como "nixtamalización", ha sido descrito por numerosos autores, los cuales han mostrado que las principales variaciones del proceso en los distintos países de Centroamérica y México radican en el nivel de cal agregado al grano y en el rango de tiempo y temperatura de cocción durante el proceso. En la Figura No. 1 se muestra un diagrama generalizado del proceso de nixtamalización.

Bressani et al. (1990a) describe que en Guatemala el proceso de nixtamalización casero consiste básicamente en la cocción del maíz en un agua alcalina, con una concentración de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) a un nivel que varía entre 0.4 a 1.3% del peso del grano; siendo la razón grano-agua de 1:1.2. Dicha mezcla se cocina a una temperatura de 94°C por un intervalo de tiempo de 46-67 min. Una vez cocido, el producto se deja reposar por un período de 12-14hrs. En este tiempo se reduce la temperatura de cocción a la del medio ambiente y el maíz permanece en un medio alcalino a un pH de 7.5 hasta 9.0 (6).

Al finalizar el reposo, el producto cocido es lavado tres a cuatro veces con agua, removiéndose el exceso de cal, un líquido amarillo, la cáscara, el germen, la capa aleurónica e impurezas presentes. El "nixtamal" (maíz cocido y lavado), como se le denomina al producto obtenido, se convierte en una masa utilizando una piedra de moler o un molino de atrición adecuado (molino de piedras o de discos) (5, 20, 37). En el proceso de molienda se desarrollan las propiedades cohesivas de la masa. Los gránulos hinchados de almidón gelatinizado se rompen y se distribuye el almidón hidratado y la proteína, alrededor de las porciones de maíz no gelatinizado, formándose una masa (46). La masa es moldeada en una forma circular plana y estos discos son cocinados en un comal a una temperatura alta (170°C en la orillas y 212°C en el centro) durante aproximadamente 3 min. para obtener las características tortillas (5, 20).

Además de las tortillas, de dicha masa pueden obtenerse, mediante otros procesos, productos como chuchitos, tamales, pishtones o tamalitos, o tortilla chip. Las características químicas, nutritivas y sensoriales que cada producto tendrá dependen del distinto efecto que la cocción alcalina tenga sobre el grano y del distinto proceso que se le aplique a la masa nixtamalizada (46). En general, las condiciones del proceso (tiempo de cocción, nivel de cal, temperatura y tiempo de remojo) están íntimamente relacionadas con el producto final a obtenerse. Un nixtamal crudo es difícil de moler y uno sobrecocido forma una masa pegajosa y con características de manejo pobres (46). Por otra parte, la variabilidad de cal empleada y los distintos parámetros de cocción que se dan a nivel casero se asocian con el tiempo de almacenamiento, tipo y calidad del maíz, y son en general los factores que influyen primordialmente en la calidad de los productos derivados de la masa; respecto de sabor, color, textura, biodisponibilidad u otros aspectos

importantes (6). Sin embargo, el tratamiento alcalino del grano da al producto un sabor característico y una textura específica que no puede ser imitada por otro método simple de molido y cocción del maíz (46).

2. Proceso Industrial

El rápido aumento de la población urbana con el consiguiente decremento de la población rural, el crecimiento y avance tecnológico, así como la transculturización entre países, son factores que han intervenido en la mayor demanda del consumo diario de tortillas, tanto en los países latinoamericanos como en Estados Unidos.

La tecnología alimenticia moderna ha hecho posible que alimentos como las tortillas, que antes sólo estaban al alcance de un grupo, estén ahora disponibles a todo consumidor en cualquier supermercado a través de tortillas ya hechas o bien harina de maíz nixtamalizada instantánea para la preparación de éstas o de otros productos de similar origen. Por tanto, a nivel industrial se ha desarrollado el proceso de producción de harinas instantánea como el de tortillas listas para comer y para ambos procesos se ha diseñado y construido equipo especial.

La tortilla lista para comer se elabora de masa proveniente de maíz entero tratado de forma similar al método alcalino casero; o bien se prepara a partir de harina instantánea. Dicha masa pasa a través de cilindros rotatorios que la aplanan formando una lámina de masa, la cual pasa por una máquina especial para ser

cortada en forma circular. Los discos planos obtenidos circulan por una banda térmica o un fogón continuo de cocimiento a condiciones adecuadas para obtener las tortillas, las cuales se recolectan en un recipiente al final de la banda (5). Estas son empacadas de una forma adecuada para su preservación.

Por otro lado, la fabricación de harina instantánea para tortillas se hace comercialmente a partir de maíz entero y requiere un alto control de las condiciones de maceración, tratamiento con el álcali, proceso de molienda, proceso de secado, zarandeado y otras operaciones bajo las cuales se realiza el proceso para obtener un producto similar al preparado a nivel casero (20). En sí, la base del proceso industrial es el método empleado tradicionalmente en las áreas rurales, sin embargo la variabilidad del nivel de cal agregado al maíz que se presenta en el método casero no se da a nivel industrial. El nivel utilizado se ha estandarizado al 1% del peso del grano; y el tiempo de remojo (12-14hrs), por factores de tiempo y costo, no se aplica (5). En la Figura No. 2 se muestra un diagrama de flujo de operaciones del proceso industrial de nixtamalización (5, 46).

Inicialmente, el maíz empleado en el proceso es seleccionado de acuerdo a diversos factores principales que son: porcentaje de granos defectuosos en el lote, tipo y calidad del maíz, y cantidad de humedad presente en el grano (5). Inglett (1970) señala que si la humedad del grano es muy alta, éste puede y debe acondicionarse por un secado de aire caliente con el fin de bajar la humedad del grano a un 12 a 15%. Una vez escogido el grano, éste es limpiado por tamizaje, separándose las partículas gruesas de las finas y eliminando así las impurezas presentes (46). El maíz es almacenado en silos que están comunicados con las unidades de tratamiento alcalino.

Ya en la fabricación de la harina, el paso inicial es el cocimiento del maíz en agua alcalina por un proceso continuo o de batch (5). En esta operación, el vapor saturado es el medio de calentamiento del depósito y el maíz seco se adiciona al agua en una proporción de 1:2 y la cal se adiciona en polvo al 1% en relación al peso del maíz y se utiliza como preservante dióxido de azufre (0.12-0.20%) (46). Una vez cocido y macerado, el nixtamal se lava con agua a presión para eliminar el exceso de cal, el pericarpio y parte del germen. Se realiza luego una molienda húmeda en un molino de atrición, de discos y martillos, para obtener una masa suave y pastosa que sale de los molinos para ser secada y obtener una harina de partículas relativamente gruesas. Dicha harina se alimenta a diversas zarandas con el objeto de separar las partículas finas de las gruesas. Estas últimas son molidas de nuevo, de tal forma obtener una harina fina, de partículas uniformes y seca, que para su comercialización y preservación se empaca en bolsas de papel (20, 46, 9). La harina no debe empacarse a temperaturas altas para evitar problemas de rancidez (5).

Finalmente, el producto obtenido del proceso de nixtamalización industrial es un polvo amarillento o blanco, con una distribución de partículas finas (250 μ m, partículas pasan el mesh 60) (46), seco y de sabor y aroma característico de la masa de maíz; y que al hidratarse con agua provee una masa suave y adecuada para la elaboración de las tortillas; las cuales deben ser de características organolépticas similares a las tortillas obtenidas de la nixtamalización tradicional (5, 20). Asimismo, la harina debe tener una humedad final de aproximadamente un

10-12% para evitar deterioro por microorganismos y cumplir con ciertos requisitos fisicoquímicos que establecen su calidad (5).

Tanto a nivel casero como a nivel industrial se debe mantener cierto nivel de limpieza. En las plantas donde se elabora harina de tortilla es necesario tener higiene sanitaria escrupulosa y estricta, pues las condiciones de humedad y calor en las partes frescas del equipo son extremadamente convenientes para el crecimiento de mohos, y en la mayoría del equipo las condiciones son óptimas para el desarrollo de bacterias termofílicas que pueden impartir sabores y olores desagradables y extraños al producto terminado (20).

Con el transcurso del tiempo, la preparación de tortillas por el método casero disminuye y en su lugar se incrementa el consumo de tortillas listas para comer y la utilización de harina instantánea para la elaboración de las mismas. Por consiguiente, aumenta la producción industrial y con ella se desarrollan nuevas tecnologías de un menor costo, con una mayor eficiencia y que buscan proveer un producto más nutritivo, más seguro, de mayor facilidad de consumo y a un costo accesible a todo consumidor.

3. Nuevas posibilidades de procesamiento

Como se menciona en varios estudios (Bressani, 1990a; Inglett, 1970; Watson, 1991), se han planteado métodos alternos para producir masas nixtamalizadas instantáneas que requieren de un menor tiempo de proceso, de un menor costo de operación y que a la vez proporcionen una tortilla con

características organolépticas y fisicoquímicas aceptables y similares a aquellas de la tortilla tradicional. Se han presentado variantes tecnológicas, como cocción con presión y sistemas de condensación con reflujo que presentan ventajas en cuanto a condiciones de operación pero que causan efectos desfavorables en la calidad organoléptica y/o nutricional de la tortilla (5).

Se ha trabajado tratamientos que aplican calor seco, como la micronización de los granos y el secado del nixtamal en un secador doble de tambor. Estos son más rápidos y económicos que el método tradicional y en general ambos presentan una harina nixtamalizada instantánea adecuada para la preparación de tortillas con características similares o casi iguales al producto tradicional (5, 20). Sin embargo, aun cuando a partir de las variantes de estos procesos se obtienen tortillas aceptables, los cambios de operaciones o equipo no han sido adoptados.

La cocción extrusión es otra tecnología que se ha estudiado como una alternativa para producir tortillas, masa nixtamalizada o harina de tortilla (Bressani, 1990a) o para obtener productos derivados de la misma (Watson, 1991). La extrusión es el moldeado o conformación de una sustancia blanda o plástica mediante un tratamiento por calor, fuerza de corte y fricciones mecánicas que hacen pasar a la misma por un orificio o cavidad con forma especial para conseguir una estructura y características del producto deseado (24). Esta tecnología se emplea para la transformación de materias primas con alto contenido de almidón y proteína y un cierto grado de humedad determinado (14-30%) (24).

Durante la cocción extrusión, el maíz molido (grits) mientras es cocinado con el álcali se mezcla paulatinamente dentro de la cámara o cuerpos del extrusor, es comprimido, amasado (plastificado), y luego se realizan cortes para gelatinizarlo. La masa obtenida en el extrusor es empujada a presión contra la placa final, para forzar su paso a través de boquillas de forma deseada. Puede obtenerse una masa o bien llevarse a un secado para obtener una harina (24). En general, un proceso de cocción extrusión dura menos de 30 seg., por lo que los valores nutritivos y calidad de proteína y grasa permanecen relativamente invariables (24).

Estudios comparativos (5) realizados con tortillas provenientes de masas extruídas y masas por el proceso tradicional no muestran mayor diferencia significativa en cuanto a características organolépticas y de calidad nutricional. Lo anterior hace de la cocción extrusión una tecnología apropiada para una optimización industrial de la masa o harina nixtamalizada para tortillas. Esta tecnología ya se aplica principalmente en la elaboración de snacks provenientes de masa nixtamalizada (corn chips o tortilla chips) (5, 46) y en los cuales se realiza un proceso de fritura adicional para obtener un producto final de excelentes propiedades organolépticas y una larga vida de anaquel. En la Figura No. 3 se muestran los productos básicos elaborados a partir de la masa nixtamalizada (16).

C. CAMBIOS EN CONTENIDO DE NUTRIENTES

El proceso de cocción alcalina conlleva a una serie de variaciones que se presentan en el producto, tanto a nivel físico como a nivel químico (5, 6, 46). El maíz utilizado como materia prima, las operaciones unitarias en el proceso, así como los parámetros involucrados en cada una (Temperaturas, tiempos, nivel de cal y agua empleados), son factores que influyen significativamente en las transformaciones y cambios producidos por la nixtamalización. Bressani (1990a) señala que los componentes químicos del maíz durante la preparación de la tortilla se pierden de dos formas: (1) por pérdidas físicas de ciertos compuestos y (2) por pérdidas químicas que se dan por destrucciones o transformaciones.

A nivel tradicional, existe una mayor variabilidad en el cambio de nutrientes durante el proceso, dado que los parámetros de cocción, remojo y nivel de cal empleado oscilan en un mayor rango, pues éstos dependen de cada área rural, de cada familia o persona; mientras que a nivel industrial, al estar estandarizado el porcentaje de cal adicionado, los parámetros de temperatura y tiempo son más controlados. Además, se tiene un control más estricto en la calidad del maíz empleado tanto en el tipo, variedad y características fisicoquímicas como en sus propiedades tecnológicas y nutritivas. Sin embargo, esto es evaluado por el ama de casa y de aquí las variaciones que surgen en cuanto a la cantidad de cal utilizada y en el tiempo y temperatura de cocción y remojo.

En general, ambos procesos de nixtamalización producen pérdidas físicas entre un 8-17 a un 25% con base del maíz procesado (5, 6, 20). Estas pérdidas se deben principalmente a los procesos de lixiviación, cocción, maceración y

alcalinidad del medio. En un inicio se eliminan fracciones del grano como es la cáscara (pericarpio), la punta y parte de la capa aleurona (5). Luego ocurre un reblandecimiento del grano y se pierde parte del germen, la mayoría se retiene pero todos los solubles son removidos de éste (Inglett, 1970). El agua de lavado posee un porcentaje de sólidos, que están en una parte (35-45%) constituidos de proteína (Desrosier, 1991). En sí, la celulosa presente en la capa de la semilla se hidroliza y destruye casi por completo, por lo que, constituyentes del maíz como la fibra cruda, compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, extracto etéreo (grasa cruda), azúcares libres y cierto porcentaje de almidón se pierden en cantidades significativas (5, 6).

Lo anterior se asocia porque dichos componentes del grano se encuentran primordialmente en las partes físicas que se hidrolizan por el medio alcalino y las condiciones del proceso y que luego son lixiviadas por el agua. Por lo tanto la remoción casi total de éstas lleva a una pérdida significativa de ciertos nutrientes en el producto final.

En el contenido proteico existe un mejoramiento leve en la calidad, se reporta un pequeño aumento en el contenido de nitrógeno, dado el aumento de la fracción insoluble; sin embargo, ocurren pérdidas de ciertos aminoácidos, considerándose principalmente el triptófano y lisina (5, 6, 40). Incluso, existen mínimas cantidades del complejo lisino-alanina. Estudios realizados por varios autores (5) muestran que se obtiene un mejoramiento en cuanto al incremento proteico cuando se utiliza en el proceso de nixtamalización, granos de alta calidad proteica, como el QPM (quality protein maize) o el maíz opaco 2; o bien si se

suplementan con proteínas de alto contenido de lisina y triptófano (soya). Otro aspecto que señala Rooney (1993) es que el cocimiento con cal altera los parámetros de solubilidad de las proteínas. La nixtamalización y la cocción para obtener las tortillas reducen las proteínas solubles en sal y agua (albúminas y globulinas) y las solubles en alcohol (prolaminas) e incrementan la cantidad de proteínas inestables.

Otras pérdidas que se manifiestan en el proceso de nixtamalización es en las vitaminas. Bressani (5) indica que existe aproximadamente un 30 al 50% de pérdida en las vitaminas del complejo B y de carotenos, cuando el maíz utilizado es amarillo. Además se pierde cantidades significativas de fibra cruda y extracto etéreo. Sin embargo, existe una mayor disponibilidad de niacina en el maíz procesado, que en el crudo.

Finalmente, el uso de cal para la cocción alcalina marca un incremento esperado en el contenido de cenizas en la tortilla respecto del contenido en el maíz. Este aumento, naturalmente se ve influenciado por el nivel de cal agregado y por el tiempo de remojo y por la calidad del lavado. El contenido de minerales estará determinado por la pureza de la cal, el incremento en el contenido de calcio es altamente significativo. De igual forma, aumenta el radio calcio-fósforo. Estudios realizados por Serna, O. et al (1991) indican que dicho radio es de 0.0 en el grano y de 0.51 en la tortilla. Asimismo, Bressani (5) expresa que en el maíz dicho radio es de 1 a 20; mientras que en la tortilla es de 1 a 1. Por otro lado Serna, O. et al (40) indica que el proceso no afecta significativamente los contenidos de Mg, Zn y Cu. Aun así, otros estudios reportan aumentos significativos (Bressani, 1990a;

Saldana, 1984); el contenido de magnesio aumenta de un 8 a un 35% y tanto el hierro como el fósforo incrementa su biodisponibilidad.

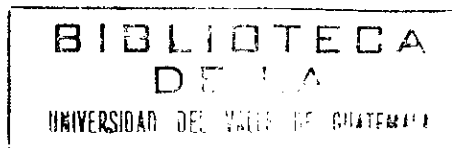
Estudios sobre el aumento de hierro y otros minerales durante el proceso de nixtamalización no han sido conducidos con mayor profundidad, por lo que variantes en el proceso o en los parámetros pueden tener una alta repercusión en su aumento y disponibilidad.

D. BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

Como se ha indicado anteriormente, el proceso de nixtamalización conlleva a una serie de pérdidas fisicoquímicas, principalmente a nivel nutricional; sin embargo el proceso también favorece la biodisponibilidad de otros componentes requeridos por el organismo humano y que en el maíz, como grano crudo, no están totalmente a su alcance. En los Cuadros No. 3 y No.4 se muestra la composición nutricional de las tortillas de maíz y de diversos productos de maíz nixtamalizado.

1. Calcio

En el maíz crudo el contenido de calcio en relación a los necesidades diarias es escaso y su disponibilidad para ser absorbido es relativamente bajo. El procesamiento alcalino para convertir el maíz a tortilla aumenta significativamente el contenido de calcio (Saldana, 1984; Serna, 1991), hasta aproximadamente un 400% (5) y según estudios realizados (40) un 85% de dicho calcio es absorbible. Serna, O. et al (1991) señala que el consumo de tortilla en México y Centroamérica se estima en 120kg per capita por año y que los adultos que consumen estas cantidades, aproximadamente un 37%, satisfacen sus requerimientos totales de calcio. A diferencia, aquellos que no consumen tortillas nixtamalizadas satisfacen menos del 1% de lo requerido.



La cal adicionada penetra en el grano principalmente a través del germen, el cual es la parte anatómica que contiene mayor cantidad de calcio después de la cocción y el remojo (37), se mejora el radio calcio-fósforo (Ca-P), y la razón calcio-potasio (Ca-K) aumenta de 1:32 en el grano de maíz a 1:2 en la masa (6). La biodisponibilidad de calcio incrementa aún más si el maíz tratado ha sido suplementado con los aminoácidos limitantes, lisina y triptófano, o bien si se ha utilizado un maíz de mejor calidad proteica (5), dado que éstos aumentan la absorción y retención del calcio (40).

La cantidad de calcio presente en las tortillas estará, por tanto, determinado por varios factores del proceso. Saldana (1984) señala que un bajo contenido de calcio en la tortilla se relaciona directamente con un lavado cuidadoso y completo del nixtamal luego de la cocción en la solución alcalina, sin embargo el aumento sí es significativo.

Las tortillas son un producto relativamente bueno y una fuente barata de calcio, principalmente para las personas que dependen de ésta como su primordial alimento (40).

2. Niacina

La nixtamalización promueve la mayor biodisponibilidad de la niacina, dado que el enlace del ácido nicotínico es liberado durante el tratamiento térmico alcalino (40). Esto es un factor significativo en nutrición, ya que al estar la niacina biodisponible y existir un balance entre los aminoácidos esenciales, un radio favorable entre isoleucina y leucina (5, 37), la probabilidad de existencia de

pelagra en la población que consume maíz nixtamalizado es mínima (5, 6, 20). Estudios (5, 46) han mostrado que el desarrollo de pelagra en los consumidores de tortillas en México y Guatemala son casi totalmente desconocidos.

Un estudio comparativo realizado por Saldana et al (1984) en tortillas de maíz, tortillas de harina y pan, se observó que el incremento de niacina respecto del grano de maíz era significativo. Las tortillas de maíz (proceso tradicional) poseen un contenido de niacina menor al contenido en las tortillas de harina de maíz y al contenido en el pan; sin embargo el contenido en las tortillas hechas de harina de maíz sí es mayor al contenido de niacina en el pan. Otro aspecto que señala Saldana (1984), es que un pH del nixtamal de 7.3 o menos (7.0) aumenta la retención de tiamina, riboflavina y niacina en la tortilla de maíz.

3. Fibra dietética

En la etapa de obtención de la masa, la fibra dietética total disminuye (TDF), pero luego en las tortillas aumenta a niveles levemente inferiores a los encontrados en el maíz crudo (5). Tanto las tortillas como snacks de masa nixtamalizada poseen niveles altos de fibra dietética (DF) (46). Varios autores muestran porcentajes altos de DF en éstos, Bressani señala que los niveles de TDF en la tortilla son aproximadamente un 10% sobre base seca (5); Watson (1991) señala que los valores altos de DF en productos de masa nixtamalizada pueden ser el resultado de cambios en las proteínas, los cuales producen polímeros complejos durante la cocción que hacen sobresalir la fibra dietética (DF). Un alto contenido de fibra puede ser un factor adverso en las tortillas, ya que éste se ha visto en diversos estudios (5, 32, 41, 35), y es un factor que afecta la disponibilidad del hierro, así como afectar otros minerales (5). Sin embargo existe un incremento en

el hierro disponible y han de conducirse otros estudios dado que aún existe controversia en la forma como la inhibición puede llevarse a cabo y los efectos que la alcalinidad puedan tener. Se ha sugerido y atribuido el efecto antagónico al ácido fítico presente en el grano (32, 41), sin embargo puede presentarse una inhibición o saturación de éste durante el proceso.

4. Hierro

El contenido de hierro en el grano de maíz está en un rango de 0.001 a 0.02mg%, siendo el promedio porcentual de 0.003 (20). Varios autores señalan que la absorción de hierro a partir de cereales y de ciertas preparaciones es frecuentemente baja aun cuando su contenido de hierro es usualmente alto (20, 39, 44); menos de un 2% en personas saludables y menos de un 5% en personas deficientes en hierro y en general, la absorción de hierro a partir del maíz es menor que aquella a partir de cualquier otro cereal (44). El hierro del trigo y maíz está menos accesible cuando éste se encuentra en productos hechos a base de harinas finamente molidas y con alto contenido de afrecho. La baja disponibilidad se atribuye al alto contenido de fibra dietética y fitato que se encuentran presentes, y que se consideran en cierto caso factores inhibitorios que causan la quelación del metal (39, 35).

Saldana y Brown (1984) indican en un estudio realizado, en varias fábricas mexicanas, sobre la composición nutricional de las tortillas de maíz y de harina, que el contenido de hierro es significativamente superior en éstas que en el grano de maíz. Señalan que ocurren aumentos significativos de calcio, fósforo y hierro cuando el maíz es tratado alcalinamente (nixtamalización). En las tortillas

fabricadas a partir del grano de maíz existe un contenido de hierro del 1.2 a 1.8 mg% y en la tortilla de harina de maíz, el contenido es de 1.0 a 1.9 mg%. Una comparación entre el contenido de hierro señalado anteriormente en el maíz y el establecido en las tortillas, muestra que en realidad ocurre un mejoramiento; sin embargo otros estudios (Serna et al. 1991) no muestran mayor diferencia entre el contenido de hierro en el grano y en la tortilla, ya que señalan un leve aumento en la biodisponibilidad del mismo. La cantidad de hierro presente, tanto en la tortilla como en el grano ha sido señalada en varios documentos (23, 31) y se ha señalado un incremento significativo, pero no se ha establecido totalmente los cambios que se presentan en los niveles de hierro soluble (biodisponible) respecto del grano a la tortilla.

E. ÁCIDO FÍTICO

1. Estructura y Función biológica

Los fitatos representan una clase compleja de compuestos que ocurren naturalmente; su rol no se ha entendido por completo y por lo tanto se mantiene una investigación continua alrededor de éste, ya que el mismo puede influir significativamente en las propiedades funcionales y nutritivas de los alimentos. Así pues, existen numerosos inositoles polifosforilados que según la forma compleja que posean se presentan como compuestos diversos, ya sea como ácido fítico (AF), fitina o bien como fitato (23).

Dado los nueve estereoisómeros de inositoles que son posibles (cis, epi, allo, neo, myo, mucó, chiro y el enantiómero scyllo), puede existir confusión en la

estructura; sin embargo hasta la fecha, sólo el myoinositol se ha aislado de plantas. Los hexafosfatos no han sido aislados de tejido animal (23).

El ácido fítico se llama comúnmente ácido myoinositol hexafosfato o bien puede llamarse científicamente por la nomenclatura IUPAC como: 1, 2, 3, 4, 5, 6-hexakis (dihidrogeno fosfato) myoinositol. Con frecuencia, el AF es determinado en material biológico como el ion férrico precipitable con fósforo, por lo que el fitato determinado puede ser una mezcla de polifosfatos de inositol (8). El término fitina implica una sal de calcio-magnesio del ácido fítico. El ácido fítico o fitato comercialmente disponible contiene, por lo general, derivados de fosfato más bajos que el hexafosfato, y es a los cuales se le denomina fitatos (23).

La estructura del AF ha sido continuamente cuestionada. Se ha sugerido la conformación isomérica de los grupos fosfato dentro del compuesto con un arreglo simétrico del hexafosfato (estructura Anderson, Figura No. 4a) asimismo, como tres moléculas de agua unidas fuertemente se incorporan a la estructura del ácido fítico, dándose una estructura asimétrica de un hidrato de tripirofosfato (estructura Neuberg, Figura No. 4b)(11, 23). Estas estructuras conformacionales básicas del fitato se han deducido por diversos análisis de: rayos-x, rotación óptica, rotaciones nucleares magnéticas (nmr), titulación de pH y ^{31}P -nmr, ^{13}C -nmr y datos del espectro Raman (44).

La Figura No. 4 muestra las estructuras más aceptables sugeridas por Anderson y Neuberg. La presencia de seis protones fuertemente disociados y seis protones de disociación débil durante una titulación potenciométrica afirman la

estructura Anderson (11), y los reportes de la resonancia nuclear magnética ^{31}P realizada por Johnson y Tate proporcionan también evidencia convincente que apoya la estructura propuesta por Anderson (23). Sin embargo, titulaciones de seis hidrógenos en medio acuoso y en no-acuoso y la observación de que seis hidrógenos débilmente ácidos no se titulan en agua, señalándose la presencia de tres moléculas de agua fuertemente unidas al AF, soportan la estructura Neuberger como la correcta (11, 23).

Por lo anterior, aún existe controversia entre la conformación y estructura del ácido fítico; sin embargo las dos estructuras obtenidas (Figura No. 4) varían por las condiciones de la determinación (11). La estructura Anderson puede presentarse parcialmente disociada a un pH neutro (Figura No. 6a), y existe la posibilidad de que varios cationes pueden ser quelados fuertemente entre dos grupos fosfato o bien débilmente entre un fosfato (Figura No. 6b) (11). Otros estudios señalan que ambas estructuras pueden existir, y por tanto la conformación real depende del medio (23).

Erdman (1979) y Maga (1982) señalan que en estudios realizados por Johnson y Tate en cuanto a la conformación del AF, sugirieron que el 2-fosfato está en la posición axial, mientras que los grupos fosfato en los carbonos 1, 3 y 6 son ecuatoriales (Figura No. 5b) por el contrario, señalan que Blank et al. a través de rayos-x concluyó que el grupo 2-fosfato está ecuatorial y los otros son axiales (Figura No. 5a); sin embargo el primer estudio utilizó soluciones diluidas mientras que el segundo un sólo cristal. El nivel de hidratación hace variar la conformación y de nuevo se afirma que las condiciones afectan. Estudios recientes han mostrado

que el pH tiene un efecto en la configuración del ácido fítico: bajo condiciones ácidas el conformero 1-axial/5-ecuatorial predomina en solución, mientras que bajo condiciones fuertemente alcalinas, el conformero 5-axial/1-ecuatorial prevalece y a pH 9.4 a 27-37°C a 0.1M solución de fitato de sodio, ambos conformeros se encuentran en iguales cantidades (23, 44); por tanto la estereoquímica del fitato puede ser muy variable; por lo cual varios autores (7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 23, 30, 34, 39, 40, 48) señalan que el AF es un compuesto altamente reactivo durante el procesamiento y consumo de alimentos y que posee un tremendo potencial quelante.

El ácido fítico posee funciones fisiológicas muy importantes durante el reposo, maduración y germinación de semillas y granos (14). El ácido fítico y fitatos son considerados como los principales almacenadores de fosfato e inositol en la mayoría de granos y semillas (11, 14); posee grupos fosforilos con alto poder energético, quela cationes y es el precursor de la pared celular (14). La mayoría de fósforo transportado a las semillas desde las hojas y raíces, durante la maduración, se encuentra en el ácido fítico. En los granos de cereales el 60-90% del total de fósforo está acumulado en el AF. La formación de éste durante la maduración se realiza para prevenir la acumulación de niveles excesivamente altos de fósforo inorgánico (11). A medida que el AF se acumula en varios sitios de almacenamiento, los minerales aparentemente se quelan a éste formando la sal compleja o fitato (11). En la germinación el AF es utilizado como una fuente de fósforo o bien como un fosfágeno (11).

2. Distribución en el grano/cereales

Antiguas y modernas culturas se desarrollaron y subsistieron a través del tiempo teniendo como base principal de su alimentación algunas de las gramíneas. Los cereales han mantenido y mantienen la primicia en la alimentación humana y por tanto constituyen la máxima fuente alimenticia de humanos y animales; actualmente los cereales satisfacen más del 50% de las necesidades tanto energéticas como proteicas de la población mundial (9, 31, 33, 47).

La importancia de los cereales radica en que: (a) son alimentos concentrados de fácil conservación, (b) pueden crecer en terrenos de naturaleza diferente, (c) son una fuente principal de carbohidratos y, en un menor grado, de proteína y nutrientes menores como trazas de elementos y minerales, vitaminas, fibra y lípidos, (d) son materias primas de fácil industrialización, presentaciones diversificadas a costos bajos y (e) fácil digestión y absorción para casi todas las edades, así como su sabor y aroma (47).

Los cereales y semillas son la principal y mayor fuente de ácido fítico, almacenan más de un 90% del fosfato orgánico en esta forma (14, 31, 44, 46); además los complejos de inositol hexafosfato pueden formar fitatos y éstos, en algunos casos, son insolubles y de baja biodisponibilidad e incluso pueden restar grandes cantidades de minerales del cereal o a la mezcla de distintos alimentos contenidos en la luz intestinal (8). Por estas razones es importante conocer la distribución del AF o fitato en los cereales y semillas y la importancia nutricional de los minerales que pueden estar presentes y ligados al fitato y que sirven como

una requerimiento nutricional al hombre y que en cierto momento pueden estar limitados (31).

En la mayoría de cereales y semillas oleosas, el ácido fítico se encuentra naturalmente y constituye del 1-3% en peso (14, 31, 44, 46), aunque se ha encontrado que el nivel de fitatos en algunos granos de cereales y legumbres puede ser aproximadamente más de 5% en peso (11, 23). En los Cuadros No. 4 y 5 se muestra el contenido de AF en diversos cereales y semillas oleosas.

Frecuentemente, el AF está presente como un complejo fitato-mineral-proteína (46) o bien como fitina, una sal AF-calcio-magnesio que se recupera del tejido de la planta y que usualmente se reconoce como la forma nativa (44) y que se encuentra en diversas regiones de la semilla, pues durante el desarrollo de las semillas el fitato se deposita en varias partes de éstas: como en cuerpos proteicos, cuerpos proteicos de almacenaje, gránulos aleurónicos o esferosomas, en el germen, o bien en glóbulos cristalinos en la mayoría de semillas oleosas (14, 44).

La concentración de ácido fítico, como ya se dijo anteriormente, en granos de cereales enteros como el maíz, trigo, arroz, cebada y avena se tiene que es aproximadamente: 0.9-1.5, 0.62-1.35, 2.2, 0.97-1.08 y 0.84-1.01% respectivamente (8, 11, 23). En general, en los cereales la cantidad de fosfato que se almacena en la forma de ácido fítico o fitato y que está disponible se correlaciona con los niveles disponibles de fósforo a la planta (23).

En la cebada, el fitato se encuentra en forma de sal de potasio-magnesio, a diferencia del complejo calcio-magnesio que se generaliza en los cereales. En la avena, el fósforo inorgánico se hidroliza en la germinación y se pierde el fitato presente, sin embargo en la madurez el 60% de fósforo está en dicha forma (23). Maga (1982) señala que el ácido fítico en el arroz maduro constituye aproximadamente un 80% del total del fósforo y en el trigo el nivel de fitato es de 87% en la capa aleurona, 13% en el germen y 2% en el endosperma. Además, el fitato asociado con el salvado de trigo está en forma de fitato monoférrico. El maíz difiere de la mayoría de cereales dado que casi el 90% del ácido fítico está concentrado en la porción del germen del grano comparado con el endosperma, pericarpio y cáscara. Por tanto alimentos que incorporan el germen poseen altas cantidades de fitato.

En el maíz, el fitato comienza a aumentar en el grano aproximadamente tres semanas después de la polinización y aumenta en la madurez. El contenido de fitato en las distintas clases de maíz es: en el grano de maíz entero de 772, en el maíz refinado de 537 y en harina de maíz precocida es de 250 por 100g respectivamente (45). En los estudios llevados a cabo, no se ha observado diferencia en el contenido de fitato en granos normales y en granos con alto contenido de lisina (QPM y maíz opaco 2), pero si se ha notado que el proceso de molienda puede reducir el nivel de ácido fítico; además la calidad del agua usada en el cocimiento puede influir significativamente en el nivel de ácido fítico en el grano debido a la habilidad de éste en formas sales complejas (23).

Las semillas oleosas son ricas en ácido fitico, en una base seca contienen alrededor de 1.5% y las proteínas concentradas pueden contener hasta un 7% (11). Estas semillas poseen una pequeña cantidad o nada de endosperma y los fitatos están distribuidos como granos en la aleurona o como cuerpos proteicos. En el maní, semilla de algodón, semilla de girasol, frijol de soya, sésamo y en el cáñamo, el fitato está concentrado en estructuras globulares o cristalinas a través del cuerpo de la membrana proteica (11). Las concentraciones en cada uno oscilan en: 1.9-5.7, 2.9-4.8, 1.9, 1-1.47 y 5.18-5.3%, respectivamente (11, 14, 23).

Existen otros alimentos que no son cereales o semillas y que poseen pequeñas cantidades de ácido fitico (hexafosfato); sin tales alimentos son de origen vegetal (23).

3. Química: Comportamiento en el grano a diversos procesos

En apariencia los fitatos son regularmente estables al calor (23). A procesos de autoclave (115°C, 30-4hrs) y otros tratamientos térmicos, la reducción del AF por el calor no es muy significativa en relación al total de fitato presente en el alimento original. Las diferencias aparentes entre productos marcan variaciones en los rangos de destrucción del fitato por el calor (de Boland, 1975; Maga, 1982); pues puede ocurrir una hidrólisis del hexafosfato a penta o tetra fosfato o un inositol menor; o bien el AF y sus derivados cada uno posee diferente pH óptimo para enlazar calcio; y la variación de proteínas y cationes en cada producto hacen que el tratamiento térmico para una remoción mayor o casi total de ácido fitico varíe en los distintos granos y semillas y que sea característico para cada uno de éstos (23).

Khan, Zaman y Elahi (1991) realizaron un estudio en relación al efecto térmico en el contenido de AF en alimentos de maíz tradicionales de Pakistán (principalmente chapati). Los resultados indicaron que un tratamiento térmico tienen un efecto decreciente en el contenido de AF en dichos productos. Además, señalan que las condiciones del tratamiento térmico (temperatura y fuente de calor), el tipo de tratamiento térmico, la madurez y contenido de humedad, y la forma física del grano crudo son factores muy importantes en la pérdida del AF. Un mayor contenido de humedad resulta en una mayor pérdida bajo condiciones de calor seco (tostado) y la aplicación de un calor húmedo (cocción) a muestras similares presentan casi igual pérdida. Del estudio puede notarse que desde el punto de vista nutricional el consumo de maíz como chapati y el maíz tostado en un baño de arena o carbón aumenta la disponibilidad de minerales dado a la mayor pérdida de AF durante su preparación (21).

Al igual que Khan et al, Clydesdale y Camire (1983) estudiaron el efecto del calor en la pérdida del contenido de ácido fitico en harina de soya. Los resultados mostraron que el tostado (177°C, 1hr-pH 6.8) causa una pérdida de AF del 12%, mientras que la cocción en baño de agua (100°C, 1hr-pH 5) causa una pérdida de 22 y 32%. La mayor pérdida obtenida con la cocción pudo deberse a la actividad de la fitasa bajo condiciones adecuadas. Una hidrólisis ácida causa pérdida de AF del 17%, lo cual indica que el grado de acidez no es el mayor factor en su destrucción. En estudios anteriores, Clydesdale y Camire reportan resultados diferentes, pues encontraron que la cocción del salvado de trigo bajo condiciones similares no disminuía el contenido de AF, mientras que la cocción del material en

HCl 1N y la realización de un tostado tenían un efecto significativo; pues el AF disminuía un 36 y 19%, respectivamente (7).

Otros estudios (Clydesdale y Camire, 1983, de Boland et al, 1975) muestran pérdidas luego de un proceso de autoclaveado (115°C, 30 min.), sin embargo el efecto cuantitativo es poco significativo, ya que el radio de disminución de AF, a través del tiempo de tratamiento térmico, es mínimo y el fitato es casi estable, pues la reducción del mismo es menos del 10%, por lo que el uso de calor para destruir el AF es un método poco práctico (11). Los resultados mostraron que el radio de destrucción de ácido fítico, por hidrólisis, está influenciado por las proteínas o cationes presentes en el ambiente.

En general, diversos investigadores han llegado a la conclusión que el ácido fítico es relativamente estable a tratamientos térmicos, dado que las pérdidas son menores; pero el uso de calor bajo condiciones adecuadas para la acción de la fitasa o bien para favorecer una hidrólisis o saturación del compuesto puede proporcionar una pérdida significativa del ácido fítico.

La hidrólisis del fitato ocurre durante procesos como fermentación, germinación y cocción extrusión. La hidrólisis se da por tres necesidades de la planta en períodos de stress nutricional: (1) como una fuente de fosfato, (2) como un sustrato para la biosíntesis del UDP-glucoronato y (3) cationes específicos, pueden proveerse durante el rompimiento de la fitina. La hidrólisis está altamente regulada por la biosíntesis, la activación e inhibición de la fitasa (44). Así pues, el

AF puede ser desfosforilado por las enzimas fosfatasas, fitasas, o bien por calentamiento del alimento en soluciones ácidas o alcalina (23).

La fitasa es una enzima que está presente en cereales como trigo, cebada, avena, sorgo y maíz, pero su actividad varía según el tipo de grano (40, 43). Se ha reportado que, en las semillas y granos, la fitasa se encuentra principalmente en la porción aleurona (39.5%), seguida del endosperma (34.1%) y del scutellum (15.3%) y que la temperatura óptima para la actividad hidrolítica es de 55°C y un pH de 5.2 (23). Además, la fitasa puede estar presente en bacterias, levaduras y hongos (43). Maga (1982) describe cómo estudios previos han mostrado la habilidad de varios mohos para producir fitasa. Uno de los mohos productores de fitasa más activo es el *Aspergillus oxyzae* NRRL 1988. Su pH óptimo es de 5.3, es termoestable, lo cual es importante a las condiciones de procesamiento de alimentos. También a 25°C la enzima es estable a un rango de pH de 3.5-7.8, también ventajoso para el proceso de alimentos (23).

Los niveles de la actividad de fitasa en el tracto intestinal pueden ser un factor importante para determinar el grado de rompimiento del fitato (23).

Normalmente la actividad de la fitasa aumenta con la germinación (43): Snieder et al (1992) señala que los retoños de trigo poseen un 24% menos del 100% presente en el trigo entero; pero aun cuando esta está presente en semillas maduras, su efecto en la hidrólisis del fitato es leve (23) y la pérdida de fitato en ambas etapas de crecimiento no es significativamente diferente (23, 43).

La fitasa desfosforila el fitato en pasos secuenciales terminado con inositol y ácido fosfórico. Inicialmente se hidroliza el myo-inositol hexakisfosfato a myo-inositol de fosfato inorgánico por intermediarios de myo-inositolfosfatos (penta a monofosfatos). De esta forma la fitasa libera el fosfato inorgánico del fosfato orgánico presente en el grano (23, 43) y bajo condiciones óptimas para la fitasa, el fitato puede hidrolizarse (40). La hidrólisis del fitato está parcialmente dependiente de un pH óptimo que favorezca la actividad de la fitasa y que permita la liberación de minerales y aumente su disponibilidad para absorción (43).

El AF es susceptible a las levaduras y a la actividad bacteriana y es destruido por la fermentación. Estudios han mostrado que la hidrólisis del fitato aumenta cuanto incrementa la fermentación. A medida que el pH de la masa disminuye, la destrucción del fitato aumenta. El AF destruido por la fermentación de levaduras a un pH 6.5 decrece cuando el promedio de extracción de la harina aumenta (13).

Se ha dicho que un factor primario limitante en la destrucción del fitato durante la preparación de pan es la insolubilidad relativa del fitato de magnesio en la masa. Otros estudios señalan que no existe una pérdida significativa de fitato con altos niveles de levadura, pues el cambio de pH en la masa se obtiene básicamente por la fermentación de la levadura la cual afirma la pérdida del fitato y como la adición de 2 a 4% de levadura resulta en un cambio significativo de pH durante la fermentación, el nivel de AF no se ve influenciado (23). Sin embargo, el consumo de pan de trigo entero que posee poco o ninguna fermentación tiene un alto nivel de fitato. Contrario a lo señalado anteriormente, la levadura o la

fermentación ácida de la masa ha mostrado que disminuye los niveles de fitato de un tercio a la mitad, dado que la levadura penetra en los fosfatos del AF durante la fermentación y todo el fitato en el pan de trigo o harinas se hidroliza debido a que la acción de las fitasas del trigo y/o levadura se acelera (11, 23). Además el grado de hidrólisis del fitato es proporcional al tiempo de fermentación (11, 23, 43).

Muchos estudios señalan que la adición de calcio reduce la hidrólisis del fitato. Esto ha sido atribuido a la formación de complejos insolubles calcio-zinc-fitato resistentes a la acción de la fitasa, sin embargo el carbonato de calcio no causa mayor efecto en la hidrólisis del fitato (23, 43) y por tanto puede ser neutralizado con el mismo, ya que éste forma lactato de calcio, sal perfectamente aprovechable a partir del ácido láctico que se produce durante el proceso de fermentación del pan (11, 23).

Por otra parte, un alto nivel de actividad de fitasa se asocia con la proteína concentrada del trigo. En apariencia la fitasa no está completamente activada, dado que no se tiene un pH óptimo cuando se utilizan niveles altos de proteína concentrada de trigo.

De Boland (1975) mostró en su estudio que el fitato puede extraerse con facilidad del germen del maíz y de hojuelas de soya, dado que aproximadamente 90% del fitato es hidrosoluble. La extracción acuosa no ofrece un método práctico para remover el fitato de los alimentos, pero si lo hace con el fitato de algunos productos en los cuales el proceso incorpora agua y luego ésta es removida, por ejemplo, el fitato es removido del maíz durante una molienda húmeda.

Alimentos sujetos a una extracción acuosa puede perder cantidades apreciables de fitato. El radio de destrucción del inositol hexafosfato por el calor es lento cuando está asociado a proteínas o cationes en los productos naturales (8).

Métodos alternos para hidrolizar o eliminar el fitato se han desarrollado. Sandeberg y Svanberg (1991) condujeron un estudio en el cual mostraron que la completa reducción del contenido de inositol hexa- y pentafosfatos en centeno y trigo era posible por medio de la activación de una fitasa endógena a condiciones óptimas (55°C, pH 4.5-5) Mostraron también que la remoción total de fitato es más difícil cuando se agrega fitasa exógena a fitasa desactivada en el salvado. Sin embargo, encontraron que la cocción de harina de avena por 10 min. antes de la adición de la enzima, aumento significativamente la hidrólisis del fitato. Lo anterior se explicaba con base en un cambio físico ocurrido en la estructura de la harina durante la cocción. Un efecto similar se obtuvo cuando la muestras se precociaron; el fitato puede estar más expuesto a la digestión enzimática, aumenta la solubilidad del fitato o posiblemente se destruyen durante la cocción los factores inhibitorios de la fitasa (taninos), aunque dado que la fitasa se desactiva con un tratamiento térmico en autoclave de 120°C por 10 min. la última razón generalmente se descarta. Por el momento no puede explicarse completamente la razón por la que aumenta la digestibilidad del fitato (40), pero ocurre. Faridi et al (1983) condujo otro estudio en el cual analizó distintos panes del Medio Oriente para determinar al efecto de la fermentación con soda sobre el contenido de AF. Como resultados obtuvo: que el aumento en los niveles de soda disminuían invariablemente la destrucción del AF, obteniéndose por tanto un aumento en las cantidades de fitato en el pan. Cuando la masa se suplementó con un iniciador

ácido, el AF se redujo un 82% luego de 3hrs., sin embargo la pérdida de AF no fue mayor del 29% cuando la masa se suplementó con un iniciador ácido y un 4% de soda. Pudo concluirse que la suplementación de la masa con un fermento de soda disminuyen significativamente la hidrólisis del AF durante la fermentación.

En general, la química del ácido fítico a diversos procesamientos aún está en investigación, dado que depende mucho del grano o semilla en donde se encuentre y de las diversas combinaciones de proceso que se le apliquen.

4. Efectos adversos

El ácido fítico es un agente quelante que puede enlazar fuertemente iones metálicos mono y divalentes para formar el complejo fitato (11, 31), ya que su estructura singular sugiere un tremendo poder quelante y por tanto su efecto en la absorción de policationes nutritivos tales como el Ca^{+2} , Zn^{+2} y Fe^{+3} ha sido el tema de investigación extensa por algunas décadas (14), ya que a nivel nutricional existen deficiencias en tales minerales debido a la baja biodisponibilidad que se tiene de éstos al estar como compuestos complejos (10, 11, 14, 23, 28, 31, 48).

El AF precipita el Fe^{+3} cuantitativamente a bajo pH. A un pH medio o alto aumenta la forma compleja insoluble con otros cationes polivalentes disminuyendo la biodisponibilidad nutricional de cierta trazas de minerales. Esta interferencia con la absorción intestinal de cationes puede llevar, como ya se dijo anteriormente, a deficiencias minerales en el individuo bajo ciertas circunstancias (14).

Los complejos de inositol de hexafosfato con muchos elementos minerales en algunos casos son insolubles y de baja biodisponibilidad. Decece, por ejemplo, la disponibilidad del zinc dietético, calcio y magnesio. Su efecto en el hierro está menos claro. Existe evidencia de que bajo ciertas condiciones disminuye la disponibilidad del hierro; pero bajo otras condiciones no tiene ningún efecto (8) Por lo anterior, la predicción de la biodisponibilidad de minerales a partir de alimentos con contenido alto de fitato es complicada, dado las complejas interacciones entre minerales y el AF presente en el alimento, en las actividades intestinales y de la fitasa, las condiciones previas del procesamiento de los alimentos (principalmente el pH), la digestibilidad de los alimentos así como el estatus fisiológico del consumidor. Aun cuando se conoce poco sobre la química de tales interacciones, la mayor énfasis en controlar y reducir el enlace de minerales en los granos y subproductos se ha hecho a través de metodología para remover el fitato (11).

Numerosos estudios han llevado a la conclusión de que el AF y sus derivados pueden enlazar minerales esenciales para la dieta, no haciéndolos disponibles o bien parcialmente disponibles para su absorción. Este problema es especialmente importante cuando dos o más cationes están presentes y puede ocurrir un efecto de enlace sinérgico, lo cual ocurre particularmente con el zinc y calcio y con el zinc y cobre (23).

Una dieta con excesivo consumo de fitato puede suprimir la biodisponibilidad de tales policationes tan importantes, como Fe^{+3} y Zn^{+2} (10, 11, 14, 15). Grandes segmentos de la población americana debe ingerir

marginalmente los niveles adecuados de hierro y zinc. La mayoría de niños de bajo nivel económico puede padecer de deficiencias de zinc, lo cual causa efectos adversos en el crecimiento y maduración gonadal, en el desarrollo cerebral en el sistema inmunitario y normalmente conlleva a anorexia e hipogeusia. De la misma forma, la deficiencia de hierro algunas veces ocurre en infantes y madres lactantes y puede causar síntomas clínicos incluyendo anemia. El impacto de la baja ingestión de minerales en el desarrollo y salud puede aumentarse por la presencia de componentes alimenticios que interfieran con la biodisponibilidad intestinal de policones (15). Algunos nutricionistas afirman que el AF no tiene ningún efecto en el aprovechamiento del hierro, sin embargo otros reportes han mostrado que éste disminuye significativamente la biodisponibilidad del hierro nonheme (15) y de otros minerales como Zn y calcio.

Graf y Eaton (1984) indican que el AF no tiene un efecto sustancial en la absorción de calcio o hierro, ya que en el intestino la absorción de los minerales no quelados fue similar a la absorción de calcio y hierro presente en el complejo. La biodisponibilidad de los minerales está determinada por los factores fisiológicos intrínsecos y por los componentes de la dieta que pueden mejorar o evitar la absorción de policones por medios físicos y/o químicos (15).

Sin embargo a los alimentos con alto contenido de fitato y pobre utilización de minerales no puede atribuirse en un 100% al AF presente en éstos, dado que existen otros componentes, especialmente la fibra, que pueden jugar también un papel de quelantes (23). Por tanto, otro aspecto que debe señalarse es que algunos componentes de la fibra dietética pueden ser más efectivos en el

enlace de minerales que el AF (11). Pero en apariencia todos los minerales significativamente importantes en la nutrición se ven influenciados en algún grado por el fitato y ha sido difícil diseñar estudios significativos que evalúen el efecto del AF sobre minerales específicos e independientes de otros (23).

Finalmente, la presencia química del mineral no asegura su disponibilidad para la absorción y utilización. Los minerales presentes en los cereales, semillas oleosas y otros productos vegetales, a diferencia del mineral de fuente animal, son en general levemente aprovechados por el humano. Ciertos componentes de los alimentos vegetales son conocidos como quelantes de minerales y reducen su absorción. El AF, varios tipos de DF y los aminoácidos básicos, todos enlazan iones metálicos (11). De hecho, excepto por el calcio, que está presente en una cantidad insignificativa, la mayoría de los minerales y fitato están presentes en mayor cantidad en el germen (31)

Por todo lo anterior, es importante conocer los efectos que compuestos como el AF pueden tener sobre los minerales presentes en cereales y principalmente en los productos de maíz (tortillas) que se consumen en gran cantidad en Guatemala y en la mayoría de países hispanos.

1. Hierro

Por lo general, la absorción de hierro a partir de los cereales es pobre; aun cuando su contenido es alto (40). La absorción del hierro, en particular, y de minerales en general está afectada por dietas ricas en cereales y legumbres (7). El hierro es un mineral que se asocia con los efectos quelantes del AF y su baja

biodisponibilidad. Muchos autores han mostrado que el fitato inhibe la absorción del hierro (11, 16, 18, 32, 35, 39, 40, 42, 43, 45); pero otros estudios no señalan efecto inhibitorio (23, 28, 31). Investigaciones in vitro (Sandberg et al. 1989, Simpson et al 1981) han mostrado que los inositoles hexa y pentafosfatos reducen la solubilidad del hierro significativamente, pero la degradación de éstos a tetra y monofosfatos reducen significativamente el efecto inhibitorio sobre la biodisponibilidad del hierro (39).

Se ha visto, en el pan, que el fitato monoférrico es hidrosoluble y está unido a sitios catiónicos de proteínas que pueden ser solubilizados y que proporcionan un alto valor biológico. Por otra parte, el autoclaveado mejora la biodisponibilidad del hierro en uno de tres productos; sin embargo se ha comprobado que la biodisponibilidad del hierro varía dramáticamente entre especies (23). Otros procesamientos como la fermentación y tratamientos térmicos ácidos o alcalinos se ha visto que tienen cierto efecto en la destrucción del AF, sin embargo no se ha determinado cómo ocurre (39, 42, 43, 45).

En el proceso de nixtamalización, Torrez-Martínez, et al (45) señala que ocurre una pérdida de AF durante el procesamiento y que el contenido de AF inicial en el grano influye significativamente en el contenido final y en la cantidad de hierro absorbido, sin embargo en todos los distintos procesos alcalinos sucede una disminución del AF.

Por otro lado, se ha señalado en varios estudios (16, 35, 39, 42, 43) que tanto la fibra como el salvado y otros componentes (celulosa, lignina,

hemicelulosa) de los granos enlazan el hierro disminuyendo su disponibilidad. Reinhold et al (1981) indica que la fibra del trigo y maíz se enlaza al hierro dependiendo de la cantidad de mineral presente y que la afinidad del mismo por la fibra aumenta a medida que el pH se acerca a 7.0, en el cual se tienen un complejo estable con un 80% de enlace. Hallberg et al. (1987), Platt y Clydesdale (1984), Simpson et al (1981) y Hunter (1981), señalan que la parte con mayor poder inhibitorio, de hierro, en el salvado es el fitato, que quela el hierro disminuyendo su biodisponibilidad. Sin embargo la investigación acerca del tema continúa y el aumento de la aparente biodisponibilidad del hierro en los cereales, semillas y alimentos con fitato y agentes quelantes; depende de su forma fisicoquímica, la cual es función del ambiente del alimento (42).

2. Calcio

Los cereales poseen bajas cantidades de calcio y su disponibilidad es cuestionable debido a la presencia de AF, oxalatos y fibra (41). La adición de fitatos a las dietas reducen la absorción de calcio y esta deficiencia puede inducir seguidamente al raquitismo (10, 11, 23, 41).

También se ha encontrado que el calcio y el ácido fítico disminuyen la absorción del magnesio y que en presencia de proteínas pueden retener el zinc. Estudios en ratas han mostrado que aunque el fitato es inerte, el ácido fítico y sus productos de hidrólisis (penta a monofosfatos) son inhibidores potentes de la calcificación (23). En panes de trigo se ha señalado que más que el fitato, la fibra es responsable de la baja absorción del calcio.

La idea de que el AF tenía efectos negativos en la absorción de calcio fue estudiada por varios autores, como Mellanby que demostró que la adición de fitato a dietas de perros reducía la absorción del calcio y aumentaba el índice de raquitismo. Por el contrario, otros investigadores señalaban que la deficiencia consistía en la falta de adaptación para absorber el mineral; sin embargo se confirmó que el humano no se adaptaba y que poseía deficiencias de calcio (11). Además, se ha visto que la insolubilización de calcio por el fitato depende, tanto del pH del medio como del radio molar Ca:fitato (7, 10).

En las semillas oleosas, el contenido de calcio no es alto y por eso existe la preocupación de que la biodisponibilidad de calcio a partir de éstas sea la mayor posible. Los resultados de experimentos en los cuales las semillas se fortificaron con calcio se tuvo una buena utilización del calcio, pero aún está en cuestionamiento el efecto de esta adición sobre la utilización del zinc, magnesio y cobre a partir de las semillas, dado que éstas son ricas en AF (11). Por otra parte, según Serna-Saldívar (1991), el procesamiento del grano crudo de maíz a tortillas aumenta significativamente la cantidad de calcio, mejora el radio Ca-P, pero no afecta significativamente las cantidades de otros minerales como Mg, Fe, Zn y Cu. Debido a las pérdidas físicas durante éste proceso, existe la posibilidad de que los factores quelantes como la fibra, celulosa, almidón, hemicelulosa, fitato y otros que pueden afectar el contenido de calcio (36, 41) se pierdan y por tanto aumenta el calcio. Sin embargo esto también depende de la cantidad de cal agregada al grano, del lavado, cocción y tiempo de remojo (41).

3. Zinc

Numerosos autores (10, 11, 12, 23) han reportado que el impacto mayor del AF en la nutrición humana es en la reducción de la biodisponibilidad del zinc; ya que se ha visto que en estudios *in vitro*, el zinc forma el complejo más estable (insoluble) con el ácido fítico (11, 12, 48). Diversas investigaciones implican al AF como el factor causante de la baja absorción del zinc a partir de cereales e inclusive han establecido una relación inversa entre el contenido de AF en la dieta y la biodisponibilidad de zinc a partir de dicha dieta (11, 30). Oberleas y Harland (1981) indican que el alcance del fitato para modificar la biodisponibilidad del zinc ha sido difícil de estimar, principalmente porque el fitato puede enlazar muchos cationes más y muchos factores en el intestino pueden afectar dicha quelación. Se ha indicado que el enlace zinc-fitato aumenta al crecer el pH (12).

Estudios posteriores han señalado que la biodisponibilidad del zinc no sólo se ve afectada por la unión con el fitato, sino que también existen deficiencia por la presencia de algunos aditivos alimenticios (ácido pirofosfato) u otros metales que causen un efecto sinérgico, como el calcio (23). Se ha señalado que la presencia de Ca^{+2} en los alimentos puede aumentar la absorción del zinc u otros metales (15). Al competir por el fitato, el calcio desplaza al zinc u otro y por tanto aumenta su solubilidad. Estudios han mostrado que la cantidad de Zn^{+2} libre es directamente proporcional a la concentración de calcio a niveles bajos de fitato. En el caso del hierro hay controversia, algunos señalan que no existe un efecto significativo y que la baja absorción del mineral se debe a la presencia de otros interferentes, como la fibra; sin embargo no se descarta la posibilidad de efectos quelantes por parte del AF o bien cambios en la microflora del intestino que

puedan causar la inhibición enzimática (15). Por otra parte, de acuerdo con Zemel y Shelef (1982), el calcio y zinc exhiben un efecto sinérgico respecto de la precipitación del fitato y han demostrado que el calcio causa aumentos en la precipitación del complejo zinc-fitato a los pH's del intestino; y además, la adición de calcio a dietas altas en fitato causan una disminución en la hidrólisis del AF y reducen la absorción de Zn (12, 48).

También se ha sugerido que la diferencia de biodisponibilidad de zinc se debe a las variantes en las condiciones de procesamiento de los alimentos, pues el tipo de complejo fitato-proteína-mineral que se forme durante el proceso, según los contenidos de fitato, serán responsables de la capacidad de absorción (11).

De acuerdo con Ellis y Morris (1981), el hierro y zinc forman complejos solubles con el salvado de trigo, y el hierro soluble se identifica como fitato monoférrico. Por otro lado, señalan que en el frijol de soya aún cuando el zinc aparentemente no está totalmente asociado con el fitato, la reducción de éste aumenta significativamente la biodisponibilidad del zinc (10). Oberleas y Harland (1982) establecen que los ratios de fitato P:Zn en fitato pueden ser usados para determinar el peligro relativo que puede tenerse por la inadecuada absorción de zinc ya que éste factor afecta la biodisponibilidad del zinc en los cereales o granos. Conociendo lo anterior puede determinarse como suplementar el alimento, ya que normalmente los requerimientos son mayores a lo que se puede suplementar, o bien forma de eliminar el AF (23, 28, 30).

4. Otros minerales

En granos de cereales maduros, 60 a 80% del fósforo total está unido en el AF. La biodisponibilidad del fósforo en los animales parece depender un poco en la actividad de la fitasa en el tracto intestinal de las distintas especies. En el hombre, por ser un animal monogástrico, la actividad de la fitasa es leve y en algunos casos nula. Aunque el hombre consuma niveles altos de fósforo, su absorción es baja cuando proviene de los fitatos; sin embargo el fósforo disponible es muy importante para el crecimiento adecuado de los huesos en los niños (11).

Trazas de minerales, como cobre, manganeso, molibdeno y cobalto se pueden ver afectadas también por fitatos de semillas oleosas. Imbalances de minerales pueden ocurrir debido a la preferencia por del fitato en quelar ciertos minerales. En enlace fuerte del zinc con el AF a pHs intestinales para formar complejos insolubles, puede favorecer la absorción de cobre y cambiar el radio zinc-cobre (11).

Muchos experimentos sugieren que el AF en los alimentos vegetales enlazan minerales esenciales para la dieta, haciéndoles poco disponibles para su absorción. Estudios in-vitro han mostrado que muchos complejos AF-mineral son insolubles al pH intestinal y se piensa que biológicamente no son disponibles para ser absorbidos. La formación de tales complejos depende del pH. Cuando dos o más cationes están presentes, puede presentarse un aumento sinérgico y la precipitación de sales de fitato. Esto se ha observado con el zinc-calcio y con el zinc-cobre (11), y con otros minerales como litio, molibdeno y sodio.

Las interacciones con proteína-mineral-fitato son más complicadas. Una baja utilización de minerales de un alimento con alto contenido de fitato no puede atribuirse directamente al enlace con fitato dado que la fibra y otros constituyentes de los alimentos juegan también un rol en tal aspecto. No se puede establecer una relación directamente igual entre la concentración de fitato con la biodisponibilidad del mineral, dado que otros factores como el procesamiento son muy importantes; pero si se ha comprobado que la remoción del fitato sí mejora la biodisponibilidad de minerales (11).

V. MATERIALES Y MÉTODO

A. Fuentes del grano, cal, harinas y nixtamal

1. Grano de maíz: Proporcionado por INHSA (Industria Nacional de Harineros S. A.) y con las siguientes características: Maíz tipo duro con una humedad promedio de 16 % y un 18% como máximo, color blanco o amarillo pálido.
2. Cal: Proporcionada por INHSA. Nombre comercial cal viva*.
3. Nixtamal: Para la primera fase, maíz cocido alcalinamente con un 0.8-1.0% de cal * sobre el peso del grano a través del proceso industrial de INHSA (para Tortiyá) (Cocción en una unidad térmica alcalina con vapor saturado por 45-50 min., sin ningún tiempo de remojo y un lavado posterior).
4. Harina Nixtamalizada no fortificada: Harina procesada industrialmente por INHSA, obtenida de la molienda gruesa y secado flash del nixtamal descrito anteriormente.
5. Harina Fortificada-Tortiyá: Harina procesada industrialmente por INHSA, obtenida de la molienda fina, secado flash y fortificación de la harina anterior.

B. Métodos

1. Nixtamalización:

En todos los tratamientos se utilizó 200g de grano de maíz, el grano antes de cocerlo fue lavado 2 veces y se eliminó basuras, grano dañado y hueco, y pedazos de mazorca. En la cocción alcalina la relación agua:maíz fue de 3:1 para todos los tratamientos; el nivel de cal, tiempo de cocción y tiempo de remojo antes del lavado se hizo de acuerdo al diseño experimental. En el Cuadro No. 1 se muestran las fuentes de variación del experimento, es decir el diseño experimental seguido en el estudio. El maíz primero se coció en tiempos de 55, 65 ó 75 min. a ebullición con un nivel de cal que variaba de 0.0, 0.4, 0.8 ó 1.2% del peso del maíz, respectivamente. Los distintos grupos permanecieron en remojo 12hrs. como sucede en el proceso tradicional y otros grupos no tuvieron remojo (0 hrs) y representaron el proceso industrial; pues a nivel comercial, por economía y eficiencia, no se realiza dicha operación. El número de veces de lavado del nixtamal también fue constante para todos los tratamientos y fue de 4 veces para eliminar la mayor parte de pericarpio. En la Tabla No. se muestran los diversos tratamientos del estudio y en la Figura No. se muestra un diagrama de flujo general del proceso de nixtamalización utilizado.

2. Metodología química:

a. Humedad Método oficial de la AOAC para la determinación de humedad en harinas y cereales (4, 19).

- b. Calcio Determinación de calcio por absorción atómica. Diluyendo a un volumen adecuado (10ml) las soluciones de cenizas con 0.1% de cloruro de lantano al 2% (5, 41).
- c. Hierro total Método de alfa,alfa dipiridil descrito por la AOAC (1990) para la determinación de hierro en harinas (23).
- d. Hierro biodisponible- Hierro ionizable Tratamiento de la muestra bajo condiciones fisiológicas (incubación ácida con pepsina) a un pH=7.5 simulando las condiciones del estómago y determinación por el método oficial de la AOAC por medio de espectrofotometría de llama (absorción atómica) (Naransinga, 1978).
- e. Ácido fítico Cuantificación del ácido fítico a partir de espectrofotometría, medición de las absorbancias de las soluciones tratadas y comparándolas con una curva de calibración (AF vrs. Absorbancia) La base es la precipitación del ácido fítico como fitato férrico por medio de calentamiento de las muestras con una solución ácida de hierro-III (Fe^{+3}) de un contenido conocido de hierro. La disminución de hierro en el supernadante, determinada por un cambio colorimétrico por la adición de un clorhidrato de hidroxilamina, será la medida del contenido de ácido fítico (17).

VI. ANÁLISIS DE DATOS

A. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la segunda fase experimental fueron analizados mediante los siguientes métodos estadísticos:

1. Rechazo de datos sospechosos (fuera de rango).

Si el coeficiente de variación entre las réplicas (triplicados) de la muestra excede en un 10% se rechaza el resultado y el valor promedio se obtiene sólo de los datos fiables.

2. Análisis de regresión lineal.

El método consiste en obtener una relación entre dos variables a través del principio de mínimos cuadrados (Se utiliza una recta de mejor ajuste la cual es aquella que minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados de y , respecto a los valores predichos) con el fin de definir un modelo matemático determinístico que pueda ser útil para predecir el comportamiento de una variable en relación a otra independiente (Mendenhall, 1992). Para realizar el análisis de regresión a los datos del estudio, se hizo uso de un programa estadístico llamado MICROSOFT EXCEL-LOTUS 1,2,3.

3. Determinación del coeficiente de correlación.

Este coeficiente se calculó con el fin de tener un indicador del grado de intensidad o fuerza de la relación lineal entre las dos variables analizadas en cada diferente tratamiento y en cada caso de relación, y que es independiente de las respectivas escalas de medición. El grado de cercanía del coeficiente de correlación lineal entre las dos variables debe tender a 1 para definir una buena relación lineal. Éste se calculó también por medio del programa estadístico antes mencionado.

4. Análisis de varianza (ANDEVA).

El análisis de varianza trata de analizar la variación de una respuesta y de asignar porciones de esa variación a cada variable de un conjunto de variables independientes. La respuesta, aun cuando parte o todas las variables independientes consideradas se mantengan constantes, presenta una variación aleatoria. Por lo tanto, el método se usó para encontrar si existe diferencia significativa entre las muestras de cada tratamiento diferente del proceso de nixtamalización. El objetivo de este análisis es tanto analizar la variación de las respuestas como identificar variables independientes importantes en el estudio y determinar cómo interactúan y afectan a la respuesta. Si la estimación para la variable independiente es significativamente mayor, la prueba F rechazará la hipótesis de que la variable independiente no tiene efecto y generará evidencia que indique una relación con la respuesta (Mendenhall, 1992). El nivel de significancia utilizado fue de 0.01. El tipo de análisis de varianza que se empleó fue de comparación de más de dos medias para un diseño completamente aleatorio. Utilizándose un programa estadístico SAS. Una vez definida la diferencia entre

grupos, los datos se agruparon para medir diferencias entre una misma variable independiente con las dependientes y dejando las otras variables independientes constantes (Mendenhall, 1992). Por ejemplo, se realizó un análisis de varianza a los tratamientos con diferentes tiempos de cocción (55, 65 y 75) y se dejó constante el nivel de cal y el tiempo de remojo. De esta forma se definió más claramente el efecto e interacción de cada variable independiente (nivel de cal, tiempo de remojo y tiempo de cocción) sobre las dependientes: ácido fítico y hierro ionizable.

B. Cálculos

En esta sección se presenta las relaciones y fórmulas utilizadas para el cálculo de ciertos resultados, junto con un ejemplo que ilustra el cálculo de todos los datos y resultados señalados en las tablas del apéndice.

1. Cálculo de la concentración teórica de calcio necesario para saturar una molécula de ácido fítico.

$$1 \text{ mol de fitato} = 660 \text{ g fitato}$$

$$1 \text{ mol de fitato} / 6 \text{ moles de Ca}^{+2}$$

$$1 \text{ mol de Ca}^{+2} = 40.08 \text{ g Ca}^{+2}$$

$$\begin{aligned} \text{mg Ca}^{+2} / \text{mg AF} &= \frac{40.08 \text{ mg Ca}^{+2}}{1 \text{ mol de Ca}^{+2}} \cdot \frac{6 \text{ mol Ca}^{+2}}{1 \text{ mol AF}} \cdot \frac{1 \text{ mol AF}}{660 \text{ gAF}} \\ &= 0.364 \text{ mg Ca}^{+2} / \text{mg AF} \end{aligned}$$

2. Cálculo del porcentaje de hierro absorbido in Vivo (Naransinga, 1978)

$$X = \% \text{ De Hierro Ionizable a pH} = 7.5 \\ = \frac{\text{Fe Ionizable (ppm)} \times 100}{\text{Fe Total (ppm)}}$$

$$Y = \% \text{ De Hierro Absorbido in Vivo (en adultos)} \\ = 0.4827 + 0.4707X$$

Ejemplo: Porcentaje de Hierro Absorbido in Vivo del maíz (grano crudo)

$$\text{Fe ionizable} = 0.91 \text{ ppm} \\ \text{Fe total} = 19.80 \text{ ppm}$$

$$X = \frac{0.91 \text{ ppm} \times 100}{19.80 \text{ ppm}} = 4.60 \% \text{ Fe ionizable (pH} = 7.5)$$

$$Y = 0.4827 + 0.4707(4.60) \\ = 2.65 \% \text{ de Hierro Absorbido in Vivo}$$

3. Cálculos para obtener las regresiones lineales y el coeficiente de correlación

$$y = A + Bx \quad \text{donde } y \text{ puede ser: } t(\text{cocción}), [\text{Ca}], t(\text{remojo}) \\ x \text{ puede ser: } [\text{AF}], [\text{Fei}]$$

$$\text{donde, } A = \frac{\sum y - B(\sum x)}{n}$$

$$B = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2) \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

Ejemplo: Las regresiones se trabajaron a través de un programa de computadora MICROSOFT EXCEL, aquí se muestran los valores de una regresión hecha para los tratamientos de la Fig. No. 6. En el Anexo de Tablas de resultados se muestran todas las regresiones y en cada gráfica se muestra la ecuación de relación de variables.

$$A = 3.235$$

$$B = -0.005 \quad t = 3.235 - 0.005[AF]$$

$$r = 0.953$$

4. Cálculos para obtener los resultados del análisis de varianza.

$$CM = (\Sigma \Sigma Y_{ij})^2/n = n \times (P)^2$$

$$SCTotal = \Sigma \Sigma Y_{ij}^2 - CM$$

$$SCT = \Sigma T_i^2 / n_i$$

$$SCE = SCTotal - SCT$$

$$CMT = SCT/(k - 1)$$

$$CME = SCE/(n - k)$$

$$F = CMT/CME$$

F crítica (v_1 y v_2) Se obtiene de tablas de acuerdo a los grados de libertad y nivel de significancia (alfa = 0.01%)

grados de libertad del numerador ($g.l$) = $v_1 = k - 1$

grados de libertad del denominador ($g.l$) = $v_2 = n - k$

Ejemplo: ANOVA para los T1, T3, T5: Existencia de una diferencia significativa en el contenido de ácido fítico en los tratamientos a diferentes tiempos de cocción (55, 65, 75).

$$CM = (2.99 + 2.97 + 2.22 + 3.13 + 3.12 + 3.14 + 3.17 + 3.14 + 3.92)^2/9$$

$$= 85.87$$

$$\begin{aligned} \text{SCTotal} &= 2.99^2 + 2.97^2 + 2.22^2 + 3.13^2 + 3.12^2 + 3.14^2 + 3.17^2 + 3.14^2 \\ &\quad + 3.92^2 - 85.87 \\ &= 85.96 - 85.87 \\ &= 0.0852 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SCB} &= (9.18^2 + 9.39^2 + 9.23^2)/3 - 85.87 \\ &= 0.009 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SCT} &= (9.29^2 + 9.23^2 + 9.28^2)/3 - 85.87 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SCE} &= 0.852 - 0.009 - 0.002 \\ &= 0.0742 \end{aligned}$$

$$\text{CMT} = 0.002/2 = 0.001$$

$$\text{CME} = 0.0742/6 = 0.012$$

$$\text{F exp} = 0.001/0.012 = 0.084$$

$$\text{F exp} = 0.084 < \text{F crítica (Mendenhall)} = 10.92 \text{ No existe diferencia}$$

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo de campo se dividió en dos fases. En la primera se estudio el comportamiento del ácido fítico debido a la escasa información inicial que se tenía acerca de éste durante el proceso de nixtamalización; y el cual era muy importante para realizar el estudio posterior con diversas variables de proceso. En la primera fase el objetivo era determinar el comportamiento del ácido fítico y en la segunda relacionar el contenido de éste con el del hierro total, hierro biodisponible y calcio en el maíz nixtamalizado a diferentes tratamientos de nixtamalización. Los resultados obtenidos se indican a continuación:

A. Resultados de la Primera Fase del Estudio

El ácido fítico se reduce significativamente durante el proceso de nixtamalización, tanto bajo el método industrial como en el método tradicional. En la Tabla No. 1 se muestran los datos del comportamiento del ácido fítico durante ambos procesos. En el método industrial el contenido de ácido fítico disminuye inicialmente en un 20% y al finalizar el proceso baja hasta un 35%; mientras que en el proceso tradicional baja a un 34% desde un inicio y se mantiene relativamente constante hasta finalizar el proceso. Aun cuando el nivel de cal en cada proceso era diferente (0.8-1.0 % cal sobre peso grano en el tratamiento industrial y un 1.5-1.8% en el tradicional), la disminución final de ácido fítico sobre el producto final fue similar en ambos tratamientos, alrededor de un 35%.

En ambos procesos la mayor baja en el contenido de ácido fítico se presentó durante la nixtamalización (cocción alcalina) y en ese punto, al comparar los dos procesos diferentes, puede notarse que en el proceso tradicional donde se obtuvo mayor calcio, la baja en el contenido de ácido fítico fue mayor que en el proceso industrial donde el contenido de calcio era menor (ver Tablas No. 2a. y 2b.). Los tiempos de cocción de cada proceso fueron diferentes y el maíz tratado tradicionalmente estuvo expuesto más tiempo a una temperatura elevada, por lo que esto también pudo influir en una mayor baja del ácido fítico en esa operación. Sin embargo, en el proceso industrial durante la conversión del nixtamal a harina, hubo otra reducción significativa del contenido de ácido fítico (Ver Tabla No. 1 y Fig. No. 1). Esta conversión del material implica operaciones de molienda y secado por aproximadamente 30 min. donde se eleva la temperatura del producto, por lo que de nuevo el tratamiento térmico pudo influir en una pérdida del ácido fítico.

De los resultados anteriores se pudo concluir que el ácido fítico disminuye durante el proceso de nixtamalización y que en ambos métodos es en la cocción alcalina donde se presenta la mayor significancia en la reducción del mismo (Ver Figuras No. 1 y No. 2). En ese mismo punto se observa una relación aparentemente directa entre el contenido de calcio presente y la baja de ácido fítico; y también existe cierta influencia del tratamiento térmico hacia la reducción del compuesto. Es importante señalar que en la primera fase sí se observa una relación entre el ácido fítico y el hierro biodisponible (ionizable). A medida que baja el contenido de ácido fítico, aumenta la cantidad de hierro biodisponible presente en el material.

Finalmente, en la fase 1 se determinó que el comportamiento del ácido fítico durante los diversos puntos del proceso de nixtamalización industrial como tradicional, es decreciente y no habiendo diferencia significativa entre el nixtamal y la tortilla en ambos procesos se concluyó que en la fase 2 el punto de estudio sería solamente la nixtamalización propia (cocción alcalina-lavado nixtamal) y las muestras a tomar el grano de maíz crudo y el maíz cocido (nixtamal). Los resultados de la fase 1 fueron la base del posterior estudio, partiendo de estos se realizó la segunda fase con tratamientos de diversas variables que fueron: el nivel de cal, tiempo de cocción y tiempo de remojo.

B. Resultados de la Segunda Fase del Estudio

Habiendo comprobado en la primera fase el comportamiento decreciente del ácido fítico durante el proceso de nixtamalización, en la segunda fase se evaluó el comportamiento de éste en relación con el del hierro ionizable (biodisponible) a diferentes variaciones del proceso, las cuales se pueden observar en el Cuadro No. 7 del Diseño experimental de dicha fase. Como se indicó anteriormente, los cambios significativos del ácido fítico y hierro se presentaron durante la cocción del grano, por lo que las muestras analizadas fueron el grano crudo y el nixtamal. Debido a que el estudio no puede extenderse a manejar tantas variables de proceso, éste se redujo a aquellas que se pensaron tendrían mayor significancia sobre las muestras y que presentarán cambios detectables en el comportamiento de los factores en cuestión: ácido fítico, hierro biodisponible y calcio. Sin embargo

no se descartó la posibilidad de que otros parámetros del proceso pudieran influir altamente en las muestras y los resultados.

En las Tablas No. 3, No. 4 y No. 5 (Datos promedios) se muestran los datos de ácido fítico, calcio, hierro total y hierro ionizable obtenidos de los análisis realizados al grano y nixtamal de los diferentes tratamientos de nixtamalización. De acuerdo a las diferentes correlaciones que se deseaban de cada una de las variables, los datos se agruparon adecuadamente para ser analizados y presentarse así los resultados sobre: (a) El efecto del tiempo de cocción sobre el contenido de ácido fítico, hierro total y hierro ionizable, (b) La relación entre el calcio, ácido fítico, hierro total y hierro ionizable, (c) El efecto del remojo sobre el ácido fítico, hierro ionizable y hierro total, y (d) Otras correlaciones entre el ácido fítico, porcentaje de hierro ionizable y la biodisponibilidad del hierro a través del porcentaje de absorción de hierro in Vivo en adultos de acuerdo a Naransinga (1978).

En lo que se refiere al % de absorción de hierro, se utilizó la ecuación establecida por Naransinga en la que correlaciona el % de Hierro ionizable a $\text{pH}=7.5$ con el % de hierro biodisponible in Vivo. En la Tabla No. 9 se muestran los resultados y la relación entre el hierro ionizable y el % de absorción de hierro en los diferentes tratamientos. Esto muestra un mayor acercamiento entre la reducción del ácido fítico y el aumento de la biodisponibilidad del hierro.

Aun cuando en la literatura se señala que el tratamiento térmico no es altamente significativo en el comportamiento del ácido fítico, éste si puede ser un factor incidente y se relaciona directamente con el tiempo de exposición del producto a la temperatura; es decir el tiempo que es sometido a cocción u otros. Del análisis de datos realizado a los tratamientos para determinar el efecto del tiempo de cocción sobre las diferentes variables se obtuvo que éste es un factor influyente en la reducción del ácido fítico y en el aumento del contenido de hierro ionizable; sin embargo su significancia es mayor a niveles altos de cal. El análisis de varianza para medir la diferencia entre estas variables se hizo dejando constante el tiempo de remojo y el nivel de cal y variando únicamente el tiempo de cocción. En la mayoría de los grupos de datos analizados, el F experimental fue mayor que el F crítico, lo que indicó una diferencia significativa (Ver Tabla No. 6) entre tratamientos a diferentes tiempos de cocción. Asimismo, para relacionar las variables se efectuó una regresión lineal entre el tiempo y el ácido fítico, y entre el tiempo y el hierro ionizable. En general las ecuaciones obtenidas mostraron una relación directa lineal entre las variables, lo cual se puede notar en las Fig. No. 3 a 10 y presentaron coeficientes de correlación mayores al 0.95. Las que mostraron valores menores son aquellas de un bajo nivel de cal (0% de cal). En cada grupo de tratamientos en los que se dejó constante el nivel de cal y tiempo de remojo y se varió el tiempo de cocción (55, 65 y 75 min.) se pudo notar la disminución significativa del ácido fítico respecto del contenido original del grano. En relación

al contenido de ácido fítico, éste se reduce desde un 8% en los niveles bajos de cal hasta un 30-35% en los niveles altos de cal; mientras que el contenido de hierro ionizable aumenta desde un 8% hasta un 77%. (ver Tablas No. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17). Sin embargo el % de hierro biodisponible es relativamente constante en cada grupo de tratamientos (ver Tabla de Correlación entre Fe_i y Fe in Vivo) pero sí incrementa al variar ciertas condiciones de proceso como el nivel de cal.

La reducción en este caso puede atribuirse a la labilidad del compuesto al calor y una mayor reducción al aumentar el tiempo de cocción debido a que éste está un mayor tiempo expuesto a la temperatura por lo que se causa una mayor reducción; sin embargo existen otros factores que pueden contribuir a dicha baja de compuesto. Por ejemplo, durante el proceso de nixtamalización se tiene una operación de lavado del nixtamal en el cual se remueve el exceso de cal y partes físicas del grano como el pericarpio y una pequeña parte del germen. La literatura indica que en el germen el contenido de ácido fítico es alto por lo que el nivel de remoción de éste durante esta operación puede influir en la disminución del ácido fítico; sin embargo, en el lavado los estudios muestran que es muy poco el germen que se pierde en el agua que se descarta. Probablemente un lavado más intenso pudiese tener un mayor efecto, aún así esto puede afectar las características y funcionalidad del producto final por lo que debe evaluarse su efecto más

detenidamente. En este estudio no se analizó el agua de lavado o nejayote, como comúnmente se conoce, sin embargo es interesante señalar que el contenido de ácido fítico en éste puede ser un factor importante para definir una de las posibles causas de la pérdida del compuesto. Vale la pena señalar que para un estudio posterior puede incluirse esta muestra para definir un balance de masa del AF y definir con mayor certeza el comportamiento del mismo. Por otro lado, es importante indicar que para los veinticuatro diferentes tratamientos del estudio, la operación de lavado fue igual para evitar que ésta fuese una variable y pudiera causar cambios.

Otro factor importante en el estudio fue la cal, ya que la variación de ésta en cada tratamiento indicó el efecto del calcio sobre el contenido de las diferentes variables. La relación entre el calcio, ácido fítico y hierro ionizable en cada tratamiento se muestra en las Fig. No. 11 a la 16. En éstas se puede notar que a medida que incrementa el nivel de calcio, disminuye el contenido de ácido fítico y aumenta el hierro ionizable y aún permanece una cantidad significativamente alta de calcio en el nixtamal. El ácido fítico de acuerdo a su estructura (Ver Diagrama No. 1a, 1b, 1c.) tiene la capacidad de formar quelatos y ligar metales como el calcio (Ca^{+2}) y hierro (Fe^{+3} , Fe^{+2}). Teóricamente, una molécula de fitato (ion de ácido fítico) tiene la capacidad de enlazar 6 moléculas de calcio; por lo que 0.364mg de Ca^{+2} saturarían 1mg de AF (Ver sección de cálculos).

Durante los diferentes tratamientos de nixtamalización en el estudio, la cantidad de calcio que se encontró presente fue sumamente mayor a la cantidad de ácido fítico que se encontraba originalmente en el grano, por lo que éste puede ser fácilmente saturado por el ion calcio, el cual ocupa todos los sitios activos del ácido fítico, evitándose así que el compuesto enlace el hierro y permita que este esté libre para ser biodisponible. El ácido fítico puede liberarse también como fósforo y disminuir su cantidad, eliminarse los sitios activos y aumentar la cantidad de hierro biodisponible. La literatura reporta que los valores de fósforo durante el proceso de nixtamalización varían de grano a nixtamal, sin embargo esto no es una evidencia total de que ese fósforo sea originario del ácido fítico. La primera respuesta es por tanto más real y como se mencionó anteriormente, son varios los factores que inciden en la disminución del ácido fítico durante el proceso, ya que puede notarse en las diferentes gráficas que es en los mayores niveles de cal donde se presenta la mayor reducción del compuesto y el mayor incremento en el hierro ionizable. El porcentaje de hierro biodisponible y el porcentaje de absorción de hierro in Vivo a los diferentes nivel aumenta también en el mayor contenido de calcio (Ver Tabla No. 9, 17, 18, 19, 20, 21 y 22). Al igual que con el tiempo de cocción, a los datos de los diferentes niveles de cal se les aplicó el tratamiento estadístico de ANOVA y se calcularon regresiones lineales. Del análisis de varianza se obtuvo diferencia significativa en todos los tratamientos (Tabla No. 7)

y en todos los casos el F crítico fue menor que el experimental y al realizar las regresiones lineales la mayoría de los casos presentaron una relación directa.

El tiempo de remojo fue una variable que no presentó algún efecto sobre las variables en estudio. En la primera fase se estudió el ácido fítico y el hierro ionizable en un proceso industrial y en un proceso tradicional, los cuales varían significativamente en su tiempo de remojo, ya que en el industrial por razones de costo y tiempo no se tiene un tiempo de remojo, si no que el grano se somete a un proceso de nixtamalización continuo; mientras que en el proceso tradicional o casero, éste si fue sometido a 12 hrs de reposo. Para representar ésto en el estudio, se procesaron muestras a 0 horas de remojo y otras a 12 horas. Para medir el efecto del tiempo de remojo sobre el contenido de ácido fítico, hierro ionizable y hierro total se hizo un análisis de varianza entre estas variables. El resultado obtenido se muestra en la Tabla No. 8 y la conclusión de éste fue que no existía una diferencia significativa entre los tratamientos sin remojo y los tratamientos con remojo. De igual forma se observa en las gráficas (Fig No. 17, 18, 19 y 20) que las líneas de ácido fítico como las de hierro (total e ionizable) son casi constantes, no existe un cambio marcado en la pendiente (casi tiempo remojo = valor constante) de las gráficas, por lo que no existe una diferencia significativa entre los diferentes tiempos de remojo (0 y 12 hrs.). Al tomar este parámetro como una variable del proceso, se esperaba que ésta tuviera un efecto significativo en los

resultados, así como lo tiene en las características organolépticas del proceso. Teóricamente se esperaba que en el proceso con tiempo de remojo los niveles de calcio y hierro ionizable fueran mucho mayores y que la reducción fuera alta, dado que durante ese tiempo se permite suavizar más el grano, que éste desprenda más pericarpio y que la penetración de calcio sea mayor y, por tanto, el contenido de ácido fítico sea muy bajo. Sin embargo, los resultados obtenidos no fueron los esperados y de lo obtenido y presentado anteriormente puede concluirse que el tiempo de remojo en el proceso de nixtamalización no es un factor incidente en el comportamiento del ácido fítico ni en el del hierro ionizable. En la primera fase experimental, el remojo no marcó diferencias significativas en el estudio y de la misma forma, en la segunda fase no existió un efecto en los resultados por parte de esta variable.

Para relacionar todas las variables independientes (tiempo de cocción, tiempo de remojo y nivel de cal) con el contenido de ácido fítico y hierro ionizable durante el proceso de nixtamalización, se realizó un análisis estadístico en el cual a través del método de los mínimos cuadrados y el programa estadístico Excel se obtuvo una regresión múltiple que correlacionó todas las variables y además presentó el coeficiente de correlación y prueba F de los datos (Ver Tablas No. 23 y No. 24). Se obtuvo una recta en la que se asociaron las diferentes variables independientes con la dependiente y (ácido fítico o hierro). Pudo notarse que las

constantes correspondientes al tiempo de remojo en cada caso eran relativamente menores a las otras dos: la del tiempo de cocción y nivel de cal ($0.0567 \ll 1.5$, en la ecuación del AF y $0.0006 \ll 0.003$, en la ecuación del Fei); por lo que su influencia en el resultado final (AF o Fei) no era detectable, sin embargo era directamente proporcional a las variables independientes. Por el contrario, las constantes del tiempo de cocción y nivel de cal eran similares y significativas en la predicción del valor de y . En el caso de la ecuación del ácido fítico ($y = -1.5273 x_1 + 0.0567 x_2 - 1.3743 x_3 + 1188.9841$), éstas eran inversamente proporcionales y en el hierro ($y = 0.0035 x_1 + 0.0006 x_2 + 0.0030 x_3 + 0.617$) una relación directa. A través de los resultados y por medio de los coeficientes de correlación de cada uno de los grupos de datos ($r^2 = 0.94$ y $0.95 > 0.90$) se pudo determinar que existe una estrecha relación entre las variables independientes y el ácido fítico, y el hierro ionizable en cada uno de los casos y que estas influyen en el comportamiento de ambos factores. Al obtener en este análisis el estadístico F, se pudo definir y establecer que al ser el F_{exp} mayor que el crítico en ambos casos (90.6 y $118.9 > 3.10$ (0.05) y 4.94 (0.01)) y a un nivel de confianza del 95 y 99%, la ecuación lineal obtenida de la regresión múltiple es útil para predecir el comportamiento del ácido fítico y del hierro ionizable en el proceso de nixtamalización a un tiempo de cocción, un tiempo de remojo y un nivel de cal dado.

Los datos y resultados anteriores evidencian claramente la relación entre las variables estudiadas y dicha correlación entre estas se puede resumir de la siguiente forma:

(a) El contenido de ácido fítico disminuye significativamente durante el proceso de nixtamalización y ésta reducción está afectada altamente por el tiempo de cocción y por el nivel de cal que se emplea durante el proceso (Ver Tabla No. 23 y no. 24). A un nivel del 0% de cal (no se adicionó cal durante la cocción) y en todos los tiempos de cocción la reducción del ácido fítico con respecto a la cantidad inicial en el grano crudo fue relativamente baja, entre un 3 a un 8%; mientras que al 0.4%, 0.8% y 1.2% de cal y a tiempos mayores de cocción (principalmente 65 y 75 min.) la reducción del ácido fítico es más significativa; de un 11-14%, de un 20-27% y de un 25-35% respectivamente. De la misma forma el hierro ionizable y el contenido de calcio aumentaron, con respecto al grano, a niveles altos de cal y tiempos altos de cocción. Sin cal, el hierro ionizable como el calcio bajaron de un 4-8%; a un 0.4% de cal el hierro ionizable y calcio aumentaron un 13-30% y un 102-182% respectivamente. Y aún más, a los niveles más altos de cal (0.8, 1.2%) y a 55, 65 y 75 min. de cocción; el hierro ionizable aumento en un 32-54%, 52-77% y el calcio un 185-304, 400-478% (Tabla No. 9a).

(b) La cantidad de calcio presente es tan alta comparada con la cantidad de ácido fítico existente en la muestra, que el compuesto fácilmente puede ser saturado con el ion calcio y formar así un quelato con el mismo de tal forma que los sitios reactivos quedan ocupados y el hierro está libre para ser absorbido.

(c) El ácido fítico es inversamente proporcional al contenido de hierro biodisponible y al porcentaje de absorción del mismo. A medida que disminuye el contenido de ácido fítico presente en el nixtamal aumenta la biodisponibilidad del hierro.

(d) El aumento de la biodisponibilidad de hierro con respecto a la biodisponibilidad de hierro del grano crudo es mayor a niveles altos de cal y a tiempos mayores de cocción (0.4% cal, 65min cocción; 0.4% cal, 75 min. cocción; 0.8% cal, 55 min. cocción;...; 1.2% cal, 75 min. cocción). Lo anterior fue establecido experimentalmente y tales datos evidencian el efecto significativo que el calcio y la cocción tienen sobre la biodisponibilidad de hierro. Un mayor tiempo de exposición al calor y una mayor penetración de la cal al grano influyen, como se dijo anteriormente, en la saturación del AF; sin embargo ambos factores junto son relevantes al proceso pues de lo contrario la relación entre el AF y hierro biodisponible es baja e insignificante con lo esperado.

(e) Al contrario de lo anterior, el tiempo de remojo no presentó ningún efecto significativo sobre los resultados, aún cuando se esperaba que éste fuera un factor altamente incidente, ya que la variación entre 0 hrs. y 12 hrs. es tal que se pensaba que la penetración del calcio al grano sería mayor a un mayor tiempo de contacto del grano y la cal. Asimismo, al estar un mayor tiempo en remojo la remoción de pericarpio, germen y otras partes es más fácil y mayor, por lo que esto era un indicativo de que la reducción del ácido fítico pudiera haber sido mayor. Aún cuando el análisis de estos hallazgos indican que el remojo no es una variable influyente en el comportamiento del ácido fítico y en la biodisponibilidad del

hierro, no debe descartarse la posibilidad en estudios posteriores que otras modificaciones en esta variable si pudieran presentar cambios significativos.

(f) El ácido fítico muestra una relación totalmente lineal con el tiempo de remojo y con el nivel de cal, ya que del análisis de regresión lineal se obtuvieron coeficientes de correlación lineal mayores que 0.96, que indican que dicha relación es totalmente lineal.

Puede agregarse que, además de lo establecido anteriormente, se encontró que existen otras fuentes, tanto de proceso como del grano en sí que pueden influir en los resultados obtenidos y que deben estudiarse posteriormente para ampliar mayormente el proceso de nixtamalización y los beneficios que dicho proceso puede acarrear. Un ejemplo es que tanto la fibra dietética como la proteína pueden ser factores adversos hacia la biodisponibilidad de los elementos; una correlación entre el contenido de ácido fítico y la fibra puede verificar dicho enunciado. Asimismo, el estudio del comportamiento de la fibra puede correlacionarse con el del ácido fítico. Estudios (5, 6) señalan que la fibra se reduce significativamente (hasta un 50% del valor inicial) durante la transformación del grano a nixtamal, por lo que dicha reducción puede ser un factor, que al igual que la reducción del ácido fítico, influyan en la biodisponibilidad del hierro.

En cuanto a las variables de proceso que pueden influir es el tipo y forma de lavado, ya que en éste puede existir material de ácido fítico que ayude a verificar más claramente el comportamiento del mismo y su influencia en la biodisponibilidad del hierro.

Finalmente puede concluirse que el contenido de ácido fítico está altamente relacionado con los niveles de hierro ionizable y con la biodisponibilidad del hierro (% de absorción in Vivo) a través de una relación inversamente proporcional que se ve afectada directamente por diversos parámetros del proceso que son: tiempo de cocción y nivel de cal; y que están definidos a través de una ecuación lineal. En el caso del último, los datos han verificado que el calcio satura o presenta una relación directa con el ácido fítico, de tal forma que inhibe sus grupos reactivos y permite la liberación del hierro de manera que éste sea biodisponible.

VIII. CONCLUSIONES

1. No existe una diferencia significativa entre el proceso industrial y el tradicional. El tiempo de remojo, 0 y 12 hrs., fue el parámetro utilizado para representar cada uno de estos procesos en el experimento; sin embargo el análisis de los datos y las gráficas no mostraron una diferencia marcada entre estos tratamientos ni algún efecto sobre las variables en estudio: ácido fítico y hierro ionizable (biodisponible).

2. El Ácido Fítico disminuye significativamente durante el proceso de nixtamalización. Tanto a las condiciones normales de nixtamalización industrial como tradicional, el ácido fítico se reduce en un 34-35% aproximadamente. A una cocción sin cal, la reducción es de un 3 a un 8%; y a medida que se aumenta el nivel de cal y el tiempo de cocción, la reducción aumenta gradualmente. La máxima reducción del compuesto oscila entre el 25 y 35% de reducción. La mayor reducción del compuesto se presenta durante la cocción alcalina.

3. La reducción del ácido fítico es más significativa a niveles de cal más altos y a tiempo de cocción mayores; 0.8 y 1.2%, y 65 y 75 min., respectivamente. El nivel de cal y el tiempo de cocción son inversamente proporcionales al contenido de ácido fítico y mantienen con éste una relación totalmente lineal.

4. Tanto el hierro ionizable como el contenido de calcio aumentaron respecto del grano, a niveles altos de cal y tiempos altos de cocción. Sin cal, el hierro ionizable como el calcio bajaron a un 4 a 8%; a un 0.4% de cal, el hierro ionizable y calcio aumentaron un 13-30% y un 102-182% respectivamente. A los niveles de 0.8 y 1.2% de cal y a 55, 65 y 75 min. de cocción; el hierro ionizable aumento en un 32-54%, 52-77% y el calcio en un 185-304, 400-478%.

5. El calcio, además de lo conocido en la literatura, se ha demostrado que tiene un efecto positivo frente al ácido fítico, ya que lo satura o presenta una relación directa con éste, de tal forma que inhibe sus grupos reactivos, reduce su capacidad antagónica frente a otros minerales y permite por tanto la liberación del hierro, aumentándose así su biodisponibilidad.

6. El ácido fítico es inversamente proporcional al contenido de hierro ionizable y al porcentaje de absorción del hierro in Vivo. A medida que disminuye el contenido de ácido fítico presente en el nixtamal, aumenta la biodisponibilidad del hierro. Por tanto, puede concluirse que el contenido de ácido fítico está altamente relacionado con los niveles de hierro ionizable y por tanto con la biodisponibilidad del hierro (% de absorción in Vivo) a través de una relación inversamente proporcional que se ve afectada directamente por diversos parámetros del proceso que son: tiempo de cocción y nivel de cal.

7. El comportamiento del ácido fítico y del hierro ionizable en el proceso de nixtamalización a un tiempo de cocción, un tiempo de remojo y un nivel de cal dado puede predecirse a través de la siguiente ecuación: $y (AF) = -1.5273x_1 + 0.0567x_2 - 1.3743x_3 + 1188.9841$, & $y (Fei) = 0.0035x_1 + 0.0006x_2 + 0.0030x_3 + 0.617$ respectivamente y donde x_1 es tiempo de cocción (min.), x_2 es tiempo de remojo (hrs.) y x_3 es calcio (mg%).



IX. RECOMENDACIONES

- A. Investigar y estudiar otras posibles fuentes del proceso de nixtamalización que pueden afectar la reducción del ácido fítico (como por ejemplo el nivel y la forma de lavado del nixtamal, otros tratamientos térmicos, etc.).
- B. Investigar y estudiar otras posibles fuentes o componentes del grano (por ejemplo la fibra dietética o la proteína) que durante el proceso puedan afectar el comportamiento del ácido fítico y la biodisponibilidad del hierro.
- C. Realizar estudios posteriores del proceso al eliminar el germen del grano, ya que es en éste donde se encuentra concentrado mayormente el ácido fítico; y asociar los niveles de reducción de germen con la reducción del ácido fítico y una mayor biodisponibilidad del hierro.
- D. Realizar un estudio similar pero evaluando la biodisponibilidad de otros minerales como el zinc, que pueden ser también afectados por la presencia del ácido fítico.
- E. Realizar un balance de masa de ácido fítico y hierro biodisponible en cada etapa del proceso para definir los puntos críticos de pérdida o aumento de cada uno de ellos.

F. Realizar un análisis sensorial sobre las diferentes variantes de proceso para definir las condiciones óptimas (nivel de cal, tiempo de cocción, tiempo de remojo) que favorecen a una significativa reducción de ácido fítico y que proporcionen una alta biodisponibilidad de hierro; y que sean aceptables al consumidor, es decir, que no afecten las características organolépticas del producto final de consumo.

G. Difundir los resultados.

X. BIBLIOGRAFÍA

AOAC Official Methods of Analysis, No. 10.077. ABSC: Beer 18.
1984

AOAC Official Methods of Analysis, No. 36.074. JAOCS, 59, 1156(1976).
1984

AOAC Official Methods of Analysis, Iron in Flour. Spectrophotometric Method
1990 Final Action No. 944.02. JAOCS, 27, 86, 396(1944); 28, 77(1945).

Bressani R, Elías L.G, Santos M, Navarrete D, y Scrimshaw N.S. El contenido de
1960 aminoácidos esenciales de diversas selecciones de maíz. Arch. Venez. Nut.
10: 85-100.

Bressani, R. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. Food
1990a Rev. Internat. 6: 225-264.

Bressani, R. El proceso de Nixtamalización. Avances en Alimentación y
1990b Nutrición. 6-7

Clydesdale F. M, Camire A. L. Effect of pH and heat on the binding of iron,
1983 calcium, magnesium, and zinc and the loss of phytic acid in soy flour. J.
Food Sci. 48: 1272-1274.

de Boland A.R, Garner G.B, O'Dell B.L. Identification and properties of "Phytate"
1975 in cereal grains and oilseed products. J. Agric. Food Chem. 23 (6): 1186-
1189.

Desrosiers, N.W. Elementos de Tecnología de Alimentos. Editorial Continental
1990 S.A.. 9a. ed. México. 155-161.

Ellis R, Morris E.R. Relation between phytic acid and trace metals in wheat bran
1981 and soybean. Cereal Chem. 58 (5): 367-370.

Erdeman Jr. J.W. Oilseeds Phytates: Nutritional Implications. JAOCS 56: 736-
1979 741.

Evans W.J, Jacks T.J, McCourtney E.J. The interaction of zinc ion with phytic acid.
1983 J. Food Sci. 48: 1208-1210.

- Faridi H.A, Finney P.L, Rubenthaler G.L. Effect of soda leavening on phytic acid 1983 content and physical characteristics of Middle Eastern breads. J. Food Sci. 48:1654-1658.
- 14 Graf E. Applications of phytic acid. JAOCS 60 (1): 1861-1866. 1983
- Graf E, Eaton J.W. Effects of phytate on mineral bioavailability in mice. J. Nutr. 1984 114: 1192-1198.
- Hallberg L, Rossander L, Skanberg A.B. Phytates and the inhibitory effect of bran 1987 on iron absorption in man. Am. J. Clin. Nutr. 45: 988-996.
- Haug W, Lantzsch, H.J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in 1983 cereal and cereal products. J. Sci. Food Agric. 34: 1423-1426.
- Hunter J.E. Iron availability and absorption in rats fed sodium phytate. J. Nutr. 1981 111: 841-847.
- INCAP. Métodos de Laboratorio, Análisis de alimentos. Guatemala. 116pp. 1978
- Inglett, G.E. Corn: Culture, Processing, Products. AVI Publishing Co. Inc. U.S.A. 1970 369pp.
- Khan N, Zaman R, Elahi, M. Effect of heat treatments on the phytic acid content of 1991 maize products. J. Sci. Food Agric. 54: 153-156.
- Lee K, Abendroth J.A. High performance liquid chromatographic determination of 1983 phytic acid in foods. J. Food Sci. 48: 1344-1345.
- Maga J.A. Phytate: Its Chemistry, Occurrence, Food interactions, Nutritional 1982a significance and Methods of analysis. J. Agric. Food Chem. 30 (1): 1-9.
- Manzaneque-Ramos A. Cocción extrusión. Alimentación, equipos y tecnología: 1992 85-89.
- Mazariegos, D. I y M. Ordoñez. Metodología para la Determinación de hierro 1990 ionizable en harinas por incubación ácida. Guatemala. INCAP. 12pp.
- Mazariegos, D.I. Metodología para la Determinación espectrofotométrica de 1992 hierro inorgánico con alfa, alfa' -Dipiridilo. Guatemala. INCAP. 9pp.

- Mendenhall, W.; R.L. Scheaffer; D.D. Wackerly. Estadística Matemática con 1986 Aplicaciones. 3a Edición. México, D.F., Grupo Editorial Iberoamerica S.A. de C.V. 750pp.
- Morris E.R, Ellis R. Phytate-zinc molar ratio of breakfast cereals and 1981 bioavailability of zinc to rats. Cereal Chem 58 (5): 363-366.
- Naransinga, B.S. y Prabhavathi, T. An in vitro method for predicting the 1978 Bioavailability of Iron in Foods. Am. J. Clin. Nutr. 31: 169-175
- Oberleas D, Harland B.F. Phytate content of foods: Effect on dietary zinc 1981 bioavailability. J. Am. Diet Ass. 79: 433-436.
- O'Dell B.L, de Boland A.R, Koirtiyohann S.R. Distribution of Phytate an 1972 Nutritionally important elements among the morphological components of cereal grains. J. Agric. Food Chem. 20 (3): 718-723.
- Platt S.R, Clydesdale F.M. Binding iron by cellulose, lignin, sodium phytate and 1984 betaglucan, alone and in combinations under simulated gastrointestinal pH conditions. J. Food Sci. 49: 531-535.
- Potter, N. La Ciencia de los Alimentos. Eitorial EDUTEX S. A. 1a ed. México. 1973 509-512pp.
- Ranhotra R, Loewe J, Puyat L.V. Effect of dietary phytic acid on the availability of 1974 iron and phosphorous. Cereal Chem. 51: 323-329.
- Reinhold J. G., García J.S, Garzón P. Binding of iron by fiber of wheat and maize. 1981 Am. J. Clin. Nutr. 34: 1384-1391.
- Rendleman J.A. Cereal complexes: Binding of calcium by bran and components of 1982 bran. Cereal Chem. 59 (4): 302-309.
- Rooney, L.W. Tortillas y alimentos tipo botana de maíz nixtamalizado. Soya 1993 Noticias Oct-Dic: 1-8.
- Saldana G, Brown H.E. Nutritional composition of corn and flour tortillas. J. 1984 Food Sci. 49: 1202-1205.
- Sandberg A.S, Carlsson N.G, Svanberg U. Effects of Inositol tri, tetra, penta and 1989 hexaphosphates on in vitro estimation of iron availability. J. Food Sci. 54 (1): 159-162.

- Sandberg A.S, Svanberg U. Phytate hydrolysis by phytase in cereals: Effects on in vitro estimation of iron availability. J. Food Sci. 56 (5): 1330-1333. 1991
- Serna-Saldivar S.O, Rooney Ll. W, Greene L.W. Effect of lime treatment on the availability of calcium in diets of tortilla an beans: rat growth an balance studies. Cereal Chem. 68 (6): 565-570. 1991
- Simpson K.M, Morris E.R, Cook J.D. The inhibitory effect of bran on iron absorption in man. Am. J. Clin. Nutr. 34: 1469-1478. 1981
- Snieder M, Liebman M. Calcium additives and sprouted wheat effects on phytate hydrolysis in whole wheat bread. J. Food Sci. 57 (1): 118-120. 1992
- Stumpf, P.K. & Conn, E.E. The Biochemistry of plants: Carbohydrates structure and function. Vol. 3. Jack Press and Academic Press. U.S.A. 1984
- Torres-Martinez C, et al. Iron absorption from maize bread. Food and Nutrition Bulletin Vol. 9 (4): 62-69. 1994
- Valle-Vega, P. Toxicología de alimentos. Centro Panamericano de Ecología y Salud, OPS. México. 1986
- Watson, K. et al. Corn, chemistry an technology. Am. Ass. of Cereal Chem. 2nd ed. U.S.A. 605pp. 1991
- Zemel M. B, Shelef L. A. Phytic acid hydrolysis and soluble zinc and iron in whole wheat bread as affected by calcium containing additives. J. Food Sci. 47: 535-537. 1982

ANEXO A

CUADROS

CUADRO No. 1

ANÁLISIS PROXIMAL APROXIMADO DEL GRANO DE MAÍZ

HUMEDAD (%)	16.7
ALMIDÓN (%)	71.5
PROTEÍNA (N+6.27)	9.91
GRASA (%)	4.78
CENIZA (%)	1.42
FIBRA (%)	2.66
AZÚCARES TOTALES (%)	2.58
CAROTENOIDES (ppm)	30

(Potter, 1973)

CUADRO No. 2a

COMPOSICIÓN MINERAL DEL GRANO DE MAÍZ

MINERAL	RANGO (%)	MEDIA (%)
CALCIO	0.00 - 0.45	0.03
FÓSFORO	0.03 - 1.30	0.32
POTASIO	0.03 - 0.92	0.35
MAGNESIO	0.02 - 0.92	0.17
HIERRO	0.001-0.01	0.003
SODIO	0.00 - 0.13	0.01
AZUFRE	0.01 - 0.19	0.12

(Inglett, 1973)

CUADRO No. 2b

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONTENIDO
DE MINERALES EN EL GRANO DE MAÍZ

ELEMENTO	ENTERO 100% Concentración	GERMEN 12% Cantidad (%)	ENDOSPERMA 82% Cantidad (%)	CÁSCARA 6% Cantidad (%)
TOTAL P%	0.3	2.04 (80)	0.05 (13.3)	0.13 (2.3)
FITATO P%	0.25	1.80 (88)	0.01 (3.2)	0.02 (0.4)
Zn (ppm)	18.8	106.0 (68)	6.66 (29.1)	20.3 (6.3)
Fe (ppm)	20.9	145.0 (83)	10.7 (42.1)	31.8 (8.8)
Mn (ppm)	5.2	34.6 (80)	2.25 (35.6)	15.8 (18.0)
Cu (ppm)	1.5	7.28 (58)	0.87 (48.0)	7.25 (28.0)
Ca (ppm)	44	109.0 (25)	29.5 (50.0)	582.0 (75)
Mg (%)	0.11	0.84 (90)	0.02 (14.5)	0.08 (4.5)
K (%)	0.35	1.69 (71)	0.07 (16.3)	0.25 (4.3)

CUADRO No. 2c

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONTENIDO
DE MINERALES EN EL GRANO DE MAÍZ DE ALTO CONTENIDO LISINA

ELEMENTO	ENTERO 100% Concentración	GERMEN 12% Cantidad (%)	ENDOSPERMA 82% Cantidad (%)	CÁSCARA 6% Cantidad (%)
TOTAL P%	0.31	1.78 (87)	0.03 (6.5)	0.10 (3.2)
FITATO P%	0.27	1.61 (89)	0.01 (3.0)	0.07 (1.5)
Zn (ppm)	21.5	93.6 (65)	8.57 (2.1)	33.5 (9.4)
Fe (ppm)	2.22	115.0 (78)	7.96 (31.4)	49.0 (13)
Mn (ppm)	6.78	25.2 (56)	2.24 (26.1)	18.0 (16)
Cu (ppm)	1.5	5.62 (56)	0.69 (36.0)	8.40 (34)
Ca (ppm)	52	82.1 (20)	30.9 (40.0)	466.0 (60)
Mg (%)	0.12	0.74 (92)	0.01 (6.7)	0.05 (2.5)
K (%)	0.49	1.97 (65)	0.11 (18.4)	0.42 (6.1)

CUADRO No. 3

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LAS TORTILLAS
DE MAÍZ Y TORTILLAS DE HARINA DE MAÍZ

ELEMENTO	TORTILLAS MAÍZ			TORTILLAS HARINA		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
H %	43	38.2	40.5	29.3	25.2	26.9
Ceniza %	1.1	0.9	1.1	2.9	1.7	2.1
Grasa %	1	0.8	0.9	10	3.6	7.7
Fibra %	1.7	1.3	1.4	1.6	0.4	1.3
Proteína %	6.1	5.4	5.8	8.1	7	7.3
Carbohi. %	52.7	48	50.3	59	51.3	54.5
Calorías	235.7	217.1	226.3	313.4	282	296.3
Fe mg%	1.8	1.2	1.5	1.9	1	1.5
Ca mg%	210	87.3	163.6	103.4	27.2	60.7
K mg%	154.7	104.5	125.7	110.5	89	99
Na mg%	26.5	16.7	19.3	700.5	371.2	574.4
P mg%	66.4	52.8	57.5	98.3	61	77
Vit C mg%	*	*	*	*	*	*
Caroteno	*	*	*	*	*	*
Tiamina	0.22	0.04	0.13	0.42	0.18	0.35
Rivoflavina	0.12	0.06	0.08	0.32	0.07	0.22
Niacina	1.4	0.85	1.1	4.3	1.6	3.4

(Saldana y Brown, 1984)

* Trazas, no detectable

** Valores promedios de cinco fábricas mexicanas estudiadas

CUADRO No. 4

**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LAS TORTILLAS
Y PRODUCTOS DE MAÍZ NIXTAMALIZADOS**

ELEMENTO	PRODUCTO DE MAÍZ COCIDO CON CAL			
	TORTILLA HARINA	TORTILLA SUAVE	TORTADITA DE MAÍZ	TOSTADITA TORTILLA
H %	29.6	41.9	0.9	1.6
Energía cal	351.3	238.3	573.1	514.3
E. Digerible	331.2	223.5	-----	487
Proteína g	7.2	6.5	6.3	7.6
P. Digerible	6.4	5.4	-----	6.2
Grasa %	9.8	2.5	36.6	23.9
Ceniza %	2.2	0.9	1.9	1.1
Fibra DT g	-----	7.4	-----	12.4
FD insoluble	-----	6.3	-----	9
FD soluble	-----	1.1	-----	3.1
Almidón	-----	44.9	-----	59.9
Ca mg%	42.2	92.8	105	124
P mg%	77	162.6	177.5	208.6
Mg mg%	84.8	69.7	76.1	89.4
Na mg%	573	13.3	1091.1	-----
K mg%	99	205.3	211.2	-----
Fe mg%	1.5	2.5	2.9	3.5
Zn mg%	0.6	2.5	2.5	3
Cu mg%	0.8	0.07	0.09	0.11

(Rooney, 1993)

* Base: 100 g de producto

** Valores promedios de cinco fábricas mexicanas estudiadas

CUADRO No. 5

CONCENTRACIÓN DE ACIDO FÍTICO EN LOS
COMPONENTES MORFOLÓGICOS DE CEREALES

MUESTRA	% ACIDO FÍTICO	DISTRIBUCIÓN EN %
<u>MAÍZ</u>		
HÍBRIDO	0.89	-----
GERMEN	6.38	88
ENDOSPERMA	0.04	3.2
CÁSCARA	0.07	0.4
<u>TRIGO</u>		
SUAVE	1.13	-----
GERMEN	3.9	12.9
ENDOSPERMA	< 0.01	2.2
ALEURONA	4.11	87.1
CÁSCARA	No detectable	No detectable
<u>ARROZ</u>		
CAFÉ	0.89	-----
GERMEN	3.48	7.6
ENDOSPERMA	0.01	1.2
PERICARPIO	3.37	80

(Erdman, 1979)

CUADRO No. 6

CONCENTRACIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO VARIAS SEMILLAS

MUESTRA	% ÁCIDO FÍTICO
<u>FRIJOL DE SOYA</u>	1.4
HARINA	1.4 - 1.6
HOJUELAS	1.8
AISLADO DE PROTEÍNA	
CONCENTRADO	1.6 - 2.2
<u>SEMILLA DE SÉSAMO</u>	5.3
HARINA DESCASCARADA	3.6
<u>MANÍ</u>	1.9
HARINA	1.7
<u>SEMILLA DE ALGODÓN</u>	60
HARINA	2.9 - 4.8
<u>SEMILLA DE GIRASOL</u>	1.9
<u>ARROZ</u>	2.2
<u>CEBADA</u>	1
<u>AVENA</u>	0.8

(Erdman, 1979)

CUADRO No. 7

DISEÑO EXPERIMENTAL: VARIABLES DEL PROCESO Y RELACION ENTRE ELLAS

TRATAMIENTO No.	NIVEL DE CAL (%)	TIEMPO COCCIÓN (min)	TIEMPO REMOJO (hrs.)	Muestras* No.
1	0.0	55	0	1
2			12	1
3		65	0	1
4			12	1
5		75	0	1
6			12	1
7	0.4	55	0	1
8			12	1
9		65	0	1
10			12	1
11		75	0	1
12			12	1
13	0.8	55	0	1
14			12	1
15		65	0	1
16			12	1
17		75	0	1
18			12	1
19	1.2	55	0	1
20			12	1
21		65	0	1
22			12	1
23		75	0	1
24			12	1

TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ESTUDIO: $M = 75$ muestras

* Número de muestras por tratamiento: Una (1) que corresponde al Nixtamal

Por tanto el estudio consta de 24 diferentes tratamientos que se realizaran en triplicado y se tendrá tres muestras adicionales de grano crudo, lo que da el tamaño de la muestra.

$M = 25 \times 3 = 75$

CUADRO No. 8

**FORMA COMO SE PRESENTAN LOS RESULTADOS DEL ANALISIS
DE REGRESIÓN MULTIPLE Y ESTADISTICAS ADICIONALES (F)**

m_1	m_{n-1}	...	m_2	m_1	b
se_1	se_{n-1}	...	se_2	se_1	se_b
r^2	se_y				
F	df				
ssreg	ssresid				

La ecuación de la recta es: $y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + b$

donde el valor y dependiente es una función de los valores x independientes. Los valores m son coeficientes que corresponden a cada valor x ; b es un valor constante.

En el Cuadro No. 8 los términos son:

$se_1; se_2; \dots; se_n$	Los valores de error típico para los coeficientes m_1, m_2, \dots, m_n .
se_b	EL valor de error típico para la constante b ($se_b = \#N/A$ cuando el argumento constante es FALSO).
r^2	El coeficiente de determinación. Compara los valores estimados y reales de y , y su valor fluctúa entre 0 y 1. Si es 1, existe una correlación perfecta en la muestra (no hay diferencia entre el valor y estimado y el valor y real). Por otra parte, si el coeficiente de determinación es 0, la ecuación de regresión no es útil para predecir un valor y .
se_y	El error típico para la estimación y .
F	La estadística F o el valor F observado. Utilice la estadística F para determinar si la relación observada entre las variables dependientes e independientes ocurre aleatoriamente.
df	Los grados de libertad. El uso de los grados de libertad le ayudará a encontrar valores F críticos en una tabla estadística. Compare los valores que encuentre en la tabla con la distribución F devuelta por ESTIMACION.LINEAL, para determinar el nivel de confianza para el modelo.
ssreg	La suma de regresión de cuadrados.
ssresid	La suma residual de cuadrados.

NOTA: En los análisis de regresión, Microsoft Excel calcula, para cada punto, el cuadrado de la diferencia entre los valores y estimados y los reales. La suma de estas diferencias cuadradas se conoce como la "suma residual de cuadrados". Después, Microsoft Excel calcula la suma de las diferencias cuadradas entre los valores y reales y la media de los valores y , lo que se conoce como la "suma total de cuadrados" (suma de regresión de cuadrados + suma residual de cuadrados). Cuanto más pequeña sea la suma residual de cuadrados en comparación con la suma total de cuadrados, mayor será el valor del coeficiente de determinación r^2 , que es un indicador de lo bien que la ecuación resultante del análisis de regresión explica la relación entre las variables.

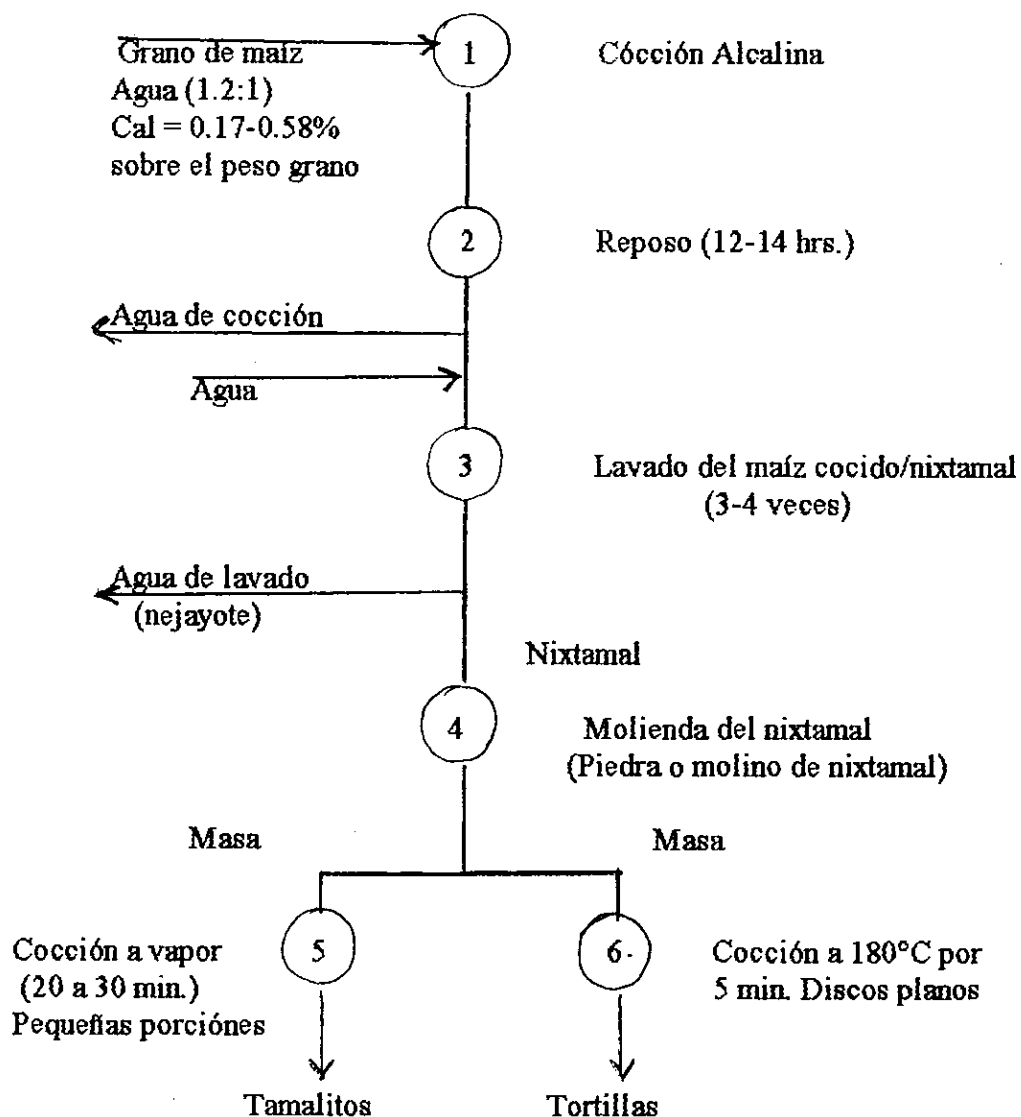
ANEXO B

DIAGRAMAS



DIAGRAMA No. 1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN
A NIVEL TRADICIONAL POPULAR (RURAL)



(Bressani, 1990)

DIAGRAMA No. 2

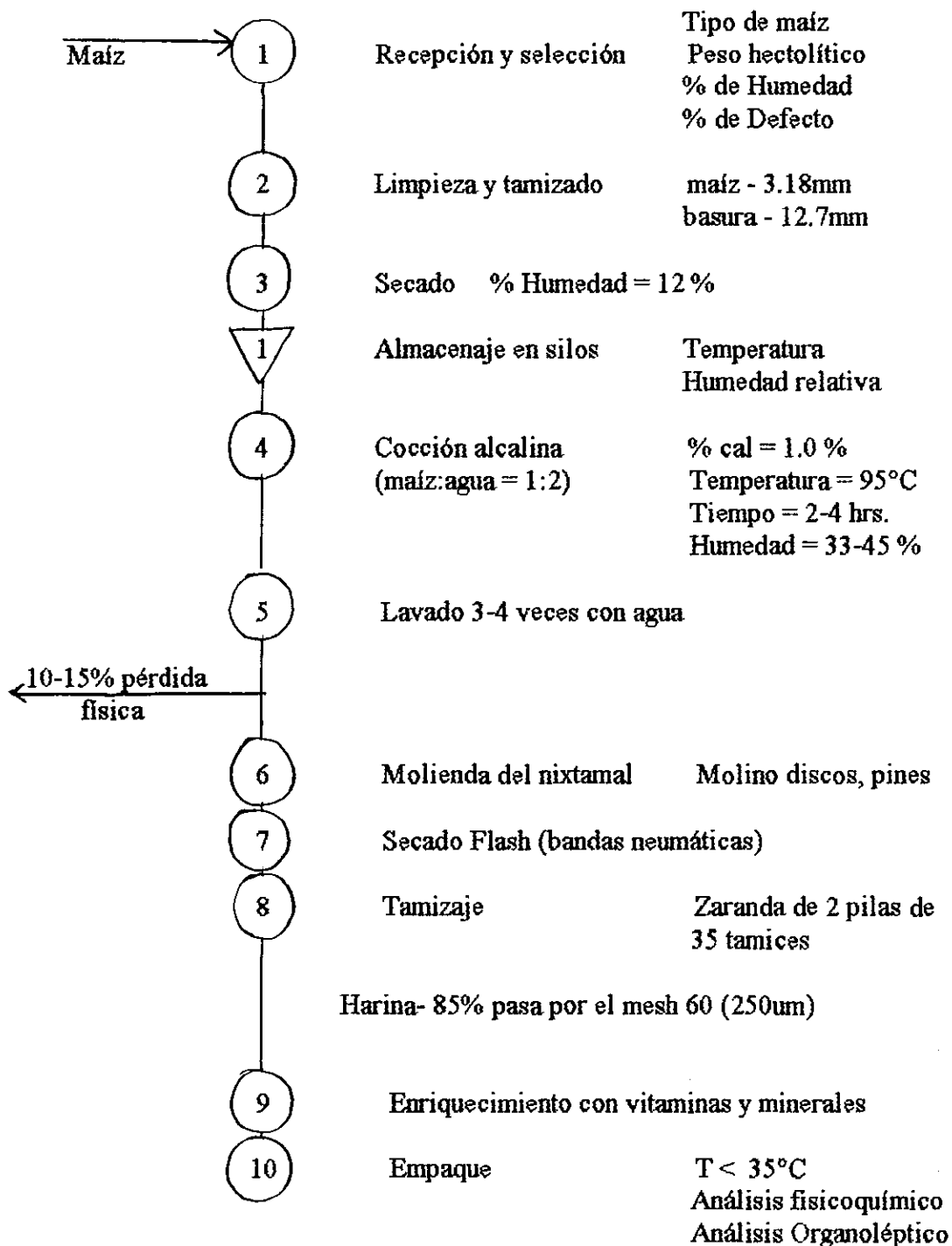
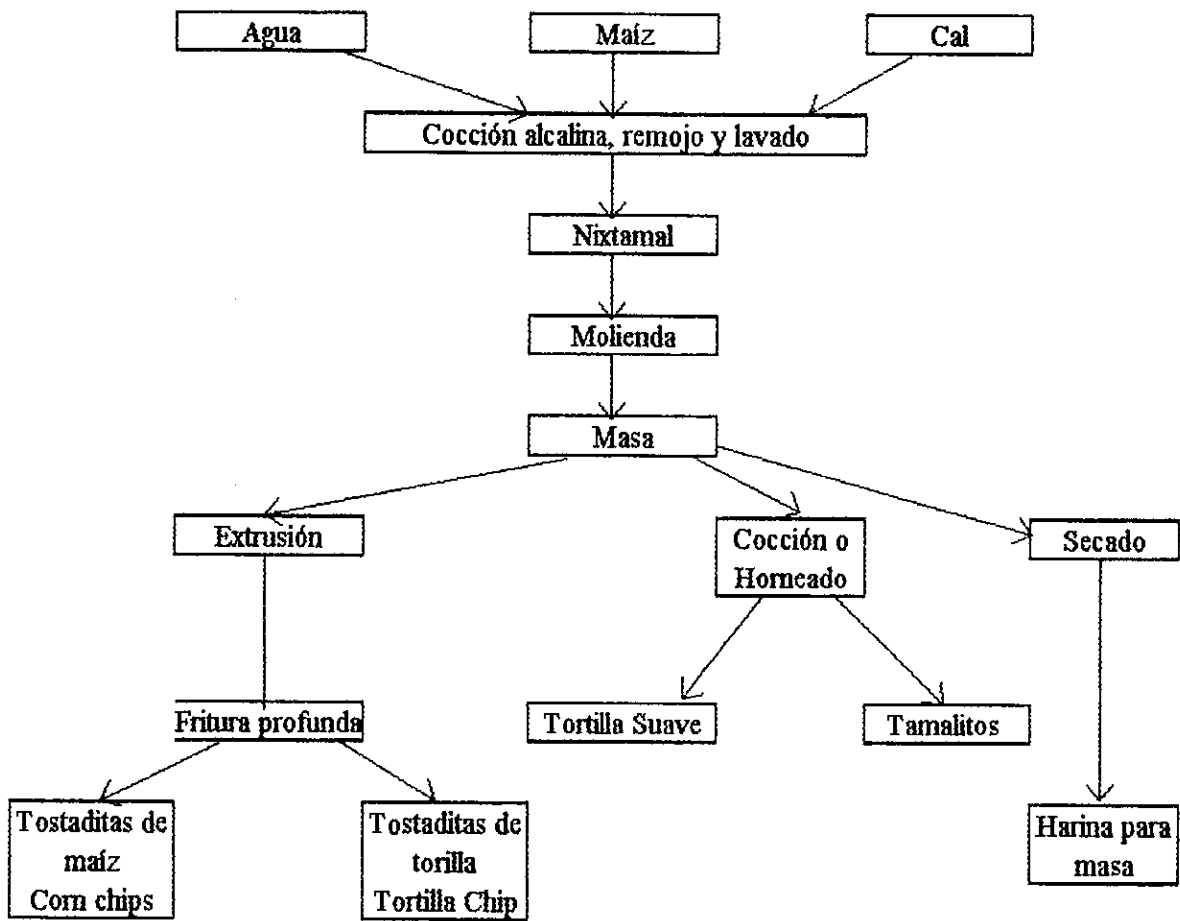
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓNA NIVEL INDUSTRIAL (INHSA-TORTIYÁ)

DIAGRAMA No. 3

**DIVERSOS PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR
DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN**

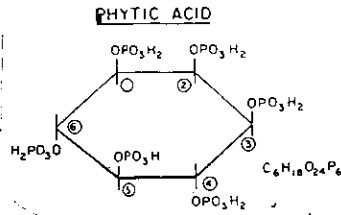


(Rooney, 1993)

DIAGRAMA No. 4

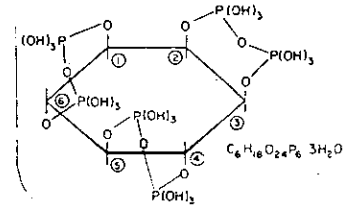
ESTRUCTURAS DEL ÁCIDO FÍTICO

A



ESTRUCTURA ANDERSON

B



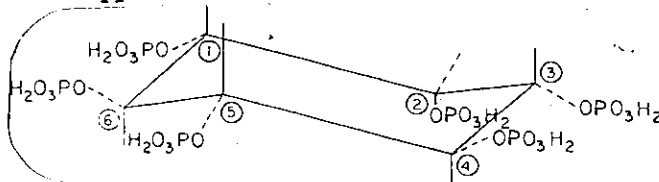
ESTRUCTURA NEUBERG

Diagrama No. 4 Estructuras más aceptadas para el ácido fítico; propuestas por Anderson y Neuberg (Erdman, 1979).

DIAGRAMA No. 5

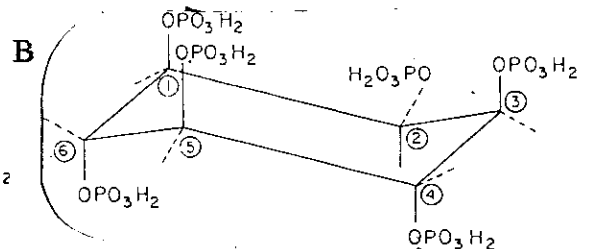
ESTRUCTURAS CONFORMACIONALES DEL ÁCIDO FÍTICO

A



ESTRUCTURA BLANK, ET AL.

B



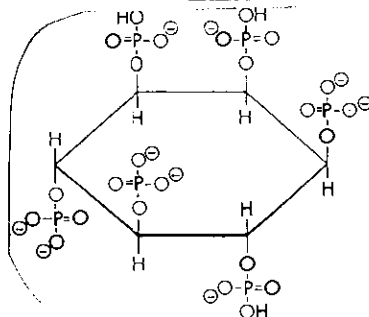
ESTRUCTURA JOHNSON Y TATE

Diagrama No. 5 Estructuras conformacionales señaladas por Blank et al. (A) y por Johnson y Tate (B) (Erdman, 1979).

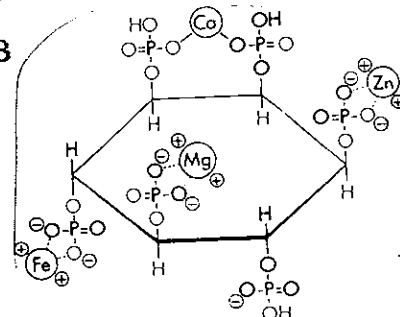
DIAGRAMA No. 6

ESTRUCTURAS DEL ÁCIDO FÍTICO Y COMO QUELATO

A



B



ANEXO C

TABLAS DE RESULTADOS

**TABLA No. 1 COMPORTAMIENTO DEL ACIDO FITICO
EN EL PROCESO DE NIXTAMALIZACION**

TIPO DE MUESTRA	PROCESO INDUSTRIAL		PROCESO TRADICIONAL	
	[AF, mg%]	% Reducción *	[AF, mg%]	% Reducción *
MAÍZ	1060.00	-----	1116.67	-----
NIXTAMAL	846.67	20.13%	740.00	33.73%
MASA	-----	-----	730.00	34.63%
HARINA NF	676.67	36.16%	-----	-----
HARINA	690.00	34.91%	-----	-----
TORTILLA	683.33	35.53%	726.67	34.93%

* PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL AF DE ACUERDO A LA CANTIDAD INICIAL EN EL MAÍZ
** RESULTADOS PROMEDIO DE TRIPLICADOS

TABLA No. 2a. RELACION DEL ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL, HIERRO BIODISPONIBLE Y CALCIO EN EL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN

MUESTRA	Fe T. ppm	Fe B. ppm	CALCIO [mg%]	AF [mg%]
MAÍZ	15.96	0.93	47	1060.00
NIXTAMAL	23.49	1.32	170.5	846.67
HARINA NF	22.21	1.29	164.4	676.67
HARINA	103.81	3.71	162.1	690.00
TORTILLA	102.52	2.45	164	683.33

TABLA No. 2b. RELACION DEL ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL, HIERRO BIODISPONIBLE Y CALCIO EN EL PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACIÓN

MUESTRA	Fe T. ppm	Fe B. ppm	CALCIO [mg%]	AF [mg%]
MAÍZ	18.81	0.87	43.21	1116.67
NIXTAMAL	26.41	1.57	240.3	740.00
MASA	24.89	1.38	221.1	730.00
TORTILLA	21.84	1.3	227.5	726.67

**TABLA No. 3 RESULTADOS PROMEDIO DEL ANALISIS
QUIMICO DEL GRANO DE MAÍZ**

ELEMENTO	RESULTADOS PROMEDIO **
Humedad %	16.20
Calcio (mg%)	41.50
Hierro Total (ppm)	19.80
Hierro Ionizable (ppm)	0.91
Ácido Fítico (mg%)	1113.33

** Resultados Promedio de Triplicados de maíz

TABLA No. 4
Resultados De La Nixtamalización Del Maíz Utilizando Tres Variables:
Nivel De Cal, Tiempo De Cocción y Tiempo De Remojo

Nivel Cal (%)	t. Cocción (min)	t. Remojo (horas)	Calcio (mg %)	Acido Fólico (mg %)	Hierro Total (ppm)	Hierro Ionizable (ppm)
0	55	0	40.42	1013.56	18.82	0.88
			37.90	1006.78	18.62	0.90
			39.01	1091.53	20.96	0.99
		12	40.51	1053.16	20.67	0.94
			37.62	1099.67	19.75	0.85
			37.71	1063.12	21.01	0.89
	65	0	39.18	1046.82	20.69	0.87
			37.86	1043.48	19.93	0.94
			34.54	1050.17	20.73	0.92
		12	43.58	980.13	22.34	1.02
			42.78	986.75	20.38	1.07
			41.65	1000.00	19.26	1.08
75	0	43.90	1056.67	21.41	1.03	
		43.52	1046.67	20.26	0.99	
		43.30	973.33	20.02	0.93	
	12	42.44	973.42	19.65	0.94	
		40.42	1026.58	20.56	0.98	
		38.98	1056.48	21.22	0.95	
0.4	55	0	87.96	1006.71	21.24	1.06
			82.12	979.87	22.04	1.03
			82.39	993.29	20.92	1.00
		12	111.57	989.97	22.02	1.04
			108.80	989.97	21.71	1.10
			103.60	993.31	20.93	1.11
	65	0	88.85	983.33	21.62	1.12
			93.46	966.67	22.28	1.14
			93.89	963.33	21.06	1.13
		12	116.44	979.93	20.88	1.10
			111.68	983.28	21.58	1.11
			119.50	963.21	21.27	1.15
75	0	103.13	959.73	21.69	1.22	
		96.49	986.58	21.24	1.15	
		101.98	969.80	22.42	1.19	
	12	123.18	943.71	22.55	1.20	
		113.06	947.02	21.40	1.21	
		115.79	947.02	20.14	1.22	

(Continuación de la Tabla No. 4)

**Resultados De La Nixtamalización Del Maíz Utilizando Tres Variables:
Nivel De Cal, Tiempo De Cocción y Tiempo De Remojo**

Nivel Cal (%)	t. Cocción (min.)	t. Remojo (horas)	Calcio (mg %)	Acido Fítico (mg %)	Hierro Total (ppm)	Hierro Ionizable (ppm)
0.8	55	0	120.28	880.40	22.34	1.30
			128.38	877.08	22.50	1.24
			138.04	893.69	20.96	1.33
		12	144.26	870.00	22.01	1.26
			142.98	873.33	22.31	1.31
			140.30	890.00	22.53	1.33
	65	0	149.52	885.52	22.14	1.32
			132.09	868.69	21.94	1.37
			149.86	865.32	22.44	1.34
		12	137.51	855.70	23.44	1.44
			154.60	848.99	22.27	1.35
			147.13	855.70	22.22	1.31
75	0	158.82	836.12	22.43	1.46	
		142.67	842.81	21.60	1.34	
		150.48	829.43	23.17	1.34	
	12	170.12	820.60	24.11	1.33	
		154.16	813.95	23.84	1.40	
		179.56	807.31	23.11	1.46	
1.2	55	0	204.28	823.92	22.66	1.35
			221.90	830.56	23.97	1.46
			226.08	830.56	22.86	1.32
		12	225.78	804.64	22.45	1.58
			222.84	801.32	22.83	1.45
			220.79	807.95	22.68	1.46
	65	0	228.46	798.66	22.74	1.42
			233.62	781.88	23.42	1.40
			219.18	822.15	23.43	1.58
		12	225.84	810.17	24.29	1.56
			228.92	806.78	22.20	1.43
			236.32	776.27	22.16	1.58
75	0	232.33	763.33	23.78	1.56	
		229.23	740.00	24.41	1.53	
		235.36	750.00	25.08	1.58	
	12	241.56	738.41	24.92	1.68	
		239.45	728.48	26.50	1.54	
		239.30	715.23	24.87	1.61	

TABLA No. 5
Resultados Promedio De La Nixtamalización Del Maíz Utilizando Tres Variables:
Nivel De Cal, Tiempo De Cocción y Tiempo De Remojo

Tratamiento #	Nivel Cal (%)	t. Cocción (min)	t. Remojo (horas)	Calote (mg %)	Acido Fítico (mg %)	Hierro Total (mg %)	Hierro Ionizable (mg %)
1	0	55	0	39.11	1037.29	19.47	0.92
2			12	38.61	1071.98	20.48	0.89
3		65	0	37.19	1046.82	20.45	0.91
4			12	42.67	988.96	20.66	1.06
5		75	0	43.57	1025.56	20.56	0.98
6			12	40.61	1018.83	20.48	0.96
7	0.4	55	0	84.16	993.29	21.40	1.03
8			12	107.99	991.08	21.55	1.08
9		65	0	92.07	971.11	21.65	1.13
10			12	115.87	975.47	21.24	1.12
11		75	0	100.53	972.04	21.78	1.19
12			12	117.34	945.92	21.36	1.21
13	0.8	55	0	128.90	883.72	21.93	1.29
14			12	142.51	877.78	22.28	1.30
15		65	0	143.82	873.18	22.17	1.34
16			12	146.41	853.47	22.64	1.37
17		75	0	150.66	836.12	22.40	1.38
18			12	167.95	813.95	23.69	1.40
19	1.2	55	0	217.42	828.35	23.16	1.38
20			12	223.14	804.64	22.65	1.50
21		65	0	227.09	800.89	23.20	1.47
22			12	230.36	797.74	22.88	1.52
23		75	0	232.31	751.11	24.42	1.56
24			12	240.10	727.37	25.43	1.61

TABLA No. 6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE
 LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN A UN NIVEL
 CONSTANTE DE CAL Y REMOJO* Y EL CONTENIDO DE
 ÁCIDO FÍTICO Y HIERRO IONIZABLE

TRATAMIENTOS COMPARADOS	Fértica**	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		RESULTADO
		RELACION	Fesperimental	RELACION	Fesperimental	
T1, T3, T5	10.92	>	0.34	>	0.19	No hay diferencia significativa.
T2, T4, T6	10.92	>	5.80	>	7.43	No hay diferencia significativa.
T7, T9, T11	10.92	>	2.19	>	7.30	No hay diferencia significativa.
T8, T10, T12	10.92	<	19.98	<	17.12	Si hay diferencia significativa.
T13, T15, T17	10.92	<	26.68	<	12.75	Si hay diferencia significativa.
T14, T16, T18	10.92	<	58.44	<	12.21	Si hay diferencia significativa.
T19, T21, T23	10.92	<	27.64	<	14.61	Si hay diferencia significativa.
T20, T22, T24	10.92	<	25.75	<	11.96	Si hay diferencia significativa.

* Para el Análisis de Varianza se agruparon los tratamientos de acuerdo al nivel de cal y tiempo de remojo constante y variando únicamente el tiempo de cocción.
 ** Fértica a $v1 = 2$ y $v2 = 6$, $p = 3$ y $n = 9$ (Mendenhall, 1992) a un 0.01 % de nivel de confianza.

TABLA No. 7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE
 LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL A UN TIEMPO
 CONSTANTE DE COCCIÓN Y REMOJO* Y EL CONTENIDO DE
 ÁCIDO FÍTICO Y HIERRO IONIZABLE

TRATAMIENTOS COMPARADOS	Fórmula**	— ÁCIDO FÍTICO —		— HIERRO IONIZABLE —		RESULTADO
		RELACION	Experimental	RELACION	Experimental	
T1, T7, T13, T19	7.59	<	40.14	<	46.06	Si hay diferencia significativa.
T2, T8, T14, T20	7.59	<	242.20	<	82.20	Si hay diferencia significativa.
T3, T9, T15, T21	7.59	<	223.81	<	61.19	Si hay diferencia significativa.
T4, T10, T16, T22	7.59	<	185.39	<	50.80	Si hay diferencia significativa.
T5, T11, T17, T23	7.59	<	76.35	<	86.42	Si hay diferencia significativa.
T6, T12, T18, T24	7.59	<	101.74	<	95.67	Si hay diferencia significativa.

* En el Análisis de Varianza se agruparon los tratamientos de acuerdo a tiempo de cocción y remojo constante y variando únicamente el nivel de cal (0.0, 0.2, 0.8, 1.2)
 ** Fórmula a v1 = 3 y v2 = 8, p = 4 y n = 12 (Mendenhall, 1992) a un nivel de 0.01% de confianza

**TABLA No. 8 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE
EL TIEMPO DE REMOJO A UN NIVEL
CONSTANTE DE CAL Y DE TIEMPO DE COCCIÓN* Y EL CONTENIDO DE
ÁCIDO FÍTICO Y HIERRO IONIZABLE**

TRATAMIENTOS COMPARADOS	ACIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		RESULTADO
	Fcrítica**	Relación Fexperimental	Relación Fexperimental	Fexperimental	
T1, T2	21.20	>	3.17	0.49	No hay diferencia significativa.
T3, T4	21.20	>	4.00	27.66	No hay diferencia significativa.
T5, T6	21.20	>	0.06	0.72	No hay diferencia significativa.
T7, T8	21.20	>	0.00	3.65	No hay diferencia significativa.
T9, T10	21.20	>	0.00	0.38	No hay diferencia significativa.
T11, T12	21.20	>	0.00	7.22	No hay diferencia significativa.
T13, T14	21.20	>	4.00	0.09	No hay diferencia significativa.
T15, T16	21.20	>	8.00	0.32	No hay diferencia significativa.
T17, T18	21.20	>	6.00	0.06	No hay diferencia significativa.
T19, T20	21.20	>	4.00	4.05	No hay diferencia significativa.
T21, T22	21.20	>	0.00	0.59	No hay diferencia significativa.
T23, T24	21.20	>	0.31	0.35	No hay diferencia significativa.

* Para el Análisis de Varianza se agruparon los tratamientos de acuerdo al nivel de cal y tiempo de cocción constante y variando únicamente el tiempo remojo.

** Fcrítica a $v1 = 1$ y $v2 = 4$, $p = 2$ y $n = 6$ (Mendenhall, 1992) a un 0.01 % de nivel de confianza.

**TABLA No. 9a PORCENTAJE DE REDUCCIÓN O AUMENTO* DEL
ÁCIDO FÍTICO, HIERRO IONIZABLE Y CALCIO
EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS**

MAIZ	Acido Fítico 1113.33 mg %	Calcio 41.5mg%	Hierro Ionizable 0.91 ppm
-------------	-------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------

Nixtamal* #	Acido Fítico % Reducción**	Calcio % Aumento**	Hierro Ionizable % Aumento**
-----------------------	--------------------------------------	------------------------------	--

1	6.83	-4.82	1.10
2	3.71	-6.96	-2.20
3	5.97	-10.39	0.00
4	11.17	2.82	16.48
5	7.88	4.99	7.69
6	8.49	-2.14	5.49
7	10.78	102.80	13.19
8	10.98	160.22	18.68
9	12.77	121.86	24.18
10	12.38	179.20	23.08
11	12.69	142.24	30.77
12	15.04	182.75	32.97
13	20.62	210.60	41.76
14	21.16	243.40	42.86
15	21.57	246.55	47.25
16	23.34	252.80	50.55
17	24.90	263.04	51.65
18	26.89	304.70	53.85
19	25.60	423.90	51.65
20	27.73	437.69	64.84
21	28.06	447.20	61.54
22	28.35	455.08	67.03
23	32.53	459.78	71.43
24	34.67	478.55	76.92

*Nixtamal correspondiente a cada uno de los diferentes 24 tratamientos.

**El Porcentaje de aumento o reducción está en base de la cantidad inicial en el grano

Fuente: Tabla No. 3 y No. 5

TABLA No. 9b.
Correlación Entre El Porcentaje De Hierro Ionizable (pH=7.5) Y El Porcentaje De
Hierro Absorvido In Vivo En Adultos

MAIZ	Acido Fítico 1113.33 mg %	Hierro Total 19.88 ppm	Hierro Ionizable 0.91 ppm	Fel (pH=7.5) 4.60 %	Hierro Absorvido** 2.65 %
-------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Nixtamal* #	Acido Fítico (mg %)	Hierro Total (ppm)	Hierro Ionizable (ppm)	Fel (pH=7.5) % (X)	Hierro Absorvido** % (Y)	% Aumento De Absorción***
-----------------------	-------------------------------	------------------------------	----------------------------------	------------------------------	------------------------------------	--

1	1037.29	19.47	0.92	4.74	2.72	2.46
2	1071.98	20.48	0.89	4.36	2.54	-4.29
3	1046.82	20.45	0.91	4.45	2.58	-2.75
4	988.96	20.66	1.06	5.11	2.89	9.06
5	1025.56	20.56	0.98	4.78	2.73	3.15
6	1018.83	20.48	0.96	4.67	2.68	1.20
7	993.29	21.40	1.03	4.81	2.75	3.71
8	991.08	21.55	1.08	5.03	2.85	7.49
9	971.11	21.65	1.13	5.22	2.94	10.91
10	975.47	21.24	1.12	5.27	2.96	11.86
11	972.04	21.78	1.19	5.45	3.05	14.98
12	945.92	21.36	1.21	5.66	3.15	18.82
13	883.72	21.93	1.29	5.88	3.25	22.68
14	877.78	22.28	1.30	5.83	3.23	21.84
15	873.18	22.17	1.34	6.06	3.33	25.82
16	853.47	22.64	1.37	6.04	3.32	25.42
17	836.12	22.40	1.38	6.16	3.38	27.64
18	813.95	23.69	1.40	5.90	3.26	22.95
19	828.35	23.16	1.38	5.94	3.28	23.78
20	804.64	22.65	1.50	6.61	3.59	35.57
21	800.89	23.20	1.47	6.32	3.46	30.52
22	797.74	22.88	1.52	6.66	3.62	36.46
23	751.11	24.42	1.56	6.37	3.48	31.43
24	727.37	25.43	1.61	6.33	3.46	30.67

*Nixtamal correspondiente a cada uno de los diferentes 24 tratamientos. (Ver descripción de cada tratamiento).

**La relación entre el porcentaje de hierro ionizable a pH=7.5 (X) y el porcentaje de hierro absorbido in vivo (Y) es: $Y = 0.4827 + 0.4707X$.

***El porcentaje del aumento de absorción es con respecto del grano crudo: $[Y (\text{De cada tratamiento}) - Y (\text{Del maíz})] / Y (\text{Del maíz}) * 100$.

TABLA No. 10 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	1037.29	7.3	1.08	18.7	2.72
65	1046.82	6.4	1.12	23.1	2.58
75	1025.56	8.6	1.21	33.0	2.73

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 0 % de cal y 0 horas de remojo.

TABLA No. 11 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	1071.98	3.9	1.29	41.8	2.54
65	988.96	12.6	1.34	47.3	2.89
75	1018.83	9.3	1.38	51.6	2.68

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 0 % de cal y 12 horas de remojo.

TABLA No. 12 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	993.29	12.1	1.3	42.9	2.75
65	971.11	14.6	1.37	50.5	2.94
75	972.04	14.5	1.4	53.8	3.05

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 0.4 % de cal y 0 horas de remojo.

TABLA No. 13 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	991.08	12.3	1.38	51.6	2.85
65	975.47	14.1	1.47	61.5	2.96
75	945.92	17.7	1.56	71.4	3.15

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 0.4 % de cal y 12 horas de remojo.

TABLA No. 14 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	883.72	26.0	1.5	64.8	3.15
65	873.18	27.5	1.52	67.0	3.33
75	836.12	33.2	1.61	76.9	3.38

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 0.8 % de cal y 0 horas de remojo.

TABLA No. 15 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	877.78	26.8	0.92	1.1	3.23
65	853.47	30.4	0.91	0.0	3.32
75	813.95	36.8	0.98	7.7	3.26

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 0.8 % de cal y 12 horas de remojo.

TABLA No. 16 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	828.35	34.4	0.89	-2.2	3.28
65	800.89	39.0	1.06	16.5	3.46
75	751.11	48.2	0.96	5.5	3.48

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 1.2 % de cal y 0 horas de remojo.

TABLA No. 17 REDUCCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN

TIEMPO DE COCCIÓN (min)	ÁCIDO FÍTICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido In Vivo %
	(mg %)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
55	804.64	38.4	1.03	13.2	3.59
65	797.74	39.6	1.13	24.2	3.62
75	777.37	53.1	1.19	30.8	3.46

FUENTE: Tabla No. 5, Tabla No. 6.

*% de reducción con respecto al contenido del AF en el grano crudo.

**% de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 1.2 % de cal y 0 horas de remojo.

TABLA No.17 REDUCCION DEL ACIDO FITICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL

NIVEL CAL %	CALCIO (mg%)	ACIDO FITICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido in Vitro %
		(mg%)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
0.0	39.11	1037.29	6.83	0.92	1.1	2.69
0.4	84.16	993.29	10.78	1.03	13.2	2.74
0.8	128.90	883.72	20.62	1.29	41.8	3.26
1.2	217.40	828.35	25.60	1.38	51.6	3.26

Fuente: Tabla No. 5, Tabla No. 7.

* % de reducción con respecto al contenido de AF en el grano crudo.

** % de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 55 min de cocción y 0 horas de remojo.

TABLA No. 18 REDUCCION DEL ACIDO FITICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL

NIVEL CAL %	CALCIO (mg%)	ACIDO FITICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido in Vitro %
		(mg%)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
0.0	36.61	1071.98	3.71	0.89	-2.2	2.54
0.4	107.99	991.08	10.98	1.08	18.7	2.85
0.8	142.50	877.78	21.16	1.30	42.9	3.23
1.2	223.10	804.64	27.73	1.50	64.8	3.59

Fuente: Tabla No. 5, Tabla No. 7.

* % de reducción con respecto al contenido de AF en el grano crudo.

** % de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 55 min de cocción y 12 horas de remojo.

TABLA No. 19 REDUCCION DEL ACIDO FITICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL

NIVEL CAL %	CALCIO (mg%)	ACIDO FITICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido in Vitro %
		(mg%)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
0.0	37.2	1046.82	5.97	0.91	0.0	2.58
0.4	92.1	971.11	12.77	1.13	24.2	2.94
0.8	143.8	873.18	21.57	1.34	47.3	3.33
1.2	227.1	800.89	28.06	1.47	61.5	3.46

Fuente: Tabla No. 5, Tabla No. 7.

* % de reducción con respecto al contenido de AF en el grano crudo.

** % de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 65 min de cocción y 0 horas de remojo.

TABLA No. 20 REDUCCION DEL ACIDO FITICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL

NIVEL CAL %	CALCIO (mg%)	ACIDO FITICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido in Vivo %
		(mg%)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
0.0	42.7	988.96	11.17	1.06	16.5	2.89
0.4	115.9	975.47	12.38	1.12	23.1	2.96
0.8	146.4	853.47	23.34	1.37	50.5	3.23
1.2	230.4	797.74	28.35	1.52	67.0	3.62

Fuente: Tabla No. 5, Tabla No. 7.

* % de reducción con respecto al contenido de AF en el grano crudo.

** % de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 65 min de cocción y 12 horas de remojo.

TABLA No. 21 REDUCCION DEL ACIDO FITICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL

NIVEL CAL %	CALCIO (mg%)	ACIDO FITICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido in Vivo %
		(mg%)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
0.0	43.6	1025.56	7.88	0.98	7.7	2.73
0.4	100.5	972.04	12.69	1.19	30.8	3.05
0.6	150.7	836.12	24.90	1.38	51.6	3.38
1.2	232.3	751.11	32.53	1.56	71.4	3.48

Fuente: Tabla No. 5, Tabla No. 7.

* % de reducción con respecto al contenido de AF en el grano crudo.

** % de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 75 min de cocción y 0 horas de remojo.

TABLA No. 22 REDUCCION DEL ACIDO FITICO, AUMENTO DEL HIERRO IONIZABLE Y PORCENTAJE DE HIERRO ABSORVIDO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE CAL

NIVEL CAL %	CALCIO (mg%)	ACIDO FITICO		HIERRO IONIZABLE		Fe Absorbido in Vivo %
		(mg%)	% Reducción*	(ppm)	% Aumento**	
0.0	40.6	1018.83	8.49	0.96	5.5	2.68
0.4	117.3	945.92	15.04	1.21	33.0	3.15
0.8	168	813.95	26.89	1.4	53.8	3.26
1.2	240.3	727.37	34.67	1.61	76.9	3.46

Fuente: Tabla No. 5, Tabla No. 7.

* % de reducción con respecto al contenido de AF en el grano crudo.

** % de aumento con respecto al contenido de Fei en el grano crudo.

PROCESO: 75 min de cocción y 12 horas de remojo.

TABLA No. 23 RESULTADOS DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE Y ANÁLISIS DE DATOS DE: TIEMPO DE COCCIÓN, TIEMPO DE REMOJO Y NIVEL DE CAL VRS. ÁCIDO FÍTICO

-1.374286021	0.056683842	-1.52726337	1188.984064
0.085551707	0.981311986	0.721765314	47.97234773
0.931301224	28.7724182	#N/A	#N/A
90.37533398	20	#N/A	#N/A
224452.2163	16557.04098	#N/A	#N/A

Fuente: Cuadro No. 8 y Tabla No. 5.

y = Ácido Fítico (mg %)

x1 = Tiempo de Cocción (min)

x2 = Tiempo de Remojo (hrs)

x3 = Calcio (mg %)

$y = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + b$

$y = -1.5273 x_1 + 0.0567 x_2 - 1.3743 x_3 + 1188.9841$

$F_{exp} = 90.37 > F_{0.01} = 4.94$

$F_{exp} = 90.37 > F_{0.05} = 3.10$

TABLA No. 24 RESULTADOS DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE Y ANÁLISIS DE DATOS DE: TIEMPO DE COCCIÓN, TIEMPO DE REMOJO Y NIVEL DE CAL VRS. HIERRO IONIZABLE

0.003002566	0.000598035	0.003454195	0.615672796
0.000163351	0.001873697	0.001378124	0.091597434
0.946918295	0.054937476	#N/A	#N/A
118.9258824	20	#N/A	#N/A
1.076799975	0.060362525	#N/A	#N/A

Fuente: Cuadro No. 8 y Tabla No. 5.

y = Hierro Ionizable (ppm)

x1 = Tiempo de Cocción (min)

x2 = Tiempo de Remojo (hrs)

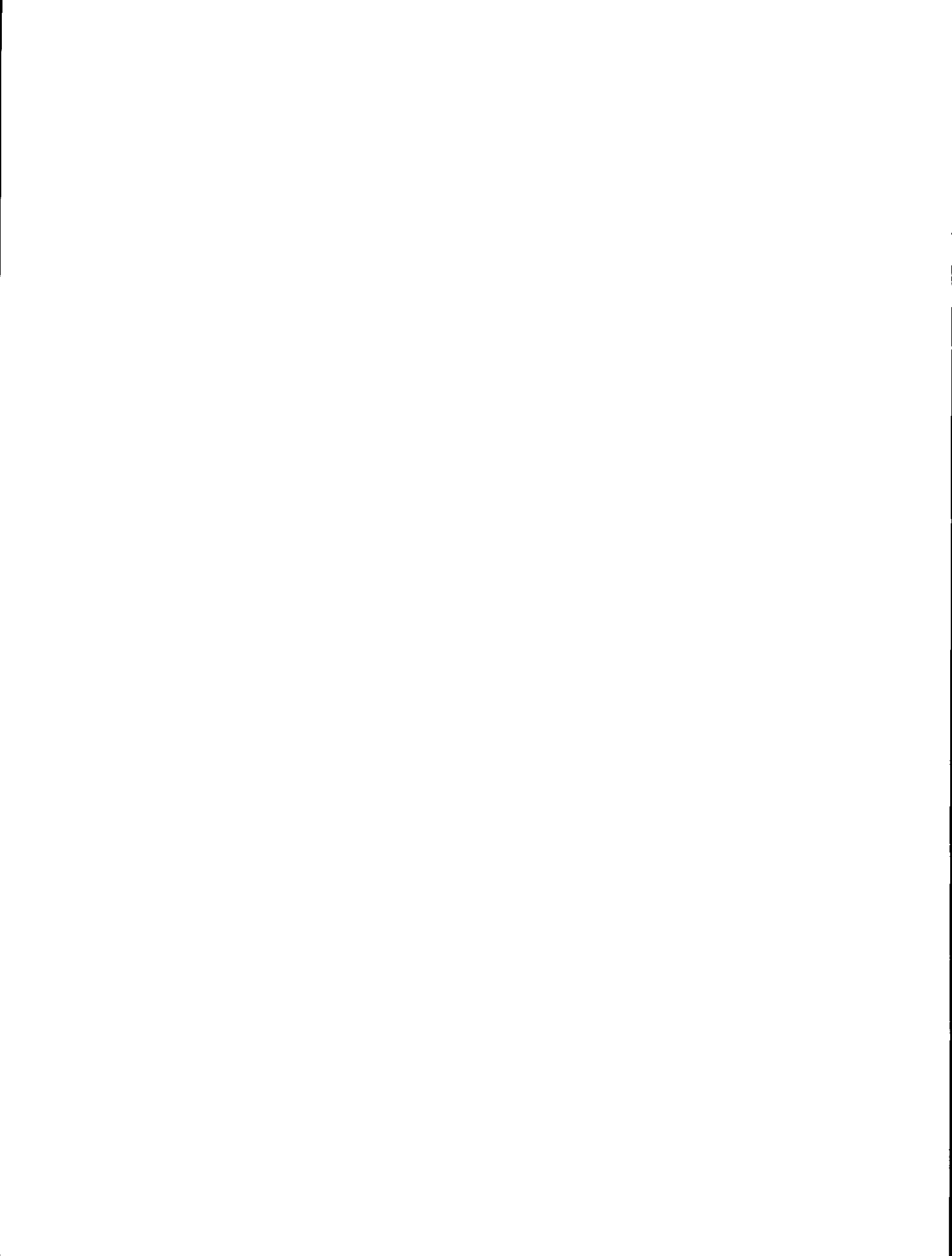
x3 = Calcio (mg %)

$y = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + b$

$y = 0.0035 x_1 + 0.0006 x_2 + 0.0030 x_3 + 0.6157$

$F_{exp} = 118.9 > F_{0.01} = 4.94$

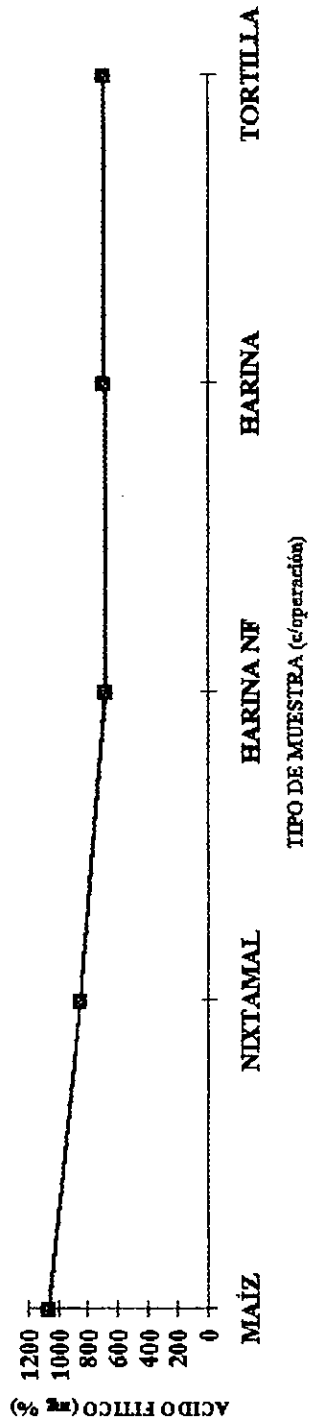
$F_{exp} = 118.9 > F_{0.05} = 3.10$



ANEXO D

FIGURAS Y GRÁFICAS

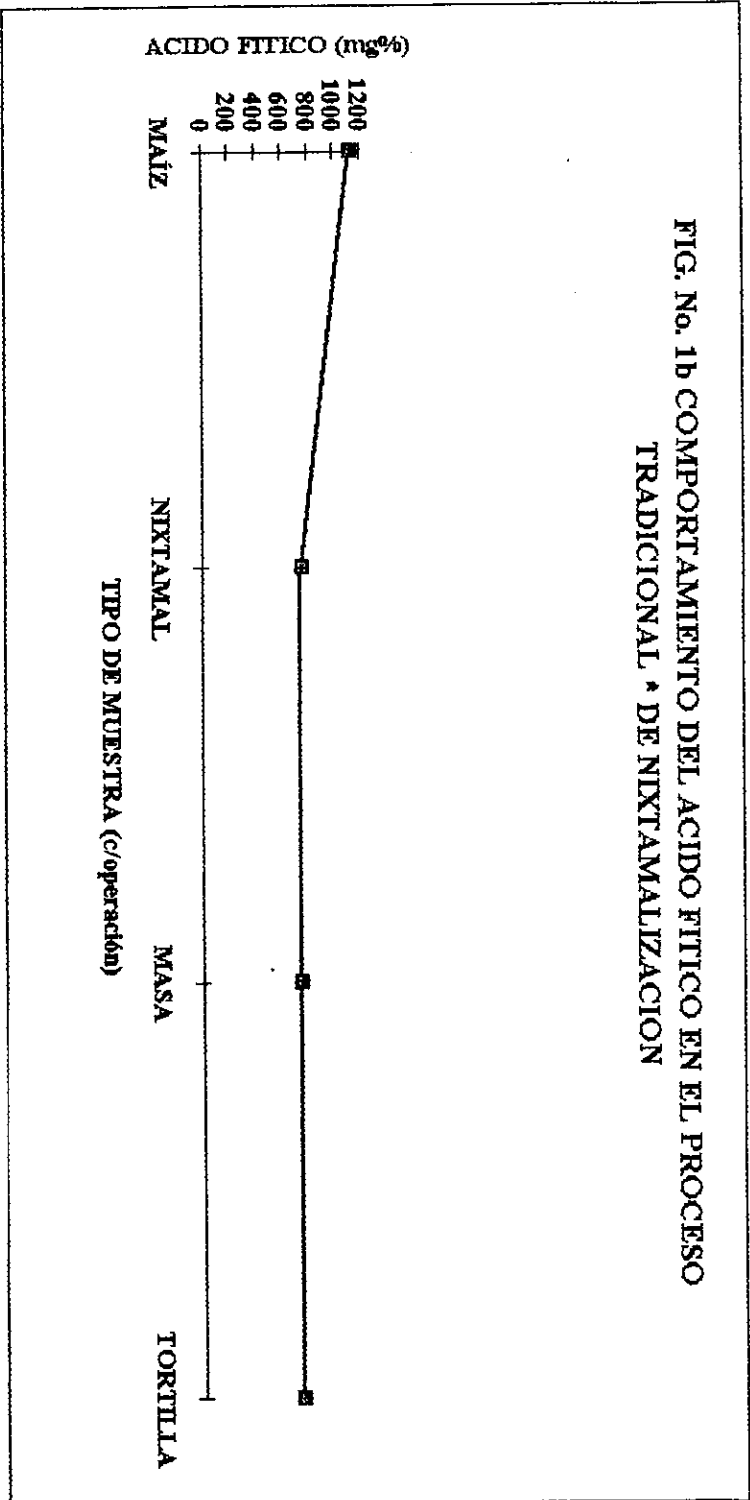
FIG. No. 1ª COMPORTAMIENTO DEL ACIDO FITICO EN EL PROCESO INDUSTRIAL* DE NIXTAMALIZACION



FUENTE: Datos de Tabla No. 1

* 0.8 - 1.0% Cal, Tiempo de cocción = 50-55 min, remojo = 0 hrs, agua:maíz = 1.5:1

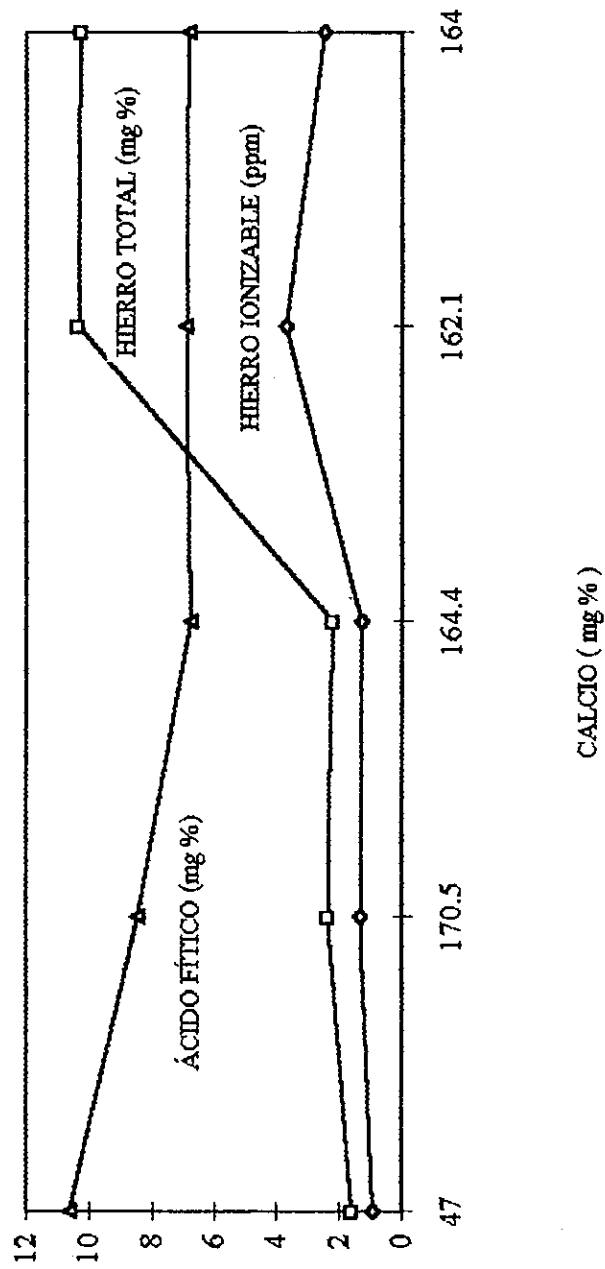
FIG. No. 1b COMPORTAMIENTO DEL ACIDO FITICO EN EL PROCESO
TRADICIONAL * DE NIXTAMALIZACION



FUENTE: Datos de Tabla No. 1

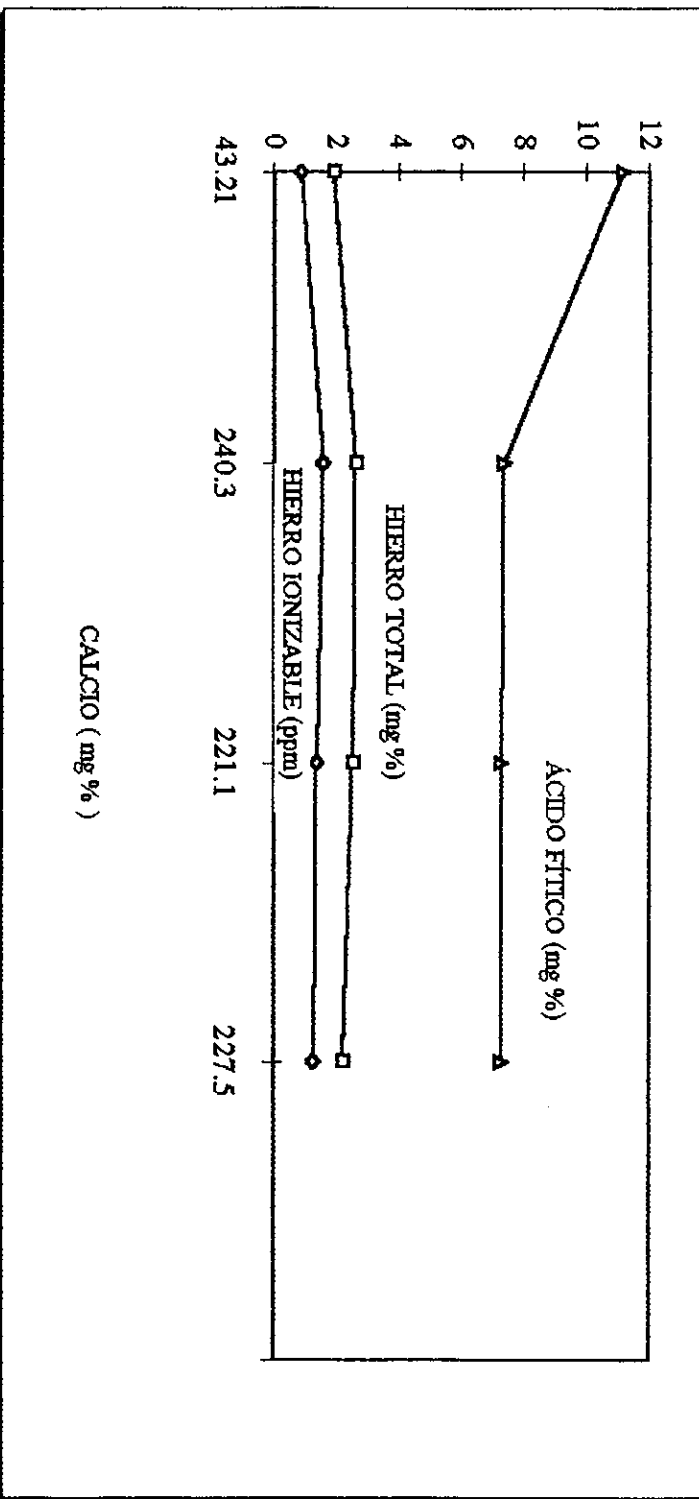
* 1.2 - 1.8% Cal, Tiempo de cocción = 60 min, remojo 12 hrs., agua:maiz = 3:1

FIG. No. 2a RELACIÓN ENTRE EL ÁCIDO FÍTICO, CALCIO, HIERRO TOTAL Y HIERRO BIODISPONIBLE (PROCESO INDUSTRIAL DE NIXTAMALIZACIÓN)



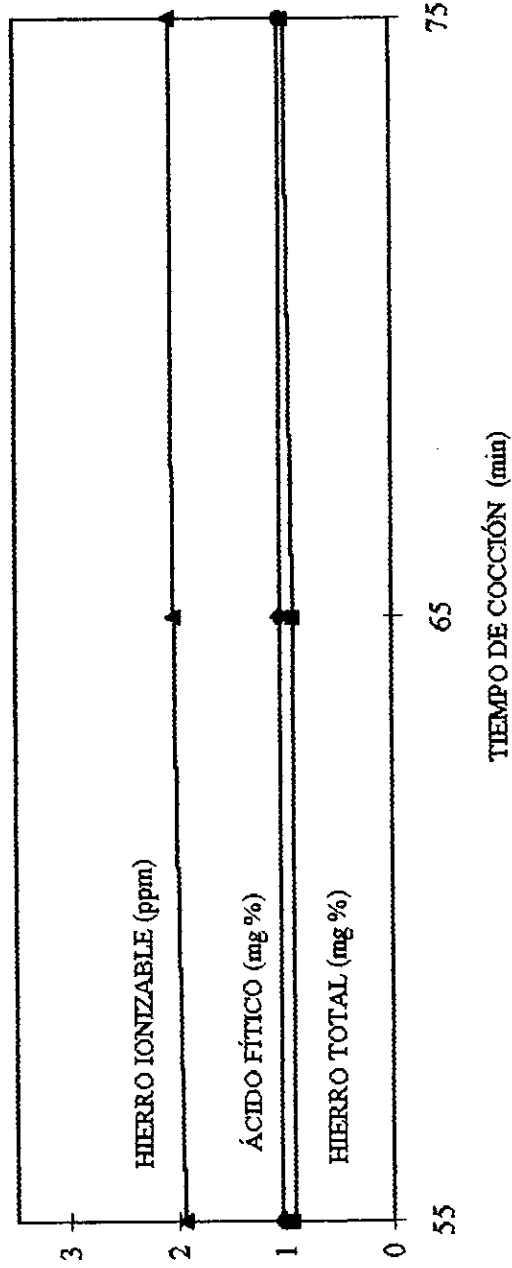
Valores de Acido Fítico = AF x 100
 Valores de Hierro Total = FeT x 10

FIG. No. 2b RELACIÓN ENTRE EL ÁCIDO FÍTICO, CALCIO, HIERRO TOTAL Y HIERRO BIODISPONIBLE (PROCESO TRADICIONAL DE NIXTAMALIZACIÓN)



Fuente: Tabla 2b.
 Valores de Acido Fítico = AF x 100
 Valores de Hierro Total = FeT x 10

FIG. No. 3 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 0%, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

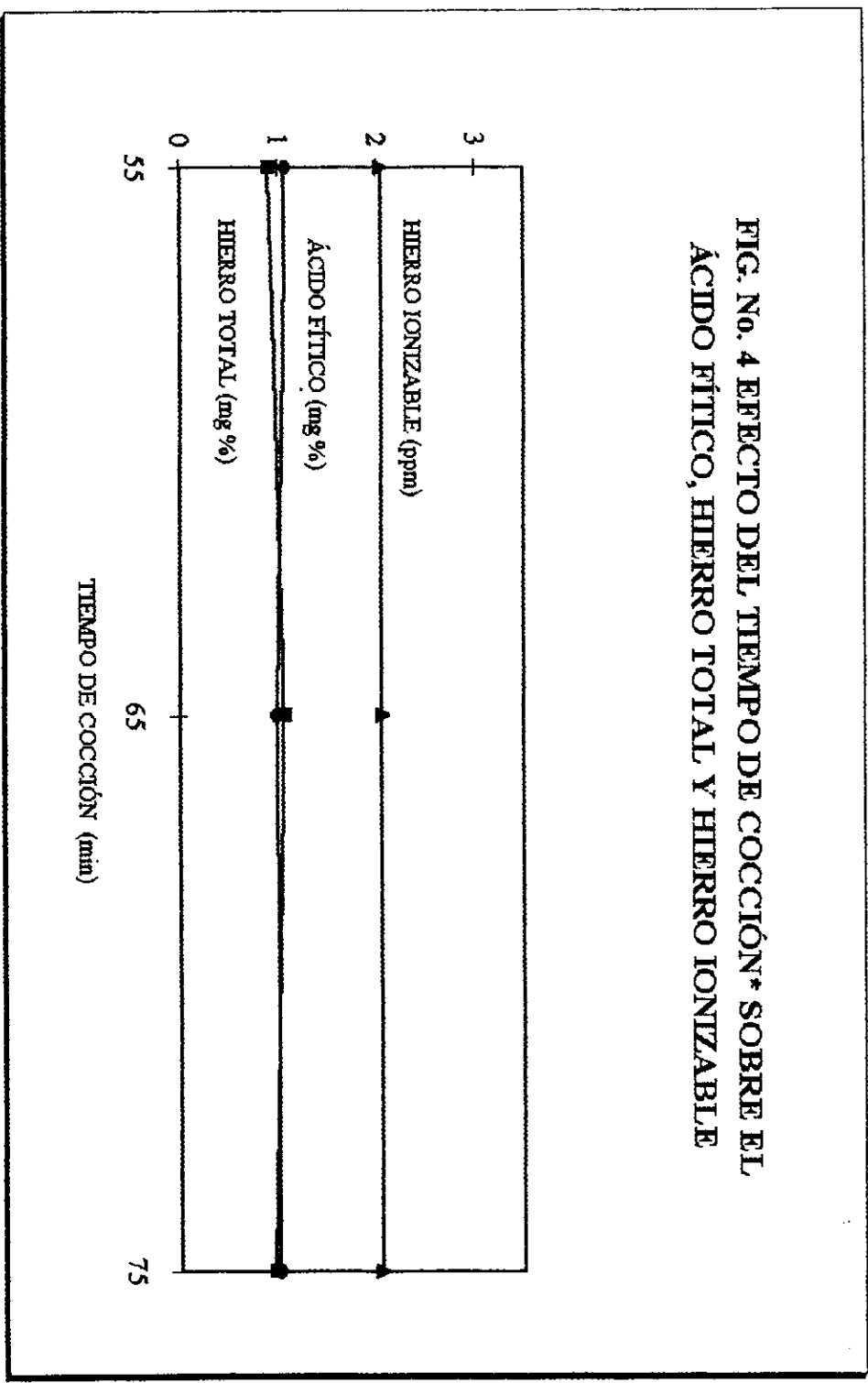
** Relación de variables: $AF = 1075 - 0.6[t]$

$r = 0.324$

$Fei = 7.42 + 0.03[t]$

$r = 0.628$

FIG. No. 4 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCION* SOBRE EL
 ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

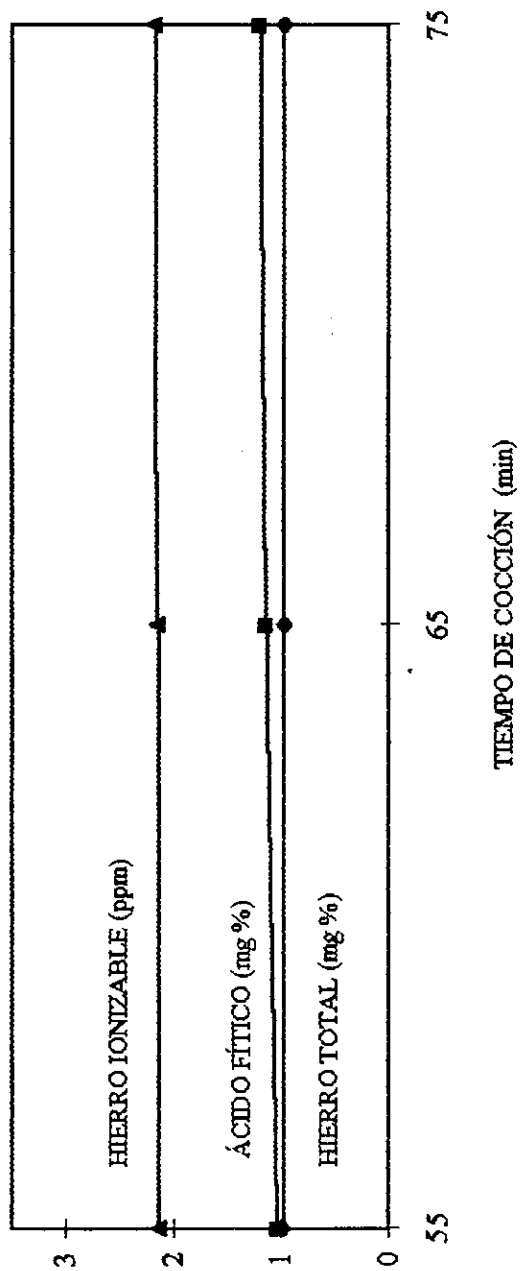
* Nivel de cal = 0%, 12 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables:

$$AF = 1201.8 - 2.7[t] \quad r = 0.429$$

$$FeI = 7.42 + 0.04[t] \quad r = 0.168$$

**FIG. No. 5 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL
ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE**



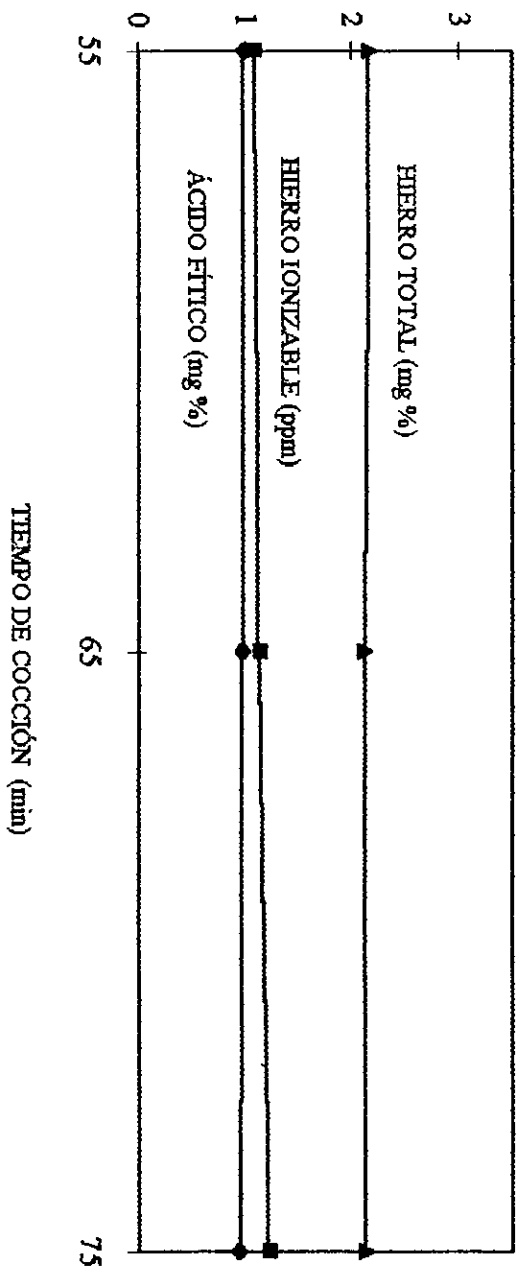
FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 0.4%, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables: $AF = 1046.9 - 1.1[t]$ $r = 0.964$

$Fei = 5.97 + 0.08[t]$ $r = 0.980$

FIG. No. 6 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL
 ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



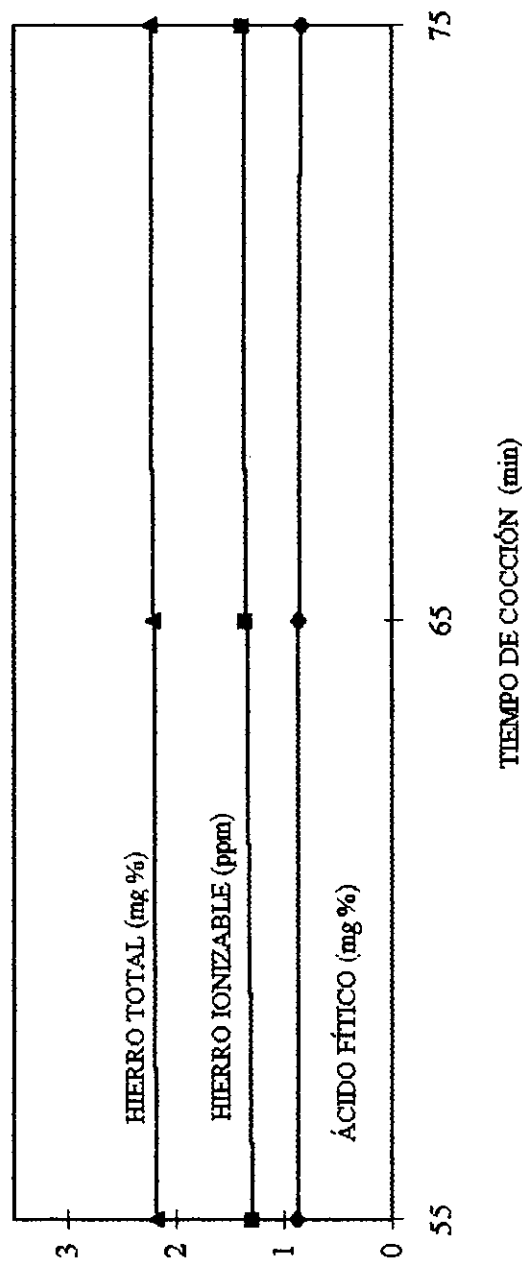
FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 0.4%, 12 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles).

** Relación de variables: AF = 1,119.83 - 2.31t r = 0.970.

FeI = 7.15 + 0.065 [t] r = 1.000

**FIG. No. 7 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL
ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE**



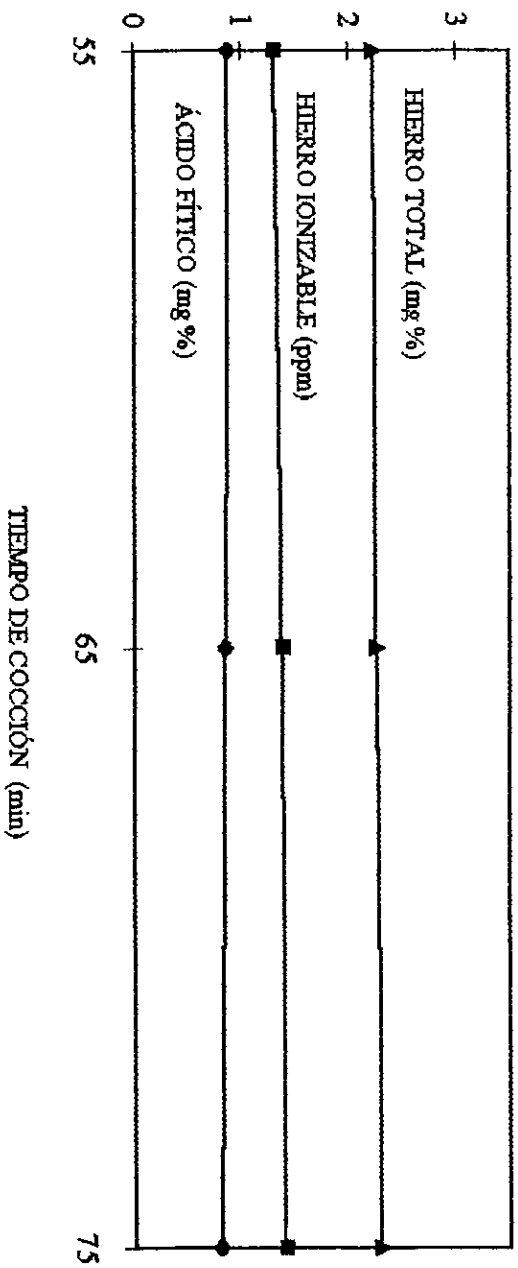
FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 0.8%, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (por miles).

** Relación de variables: AF = 1020.3 - 2.4 [t] r = 0.995

Fei = 10.44 + 0.045 [t] r = 0.996

FIG. No. 8 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL
 ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 0.8%, 12 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles).

** Relación de variables:

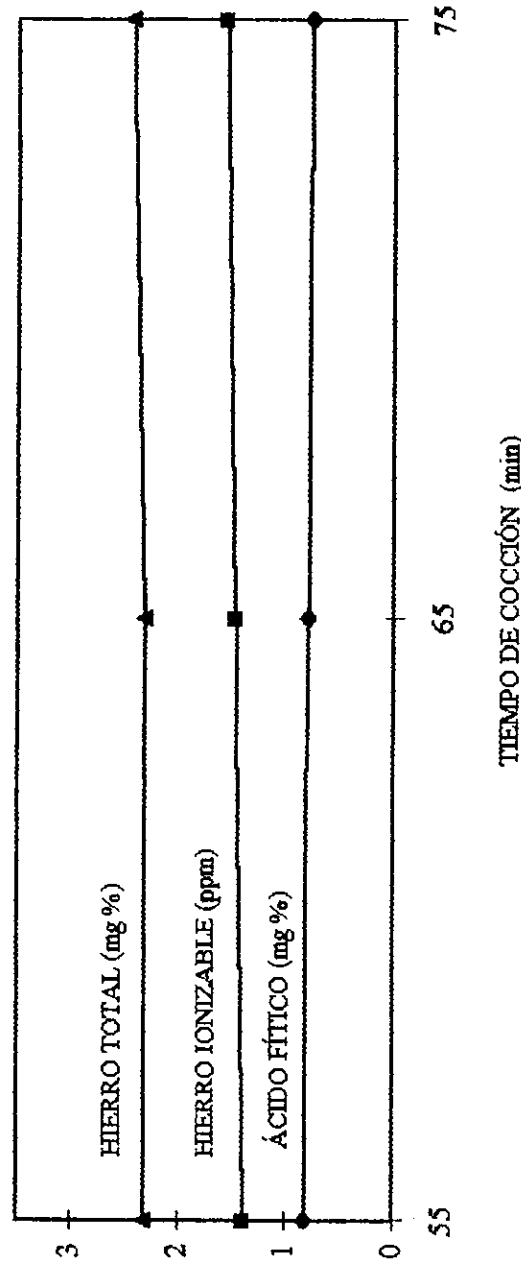
$$AF = 1062.8 - 3.3[FeT]$$

$$r = 0.985$$

$$FeI = 10.32 + 0.05 [FeT]$$

$$r = 0.949$$

**FIG. No. 9 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL
ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE**



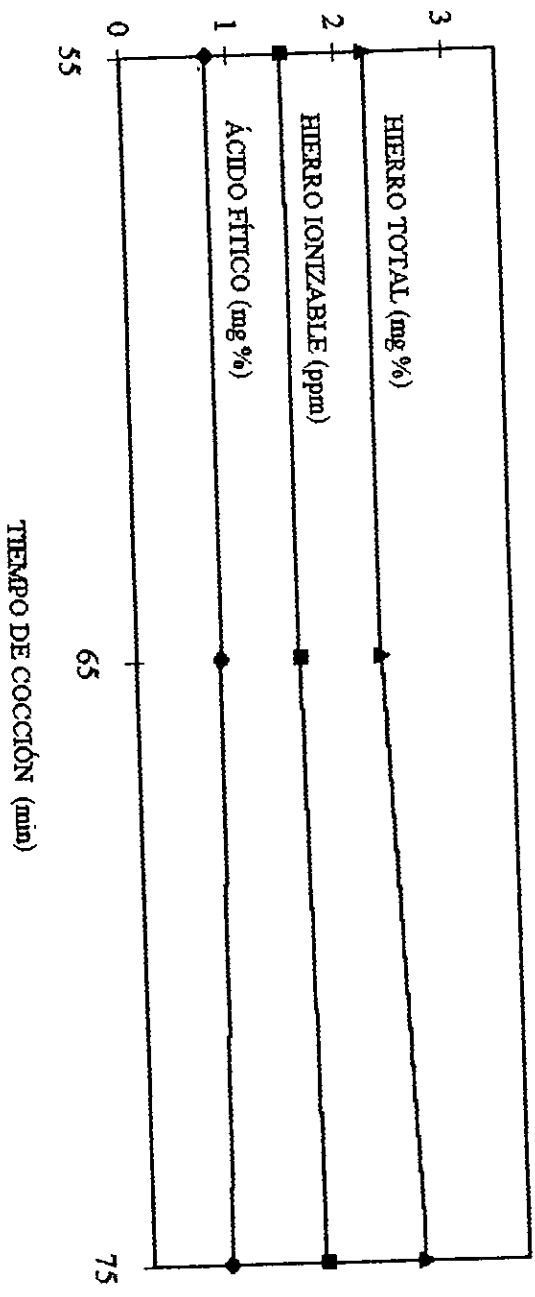
FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 1.2%, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables: $AF = 1019.9 - 3.5[T]$ $r = 0.988$

$t = 8.85 + 0.09 [Fe]$ $r = 1.000$

FIG. No. 10 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN* SOBRE EL
 ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

* Nivel de cal = 1.2%, 12 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables:

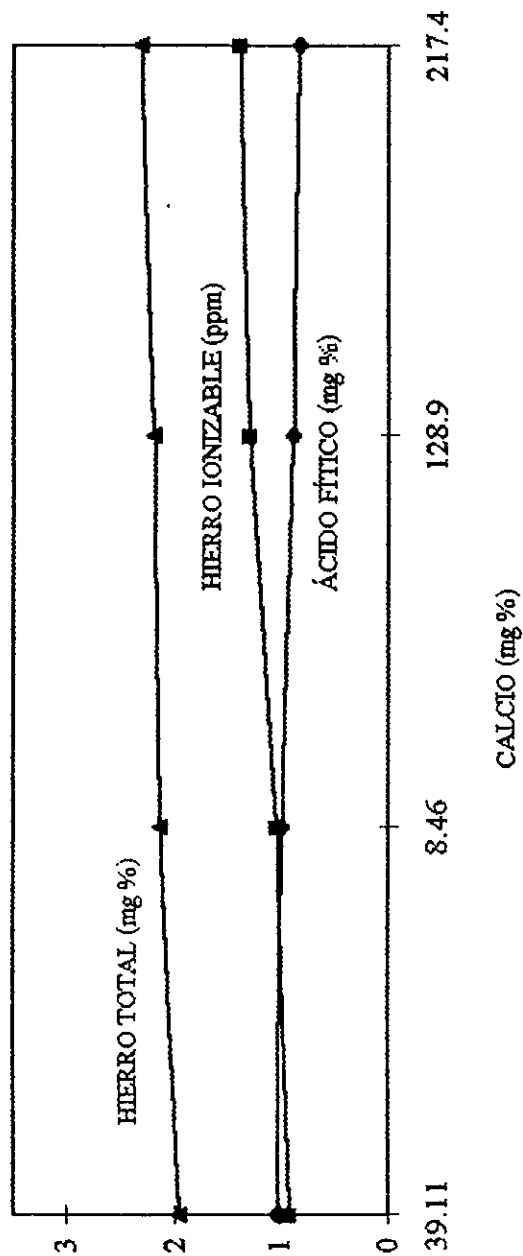
$$AF = 1030.2 - 3.9[X]$$

$$FeI = 11.86 + 0.06[t]$$

r = 0.970

r = 0.881

FIG. No. 11 RELACIÓN ENTRE EL CALCIO, ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



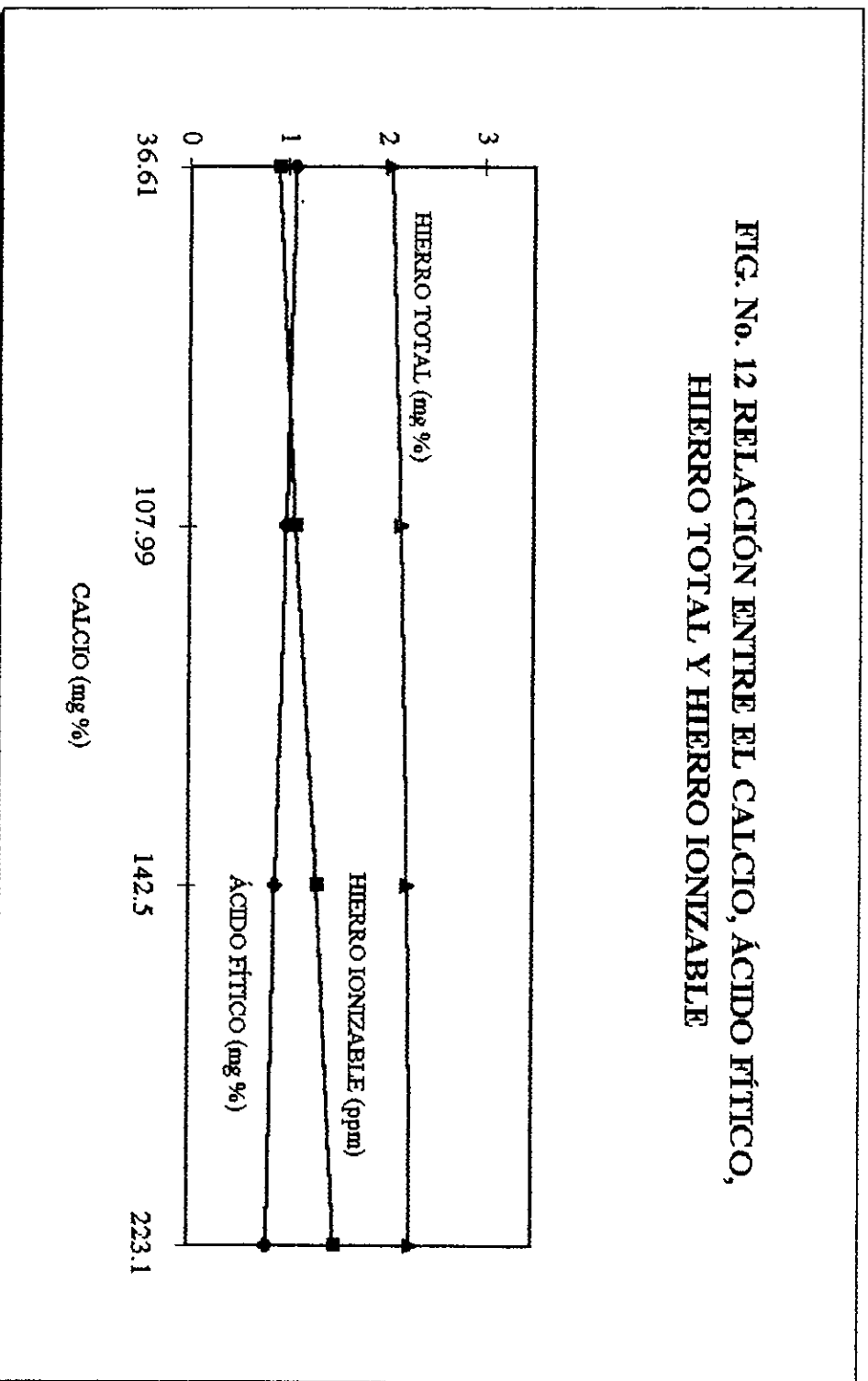
FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: 55 min. de cocción, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables: $[AF] = 1030.5 - 1.0[Ca]$ $r = 0.904$

$[FeI] = 9.48 + 0.02[Ca]$ $r = 0.842$

FIG. No. 12 RELACIÓN ENTRE EL CALCIO, ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: 55 min. de cocción, 12 horas de remojo. FeT (Por diez), AF (en miles)

** Relación de variables:

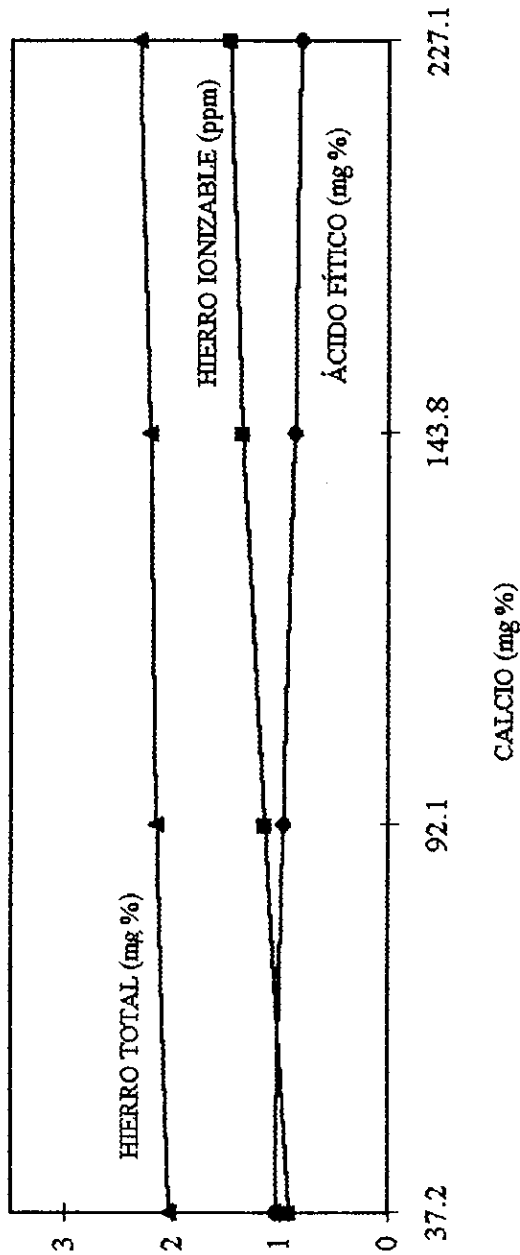
$$[AF] = 1127.0 - 1.5[Ca]$$

$$r = 0.955$$

$$[FeI] = 7.63 + 0.03[Ca]$$

$$r = 0.973$$

FIG. No. 13 RELACIÓN ENTRE EL CALCIO, ÁCIDO FÍTICO,
HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



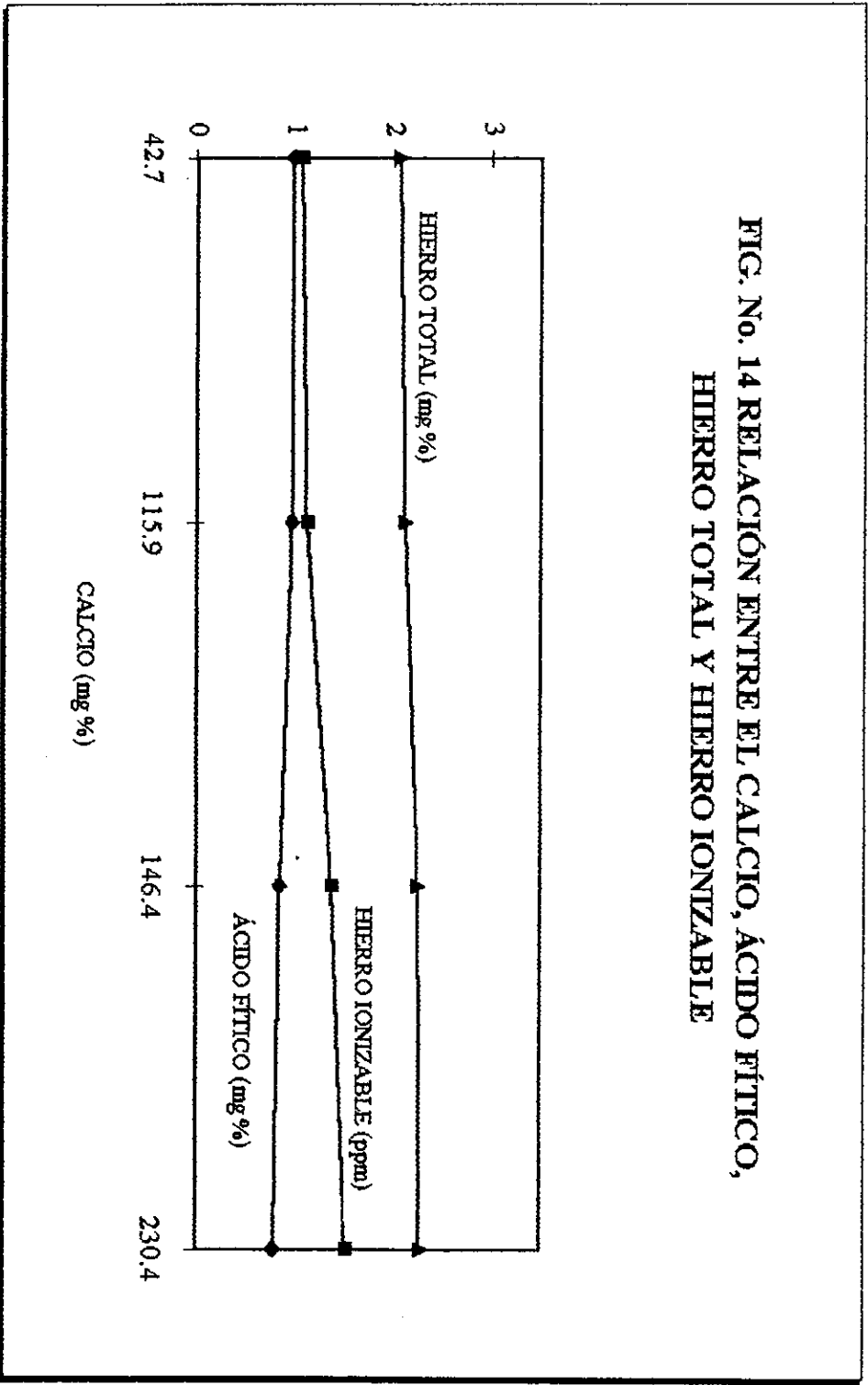
FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: 65 min. de cocción, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables: $[AF] = 1088.3 - 1.3[Ca]$ $r = 0.975$

$[Fei] = 8.42 + 0.03[Ca]$ $r = 0.949$

FIG. No. 14 RELACION ENTRE EL CALCIO, ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

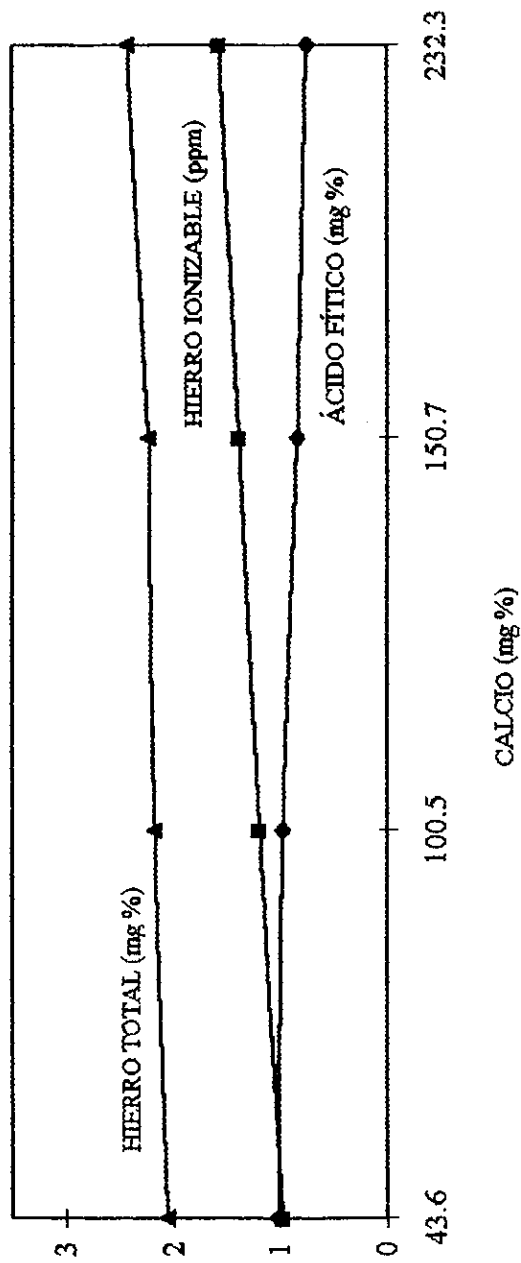
* Proceso: 65 min. de cocción, 12 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables:

$$[AF] = 1051.3 - 1.1[Ca] \quad r = 0.871$$

$$[Fei] = 9.18 + 0.03[Ca] \quad r = 0.886$$

FIG. No. 15 RELACIÓN ENTRE EL CALCIO, ÁCIDO FÍTICO,
HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



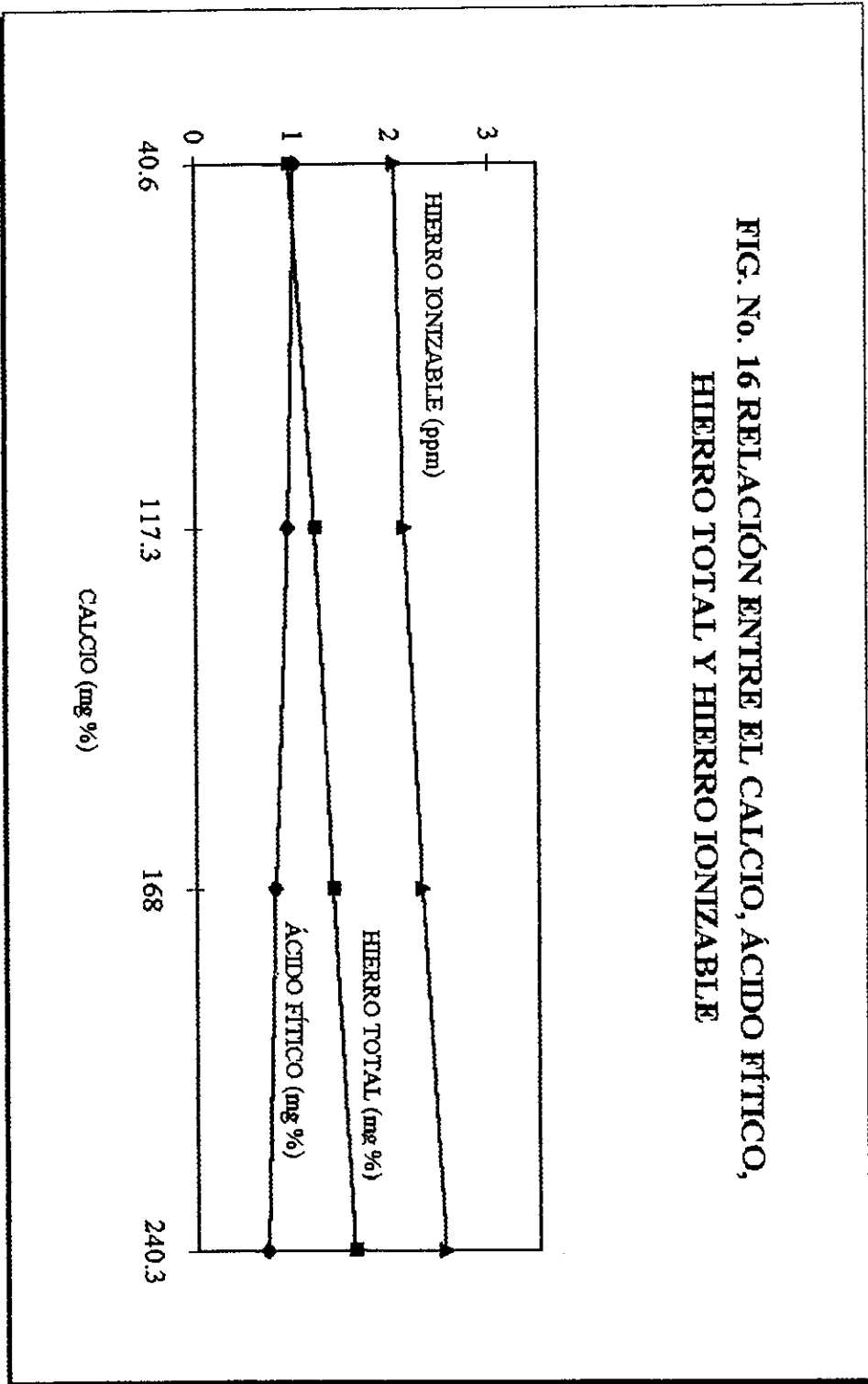
FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: 75 min. de cocción, 0 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables: $[AF] = 1098.9 - 1.5[Ca]$ $r = 0.961$

$[FeI] = 8.71 + 0.03[Ca]$ $r = 0.982$

FIG. No. 16 RELACIÓN ENTRE EL CALCIO, ÁCIDO FÍTICO, HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: 75 min. de cocción, 12 horas de remojo. FeT (por diez), AF (en miles)

** Relación de variables:

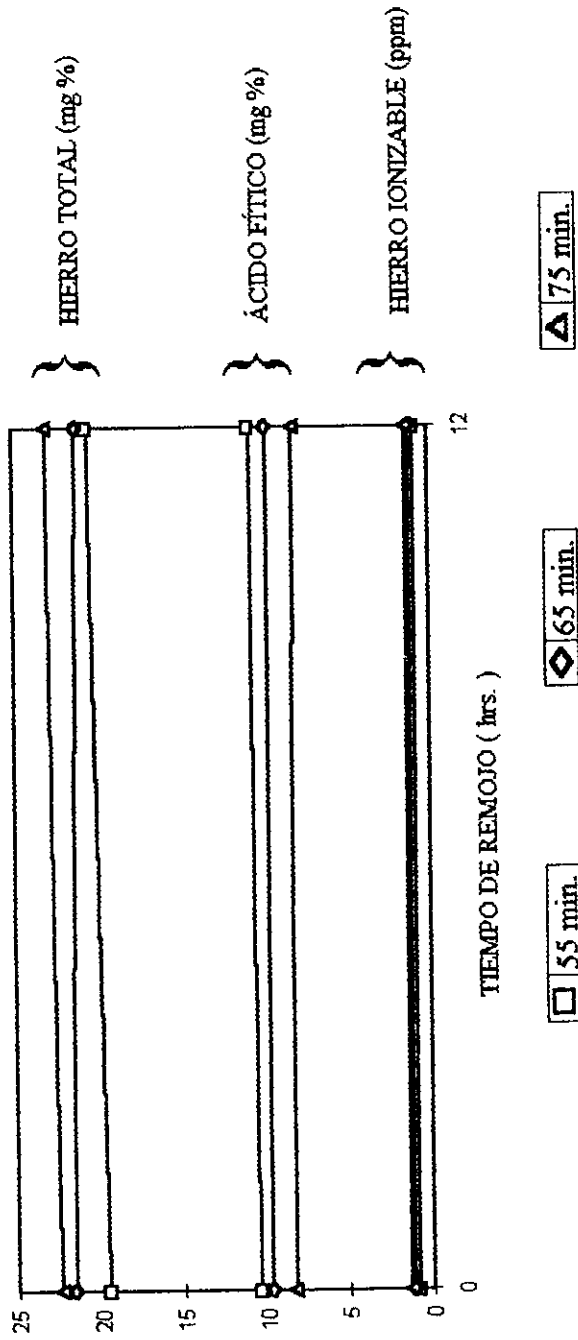
$$[AF] = 1092.2 - 1.5[Ca]$$

$$[FeI] = 8.30 + 0.03[Ca]$$

$$r = 0.967$$

$$r = 0.998$$

FIG. No. 17 EFECTO DEL REMOJO SOBRE EL ÁCIDO FÍTICO,
 HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE

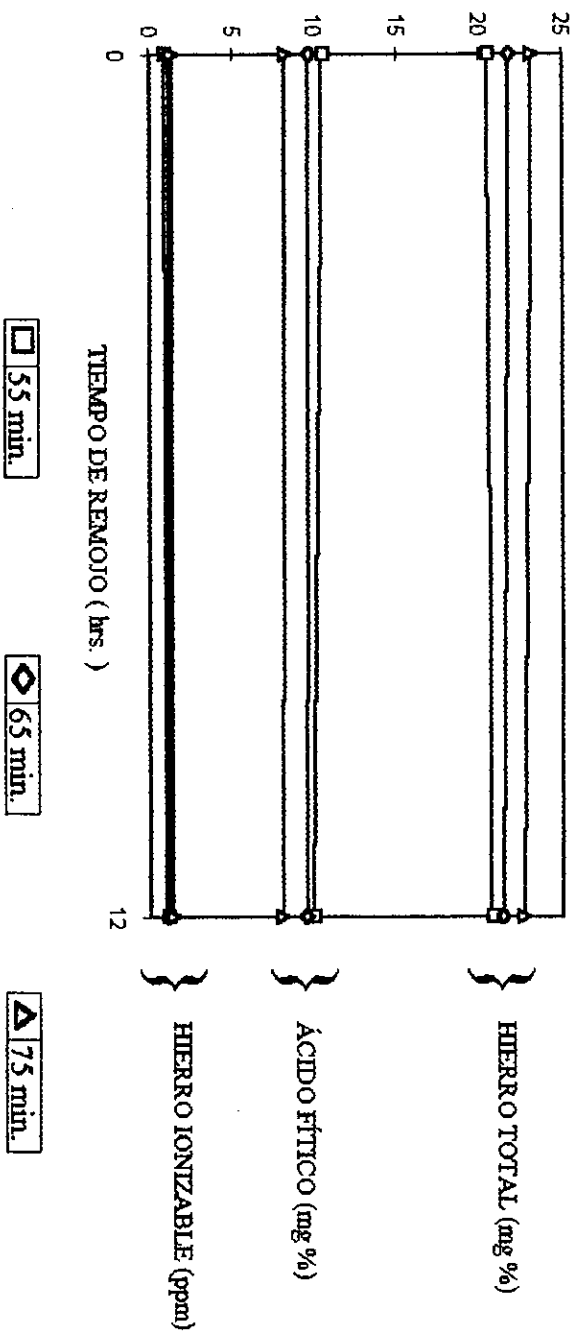


FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: a un nivel de cal del 0 % (sobre el peso del grano).

** AF x 100

FIG. No. 18 EFECTO DEL REMOJO SOBRE EL ÁCIDO FÍTICO,
 HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE

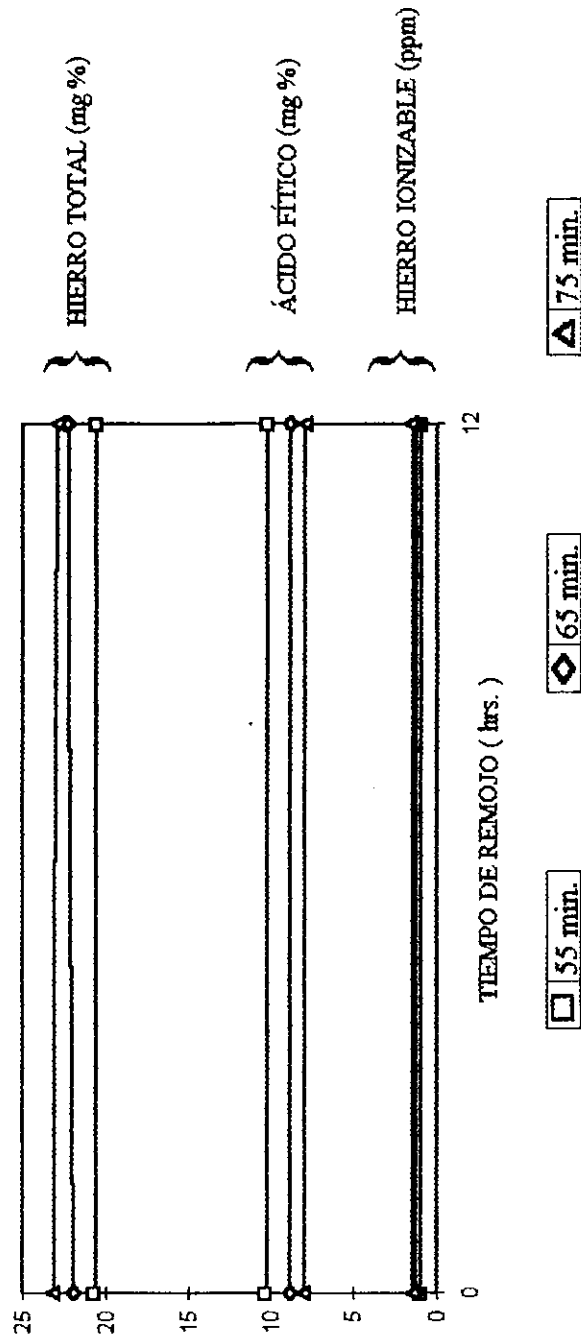


FUENTE: Tabla No. 2

* Proceso: a un nivel de cal del 0,4 % (sobre el peso del grano).

** AF x 100

**FIG. No. 19 EFECTO DEL REMOJO SOBRE EL ÁCIDO FÍTICO,
HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE**

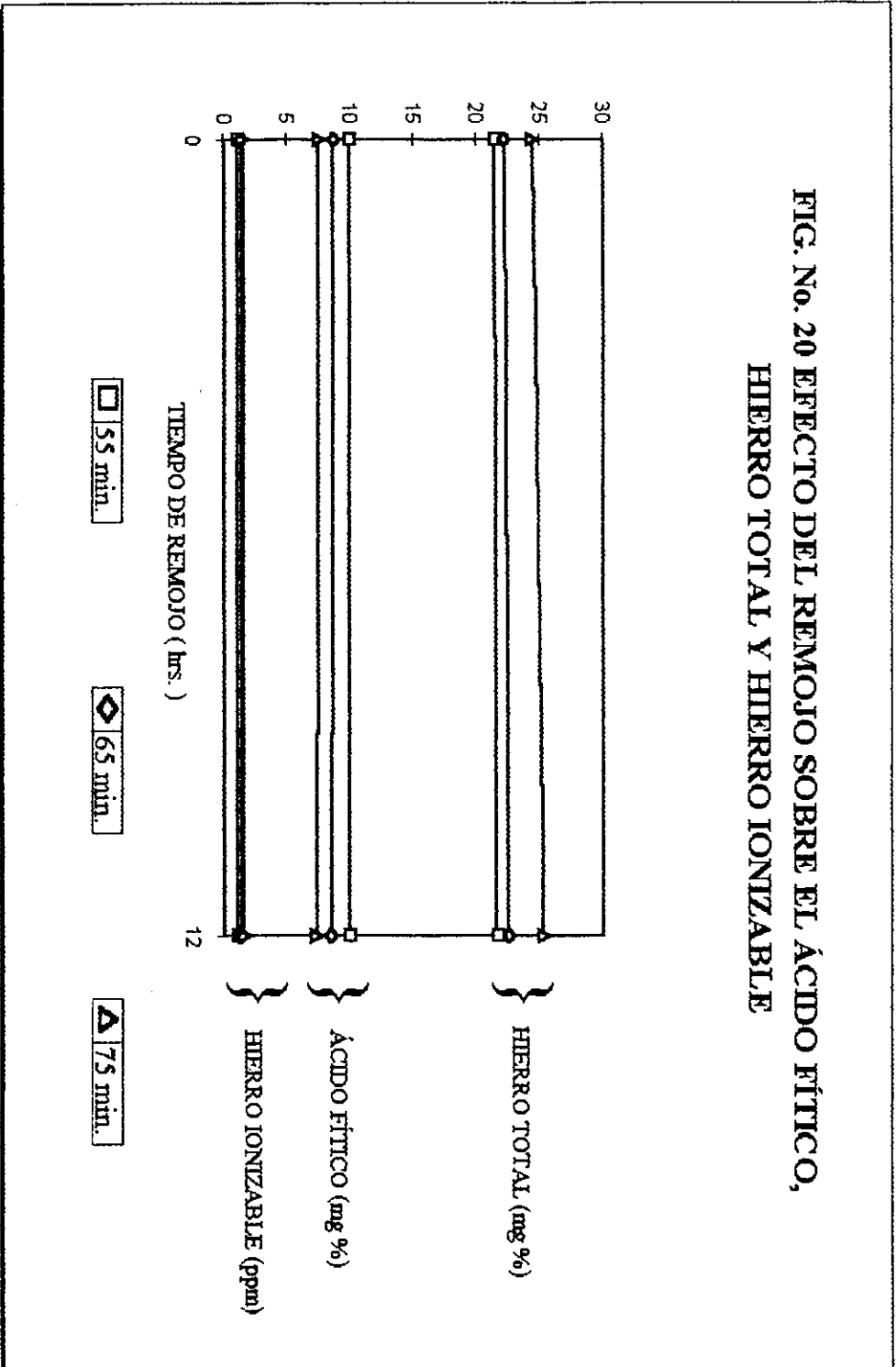


FUENTE: Tabla No. 2

± Proceso: a un nivel de cal del 0.8 % (sobre el peso del grano).

** AF x 100

FIG. No. 20 EFECTO DEL REMOJO SOBRE EL ÁCIDO FÍTICO,
 HIERRO TOTAL Y HIERRO IONIZABLE



FUENTE: Tabla No. 2
 z Proceso: a un nivel de cal del 1.2 % (sobre el peso del grano).
 ** AF x 100