

Mejoramiento del valor nutritivo del maíz por medio de infusiones de lisina y triptofano^{1, 2}

ROBERTO A. GÓMEZ BRENES³, CARLOS ENRIQUE ACEVEDO GONZÁLEZ³ y RICARDO BRESSANI⁴

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Guatemala, C. A.

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio sobre las condiciones óptimas requeridas para aumentar, por medio de infusión, las concentraciones de lisina y triptofano libres en el maíz.

Se encontró que con una solución acuosa de lisina al 30%, a la temperatura ambiente de 25°C y a un pH de 6.0, la concentración de este aminoácido en el grano ascendió de 0.109 a 6.0 g%, o sea 54 veces su concentración inicial. En el caso del triptofano las condiciones óptimas se obtuvieron utilizando una solución de NaOH al 20%, a un pH de 12.0 y a la temperatura de 40 a 45°C; se logró así incrementar 277 veces la cantidad original de triptofano libre en el grano. El tiempo óptimo de infusión para ambos aminoácidos fue de 6 horas.

Los hallazgos revelaron que la mayor concentración de los aminoácidos incorporados por infusión se encuentra en el endospermo y en el germen del grano después de fraccionar éste en sus partes anatómicas.

Al someter los granos enriquecidos por infusión a diferentes tipos de procesamiento, se produjo cierta pérdida de los aminoácidos incorporados. Sin embargo, en los procesos de tostación, autoclaveado en seco, autoclaveado en húmedo y cocción con agua de cal para la preparación de tortillas, pudo recuperarse 77, 74, 81 y 31% de lisina, y 58, 51, 46 y 26% de triptofano, respectivamente. En estas preparaciones no se detectó ningún sabor ni olor extraños que pudieran ser atribuidos a los granos enriquecidos por infusión.

1. Presentado parcialmente por el Lic. Carlos Enrique Acevedo González, como trabajo de tesis previo a optar al título de Licenciado en Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Esta investigación se llevó a cabo con fondos de la Research Corporation, con sede en la ciudad de Nueva York, E. U. A.
3. Científicos de la Sección de Bioquímica Nutricional, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP.
4. Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

Publicación INCAP E-760.

Recibido: 4-9-73.

Los ensayos biológicos practicados en ratas en proceso de crecimiento, utilizando raciones preparadas a base de maíz corriente, suplementado con lisina y triptofano puro, así como provenientes del maíz enriquecido por infusión, demostraron que estos aminoácidos eran 100% disponibles, ya que no hubo diferencia alguna entre los índices de eficiencia proteínica obtenidos utilizando aminoácidos puros y los aportados por el maíz después de someterse a infusión. Los datos recabados indican, por consiguiente, que el método de infusión es efectivo para corregir las limitaciones naturales que posee el maíz en lo que a su valor nutritivo se refiere, dado que en esta forma es factible suplementarlo con las cantidades óptimas de lisina y triptofano requeridas.

Las mezclas secas de grano corriente con granos enriquecidos pueden situarse a la venta en los mercados. Así, las amas de casa podrían preparar sus alimentos a base de un maíz de alto valor nutritivo, práctica que contribuiría a prevenir la desnutrición en los grupos de población más vulnerables.

INTRODUCCION

Las proteínas de los cereales contienen un patrón de aminoácidos poco deseable, ya que carecen de uno o más de los aminoácidos esenciales (1-3). Valiéndose de análisis químicos y pruebas biológicas, se ha demostrado que el maíz —uno de los cereales que más consumen las poblaciones de Latino América— es deficiente en lisina y triptofano (4-6).

A pesar de que numerosos estudios llevados a cabo en humanos y animales (7-9) han revelado que la adición de lisina y triptofano al maíz, mejora significativamente su valor nutritivo, aún no se ha encontrado una forma práctica de incorporar estos aminoácidos a los alimentos preparados a base de este cereal. Ello se debe a que la gran mayoría de los consumidores que se beneficiarían con esta medida, compran o producen el maíz en grano, para procesarlo en el hogar. Esta costumbre constituye una seria limitación a los programas de suplementación, ya que esta barrera obstaculiza la aplicación de medidas tales como el agregado de aminoácidos puros, granos sintéticos, o suplementos proteínicos.

Por esta razón, la suplementación, cuyo propósito es beneficiar a los pueblos consumidores de maíz, podría ser más efectiva llevándose a cabo en el grano entero. El objetivo del presente estudio fue, por lo tanto, explorar las posibilidades del enriquecimiento de los granos enteros de maíz con sus aminoácidos limitantes, por medio del proceso de infusión (10-12).

Graham y col. en 1968 (12) efectuaron los primeros trabajos en este sentido, empleando el proceso de infusión en granos de trigo, con el objeto de incorporarles proteínas solubles, hidrolizados de proteínas y lisina. Los resultados obtenidos por estos investigadores fueron satisfactorios, ya que la infusión proporcionó al grano de trigo un nivel de más de 20% de proteína. Comprobaron también que los granos de trigo suplementados, mezclados con trigo corriente, eran prácticamente imposibles de detectar.

Los primeros intentos para suplementar el maíz por el método de infusión fueron realizados por Blessin *et al.* en 1970 (10), quienes trabajaron con un maíz dentado corriente y lograron obtener concentraciones de lisina de 2.2g% después de 48 horas de infusión.

En vista de que los trabajos previos se hicieron solamente con lisina, se consideró de interés utilizar también triptofano para la infusión. Por consiguiente, los objetivos del estudio aquí descrito fueron, primero, establecer las condiciones óptimas de infusión de lisina y triptofano para lograr las mayores concentraciones posibles, en un tiempo razonable. Segundo, estudiar la estabilidad física y química del grano de maíz, así como la disponibilidad biológica de los nutrientes incorporados al mismo.

MATERIALES Y METODOS

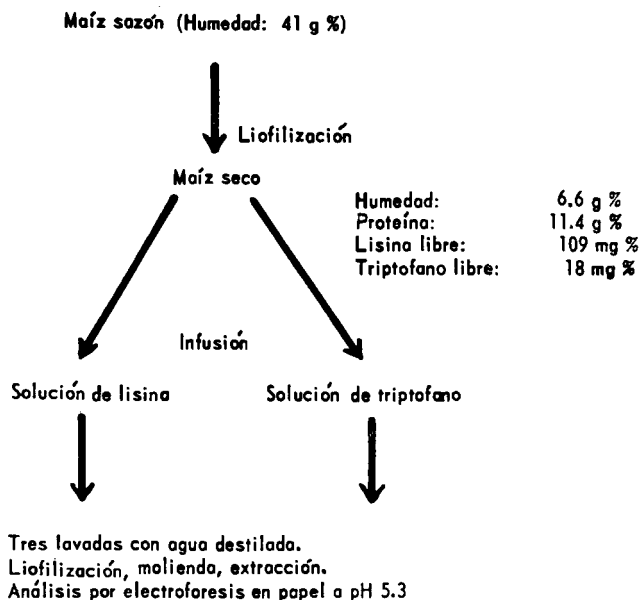
A. Muestras de maíz

El maíz utilizado fue la variedad Tiquisate Dorado, que se cultivó en la finca Experimental del INCAP. Su corte se efectuó aproximadamente unos 20 días antes de la época normal de cosecha, y contenía 41% de humedad. La muestra de maíz se secó en una liofilizadora hasta una humedad de 6.6%. Usando métodos ya descritos (13), se determinó que el contenido de lisina libre era de 0.192 g% y el de triptofano libre, de 0.018 g%.

B. Infusión del maíz

Básicamente, el proceso de infusión del maíz se llevó a cabo siguiendo los pasos que a continuación se enumeran, y los cuales se representan gráficamente en la Figura 1:

1. Se pesaron 15 g de maíz seco y se colocaron en un Erlenmeyer de 125 ml de capacidad.
2. Se le agregaron 100 ml de la solución de lisina o de triptofano y se dejó reposar el tiempo adecuado.
3. Se decantó la solución del aminoácido y el maíz se enjuagó tres veces con agua destilada para lavar de la superficie del grano los restos de aminoácidos que pudieran haber quedado adheridos.
4. Una vez lavado, el maíz se llevó a liofilización para someterlo de nuevo a secamiento.
5. El maíz seco se molió en un molino Wiley a un grueso de 20 mallas, y al producto así obtenido se le extrajeron los aminoácidos libres, los cuales se cuantificaron.



Incap 73-925

Figura 1. Proceso de infusión.

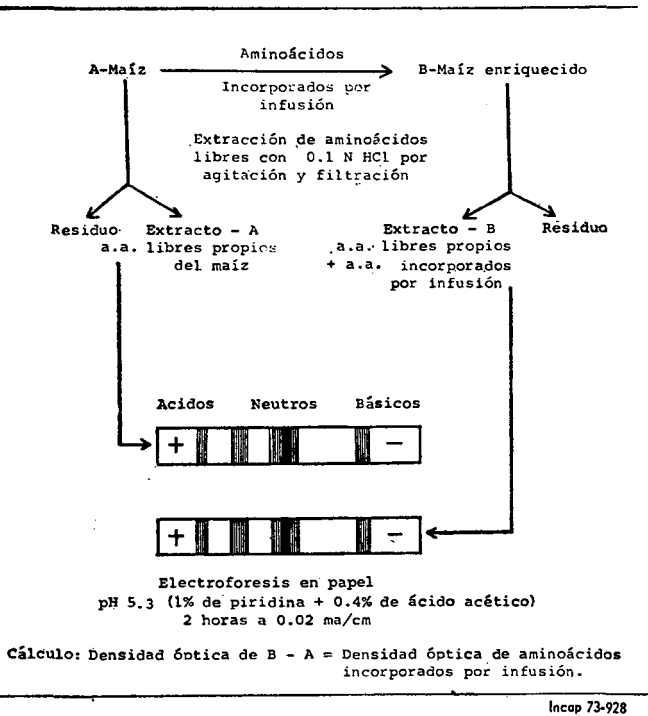


Figura 2. Extracción y análisis de aminoácidos incorporados por infusión.

C. Extracción y determinación de aminoácidos libres

La extracción y cuantificación de los aminoácidos incorporados al maíz por infusión, se llevó a cabo de acuerdo al diagrama de la Figura 2. La extracción se hizo agitando 2 g de muestra con 20 ml de HCl 0.1 N; luego se filtró por centrifugación, obteniéndose así un extracto y un residuo. Esta extracción se llevó a cabo una segunda vez en el residuo usando la misma cantidad de ácido clorhídrico, y llevando finalmente los extractos combinados a un volumen de 50 ml con agua destilada.

Al hacerse los extractos de los maíces no enriquecidos por infusión, éstos contenían solamente los aminoácidos libres propios del maíz; en cambio, cuando las extracciones se hicieron después de la infusión con lisina o triptofano, éstas

contenían los aminoácidos propios del maíz más los incorporados por infusión.

El hecho de que la lisina es un aminoácido básico y el triptofano un aminoácido neutro, nos indujo a escoger la electroforesis en papel, a bajo voltaje, como el método más práctico y rápido para controlar la incorporación de estos aminoácidos dentro del grano de maíz. La cantidad de aminoácidos incorporados pudo calcularse por diferencia entre las densidades ópticas de las fracciones separadas de los extractos, antes y después de la infusión.

El método de electroforesis usado fue el de Gómez Brenes y col. (13).

D. *Preparados de maíz después de infusión con lisina o triptofano (14).*

1. *Fraccionamiento del grano de maíz en sus partes anatómicas*

Se colocaron 100 g de maíz crudo en un recipiente con agua destilada suficiente para cubrir la muestra por completo. Esta mezcla se dejó reposar durante 24 horas al cabo de las cuales se decantó el agua, y valiéndose de un par de pinzas y de una navaja, se procedió a fraccionar el grano en: cáscara, germen y endospermo. Luego, cada fracción fue desecada al vacío y pesada para obtener datos con relación al grano entero. Cada una de las fracciones se sometió a análisis para establecer en qué lugar se había depositado la mayor parte de la lisina y del triptofano, después de la infusión.

2. *Maíz tostado*

El maíz se colocó en un tostador rotatorio para lograr una tostación uniforme; la operación duró cerca de 10 minutos, hasta el desprendimiento del olor característico de maíz tostado.

3. *Maíz en seco tratado con vapor*

Este preparado se elaboró sometiendo el maíz al autoclave durante 10 minutos, a 15 libras de presión y a 121°C; luego se desecó y molió.

4. *Maíz cocido*

El maíz crudo fue sometido al autoclave a 15 libras de presión y a 121°C por espacio de 30 minutos, usando la proporción de 80 ml de agua destilada para 100 g de maíz crudo.

5. Tortilla

El método seguido para la preparación de las tortillas fue esencialmente el descrito por Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw (15).

Los análisis de humedad se llevaron a cabo según procedimientos de la AOAC (16).

6. Ensayos biológicos en ratas

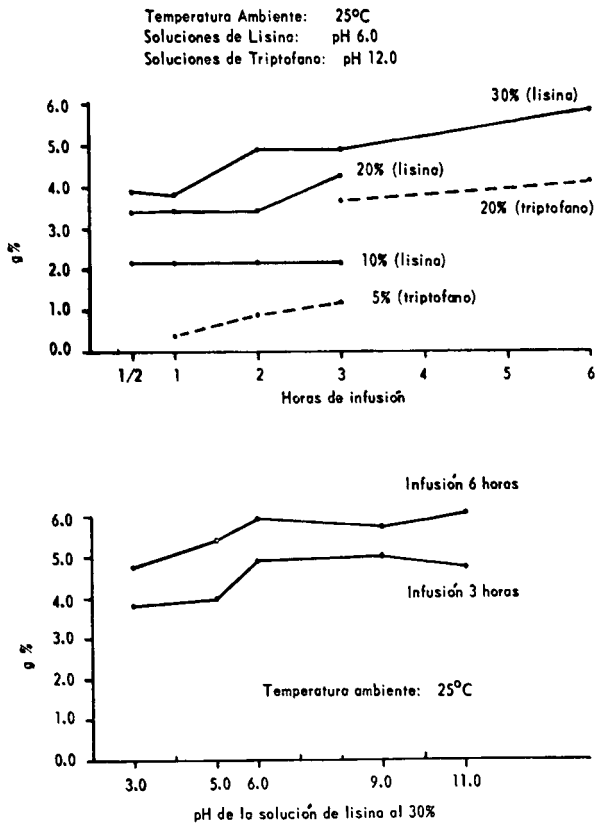
Uno de los objetivos del presente estudio, según se dijo, fue determinar la disponibilidad biológica de los aminoácidos incorporados al maíz por infusión. Para ello se llevó a cabo una serie de ensayos utilizando ratas albinas, cepa Wistar, de la colonia del INCAP y de 21 días de edad, las cuales fueron alimentadas *ad libitum* durante 28 días, llevándose control del alimento consumido y de la ganancia semanal de peso. Las ratas se alojaron en jaulas individuales de tela metálica con fondo levadizo, en un cuarto con temperatura controlada, teniendo en todo momento libre acceso al agua. Los detalles referentes a las raciones utilizadas, se proporcionan en la sección siguiente.

RESULTADOS

Con el fin de establecer las condiciones óptimas de tiempo de infusión y concentración, temperatura y pH de las soluciones, se prepararon soluciones acuosas a 10, 20 y 30% de lisina, y a 5 y 20% de triptofano, en NaOH 1.0 N, en las que se remojó el maíz durante 0.5, 1, 2, 3 y 6 horas.

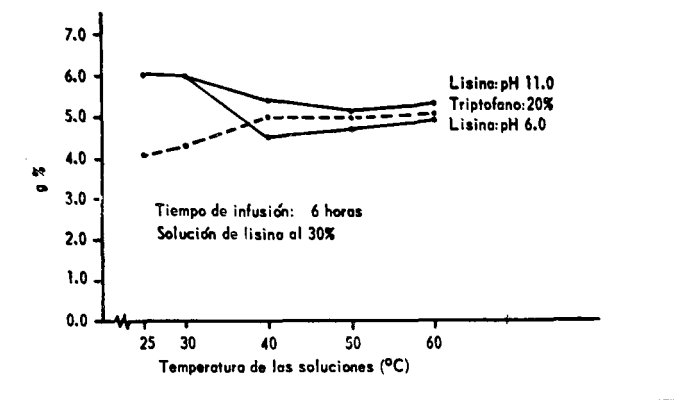
Los resultados de este procedimiento se resumen en forma gráfica en las Figuras 3 y 4. En primer lugar, en la parte superior de la Figura 3 se presenta la relación entre las horas de infusión, la concentración de las soluciones de lisina y triptofano y los niveles de enriquecimiento alcanzados por el maíz a la temperatura de 25°C y a un pH de 6 para las soluciones de lisina, y a un pH de 12, para las de triptofano. Según se observa, los niveles máximos alcanzados fueron de 6% para la solución de 30% de lisina, y de 4.1% para la solución al 20% de triptofano. En la parte inferior de la misma Figura se aprecia el efecto del pH de la solución de lisina al 30% sobre los niveles de enriquecimiento logrados con 3 y 6 horas de infusión. Puede observarse, asimismo, que la ma-

por penetración de lisina en el grano de maíz se obtuvo con las soluciones a un pH de 6 y de 11, alcanzando niveles de 6% para la infusión al término de 6 horas. Con el triptofano no se estudió esta relación de pH, ya que las soluciones usadas se prepararon con hidróxido de sodio 1.0 N para conseguir la máxima concentración de aminoácido susceptible de utilizar en solución, la que fue de 20%.



Incap 73-926

Figura 3. Efecto del tiempo y de la concentración de aminoácidos sobre la cantidad incorporada al maíz.



RESUMEN DE LAS CONDICIONES OPTIMAS PARA AUMENTAR LA
CONCENTRACION DE LISINA Y TRIPTOFANO EN EL MAIZ

	Lisina	Triptofano
Concentración de la solución	30%	20%
Temperatura de la solución	25 - 30°C	40 - 45°C
pH de la solución	6.0	12.0
Solvente para la solución	Agua	1.0 N NaOH
Tiempo de infusión	6 horas	6 horas
Incremento	54X	277X
		Incap 73-927

Figura 4. Efecto de la temperatura sobre las cantidades de lisina y triptofano incorporadas al maíz.

La parte superior de la Figura 4 ilustra el efecto que la temperatura de 25 a 60°C tuvo sobre la incorporación de lisina y triptofano en el grano de maíz. Puede apreciarse así que en el caso de la lisina, con las soluciones al 30%, usando tanto un pH de 6 como un pH de 11, ésta no cambia cuando la temperatura oscila entre 25 y 30°C, pero que el grado de su incorporación disminuye cuando la temperatura excede de 30°C. En cambio, la penetración de triptofano aumenta progresivamente, estabilizándose a la temperatura de 40 a 60°C. En la parte inferior de esta misma Figura se resumen

las condiciones óptimas a que se logró llegar para aumentar la concentración de lisina y triptofano en el grano de maíz, la cual acusó un incremento de 54 veces para la lisina, y 277 veces para el triptofano.

1. *Aspecto físico de los granos de maíz, antes y después de infusión*

El aspecto físico de los granos de maíz, antes y después de someterse a infusión, así como una mezcla preparada a base de maíz común y maíz enriquecido por infusión al nivel de 0.25 g de lisina y 0.05 g% de triptofano, puede apreciarse claramente en la Figura 5.

2. *Distribución de lisina y triptofano en las fracciones anatómicas del grano de maíz*

En el Cuadro 1 se detalla la distribución de lisina y triptofano libres en las fracciones anatómicas del grano de maíz, después de haberse sometido a infusión durante 6 horas, y a remojo, por 24 horas. Es evidente que tanto la lisina como el triptofano se acumulan en el endospermo del grano, a pesar de la pérdida de una buena proporción de estos aminoácidos durante el remojo del grano en agua destilada; sin embargo, esto último era necesario para lograr la separación de las fracciones anatómicas. Las cantidades determinadas en el endospermo fueron: 2.04 g de lisina y 2.82 g de triptofano, lo que representa 34% y 56%, respectivamente, de las cantidades de lisina y triptofano originalmente incorporadas por infusión al grano de maíz. Puede observarse, asimismo, que el germen conserva una buena proporción de los aminoácidos incorporados. Con respecto a la cáscara, en ella se encontró una mayor cantidad de lisina que de triptofano.

3. *Efecto del procesamiento sobre la estabilidad de los aminoácidos incorporados*

Tal y como se consigna en los párrafos introductorios, uno de los objetivos de este trabajo fue el de preparar granos enriquecidos con lisina y triptofano, o ambos, que pudieran usarse para suplementar el maíz común. Se estimó así de interés estudiar las pérdidas o el efecto que las preparaciones caseiras o el procesamiento del grano ejercen sobre la estabilidad física de los aminoácidos citados. Con este propósito en mente,

se sometió el maíz, después de infusión, a distintos procesamientos cuyos resultados se evidencian en el Cuadro 2. El porcentaje de pérdida por tostación fue de 22.7 y 41.8; por autoclaveado en seco, de 25.7 y 49.2, y por autoclaveado en húmedo, de 19.4 y 53.6 para lisina y triptofano, respectivamente.

CUADRO N° 1
DISTRIBUCION DE LISINA Y TRIPTOFANO LIBRES EN EL GRANO DE MAIZ, DESPUES DE INFUSION DURANTE 6 HORAS Y REMOJO POR 24 HORAS

	Endospermo	Germen	Cáscara	Agua de remojo
	Fracción anatómica			
Peso del grano, %	78.7	12.8	8.5	—
		Lisina, g		
Maíz (+lisina)*	2.040	0.609	0.617	2.733
% del total	34	10	11	45
		Triptofano, g		
Maíz (+triptofano)*	2.820	0.638	0.152	1.392
% del total	56	13	3	28

* Lisina y triptofano incorporados por infusión.

CUADRO N° 2
EFFECTO DEL PROCESAMIENTO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LISINA Y TRIPTOFANO EN EL MAIZ, DESPUES DE SOMETIDO A INFUSION

	Lisina g%	Triptofano g%
Maíz crudo	6.00	5.00
Maíz tostado	4.64	2.91
Maíz autoclaveado en seco	4.46	2.54
Maíz autoclaveado en húmedo	4.84	2.32
	% de pérdida	
Tostación	22.7	41.8
Autoclaveado en seco	25.7	49.2
Autoclaveado en húmedo	18.4	53.6

CUADRO N° 3
DISTRIBUCION DE LISINA Y TRIPTOFANO DE LA MEZCLA DE
MAIZ CORRIENTE CON MAIZ ENRIQUECIDO* DURANTE LA
PREPARACION DE TORTILLAS
 (Datos expresados en base seca)

	Lisina g%	Triptofano g%
Mezcla cruda**	250.0	50.0
Masa de nixtamal	83.6	12.0
Agua de cocción	162.4	38.0
% de pérdida en agua de cocción	64.9	74.0
Tortilla	80.2	14.0
% de pérdida de nixtamal-tortilla	4.1	—
% de recuperación	31.0	26.0

* Preparado por infusión y agregado al maíz corriente a un nivel de suplementación de 0.25% de lisina y 0.05% de triptofano.

** Maíz antes de la cocción. Maíz corriente suplementado con maíz enriquecido por infusión.

Los resultados de la preparación de tortillas a base de maíz común suplementado con maíz enriquecido por infusión pueden apreciarse en el Cuadro 3. Se observa en primer término que 65% de lisina y 74% de triptofano se pierden en el agua de cocción con cal, previo a la preparación de nixtamal, pero al convertir éste en tortilla ya no ocurren pérdidas significativas resultantes del calentamiento adicional a que se somete. El porcentaje de recuperación de lisina y triptofano al preparar las tortillas fue de 31 y 26%, respectivamente. Según pudo constatarse por pruebas de sabor y olor practicadas en humanos, las propiedades organolépticas de las tortillas no sufrieron alteraciones al usar maíz enriquecido por infusión.

4. Disponibilidad biológica de los aminoácidos incorporados por infusión

Con el fin de constatar si los aminoácidos incorporados al maíz por medio de infusión eran disponibles al organismo animal, se hicieron algunos ensayos biológicos con ratas recién destetadas a las cuales se les administró las raciones que se detallan en el Cuadro 4. Cabe señalar que en estas raciones

se usó maíz corriente suplementado con maíz enriquecido por infusión, y también se utilizaron aminoácidos puros, los que sirvieron de control. El nivel de suplementación de estas raciones fue de 0.25% de lisina y 0.05% de triptofano; se utilizó además una ración testigo preparada con caseína.

Los resultados de estos ensayos biológicos se exponen en el Cuadro 5. Como los datos lo revelan, con excepción de los controles Nos. 1 y 6, los demás grupos fueron muy similares con respecto a ganancia ponderal, alimento consumido, e índice de eficiencia proteínica. No se observó ningún cambio al usar los aminoácidos puros, hecho demostrativo de que la lisina y el triptofano incorporados al maíz por infusión, eran 100% disponibles.

CUADRO N° 4
RACIONES UTILIZADAS EN EL ENSAYO BIOLOGICO CON RATAS, %

Ingredientes	Grupo No.					
	1	2	3	4	5	6
Maíz corriente	90.000	88.690	86.075	85.125	89.640	—
L-lisina HCl	—	0.310	—	—	0.310	—
Maíz (+ triptofano)*	—	1.000	—	1.000	—	—
L-triptofano	—	—	0.050	—	0.050	—
Maíz (+ lisina)*	—	—	3.875	3.875	—	—
Caseína	—	—	—	—	—	11.200
Almidón	—	—	—	—	—	78.800
Minerales	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Aceite de soya	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Aceite de hígado de bacalao	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

* Triptofano y lisina incorporados al maíz por infusión. Cada 100 g de ración contenía 5 ml de una solución vitamínica del complejo B (23).

DISCUSION

Los resultados indican que el método de infusión permite la incorporación de los aminoácidos limitantes del maíz, en cantidades tales que los granos enriquecidos pueden ser utilizados para suplementar el maíz corriente. Por otra parte,

CUADRO N° 5
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS BIOLÓGICOS CON RATAS EN CRECIMIENTO, ALIMENTADAS
CON MAÍZ SUPLEMENTADO CON LISINA Y TRIPTOFANO

Raciones	Proteína g%	Ganancia ponderal promedio* g	Promedio de alimento consumido g	Índice de eficiencia proteínica
1. Maíz solo	8.6	30 ± 3.5***	284 ± 18***	1.22 ± 0.08***
2. Maíz + lisina + maíz (triptofano)**	9.0	92 ± 8.0	420 ± 21	2.42 ± 0.10
3. Maíz + triptofano + maíz (lisina)**	8.9	100 ± 11.0	427 ± 27	2.59 ± 0.12
4. Maíz + maíz (triptofano) + maíz (lisina)	8.8	91 ± 9.3	427 ± 25	2.38 ± 0.12
5. Maíz + lisina + triptofano	8.9	95 ± 8.3	435 ± 23	2.45 ± 0.11
6. Caseína	10.4	135 ± 6.8	473 ± 13	2.73 ± 0.07

* Peso promedio inicial: 51 gramos.

Grupos de 8 ratas cada uno (4 hembras y 4 machos).

** Triptofano y lisina incorporados al maíz por infusión.

*** Error estándar.

los ensayos biológicos demostraron que los aminoácidos agregados en esta forma eran aprovechados eficientemente por el organismo para la síntesis de proteína tisular.

Debido a que las características de solubilidad de la lisina son diferentes a las del triptofano, la incorporación se llevó a cabo usando los aminoácidos separadamente, lo que hasta cierto punto es ventajoso porque así pueden obtenerse dos grupos de maíces, uno enriquecido con lisina, y otro con triptofano. En esta forma el maíz corriente se puede suplementar con los niveles deseados, preparando las mezclas en las proporciones adecuadas.

De los resultados se pudo constatar que las condiciones normales de pH y temperatura son suficientes para obtener concentraciones altas de aminoácidos en el grano de maíz, sin recurrir a operaciones más costosas.

Las altas concentraciones logradas pudieron obtenerse posiblemente porque se usó un grano de maíz todavía no del todo maduro, siendo probable que se hubiesen logrado menores concentraciones de haberse utilizado un maíz de tipo duro y ya maduro. Obviamente, estos aspectos ameritan mayor estudio, ya que otros investigadores (10, 11) no han logrado las incorporaciones aquí notificadas. Por ejemplo, Blessin y col. (10) lograron obtener concentraciones de lisina de 2.2% después de 48 horas en un maíz liofilizado con una humedad original de 25%, en contraste a la concentración de 6% que en el presente estudio acusó un maíz liofilizado con una humedad inicial de 41%.

Al preparar la solución al 20% de triptofano, debe utilizarse como solvente una solución de NaOH 1.0 N, ya que soluciones más concentradas de triptofano requieren también soluciones más concentradas de NaOH. Esta alta concentración de NaOH podría causar una racemización de los aminoácidos o la destrucción de aquellos menos estables, ya que el maíz debe estar en contacto con esta solución durante 6 horas y podría oscurecer aún más la cáscara, lo que resultaría, posiblemente, en un rechazo del producto por parte de los consumidores. Esta es la primera vez que se informa sobre la incorporación de triptofano al maíz, ya que otros investigadores se han concentrado en la incorporación de lisina únicamente (10, 11). Sin embargo, Cavins, Blessin e Inglett

(17) han informado sobre la infusión de triptofano al maicillo (*Sorghum vulgare*).

Si bien los procesos de autoclave y tostación del maíz fortificado por infusión produjeron algunas pérdidas, el porcentaje de recuperación indica que, a pesar de ello, este material aún puede ser utilizado como suplemento. En la preparación de nixtamal, previo a la elaboración de las tortillas, se confrontó un problema similar al anterior, ya que las pérdidas de lisina y triptofano en el agua de cocción alcanzaron valores de 64.9 y 74%, respectivamente.

Estas pérdidas de aminoácidos traen como consecuencia un aumento en el costo de suplementación, y la única forma de alcanzar los niveles efectivos sería agregando una cantidad mayor de maíz enriquecido para compensar dichas pérdidas, o buscando evitar éstas por medio de un recubrimiento del grano de maíz que no permitiese la difusión de los aminoácidos al agua de cocción. Estos recubrimientos podrían ser preparados con zeína y ácido palmítico (18), acetato de celulosa (19), etil celulosa (20) y otros compuestos (21, 22). Todos ellos podrían dar buenos resultados y no presentarían ningún inconveniente en la preparación de las tortillas, ya que serían eliminados junto con la cáscara del grano de maíz, antes de la preparación de la masa. Estos aspectos están actualmente bajo estudio.

El agregado, a la tortilla, de granos enriquecidos por infusión no induce cambios en sus caracteres organolépticos, ya que en las pruebas de sabor llevadas a cabo no se detectó olor ni sabor extraños. Los catadores tampoco pudieron diferenciar las tortillas suplementadas de aquellas preparadas con maíz corriente.

Cabe destacar que el método electroforético (13) utilizado en este estudio para la determinación de aminoácidos libres, es un procedimiento sencillo, rápido y eficiente para el control de los aminoácidos incorporados.

Desde el punto de vista económico, el método de infusión demostró ser factible, ya que el costo de suplementar una libra de maíz corriente con granos enriquecidos con lisina y triptofano, es de 0.0076 quetzales⁵, o sea de 76 centavos por

5. El quetzal, moneda nacional de Guatemala, equivale a un dólar de los Estados Unidos de América.

quintal, basados únicamente en la cantidad de lisina y triptofano incorporada al grano. Esto significa un aumento de aproximadamente 20% sobre el precio actual del maíz. Sin embargo, según demuestran los resultados de los ensayos biológicos (Cuadro 5), las ratas experimentales respondieron mejor en cuanto a ganancia ponderal e índice de eficiencia proteínica, con el maíz suplementado que con el maíz corriente. En otras palabras, usando los granos enriquecidos se logró aumentar en 100% la eficiencia de alimentación del maíz.



Figura 5. Apariencia de los granos corrientes y de los enriquecidos por infusión, con lisina y triptofano.

La proyección del maíz enriquecido a los consumidores de este cereal, puede lograrse utilizando un plan regional de silos. Estos se encargarían de la distribución del grano, y probablemente también de su procesamiento, puesto que según se ha demostrado, el proceso en su totalidad, es sencillo.

En síntesis, puede aseverarse que este primer paso dirigido hacia el enriquecimiento del grano de maíz por infusión, abre las puertas para futuras investigaciones cuya meta sea la búsqueda de medios de contribuir a la solución de un problema de tanta magnitud como lo es la desnutrición proteínico-calórica de que padecen nuestros pueblos centroamericanos. Por otro lado, conviene tener presente que el maíz fortificado según el procedimiento descrito, podría traducirse en una gran economía de concentrados proteínicos de alto precio para la industria animal. Ello no es remoto, puesto que se sabe que para suministrar la calidad de proteína requerida por el cerdo cuando el maíz es suplementado con aminoácidos, o es un maíz con gen Opaco-2, de alto valor nutritivo, se requieren, por ejemplo, cantidades menores de harina de soya.

SUMMARY

Improvement of the nutritive value of maize by means of lysine and tryptophan infusions

Studies were carried out to determine the optimum conditions for the incorporation, by an infusion process, of lysine and tryptophan to maize.

It was found that with an aqueous 30% lysine solution, at room temperature (25°C) and at a pH of 6.0, free lysine in maize was capable of increasing from 0.109 to 6.0 g%, equivalent to 54 times its initial concentration. For tryptophan, the optimum conditions were obtained using a 20% tryptophan solution in sodium hydroxide at pH 12 and using a temperature of 40-45°C. Under these conditions, free tryptophan in maize increased 277 times the initial concentration. Optimum infusion time for both amino acids was 6 hours.

Results of these studies further indicate that the amino acids incorporated by infusion are found in greatest amounts in the endosperm and germ of the maize kernel.

When enriched maize kernels were subjected to various kinds of processes, losses of the infused amino acids occurred. However, recoveries of 77, 74, 81 and 31% of lysine and of 58, 51, 46 and 26% of tryptophan were obtained from toasting, dry autoclaving, wet autoclaving, and cooking with lime water for tortilla preparation, respectively. In these food preparations no unfamiliar flavor or taste were detected.

Biological results carried out with maize supplemented with the infusion-enriched maize kernels revealed that the amino acids were 100% available for growth of young rats, giving PER values as high as those obtained from maize supplemented with synthetic lysine and tryptophan.

Findings indicate that the infusion technique may be a valuable tool in the enrichment of amino acid-deficient cereal grains.

BIBLIOGRAFIA

1. Harper, A. E. & H. J. H. de Muelenaere. The nutritive value of cereal proteins with special reference to the availability of amino acids. *Proceedings of the 5th International Congress of Biochemistry*, 8: 82-107, 1963.
2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *El Maíz en la Alimentación: Estudio sobre el Valor Nutritivo*. Roma, Italia, FAO, 1954, p. 1-12. (FAO, Estudios sobre Nutrición N° 9).
3. Orr, M. L. & B. K. Watt. *Amino Acid Content of Foods*. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, 1957, 41 p. (Home Economics Research Report N° 4).
4. Bressani, R. & E. T. Mertz. Studies on corn protein. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. *Cereal Chem.*, 35: 227-235, 1958.
5. Bressani, R. & E. Marengo. Corn flour supplementation. The enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan, and vitamins. *J. Agr. Food Chem.*, 11: 517-522, 1963.
6. Bressani, R., D. Wilson, M. Chung, M. Béhar & N. S. Scrimshaw. Supplementation of cereal proteins with amino acids. V. Effect of supplementing lime-treated corn with different levels of lysine, tryptophan and isoleucine on the nitrogen retention of young children. *J. Nutr.* 80: 80-84, 1963.
7. Rosenberg, H. R. Supplementation of foods with amino acids. *J. Agr. Food Chem.*, 7: 316-321, 1959.
8. Scrimshaw, N. S., R. Bressani, M. Béhar & F. Viteri. Supplementation of cereal proteins with amino acids. I. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at intermediate levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *J. Nutr.* 66: 501-513, 1958.
9. Waddel, J. Supplementation of plant proteins with amino acids. En: *Processed Plant Protein Foodstuffs*. A. M. Altschul (ed.). New York, Academic Press, 1958, p. 307-351.
10. Blessin, C. W., G. E. Inglett, J. F. Cavins & W. L. Deatherage. Lysine fortification of dent corn. *Cereal Sci. Today*, 15: 375-377, 394, 1970.
11. Blessin, C. W., J. F. Cavins & G. E. Inglett. Lysine-infused popcorn. *Cereal Chem.*, 48: 373-377, 1971.
12. Graham, R. P., A. I. Morgan, M. R. Hart & J. W. Pence. Mechanics of fortifying cereal grains & products. *Cereal Sci. Today*, 13: 224-227, 253, 1968.
13. Gómez Brenes, R. A. & R. Bressani. Método para la determinación de aminoácidos, aplicable a problemas de suplementación, fitomejoramiento y bioquímica nutricional. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 23: 443-464, 1973.
14. Gómez Brenes, R. A. Efectos de diversos tratamientos sobre la forma y la disponibilidad de la niacina en el maíz y en sus preparados alimenticios. Trabajo de tesis previo a optar al título de Doctor en Química y Farmacia. Universidad Nacional de Nicaragua, León, República de Nicaragua, octubre de 1958.

15. Bressani, R., R. Paz y Paz & N. S. Scrimshaw. Corn nutrient losses. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J. Agr. Food Chem.*, 6: 770-774, 1958.
16. Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis*. 8th ed. Washington, D. C., The Association, 1955.
17. Cavins, J. F., C. W. Blessin & G. E. Inglett. Infusion of grain sorghum with lysine, methionine and tryptophan. *Cereal Chem.*, 49: 605-608, 1972.
18. Nagano, Y. & H. Samejima. Prevention of lysine elution from lysine-enriched rice. *J. Food Sci. and Technol. (Japan)*, 16 (7): 318-320, 1969. c.f.: *Food Sci and Technol. Abst.*, 3 (11), M. 226, 1971.
19. Kyowa Hakko Kogyo, Co., Ltd. Enriched rice. Japanese Patent 29-775/71 (1971). *Food Sci. and Technol. Abst.*, 4 (3) M 278, 1972.
20. Ajinomoto, Inc. Imitation rice. Japanese Patent 29 178/71 (1971). *Food Sci. and Technol. Abst.*, 4 (3): M 280, 1972.
21. Ajinomoto Co., Inc. Artificial rice product. British Patent 1226 476 (1971). *Food Sci. and Technol. Abst.*, 3 (11) M 1244, 1971.
22. Mitsuda, H. Rice enrichment. United States Patent 3 623 886 (1971). *Food Sci. and Technol. Abst.*, 4 (4) M 467, 1972.
23. Manna, L. & S. M. Hauge. A possible relationship of vitamin B₁₃ to orotic acid. *J. Biol. Chem.* 202: 91-96, 1953.