

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMBINADA DE BANANA EN MIEL. OPTIMIZACIÓN DEL PRE-TRATAMIENTO ASISTIDO POR ULTRASONIDO



RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio y optimización del pre-tratamiento asistido por ultrasonido (US) para la incorporación de miel en la deshidratación osmótica combinada con secado por aire caliente. Se emplearon bananas de la variedad Nanica. El proceso consistió en un pre-tratamiento de ósmosis en agua destilada empleando una relación fruta-solvente de 1:4 durante diferentes tiempos (20, 40 y 60 minutos), con aplicación (o no) de ondas ultrasónicas (40 kHz) con la intención de remover los sólidos solubles de la fruta. Las muestras pre-tratadas se sometieron luego a una etapa de incorporación de miel (70% p/p) durante 25 h a temperatura ambiente y a una etapa final de secado por aire caliente a 70°C. Durante los distintos estadios del proceso las muestras se evaluaron en contenido de sólidos solubles (°Brix) y humedad. Como resultado de este estudio, se estableció que el empleo de ondas ultrasónicas durante 20 minutos en el pre-tratamiento previo a la deshidratación combinada permitió remover la mayor cantidad de azúcares propios de la fruta (SG = -5,46%) durante la etapa preliminar, lográndose la mayor incorporación de miel durante la deshidratación osmótica (SG = 16,72 %).

Palabras clave. Banana, miel, snack, pre-tratamiento ultrasónico, deshidratación combinada.

Mariana B. Laborde^{1,2}, Yanina Suárez²
y Ana M. Pagano²

¹CONICET. Argentina

²TECSE - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). Argentina
anamariapagano@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La banana es la fruta más consumida en la Argentina (12,2 kg/persona/año). Se trata de un fruto que se destaca por una importante presencia de vitaminas, potasio, hierro, calcio y por su bajo contenido de grasas y proteínas. Además, es una buena fuente de energía, debido a su alto nivel de almidón y azúcares^[1]. Desde un punto de vista biológico, la banana es una de las frutas que presenta mayores pérdidas por descomposición después de la cosecha por ser extremadamente perecedera y no permitir el uso de la refrigeración para su conservación. Por este motivo, se busca obtener un producto desecado, como son los chips de banana, los cuales pueden consumidos como snack o como utilizarse como materia prima en cereales de desayuno, barras energéticas, etc.

La deshidratación osmótica es un método ampliamente utilizado para eliminar el agua de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica^[2]. Sin embargo, no disminuye el contenido de forma de estabilizarlo totalmente, por lo que se requiere de un tratamiento posterior como puede ser el secado por aire^[3]. Por otro lado, se ha demostrado que el uso de ultrasonido (US) permite la formación de microcanales en la estructura del tejido de la fruta cuando es sometida a ósmosis, aumentando la tasa de transferencia de masa entre la fruta y la solución. Particularmente cuando se usa agua como solvente durante la ósmosis, se favorece la eliminación de sólidos solubles de la fruta^[2, 4-8].

Teniendo en cuenta la ventaja del empleo de ultrasonido, el presente estudio tiene como objetivo estudiar la combinación de ultrasonido con deshidratación

ción osmótica en solución de miel, con el propósito de maximizar la incorporación de miel de la solución osmótica a la fruta, a fin de desarrollar un snack de banana de alto valor agregado y nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

Los ensayos se efectuaron a partir de bananas de la variedad Nanica, seleccionadas por tamaño, color y estado de maduración, adquiridas en el mercado Central Tandil (Provincia de Buenos Aires, Argentina) y almacenadas en refrigeración (2-5°C) hasta el momento de su procesado. En la deshidratación osmótica se empleó miel de abeja comercial de producción nacional (marca Cooperativa).

Preparación de las muestras

Las muestras seleccionadas por grado de madurez y calibre fueron lavadas con agua potable, peladas manualmente y cortadas en rodajas cilíndricas regulares transversalmente al eje principal. Para la reducción de tamaño se empleó un cortador doméstico de acero inoxidable de 0,005 m.

Caracterización de las bananas frescas

La fruta fresca se caracterizó mediante la determinación de las longitudes características (calibre), peso de fruto y de porción (balanza), contenido de humedad (estufa) y contenido de sólidos solubles (refractometría).

Determinación de longitudes características

Se definieron tres longitudes características principales para cada porción cilíndrica: diámetro meridional y diámetro ecuatorial de la sección circular transversal y espesor. La determinación de estas dimensiones se realizó mediante calibre manual (precisión $\pm 0,0001$ m) sobre un total de 20 unidades.

Determinación de peso

Previo al corte de rodajas, se evaluó el peso promedio de la fruta y de la cáscara en balanza digital (precisión $\pm 0,01$ g) sobre un total de 10 unidades tomadas al azar. Las rodajas fueron asimismo evaluadas individualmente en peso en balanza analítica (precisión $\pm 0,001$ g).

Determinación de contenido de humedad

El contenido de humedad en base húmeda (b.h.) de las frutas frescas y de las muestras de cada tratamiento fue determinado mediante el método normalizado de estufa de secado a 70°C durante 24 h^[9] sobre 5 g de muestra, por triplicado.



Dataloggers Wi-Fi testo Saveris 2

Supervisa y documenta todos los sitios de refrigeración automáticamente - para la más alta calidad de los alimentos.

- Mantenga sus datos siempre actualizados y disponibles desde cualquier sitio (PC - Tablet - Smartphone) gracias al almacenamiento de datos en línea.
- Alarmas por e-mail en valores límite.
- Temperatura - humedad y temperatura - sensores internos y/o externos.

www.testo.com.ar/saveris2

Testo Argentina S.A.
Yerbal 5266 - 4° piso (C1407EBN) - Buenos Aires
Tel.: (011) 4683-5050 - Fax: (011) 4683-2020
info@testo.com.ar - www.testo.com.ar

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial que tomó en cuenta los siguientes factores de la etapa de pre-tratamiento: tiempo de inmersión (t: 20, 40 y 60 minutos) y frecuencia de ultrasonido (F: 0 (testigo) y 40 kHz), por triplicado, completando el proceso con deshidratación osmótica en solución de miel de abeja combinada con secado por aire caliente para obtener un producto tipo snack.

Procedimiento experimental

Las muestras inmediatamente acondicionadas en tamaño fueron llevadas al pre-tratamiento de ósmosis como etapa preliminar de la deshidratación osmótica combinada con secado por aire caliente. Las porciones se sumergieron en agua destilada empleando una relación fruta-solvente de 1:4, a temperatura ambiente, con aplicación de ondas ultrasónicas (40 kHz) durante diferentes tiempos (20, 40 y 60 minutos). A cada intervalo pre-establecido, las muestras fueron extraídas de la solución acuosa, drenadas y escurridas sobre papel absorbente, y evaluadas en contenido de sólidos solubles (SS), contenido de humedad (M) y peso (W). Tanto las porciones de fruta pre-tratadas como las frescas (tratamiento testigo, 0 kHz), se sumergieron en solución de miel de abejas al 70% p/p durante 25 h empleando una relación fruta-solución osmótica de miel de 1:2, a temperatura ambiente, sin agitación, por triplicado. Al final de esta etapa de deshidratación osmótica, las muestras se extrajeron, drenaron y escurrieron sobre papel absorbente, y se llevaron a una etapa complementaria de secado por aire caliente a 70°C hasta obtener una humedad final menor al 20% b.h. para su conservación.

Variables de control

Para evaluar el intercambio de masa entre las porciones de banana y la solución acuosa empleada durante el pre-tratamiento, se establecieron las variables de control que se calcularon mediante las siguientes ecuaciones a partir del peso y del contenido de humedad (base húmeda) inicial de la fruta y a cada tiempo del pre-tratamiento:

Variación porcentual de sólidos solubles:

$$SG = (Wf \cdot Xsf - Wi \cdot Xsi) / Wi \cdot 100 \quad (1)$$

Variación porcentual de humedad:

$$WL = (Wi \cdot Xi - Wf \cdot Xf) / Wi \cdot 100 \quad (2)$$

donde W_i y W_f : masa de la muestra (g) inicial y final (a cada tiempo de tratamiento), respectivamente; X_{si} y X_{sf} : contenido de sólidos solubles de la muestra (g sólidos solubles/g) inicial y final (a cada intervalo de tiempo del tratamiento); X_i y X_f : contenido de humedad de la muestra (g agua/g) inicial y final (a cada tiempo de tratamiento).

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA (análisis de varianza) y RSM (metodología de superficie de respuesta) empleando el software SYSTAT V12 a fin de determinar los factores significativos ($\alpha=0,05$) y definir las condiciones óptimas del pre-tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización inicial de las frutas frescas se muestran en la Tabla 1.

Etapa de pre-tratamiento

Como resultado de la evaluación en peso, contenido de humedad (Figura 1) y de sólidos solubles (Figura 2) de las muestras durante el pre-tratamiento de ósmosis en agua destilada asistido por ultrasonido, se obtuvieron datos que permitieron calcular la variación de sólidos solubles y de humedad que se presentan como valores medios con sus correspondientes desvíos estándar en la Figura 3. El contenido de humedad de las muestras pre-tratadas en todos los casos fue superior al de la fruta fresca ($78,88 \pm 0,14$ % b.h.), variando desde $83,76 \pm 1,27$ % b.h. (20 min) hasta $82,53 \pm 0,50$ % b.h. (60 min) (Figura 1). A la vez, en sentido contrario, los sólidos solubles de las muestras pre-tratadas resultaron menores en todos los casos que en la fruta fresca

TABLA 1 - Resultados de la caracterización físico-química de las porciones de banana fresca

Peso promedio g	Humedad %	Sólidos solubles %	Diámetro medio cm	Espesor cm
3,51±0,21	74,88±0,14	18,62±0,99	2,545±0,216	0,5±0,01

FIGURA 1 - Contenido de humedad (M) de las muestras durante el pre-tratamiento de ósmosis en agua destilada asistida por ultrasonido

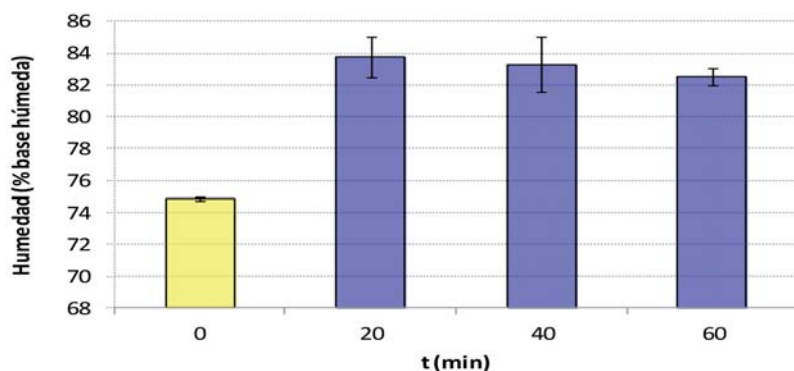


FIGURA 2 - Contenido de sólidos solubles (SS) de las muestras durante el pre-tratamiento de ósmosis en agua destilada asistida por ultrasonido

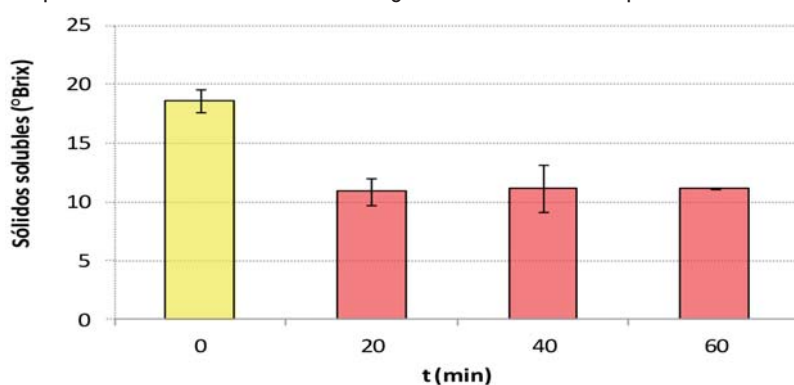
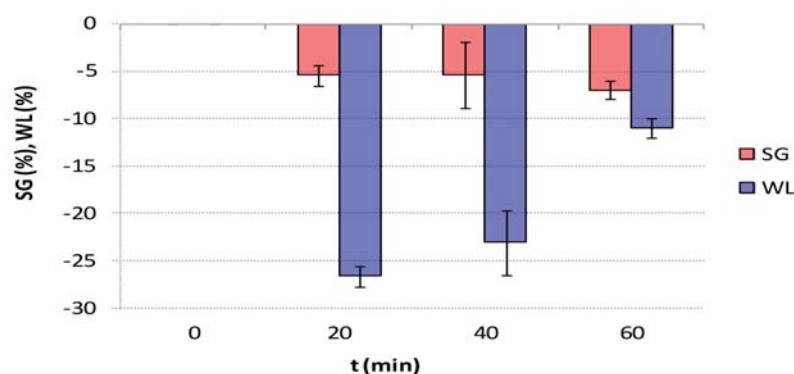


FIGURA 3 - Variación porcentual de sólidos solubles (SG) y de humedad (WL) de las muestras durante el pre-tratamiento de ósmosis en agua destilada asistida por ultrasonido



(18,62 ±0,99 °Brix), variando en el rango de 10,88 ±1,15 °Brix (20 min) a 11,19 ±0,04 °Brix (60 min) (Figura 2).

Al analizar estos resultados, se pudo observar mediante ANOVA que el empleo de ultrasonido en el pre-tratamiento produjo cambios significativos ($\alpha=0,05$) sobre el contenido original de sólidos solubles y de humedad de la fruta fresca, para todos los tiempos de proceso ensayados. Sin embargo, compara-

tivamente entre los diferentes tiempos de pre-tratamiento evaluados, no se observaron diferencias significativas en los contenidos de sólidos solubles, ni tampoco en las humedades de las muestras procesadas.

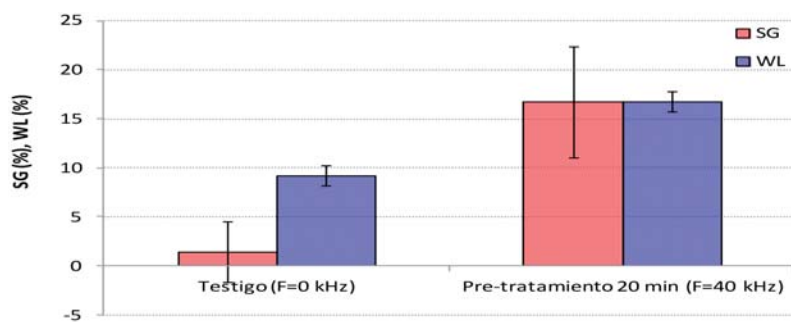
Mientras tanto, las variables relativas del proceso que tienen en cuenta el flujo neto de materia –SG y WL (naturalmente nulas a tiempo cero) presentaron el siguiente comportamiento: la variación porcentual de sólidos solubles pasó de -5,46 ±1,10% (20 min) a -6,99 ±1,01% (60 min), mientras que la variación porcentual de humedad resultó entre -26,64 ± 8,29% (20 min) y -10,99 ±7,66% (60 min) (Figura 3).

El análisis por RSM realizado con el objetivo de obtener el polinomio predictivo de SG, variable principal del pre-tratamiento, evidenció la existencia de una regresión significativa ($p<0,002$) entre SG y t. Sobre la base de este modelo predictivo de SG ($R=0,82$), con vistas a la determinación de las condiciones óptimas para alcanzar el objetivo de maximizar la variación porcentual de sólidos solubles, mediante un análisis de rigidez de la función polinómica se obtuvo un valor de -6,8 % para un tiempo óptimo de 51 minutos de pre-tratamiento.

Sin embargo, al analizar comparativamente la influencia del tiempo de pre-tratamiento sobre la variación porcentual de sólidos solubles de la fruta, se observó que los valores de SG a los 20, 40 y 60 minutos no presentaron diferencias significativas entre ellos ($p>0,62$). Y tampoco resultaron significativas ($p>0,07$) las

diferencias entre los valores de la variación porcentual de humedad (WL) de las muestras. Pero sí fueron significativas las diferencias entre los SG y entre los WL de las muestras pre-tratadas con respecto a los de la fruta fresca ($SG=WL=0$), lo que evidencia el cambio sustancial que produjo el pre-tratamiento de eliminación de los azúcares naturales de la banana sobre estas variables.

FIGURA 4 - Ganancia porcentual de sólidos solubles (SG) y pérdida porcentual de agua (WL) para la incorporación de miel durante la deshidratación osmótica



En virtud de este análisis, y tratando de reducir al mínimo indispensable el tiempo requerido de procesamiento desde el punto de vista de la economía de proceso, entre los tiempos de pre-tratamiento se seleccionó el más corto, de inmersión en agua destilada durante 20 minutos con aplicación de ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz. Bajo estas condiciones se alcanzó un contenido de sólidos solubles (SS) de $10,88 \pm 1,15$ °Brix, un contenido de humedad (M) de $83,76 \pm 1,27\%$ b.h., una variación porcentual de humedad (WL) de $-26,64 \pm 8,29\%$, y una variación porcentual de sólidos solubles (SG) de $-5,46 \pm 1,10\%$.

Como consecuencia de aplicar a las bananas este pre-tratamiento ultrasónico, se obtuvo un producto intermedio con los azúcares originales parcialmente eliminados (41,5% menos de sólidos solubles) y con un contenido de humedad superior con respecto a la fruta fresca (11,3% mayor).

Coincidentemente con estos resultados, otros autores^[4] que trabajaron con bananas cv Nanica cortadas en cilindros de mayor espesor y similar diámetro que las del presente trabajo (0,01 m espesor; 0,026 m diámetro), sometidas a pre-tratamientos entre 10 y 30 minutos de inmersión de las frutas en agua destilada (relación 1:4) a 30°C a una frecuencia de ultrasonido de 25 kHz, observaron cambios en el contenido de humedad de las muestras (aumento de 5,5% en 30 minutos).

En el mismo sentido, se ha reportado^[10] también un incremento del contenido de humedad (5,17%) de bananas cv Pacovan cortadas en rodajas de mayor diámetro e igual espesor que las del presente trabajo (0,005 m espesor; 0,032 m diámetro) a las cuales se aplicó un pre-tratamiento de 30 minutos de inmersión en agua destilada (relación 1:4) a 30°C, aplicando una frecuencia de ultrasonido de 25 kHz. Las diferencias relativas entre valores informados en estos trabajos podrían ser atribuidas a las distintas variedades de cul-

tivares y/o dimensiones geométricas de las porciones tratadas.

Etapa de deshidratación osmótica

Las frutas pre-tratadas en agua destilada durante 20 minutos con asistencia de ultrasonido y las muestras del tratamiento testigo sin aplicación de ultrasonido se sumergieron en solución de miel de abejas al 70% p/p durante 25 h a temperatura ambiente con una relación fruta-miel de 1:2. Luego se extrajeron, se colocaron sobre papel absorbente y se llevaron a una etapa complementaria de secado por aire caliente a 70°C hasta alcanzar una humedad final menor al 20% b.h., obteniéndose un producto tipo snack. En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos en esta etapa de deshidratación osmótica para las variables SG y WL de las muestras testigo (0 kHz) y las pre-tratadas durante 20 minutos con ultrasonido (40 kHz). Como se observa en la Figura 4, las muestras pre-tratadas con ultrasonido durante 20 minutos lograron a tiempo final (25 h) de deshidratación en la solución osmótica al 70% p/p una variación porcentual de sólidos solubles SG = $16,72 \pm 5,62\%$, marcadamente mayor que las del tratamiento testigo (0 kHz), producida por el valioso aporte de la incorporación de la miel de abeja a la fruta.

Al evaluar estos resultados mediante ANOVA se pudo comprobar que existió diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre ambos tratamientos. Por lo cual se seleccionó como mejor pre-tratamiento para la elaboración snack de banana de calidad diferencial que logra máxima incorporación de miel, una etapa de inmersión en agua con aplicación de ultrasonido durante 20 minutos previa al proceso combinado de deshidratación osmótica complementado con secado por aire caliente a 70°C. El producto pre-tratado osmo-deshidratado en miel alcanzó un contenido de sólidos solubles de $21,93 \pm 1,73$ °Brix y un contenido de humedad de $71,18 \pm 1,62\%$ b.h., pasando a ser luego del secado de $60,87$ °Brix y 20% b.h. en el snack de banana.

CONCLUSIONES

Es posible obtener un snack de banana osmo-deshidratada en miel de calidad diferencial mediante un pre-tratamiento osmótico de inmersión en agua asistido por ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz durante 20 minutos previo a la deshidratación osmótica en miel al 70% p/p durante 25 h complementada con secado por aire caliente a 70°C, lográndose mediante este proceso

la mayor reducción porcentual de sólidos solubles (SG= -5,46%) de la fruta fresca en el pre-tratamiento y la mayor la incorporación de sólidos solubles (SG = 16,72 %) en la ósmosis en miel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), al Programa Universidad Diseño y Desarrollo Productivo de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU, Ministerio de Educación de la Nación Argentina) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el financiamiento del proyecto y la beca doctoral de la Lic. M.B. Laborde.

REFERENCIAS

[1] F. A. N. Fernandes, S. Rodrigues, O. C. P. Gaspareto y E. L. Oliveira, "Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying", *Journal of Food Engineering*, vol. 77, pp. 188-193, 2006.

[2] M. Nowacka, U. Tylewicz, L. Laghi, M. Dalla Rosa y D. Witrowa-Rajchert, "Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwi-fruit during osmotic dehydration", *Food Chemistry*, vol. 44, pp. 18-25, 2014.

[3] P. Della Rocca, "Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente", Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Cuidad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 2010.

[4] F. A. N. Fernandes y S. Rodrigues, "Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana", *Journal of Food Engineering*, vol. 82, pp. 261-267, 2007.

[5] S. Rodrigues y F. A. N. Fernandes, "Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons", *Drying Technology*, vol. 25, pp. 1791-1795, 2007.

[6] F. A. N. Fernandes, M. I. Gallão y S. Rodrigues, "Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration", *Food Science and Technology*, vol. 41, pp. 604-610, 2008.

[7] F. A. N. Fernandes, F. E. Linhares y S. Rodrigues, "Ultrasound as pretreatment for drying of pineapples", *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 15, pp. 1049-1054, 2008.

[8] F. A. N. Fernandes, F. E. Linhares y S. Rodrigues, "Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration", *Journal of Food Engineering*, vol. 90, pp. 186-190, 2009.

[9] AOAC, "Official Methods of Analysis", Washington, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1990.

[10] A. P. A. Moreira, M. A. Melo Baima, A. M. da Rocha y S. S. Belém Oliveira, "Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics", *Journal of Food Engineering*, vol. 97, pp. 194-198, 2010.



CERSA

François Frères
TONNELLERIE

Rousselot
a Sobel Company

TATE & LYLE
CONSISTENTLY FIRST IN SUSTAINABLE INGREDIENTS

SOLVAY

FERMITAN
TANINOS
Quebracho, Roble,
Acacia, Uva...

CERSA
IMPORTACIÓN

- Acido Cítrico
- Carbón Activado
- Carbonato e H. de Potasio
- Metabisulfito de Potasio
- Metabisulfito de Sodio
- Sorbato de Potasio

CENTRO ENOLÓGICO RIVADAVIA S.A.

COMERCIALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN ARGENTINA Y LATINOAMÉRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA

■ **MENDOZA**
Tels.: 54 (0261) 4932626 / 2666 / 2502 - mendoza@centro-enologico.com
Maza Norte 3237 Gutiérrez (5511) Maipú, Mendoza.

● CERSA atiende directamente las siguientes zonas en Argentina:
Neuquén, San Luis, San Juan, La Rioja, Salta, Tucumán, Catamarca y Jujuy.

CALIDAD DE PRODUCTO, SERVICIO, SEGURIDAD Y EXPERIENCIA

www.CENTROENOLOGICO.COM.AR

Henkel
Adhesive Technologies

AB Enzymes
an ABF performance company

AB MAURI

BASF
The Chemical Company

DEXTRGUM Y LEVOGUM
GOMAS ARÁBIGAS

VINTAGE

- Bisulfito de Amonio
- Bisulfito de Potasio

