

# **Proceso de Fabricación del Ajo Negro: Condiciones Ambientales, Temperatura, Tiempo y Parámetros Críticos**

## **Introducción**

El ajo negro es el producto resultante del envejecimiento térmico del ajo fresco (*Allium sativum* L.) mediante un proceso controlado de temperatura y humedad que transforma las características físicas, químicas y organolépticas del ajo blanco convencional. Contrario a lo que sugiere el término "fermentación", este proceso no es una verdadera fermentación microbiana, sino una transformación química compleja que involucra principalmente la reacción de Maillard y otros procesos de oxidación.

## **Parámetros Críticos del Proceso**

### **Condiciones de Temperatura**

Las condiciones de temperatura son fundamentales para el éxito del proceso. A partir de varios estudios científicos se establece que, si bien la temperatura óptima se encuentra entre 70 y 90°C, la mejor configuración es a 80 °C, la cual permite que el proceso de fermentación se lleve adelante en aproximadamente 14 días.

A continuación se detallan las configuraciones alternativas encontradas a partir de la investigación, en lo que respecta a temperaturas:

- Temperatura ideal: 80°C ha sido identificada como la temperatura óptima para obtener el mejor producto de ajo negro.
- Temperaturas menores (60-70°C): Resultan en procesos más lentos y productos de menor calidad.
- Temperaturas mayores (90°C): Aunque aceleran el proceso, producen sabores más amargos y agrios

### **Condiciones de Humedad Relativa**

La humedad relativa es igualmente crítica para el proceso:

- Humedad ideal: 80-90% para obtener resultados óptimos.
- La humedad inadecuada puede resultar en pardeamiento incompleto del ajo.
- Humedades muy bajas (< 70%) comprometen la transformación química necesaria.

## Tiempos del proceso

El tiempo de procesamiento varía según la configuración elegida:

Fase de envejecimiento térmico:

- A 70°C y 90% HR: 21-35 días para resultados óptimos
- A 80°C y 80% HR: 14 días
- A 60°C: Hasta 69 días
- A 90°C: 9-12 días (pero con calidad inferior)

Fase de maduración post-térmica:

- 40-60 días adicionales a temperatura ambiente en condiciones controladas
- Esta fase permite la estabilización del producto y mejora sus características organolépticas

## Proceso detallado de fabricación

A continuación se presenta, a grandes rasgos, el proceso de fabricación del ajo negro:

### **Etapas 1: Selección y Preparación**

1. Selección de materia prima: Ajos frescos con cáscaras intactas y bulbos llenos
2. Limpieza: Lavado con agua para eliminar impurezas y tierra
3. Clasificación: Separación por tamaños para uniformizar el proceso
4. Acondicionamiento: Los ajos pueden procesarse enteros (con cáscara) o pelados

### **Etapas 2: Proceso Térmico Principal**

Condiciones recomendadas según la evidencia científica:

- Temperatura: 80°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ )
- Humedad relativa: 80% ( $\pm 2\%$ )
- Tiempo: 14 días
- Ambiente: Cámara sellada con circulación de aire controlada

Durante esta etapa ocurren las transformaciones críticas:

- Reacción de Maillard: Interacción entre aminoácidos y azúcares reductores
- Degradación de alicina: Reducción de compuestos sulfurados responsables del olor característico
- Formación de melanoidinas: Compuestos responsables del color negro característico
- Incremento de 5-hidroximetilfurfural (5-HMF): Indicador del grado de transformación

### **Etapas 3: Enfriamiento y Secado**

- Enfriamiento gradual: Reducción de temperatura a 35°C durante 24 horas
- Reducción de humedad: Hasta 30% HR para estabilizar el producto

### **Etapas 4: Maduración Final**

- Duración: 40-60 días
- Condiciones: Temperatura ambiente, ambiente oscuro
- Función: Estabilización química y desarrollo de sabor final

## **Cambios Físico-Químicos Durante el Proceso**

### **Parámetros de Control de Calidad**

- pH: Disminuye de 6.29 (ajo fresco) a 3.74-4.01 (ajo negro)
  - La reducción del pH se debe a la formación de ácidos orgánicos
  - $\text{pH} \leq 4.6$  inhibe el crecimiento de *Clostridium botulinum*
- Actividad de agua ( $A_w$ ): Debe mantenerse  $\leq 0.93$  para seguridad microbiológica
- Contenido de humedad: Reducción del 50% durante los primeros 7 días
  - Ajo fresco: 62-64%
  - Ajo negro: 32-43%
- Intensidad de pardeamiento: Incremento de 13 veces respecto al ajo fresco

### **Transformaciones Bioquímicas**

Incremento en compuestos bioactivos:

- S-alil-L-cisteína (SAC): Aumento de hasta 8 veces
- Polifenoles totales: Incremento de 6.6-9.6 veces
- Capacidad antioxidante: Mejora de 5.3-9.9 veces
- Flavonoides: Aumento significativo durante el proceso

### **Aspectos Microbiológicos**

Aunque el proceso no es una fermentación verdadera, estudios recientes han identificado microorganismos termófilos que participan en la transformación:

Géneros bacterianos dominantes identificados:

- *Thermus*
- *Corynebacterium*
- *Streptococcus*
- *Brevundimonas*

Estos microorganismos contribuyen al metabolismo de aminoácidos, carbohidratos y transporte de membrana durante el proceso.

## Consideraciones de Seguridad Alimentaria

El principal riesgo que debe considerarse al momento realizar la fabricación y procesamiento del ajo negro es el riesgo microbiológico asociado a la bacteria *Clostridium botulinum*.

A efectos de cumplir con las consideraciones de seguridad alimentaria en la producción, se recomienda:

- Mantenimiento de temperatura > 60°C durante todo el proceso
- Monitoreo continuo con registradores de temperatura
- pH final < 4.6 como barrera adicional

## Buenas Prácticas de Manufactura

1. Equipos adecuados: Acero inoxidable 304/316
2. Control de temperatura: Sistemas automáticos con precisión  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
3. Monitoreo continuo: Registro de temperatura y humedad
4. Ambiente controlado: Cámaras selladas con circulación de aire

## Factores que Afectan la Calidad

1. Temperatura de procesamiento: Directamente relacionada con la velocidad de pardeamiento y pérdida de humedad
2. Tiempo de exposición: Balanceado con la temperatura para optimizar compuestos bioactivos
3. Humedad relativa: Crucial para mantener las reacciones químicas necesarias
4. Calidad de la materia prima: Ajos frescos, íntegros y de calidad uniforme

## Conclusiones

El proceso de fabricación del ajo negro requiere un control preciso de parámetros críticos basado en evidencia científica sólida. Las condiciones óptimas establecidas (70-80°C, 80-90% HR, 14-35 días) permiten obtener un producto de alta calidad con propiedades organolépticas y nutraceuticas superiores al ajo fresco. El éxito del proceso depende fundamentalmente del mantenimiento constante de las condiciones ambientales y la implementación de buenas prácticas de manufactura para garantizar la seguridad alimentaria del producto final.

La comprensión de los mecanismos bioquímicos involucrados, particularmente la reacción de Maillard y la posible participación de microorganismos termófilos, proporciona las bases científicas necesarias para la optimización continua del proceso y el desarrollo de protocolos estandarizados para la producción industrial del ajo negro.