

Optimización del tiempo de secado mediante la combinación del secado solar con una alternativa de secado artificial y su influencia en la calidad del almidón agrio.



Marisol Gordillo

Estadística. Profesora Asistente Universidad del Valle, Cali, Colombia.
mgsuarez44@yahoo.com

El presente estudio tiene por objetivo planear, diseñar, efectuar el montaje del experimento y evaluar un modelo de diseño experimental, mediante el cual se determine el efecto de los métodos de secado sobre la calidad del almidón agrio de yuca. La investigación se desarrolló en la rallandería La Zelandia, municipio de Mondomo (Cauca).

Se utilizó un diseño completamente al azar y un modelo combinado con igual diseño. Se realizaron dos experimentos en diferentes épocas, cada uno con tres repeticiones.

Entre los resultados obtenidos se encontró que los porcentajes de humedad después de seco el almidón en el secador artificial alcanzaron el rango ideal para almacenarlo (12 al 16%), independiente de las humedades que se obtuvieron durante el secado solar.

En cuanto al poder de panificación final, se comprobó que este no depende del poder de panificación inicial con que el almidón sale de los tanques de fermentación.

Con relación a los resultados experimentales de las diferentes horas de secado solar – artificial, se obtuvo que no hay diferencias significativas entre secar el almidón (6 Horas al sol y 1 hora en el secador artificial) con secar el almidón (8 horas al sol). Cuando el almidón se seca 5 horas al sol y una artificial, se obtuvieron mejores resultados en términos de tiempo y calidad del almidón.

Palabras Clave: Diseño experimental, Diseño completamente al azar, Modelo Combinado, Covariable, Análisis de varianza.

1. Introducción

La producción de almidón agrio de yuca es pre-

dominante en la región de la zona norte del Cauca, se realiza en pequeñas rallanderías y el proceso tradicional consiste en las siguientes etapas: re-

cepción de materia prima, lavado, rallado, tamizado, sedimentación, fermentación, secado y empaque del producto. Este estudio se enfoca en la etapa de secado del almidón agrio de yuca, el cual es necesario no solo para que pueda el almidón ser almacenado sino también para adquirir propiedades adicionales de sabor, aroma y poder de panificación, ya que sin secado solar no se produce el poder de panificación según estudio realizado por Brabet (1994).

Según los ralladeros de la región en un día de verano se puede obtener 2 kilogramos de almidón seco por metro cuadrado, mientras que en época de invierno o no puede secarse nada o secan menos de los 2 kilogramos por metro cuadrado, y en algunas ocasiones es necesario guardar el almidón aún con alta humedad y esto hace que en el almidón se produzca la descomposición enzimática de este.

Por lo cual el secado es el cuello de botella en la producción de almidón agrio, se necesita buen tiempo, amplias áreas de secado, preferiblemente pavimentadas y suficiente personal para cubrir el almidón en caso de lluvia. Por eso se hace necesario desarrollar técnicas que permitan que esta etapa del proceso sea eficiente, sin que el almidón pierda su poder de panificación.

Se han realizado algunos estudios con el propósito de mejorar la etapa de secado mediante técnicas artificiales o convencionales, las cuales se describen a continuación:

Brabet (1994). Realizó un experimento con almidón agrio de yuca, el cual consistió inicialmente en secar el almidón al sol con un espesor entre 0.5 cm. y 1 cm y en estufa a una temperatura entre 40 °C y 50 °C. Con el fin de verificar si las radiaciones solares son necesarias para la adquisición del poder de panificación.

En esta investigación se obtuvo que el incremento del poder de panificación del almidón agrio depende del secado solar y esta correlacionado con la disminución del ácido láctico y la viscosidad. Además que entre las 4 y las 6 horas de secado solar, los diferentes parámetros tienden a estabilizarse y el poder de panificación alcanza su valor máximo.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT (1995), realizó una investigación sobre almidón agrio de yuca (Valoración du manioc en Amerique Latina) en cuanto al secado. El objetivo

del proyecto fue: La puesta en evidencia de la reacción fotoquímica necesaria para la obtención del almidón agrio panificable y la caracterización de los filtros de radiación solar.

En esta investigación el secado se realizó por dos métodos: Secado en estufa recubierta de papel aluminio y secado solar.

En los resultados obtenidos se demostró que: Un secado demasiado rápido o una irradiación demasiado fuerte no permiten obtener un poder de panificación óptimo.

En el caso de secado solar con escasa densidad, el agua que se evapora rápidamente, parece faltarle para un buen desarrollo de la reacción química ligada a la irradiación solar.

Una irradiación demasiado intensa deja una poca fotodegradación de las macromoléculas del almidón lo que puede modificar la panificación. Un espesor de la capa de almidón muy grueso no permite que la capa inferior del almidón irradie y produzca la reacción fotoquímica lo que produce una disminución en el poder de panificación. La cantidad de energía necesaria para obtener un poder de panificación máximo varía de un almidón a otro.

Combinar el secado natural con una alternativa artificial tiene las ventajas de lograr una reducción en el espacio de trabajo (Patios), en los jornales y permite secar el producto en una forma más homogénea.

2. Metodología

En el objetivo general de esta investigación se plantea: Planear, diseñar, efectuar el montaje del experimento y evaluar un modelo de diseño experimental, mediante el cual se determine el efecto de los métodos de secado sobre la calidad del almidón.

Evaluar la combinación de secado natural y artificial y su respuesta medida en el poder de panificación. Determinar si el poder de panificación al final del secado, depende del poder de panificación con que sale el almidón de los tanques de fermentación.

2.1. Ubicación

Este proyecto se realizó en las instalaciones de la rallandería La Zelandia, ubicada en el municipio de Mondomo, Departamento del Cauca.

2.2. Materiales y métodos

En esta investigación la unidad experimental es 10 kilos de almidón agrio de yuca, fermentado durante 30 días. El almidón agrio de yuca fue una mezcla de dos variedades Raya 7 y H21. El factor considerado fue el tipo de secado: Tipo de secado, en los siguientes niveles:

- 1 Hora al sol y 1 hora secador artificial
- 2 Horas al sol y 1 hora secador artificial
- 3 Horas al sol y 1 hora secador artificial
- 4 Horas al sol y 1 hora secador artificial
- 5 Horas al sol y 1 hora secador artificial
- 6 Horas al sol y 1 hora secador artificial
- 8 Horas al sol (testigo)

Covariable

Medida del poder de panificación del almidón sin secar (inicial).

El experimento se realizó en dos épocas diferentes, cada uno con tres repeticiones, el primer experimento a principio del mes de septiembre y el segundo a finales del mes de noviembre de 1997. Las variables de respuesta estudiadas son: Contenido de humedad del almidón (%) al final del experimento, y poder de panificación (cm^3/g) al final del experimento.

Etapas de trabajo

La yuca se sometió al proceso de obtención del almidón, y como el experimento se desarrolló después de la etapa de fermentación, de allí en adelante se siguieron los siguientes pasos (Figura 1):

- Se tomó 10 Kilos de almidón en base húmeda, fermentado durante 30 días en los tanques de fermentación, se homogenizó y se sacó una muestra de 30 gramos para medir el porcentaje de humedad inicial, otra muestra de 100 gramos para medir poder de panificación al almidón sin secar.
- Seguidamente el resto de almidón se colocó a secar al sol, y después de una hora, se tomó una muestra de 30 gramos para medir el por-

centaje de humedad, 100 gramos para medir poder de panificación y 500 gramos para continuar siendo secado artificialmente por una hora más. Pasada la hora en el secador artificial, se saca una muestra de 30 gramos para medir la humedad final y 100 gramos para medir su poder de panificación final.

Este proceso es el mismo para las 2, 3, 4, 5 y 6 horas de secado solar.

- Para el tratamiento testigo se secó el almidón durante 8 horas bajo el sol, y se tomó una muestra de 30 gramos para medir el porcentaje de humedad, 100 gramos para medir poder de panificación. (Figura 1).

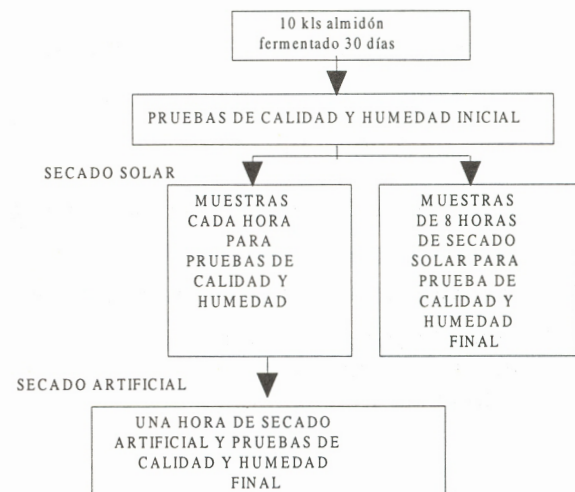


Figura 1. Diagrama del experimento

Operación del sistema de secado artificial

Con el fin de hallar condiciones de operación para el secado artificial en el experimento, se utilizó un secador, el cual consta de:

Una cámara, donde se uniformiza la presión del aire que introduce el ventilador, después de pasar por tres resistencias que calientan el aire, para atravesar en forma ascendente una rejilla que sirve de piso al material que se va a secar. El aire pasa a través de la masa de granos para salir por la parte superior de la misma. (Figura. 2).

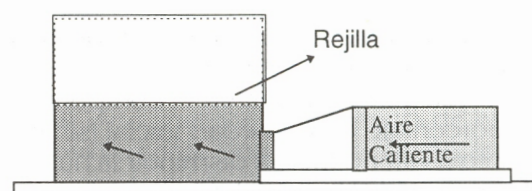


Figura 2. Silo secador de fondo falso

3. Análisis estadístico

Para este experimento se utilizó un diseño completamente aleatorio con una covariable, se consideró este modelo debido a que las unidades experimentales se consideraron homogéneas.

El modelo planteado es :

$$Y_{ij} = \mu + Z_i + \beta(X_{ij} - \bar{X}_{..}) + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Es el **Poder de panificación**, tomada en el i -ésimo tratamiento de la j -ésima repetición.

μ = Es el promedio general de la variable respuesta, sin tener en cuenta el efecto de ningún tratamiento.

Z_i = Es el efecto debido al i -ésimo nivel del tipo de secado.

β = Coeficiente de regresión.

X_{ij} = Es el valor de la Covariable correspondiente a Y_{ij} .

ϵ_{ij} = Es una variable aleatoria no observable, que se produce por factores no controlados o no controlables en el experimento.
Los supuestos del modelo son:

$$E(\epsilon_{ij}) = 0$$

$$V(\epsilon_{ij}) = \sigma^2 I \quad \forall ij$$

$$\text{Cov}(\epsilon_{ij}, \epsilon_{i'j'}) = 0 \quad \forall \epsilon_{ij}, \epsilon_{i'j'}$$

Inicialmente se consideró el análisis del modelo combinado de igual diseño ya que el experimento se realizó dos veces en épocas diferentes. En este experimento las condiciones climáticas eran importantes debido a que se trataba de secar el almidón al sol y la época es un factor que podía influir en la respuesta.

4. Resultados y análisis

Los resultados de esta investigación son:

- **Porcentaje de humedad antes del secado artificial**
Comparando los dos experimentos, se puede concluir que son similares en el comportamiento del porcentaje de humedad inicial (sin secar) en cuanto a la tendencia a disminuir la humedad en el tiempo de secado solar.

- **Porcentaje de humedad final:**

Después de secar en el secador artificial, se encuentra dentro del rango ideal para almacenarlo (12 al 16%), independiente de las humedades que se obtuvieron durante el secado solar (Figura 3).

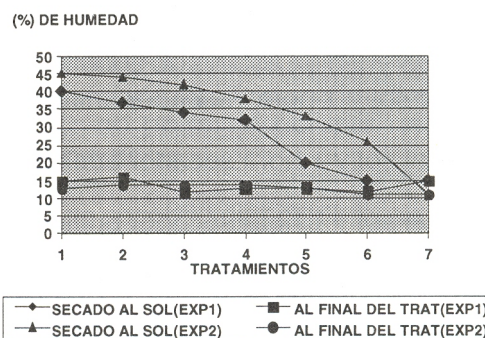


Figura 3. Porcentajes de humedad, secado al sol y después del secado artificial

- **Poder de panificación:**

En el primer experimento, el aumento del poder de panificación no fue tan rápido como en el segundo experimento, es decir, en el primer experimento se necesitó de más horas de secado para alcanzar su máximo poder de panificación, mientras que en el segundo lo adquirió rápidamente (Figura 4.).

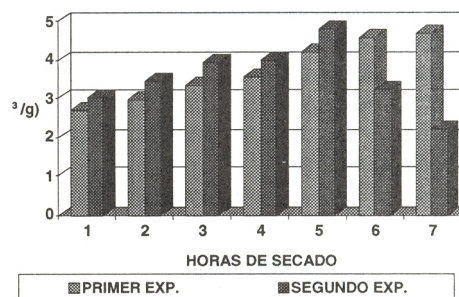


Figura 4. Poder de panificación, a diferentes horas de secado solar y una hora artificial.

Análisis del Modelo Combinado

En este análisis se encuentra involucrado el efecto de la época de toma de la información, debido a que no se tuvieron iguales condiciones en cuanto a temperatura, calidad del agua en el proceso de obtención del almidón como también la yuca a pesar de ser de igual variedad (Raya-7 y H21), porque no se conocen sus antecedentes (como por ejemplo tiempo de cosecha, etc.).

Se realizó los cálculos de la tabla de análisis de varianza, con el fin de probar la hipótesis de la interacción entre la época y los tratamientos y el efecto de la covariable. (tabla 1).

Tabla 1. Análisis de Varianza para la variable respuesta poder de panificación, en el análisis combinado, para diseño completamente aleatorio con una covariable.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F
PODER DE PANIFICACION DEL ALMIDON SIN SECAR	1	0.0021	0.0021	0.02
TIPO DE SECADO	6	9.57	1.59	19.2
ÉPOCA	1	0.63	0.63	7.53
INTERACCIÓN EPOCA*TRAT	6	16.38	2.73	32.8
ERROR	27	2.25	0.083	
TOTAL	41	28.83		

C.V :8.05

La primera hipótesis a probar, es la hipótesis nula, donde se postula que no hay interacción entre los tratamientos y la época.

En la tabla 1, puede observarse que con un nivel de significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula, debido a que la F calculada =32.8 es mayor que la $F_{(6,27,0.05)}$ tabulada =2.46, por lo tanto concluimos que hay interacción entre los tratamientos aplicados (tipos de secado) y la época de toma de la información, o sea que el efecto de los tratamientos depende de la época en que se realice el proceso.

La otra hipótesis importante es la de linealidad postula (H_0) que no existe una relación lineal entre el poder de panificación (cm^3/g) al final del experimento y el poder de panificación del almidón sin secar (covariable).

En la tabla 1, puede observarse que con un nivel de significancia del 0.05, no puede rechazarse la hipótesis nula, debido a que la F calculada =0.02 es menor que la $F_{(1,27,0.05)}$ tabulada =4.21, por lo tanto no hay suficiente evidencia para rechazar esta hipótesis, y podemos concluir que no hay una relación lineal entre el poder de panificación del almidón sin secar y el poder de panificación del almidón después de aplicados los tratamientos.

Debido a que no hay un efecto de la covariable sobre el modelo, es necesario realizar una nueva tabla de análisis de varianza, sin la presencia de la covariable (tabla 2.)

En el análisis combinado sin la covariable, (tabla 2) continua la interacción entre los tratamientos y la

Tabla 2. Análisis de Varianza para la variable respuesta poder de panificación, en el análisis combinado, para el diseño completamente aleatorio sin el efecto de la covariable.

FUENTE DE VARIACION	DE GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F
TOTAL	41	28.83		
TIPO DE SECADO	6	9.57	1.59	19.8
ÉPOCA	1	0.63	0.63	7.79
INTERACCIÓN EPOCA*TRAT	6	16.38	2.73	33.9
ERROR	28	2.25	0.080	

época, dado que el valor del F calculado =33.9 es mayor al valor de la $F_{(6,28,0.05)}$ tabulada = 2.45, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, según hay interacción entre los tratamientos y la época. Resulta útil en la interpretación la construcción del gráfico de los promedios de cada combinación de tratamiento con la época (Fig. 5), donde se aprecia que las dos rectas no son paralelas lo cual indica que hay una interacción significativa, o sea que los resultados de los tratamientos dependen de la época en que se tome la información.

Obteniéndose mejores poderes de panificación en los experimentos realizados en las primeras 5 horas de secado de los ensayos realizados en el mes de noviembre.

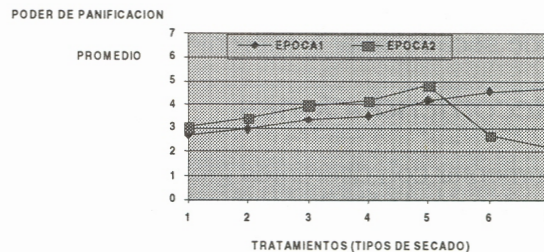


Figura 5. Gráfico de la época contra el tipo de secado. Temperatura Ambiente: Época 1= (25 y 46°C), Época 2= (25 y 40°C).

Es de aclarar que la diferencia en la ejecución de los dos experimentos se debe a factores que no eran posibles de controlar como:

- Diferentes temperaturas en el sitio de secado, por secar en diferente época.
- Diferentes grosores de la capa de almidón en el secado solar. Se utilizó un espesor aproximadamente entre 0.5 cm. y 0.7 cm.)
- Calidad del agua que se utiliza en el proceso de obtención del almidón.

Queda abierto analizar la influencia de estos factores. Posiblemente estos factores explican el comportamiento variado de los dos experimentos.

5. Conclusiones

Bajo las condiciones de la presente investigación, se pueden anotar las siguientes conclusiones:

- Se comprobó que el poder de panificación final no depende del poder de panificación con que el almidón sale de los tanques de fermentación.
- Se encontró que entre los tipos de secado no hay diferencias significativas, entre las seis horas de secado solar más una hora de secado artificial con 7 horas de secado solar más una hora de secado artificial; además que cuando el almidón se seca cinco horas de secado solar más una hora de secado artificial este tratamiento es diferente a todos los demás.
- El poder de panificación máximo, depende de la época en que se realice el proceso (temperatura del sitio, espesor).
- Se comprobó experimentalmente que el tiempo de secado de una hora en el secador artificial, se obtiene el almidón en un rango de humedad entre 12 y 16 % con almidones cuyo rango de humedad inicial estaba entre el 15 y 45 %, después de secado solar a diferentes horas.

6. Recomendaciones

- Experimentar con diferentes grosores de capas de almidón en el secado solar, teniendo en cuenta las condiciones climáticas (temperatura, humedad del aire, intensidad de calor (cal/min), etc.)
- Estudiar el efecto de la variedad en la calidad del almidón, en el secado combinado.
- Estudiar otras alternativas de secado artificial,

para mejorar el sistema de secado artificial, ya que el secador utilizado en éste ensayo presenta dificultades.

- Desarrollar un prototipo de un secador industrial y realizar análisis de factibilidad económica y operativa.

Bibliografía

1. CIAT. Valorisation du manioc en Amerique Latine. Cali. Colombia. 3:23-40.1995.
2. ALARCON M, Fredy . Extracción de almidón de yuca, balance general de la rallanderia «La Agustina». Cali, 1994.
3. MONTALDO, Álvaro, La Yuca o Mandioca. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Págs 20-25. 1979.
4. MONTGOMERY, Douglas C. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. Págs 511-515. México, 1991.
5. MORENO, Martin A. Innovaciones tecnológicas en la producción de almidón agrio de yuca. . Revista Universidad y Sociedad. Cali. pag 7. 1994.
6. LORSONEUR. Influence du séchage solaire sur la qualité de l'almidon aigre du manioc.(1993).
7. PESKE Y AGUIRRE. Beneficio de semillas. Unidad de semillas . CIAT. (1978)
8. CANAVOS GEORGE. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y Métodos. McGrawhill. (1994).
9. PEÑA D. Estadística Modelos y Métodos . Editorial Alianza. (1993).