

AVSA-01

ESTUDIO DE CASO PML - 029 EMPRESA: ANDEAN VALLEY S.A.

Agosto 2006

DIVISIÓN: 31, ELABORACIÓN DE ALIMENTOS Y BEBIDAS (SEGUNDA REVISIÓN)
CLASE: 3121, ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS DIVERSOS

IMPLEMENTACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

RESULTADOS ECONÓMICOS (*)

- Inversión: 104,200 US\$.
- Beneficio económico: 43,630 US\$/año.
- Retorno sobre la inversión: 42%.

RESULTADOS AMBIENTALES (*)

- Se recupera 19.5 t de polvo de saponina para su comercialización, que era desechada al efluente industrial (equivalía a una descarga de 5.8 t DBO/ año).
- Se incrementa el rendimiento del uso de materia prima de 91.8% a 93.6%.
- Se reduce el consumo de energía eléctrica en 25,000 kWh/año.
- Se reduce el consumo de agua en 2,200 m³/año.
- Se reduce el consumo de GLP en 10,600 kg/año.

(*) En el formato numérico, la coma se utiliza como separador de miles y el punto como separador de decimales.

QUÉ ES “PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA”

“La Producción Más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada, a los procesos productivos, a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia global y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La Producción Más Limpia puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados en una sociedad”.

CICLO DE “PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA”

1) Identificar oportunidades y formular recomendaciones

3) Medir el éxito: más utilidades y menos desechos

2) Implementar las recomendaciones

1) Identificar oportunidades y formular recomendaciones

El primer paso consiste en realizar una revisión técnica para identificar oportunidades y formular recomendaciones que permitan mejorar la productividad y eficiencia en cada operación unitaria. Estas tareas deben ser realizadas por profesionales idóneos, quienes deben trabajar con el personal de la empresa en general, desde obreros hasta ejecutivos.

2) Implementar las recomendaciones

Una vez que las recomendaciones han sido formuladas, éstas son ordenadas según las prioridades e intereses de la empresa. Luego, se forma un equipo de trabajo para implementar las recomendaciones seleccionadas según el cronograma establecido y el presupuesto asignado.

3) Medir el éxito

Los resultados son medidos a través de indicadores como la reducción en la cantidad de desechos o de contaminación generada; la reducción en el consumo específico de materias primas, energía y agua; la reducción de costos de producción; y el incremento de las utilidades. Una vez medido el éxito, se debe volver al paso 1 para iniciar un nuevo ciclo.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de caso es un resumen de los resultados obtenidos por la empresa Andean Valley S.A., en adelante AVSA, ubicada en la calle 1, N° 301 de Jupapina, zona de Mallasa, La Paz, Bolivia. Estos resultados corresponden a la implementación de seis de las ocho recomendaciones de Producción Más Limpia (PML) propuestas por el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) en el Diagnóstico de Producción Más Limpia (DPML), realizado en noviembre de 2003, y de otras generadas por iniciativa propia de la empresa.

PRODUCCIÓN

AVSA es una empresa beneficiadora de grano de quinua Real (*Chenopodium quinoa Wild.*), que adquiere de aproximadamente 280 proveedores. Actualmente acopia y procesa grano de quinua Real para exportar a los Estados Unidos y al Reino de Dinamarca, entre otros países; y, al igual que sus proveedores, cuenta con CERTIFICACIÓN ORGÁNICA INTERNACIONAL para su producto. Esta certificación fue otorgada por la empresa BOLICERT, que está acreditada internacionalmente por IFOAM (International Federation Of Organic Agriculture Movements), organismo internacional de certificación orgánica, y reconocida por las Naciones Europeas EN 45011 (ISO Guide 65) ECR No 2092/91 Option 3 (Reg. WL/A 13).

Durante el período noviembre de 2002 a octubre de 2003, AVSA procesó 278.14 toneladas de grano en bruto de quinua Real Orgánica (cantidad muy próxima a la capacidad máxima de procesamiento anual de la empresa), de las que obtuvo 240 toneladas de grano beneficiado (rendimiento de 86.7%). Además, AVSA procesa harina de maíz y de quinua en menores cantidades.

Si bien la capacidad de producción de AVSA se ha multiplicado por ocho (ver adelante) con relación a la capacidad de producción anual correspondiente al período noviembre 2002 a octubre 2003, el volumen actual de producción está limitado por la disponibilidad de grano en bruto de quinua Real con certificación orgánica. Se espera que, en el mediano plazo, y gracias a su política de incentivos que promueve la producción orgánica, AVSA cubra su demanda actual de cerca de 1,000 t/año. Sin embargo, para el presente estudio de caso, y con fines comparativos, se consideró un volumen de producción de solo 500 t/año, que corresponde al equivalente anual del volumen de producción registrado durante los últimos 8 meses.

AVSA incrementó su capacidad de producción mediante la instalación de una nueva tecnología de beneficiado del grano de quinua desarrollada por el CPTS (ver recomendaciones implementadas), a la cual AVSA contribuyó poniendo sus instalaciones a disposición, las que fueron utilizadas como laboratorio experimental y como proyecto demostrativo para fomentar dicha tecnología en el sector de beneficiado del grano de quinua. Esta nueva tecnología realiza el beneficiado del grano de quinua mediante cuatro procesos, cada uno con operaciones unitarias claramente diferenciadas por los objetivos que persiguen:

a. Proceso de limpieza por vía seca, que actualmente se lleva a cabo mediante dos operaciones unitarias: i) el clasificado preliminar, cuyo objetivo es eliminar partículas de mayor y menor tamaño que el del grano de quinua, así como eliminar paja ramificada, la cual se pulveriza durante el escarificado y contamina el polvo de saponina¹ (ver recomendación 3); ii) el escarificado, cuyo objetivo es extraer, en seco, el mayor porcentaje posible de episperma del grano de quinua. Sin embargo, estas dos operaciones no son suficientes para remover otro tipo de impurezas (i.e. heces de aves y roedores, larvas, piedrecilla de baja densidad, paja, tierra y polvo, además de grano enfermo y grano no maduro), que si bien son removidas en un buen porcentaje, no lo son en su totalidad.

b. Proceso de limpieza por vía húmeda, que se lleva a cabo a través de cuatro operaciones unitarias: i) el despedregado, cuyo objetivo es eliminar la piedrecilla de alta densidad aparente; ii) el lavado, cuyo objetivo principal es eliminar las saponinas remanentes en el grano escarificado, y lavar las impurezas adheridas al mismo (por ejemplo, fluidos de insectos y polvo); iii) el enjuagado, cuyo objetivo es completar el lavado del grano de quinua; y iv) el centrifugado, cuyo objetivo es eliminar el agua que moja la superficie del grano de quinua lavado.

c. Proceso de secado, que consta de dos operaciones unitarias: i) el transporte del grano húmedo hasta las mesas de secado; y ii) el secado.

d. Proceso de clasificado, limpieza final y envasado del producto final, que comprende cinco operaciones unitarias: i) el clasificado granulométrico, a fin de eliminar grano menudo y obtener un producto de tamaño más homogéneo; ii) la eliminación de la piedrecilla remanente en el grano mediante una máquina denominada “densimétrico”; iii) la eliminación de la paja remanente en el grano; iv) la eliminación de partículas de color oscuro mediante palliris²; y v) el embolsado del producto final.

Excepto por las operaciones unitarias del proceso de secado y de algunas de las operaciones unitarias del proceso de clasificado, el resto de las operaciones unitarias tienen como objetivo principal eliminar las impurezas que acompañan al grano de quinua.

La “Situación anterior” señalada en cada una de las siguientes recomendaciones implementadas por AVSA (ver siguiente acápite), corresponde a datos de producción del período noviembre 2002 a octubre 2003, período en el que se benefició 278.14 toneladas de grano de quinua en bruto.

La “Situación actual” señalada en dichas recomendaciones corresponde a datos del estudio realizado del 13 de abril al 12 de mayo de 2006, para evaluar el estado de avance de las

¹ El término “polvo de saponina” se emplea en forma generalizada para referirse al polvo formado por una mezcla de partículas de episperma y de partículas de grano que se desprenden del grano durante el escarificado, y que contienen saponinas. Las saponinas son glucósidos terpénicos que le confieren al grano un fuerte sabor amargo, lo que impide que el grano sea comestible.

² Palliris son personas encargadas de realizar la limpieza final del grano en forma manual.

recomendaciones de PML efectuadas durante el diagnóstico de PML. Se considera que el costo promedio de la materia prima, con certificación orgánica, es de 680 US\$/t; y que el volumen de producción anual es de 500 t/año, datos que serán utilizados para calcular los beneficios económicos y ambientales.

RECOMENDACIONES IMPLEMENTADAS

1. ADQUIRIR QUINUA CON MENOR CANTIDAD DE IMPUREZAS

Situación anterior:

El porcentaje de impurezas contenidas en el grano de quinua adquirido en bruto era de 0.42%, con un porcentaje de grano menudo de 5.54%.

El porcentaje total de impurezas contenidas en el grano de quinua en bruto que AVSA adquirió durante el periodo noviembre 2002 a octubre 2003 fue de 0.42%, y está constituido por: piedrecilla de varios tamaños y densidades, larvas, heces de ave y ratón, grano no trillado, grano de color oscuro (rojo y negro), grano inmaduro (verde), tallitos, ramitas, paja, polvo y otros. Además de estas impurezas, se tenía una cantidad apreciable de quinua menuda (15.42 t contenida en las 278.14 t adquiridas durante noviembre 2002 a octubre 2003), que representa un porcentaje de 5.54%. Si bien el grano menudo se utiliza para elaborar harinas y otros productos, su valor comercial como grano es menor.

Situación actual:

El actual porcentaje de impurezas contenidas en el grano de quinua adquirido en bruto es de 0.30%, con un porcentaje de grano menudo de 3.14%.

La disminución del porcentaje de impurezas contenidas en el grano de quinua adquirido en bruto, se debe al control de calidad que AVSA realiza como parte del sistema HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) que está implementando, y que también cubre las operaciones asociadas al acopio de grano con certificación orgánica. Existen varios controles en la cadena productiva, pero el control de calidad final se realiza al momento de recibir en planta la materia prima que se adquiere en bolsas. El sistema de cargado de grano a los silos, que se instaló en agosto de 2005 (ver recomendación 2), permite realizar dicho control al momento de vaciar el grano a la fosa de alimentación del elevador de cangilones que se utiliza para cargar los silos.

La reducción de 0.12% en el contenido de impurezas, no solo representa un ahorro de 600 kg de grano en bruto por año (con un ahorro económico de 400 US\$/año), sino, y sobre todo, un ahorro en costos de operación (que no ha sido cuantificado). La reducción del contenido de grano menudo que se obtiene después del clasificado granulométrico (ver recomendación 6), también se debe a la aplicación del sistema HACCP que está siendo implementado por AVSA. No se cuantificó el beneficio económico de esta reducción.

2. CONSTRUIR DOS SILOS DE 500 qq CADA UNO PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GRANO DE QUINUA EN BRUTO

Situación anterior:

La capacidad de almacenamiento de grano de quinua en bolsas dentro de dos almacenes era de 55.2 t (1,200 qq). El porcentaje

de pérdida de grano por manejo en bolsas era de 0.59% (equivalente a 2.95 t/año).

La planta de AVSA no contaba con un sistema adecuado de almacenamiento del grano de quinua. Esta situación generaba pérdidas de quinua por su almacenamiento (i.e. exposición a roedores) y manejo mediante bolsas (i.e. derrames). El porcentaje de pérdidas en AVSA por este tipo de manejo era de 0.59%, lo que equivale a una pérdida absoluta de 2.95 t/año (considerando el beneficiado de 500 t/año, ver "PRODUCCIÓN").

Por otra parte, el manejo del grano en bolsas incrementaba el manipuleo asociado a la carga y descarga de quinua, con el consiguiente incremento en el esfuerzo físico de los trabajadores. Asimismo, el almacenamiento en bolsas permitía la contaminación del grano con heces de ratón e insectos, incluyendo sus fluidos, aspecto que incrementaba los costos de operación de limpieza.

Situación actual:

La capacidad de almacenamiento actual, en 8 silos de 12 t por silo, es de 96 t (2,087 qq). El porcentaje de pérdida de grano por manejo en silos es de 0.05% (equivalente a 0.25 t/año).

En agosto de 2005, AVSA instaló un sistema de ocho silos, cada uno de 12 t de capacidad, para el almacenamiento de grano de quinua (ver Figura 1), cuyos beneficios son: a) permite administrar el registro trazable del beneficiado del grano de quinua en función del origen de la producción orgánica; b) disminuye el manipuleo y se evita la contaminación del grano; y c) reduce la pérdida de grano en 2.7 t/año (i.e. = 2.95 – 0.25), lo cual representa un ahorro económico de 1,840 US\$/año.



Figura 1. Fosa de carga, elevador de cangilones y correa transportadora, para carga y descarga del grano de quinua en 8 silos, cada uno de 12 t de capacidad.

3. PROCESO DE LIMPIEZA DEL GRANO POR VÍA SECA

Situación anterior:

Porcentaje de las impurezas eliminadas por vía seca, sobre el total de impurezas = 60%; porcentaje de masa de grano perdida por escarificado, sobre el total de grano = 6%; porcentaje

de episperma extraído por escarificado, sobre el total de grano = 2.6%; porcentaje de episperma extraído, sobre el total de episperma = 43%; porcentaje de masa eliminada que no era episperma, sobre el total de grano = 3.4%; porcentaje de polvo de saponina que era recuperado = 0%; consumo específico de energía eléctrica = 11 kWh/t grano; capacidad nominal de escarificado = 2.5 kg/minuto o 150 kg/hora.

El proceso de limpieza por vía seca no eliminaba en forma satisfactoria el episperma del grano de quinua. La pérdida de masa durante el escarificado del grano era de 6%, aún cuando el porcentaje de episperma del grano es de solo el 4%. Esto implica que el 57% del polvo de saponina estaba constituido por partículas de grano que no eran parte del episperma. Tampoco se eliminaba en forma satisfactoria la piedrecilla de baja densidad, tierra, polvo, larvas, heces de roedores y paja. Varias de estas impurezas son difíciles de eliminar en los procesos subsiguientes y, al mismo tiempo, incrementan los costos de operación. Entre las principales deficiencias que contribuían a que dicho proceso no elimine adecuadamente las saponinas ni las impurezas señaladas, están:

- „ Los tamices del clasificador que alimentaba de grano de quinua al escarificador se tapaban rápidamente con granos de quinua menuda y paja, lo cual disminuía su eficacia. El grano ingresaba al escarificador con alto contenido de paja, cuya presencia perduraba a través de los siguientes procesos, y era eliminada, casi al final de ellos por las palliris. Por otra parte, el aspirador de dicho clasificador extraía poca cantidad de polvo.
- „ Después del escarificado, no existía una operación que elimine selectivamente ciertas impurezas del grano de quinua, antes de ser sometido al proceso por vía húmeda.
- „ El polvo de saponina que se producía durante el escarificado del grano, era colectado en una trampa de agua y luego descartado al drenaje, lo cual contaminaba el efluente industrial; y se perdía un subproducto que tiene valor comercial.

Situación actual:

Porcentaje de impurezas eliminadas por vía seca, sobre el total de las impurezas = 80%; porcentaje masa de grano perdida por escarificado, sobre el total de grano = 3.9%; porcentaje de episperma extraído por escarificado, sobre el total de grano = 3.6%; porcentaje de episperma extraído por escarificado, sobre el total de episperma = 90%; porcentaje de masa eliminada que no era episperma, sobre el total de grano = 0.3%; porcentaje polvo de saponina que se recupera sobre el total de dicho polvo = 95%; consumo específico de energía eléctrica = 5.9 kWh/t grano; capacidad nominal escarificado = 10 kg/minuto, o 600 kg/hora.

AVSA instaló la tecnología desarrollada por el CPTS para superar las deficiencias de su proceso anterior de limpieza del grano por vía seca (ver a. de “PRODUCCIÓN”). Esta tecnología está compuesta por un clasificador preliminar, para eliminar impurezas que puedan contaminar el polvo de saponina durante el escarificado, y un escarificador que remueve el 90% del episperma del grano de quinua (ver Figura 2).



Figura 2. Clasificador preliminar (izquierda) y escarificador (derecha).

Si se considera que el porcentaje de episperma en el grano es de 4%, que la pérdida de masa durante el escarificado del grano es de 3.9% y que el 3.6% de dicha pérdida es solo episperma, entonces el porcentaje de episperma extraído del grano es aproximadamente 90%. El polvo de saponina tiene un contenido de episperma superior al 90%.

Más aún, si se considera que el volumen de producción es de 500 t/año, se obtiene 19.5 t/año de polvo de saponina, el cual se comercializa a 1,300 US\$/t (puesto en planta), lo cual genera un beneficio económico de 25,350 US\$/año; y si se considera que el 3.1% (3.4% – 0.3%) de la masa de grano ya no se pierde por escarificado respecto a la pérdida que se tenía en la situación anterior, entonces se obtiene un ahorro de grano de quinua de 15.5 t/año, con un beneficio económico de 10,540 US\$/año (este beneficio considera solo el costo de la materia prima, de 680 US\$/t). El ahorro en energía eléctrica es de 5.1 kWh/t (11 kWh/t – 5.9 kWh/t), lo cual representa, a un costo promedio de 0.064 US\$/kWh, un ahorro económico adicional de 163 US\$/año.

Finalmente, AVSA deja de contaminar el efluente industrial con 19.5 t anuales de polvo de saponina, las que contienen 3.9 t de saponinas (estimando que el contenido de saponinas en dicho polvo es del 20%). Asumiendo una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 0.3 kg de oxígeno por kg de polvo de saponina³, la DBO que la empresa descargaba al efluente industrial era de 5.8 toneladas DBO por año.

4. PROCESO DE LIMPIEZA DEL GRANO POR VÍA HÚMEDA

Situación anterior:

Porcentaje eliminado de piedrecilla de alta densidad 35%;
 porcentaje eliminado de piedrecilla de baja densidad 10%;
 porcentaje saponina remanente en el grano lavado = 0%;
 porcentaje humedad del grano lavado (base húmeda) = 35%;
 consumo específico energía eléctrica = 9.9 kWh/t grano;
 consumo específico de agua = 14 m³/t grano.

El proceso que AVSA utilizaba para la limpieza del grano de quinua por vía húmeda presentaba las siguientes deficiencias:

³ Valor calculado en base a datos de la DBO del almidón, celulosa y sacarosa.

- „ El despedregador (ver Figura 3), conformado por dos tubos con reparos internos, no eliminaba la piedrecilla de alta densidad.



Figura 3. Despedregador (izquierda), conformado por dos tubos con reparos interiores; y lavador (derecha), conformado por un tanque (capacidad = 1.6 m³) para procesar lotes de 430 kg de grano de quinua.

- „ La piedrecilla de baja densidad, que debía ser eliminada en el proceso de limpieza por vía seca, no era eliminada y permanecía junto a la quinua en los procesos siguientes, hasta ser eliminada, en gran parte, por el separador densimétrico (luego de 2 a 3 pasadas), y la remanente, mediante trabajo manual de las palliris.
- „ Solamente se eliminaba una parte de la paja, que no había sido eliminada en el proceso por vía seca, pese a que el lavador debía cumplir con esa función.
- „ El tiempo que duraba el proceso de limpieza por vía húmeda era muy largo (un poco más de una hora), lo cual producía un grano lavado, embebido de agua, cuya humedad era aproximadamente de 35% (sobre base húmeda), después del centrifugado.
- „ Cuando los centrifugadores no operaban a la velocidad adecuada o no lo hacían durante un tiempo suficiente, el grano salía con una humedad mayor a 35% (sobre base húmeda). Por ejemplo, con un tiempo de centrifugado de 45 segundos, el grano salía con una humedad de 45%; el 10% de humedad por encima del 35% antes señalado, era agua que mojaba el grano en forma superficial (para disminuir la humedad del grano lavado a 35%, se requería de un tiempo de centrifugado de por lo menos dos minutos).

Por otra parte, el alto consumo de agua en las operaciones de lavado y enjuague, del proceso de limpieza por vía húmeda de la quinua, se debía a que ambas se realizaban por lote.

Finalmente, el consumo de energía eléctrica en este proceso (9.9 kWh/t), se debía principalmente al uso de un motor de 10 hp para operar el tanque de 430 kg por lote, más el consumo de la bomba de agua y del motor eléctrico del centrifugador, el cual también operaba por lotes (aproximadamente 20 kg/lote).

Situación actual:

*Porcentaje eliminado de piedrecilla de alta densidad = 100%;
 porcentaje eliminado de piedrecilla de baja densidad = 60%;
 porcentaje saponina remanente en el grano lavado = 0%;*

*porcentaje humedad del grano lavado (base húmeda) = 22%;
 consumo específico energía eléctrica = 4.8 kWh/t grano;
 consumo específico de agua = 9.6 m³/t grano.*

AVSA superó las deficiencias de su anterior proceso de limpieza del grano por vía húmeda (ver b. de "PRODUCCIÓN") instalando la tecnología desarrollada por el CPTS. Dicha tecnología (ver Figura 4), consiste en un despedregador y un remojuador, seguido de un lavador, un segundo despedregador y un pre-enjuagador, un enjuagador y un centrifugador que opera de manera continua, todo ello con un solo motor de 4 hp (el sistema tiene una demanda real de potencia de 2.74 kW, que incluye la demanda de potencia de las bombas de agua para alimentar y para recircular el agua de enjuague que sale de la centrifugadora), y con una capacidad nominal de procesamiento de 10 kg de grano por minuto (600 kg por hora), que sale exento de saponinas.



Figura 4. Sistema de limpieza por vía húmeda (izquierda); y vista frontal del centrifugador sin su cubierta superior (derecha), el cual opera en forma continua.

El sistema descrito elimina el 100% de la piedrecilla de alta densidad, aunque solo elimina el 60% de la piedrecilla de baja densidad.

La humedad del grano que sale del centrifugador es de alrededor del 22% (sobre base húmeda, BH), que es muy inferior a la humedad del grano que salía del lavador descrito en la situación anterior (35%, sobre base húmeda), lo cual representa un ahorro económico significativo del combustible (GLP) utilizado en el sistema de secado (ver siguiente recomendación), y un ahorro en mano de obra asociado a la manipulación que se tenía sobre todo en la operación del centrifugador (no cuantificado).

El ahorro en el consumo de energía eléctrica es de 5.1 kWh/t (9.9 kWh – 4.8 kWh), y en agua es de 4.4 m³/t (14 m³/t – 9.6 m³/t), lo cual representa un ahorro económico de 163 US\$/año y 924 US\$/año, respectivamente.

5. SISTEMA DE SECADO

Situación anterior:

Velocidad de evaporación del agua durante el secado del grano = 16.6 kg de agua/h; consumo específico de GLP = 30 kg/t de grano (9% humedad-BH); consumo específico de energía eléctrica = 50.5 kWh/t de grano.

La humedad de la quinua que ingresaba a las piscinas de secado era muy alta (35% humedad, base húmeda), ya que implicaba eliminar 28.6 kg de agua por cada 100 kg de grano húmedo, para obtener 71.4 kg de grano con una humedad comercial del 9% (base húmeda). La elevada humedad del grano que ingresaba a las mesas de secado se debía principalmente a dos factores:

- „ El grano de quinua sometido al proceso de limpieza por vía húmeda se remojaba por un tiempo muy prolongado (poco más de 1 hora), por lo que el grano se hidrataba en exceso (agua embebida en el grano).
- „ La baja velocidad de rotación de los centrifugadores y el tiempo insuficiente de centrifugado, no permitían eliminar toda el agua adherida superficialmente al grano de quinua (el agua embebida no se puede eliminar por centrifugación).

Más aún, se constató que la eficiencia de la operación de secado era baja. Las causas principales se resumen de la siguiente manera:

- „ A pesar de la elevada temperatura del aire que ingresaba a las piscinas de secado (102 °C), el espesor de la capa de quinua depositada sobre las mismas (20 cm) era excesivo para el caudal de aire que se utilizaba en tres de las cuatro piscinas (14 m³/min), e incluso para el caudal de la cuarta piscina (25 m³/min), lo cual provocaba que el agua que se evaporaba en la parte inferior de dicha capa se condensase en las partes superiores de la misma.
- „ Las paredes laterales de las piscinas eran muy altas (0.75 m), lo que ocasionaba la condensación de la humedad del aire emergente sobre dichas paredes, con el consecuente retorno de agua que nuevamente humedecía el grano ubicado en las partes laterales de las piscinas.
- „ Durante las noches, se dejaba funcionando el ventilador de cada piscina, sin energía suministrada por los quemadores, por lo que el grano de quinua, incluyendo la mampostería de la que están hechas las piscinas de secado, se enfriaban por la ventilación con aire frío de la noche, para luego ser calentados al día siguiente.
- „ No se aprovechaba el total de la energía de los sopletes, ya que una parte se perdía al ambiente por radiación (aproximadamente 20%), debido a que operaban expuestos al aire libre.
- „ La contribución del aire del entretecho, calentado con energía solar, para aprovecharlo en el proceso de secado, era pobre (representaba el 4.5% de la energía total generada mediante combustión del GLP).

Situación actual:

Velocidad de evaporación de agua durante el secado grano = 50.6 kg de agua/h; consumo específico de GLP = 8.8 kg/t de grano (9% humedad-BH); consumo específico de energía eléctrica = 10.7 kWh/t de grano.

AVSA instaló la tecnología desarrollada por el CPTS (ver c. de "PRODUCCIÓN"), que consiste en un generador de aire caliente y una mesa de secado (ver el prototipo en la Figura 5). El generador de aire caliente está constituido por un calentador

de aire que opera con GLP y por una turbina de aire, de alta eficiencia, que opera con un motor de 2 hp y genera un caudal de aire de 45 m³/min con la mesa de secado sin carga; y 38 m³/min con la mesa de secado operando con su carga nominal (máximo 200 kg por mesa). AVSA instaló cuatro de estos sistemas de secado, los cuales están controlados por un circuito electrónico de alta confiabilidad (tanto para el encendido automático como para el control de la seguridad operativa del sistema).



Figura 5. Sistema de secado: generador de aire caliente (izquierda), mesa de secado (derecha superior) y turbina de alta eficiencia (derecha inferior), que opera con un motor de 2 hp.

El ahorro en el consumo específico de GLP es de 21.2 kg/t (30 kg/t – 8.8 kg/t), lo cual representa un ahorro económico anual de 2,980 US\$/año (se considera un costo de 0.28 US\$/kg GLP); y un ahorro en el consumo específico de energía eléctrica de 39.8 kWh/t (50.5 kWh/t – 10.7 kWh/t), lo cual representa un ahorro económico anual de 1,270 US\$/año. Debido al incremento en la velocidad de secado, de 83 kg/h de grano seco con cuatro piscinas de secado, a 600 kg/h de grano seco con las cuatro mesas de secado, se puede liberar personal para ser empleado en otras tareas (i.e. empaquetado, evitando turnos forzados).

6. PROCESO DE CLASIFICADO, LIMPIEZA FINAL Y ENVASADO

Situación anterior:

Cantidad de impurezas (piedrecilla, paja., larvas, heces, etc.) contenidas en el grano clasificado, antes del pallado manual = 2.3 gramos/kg de grano.

El proceso estaba constituido por tres operaciones: a) el clasificado granulométrico (ver Figura 6), que permitía obtener grano de tamaño más homogéneo, y donde se recuperaba 5.54% de grano menudo (ver recomendación 1); b) la limpieza final, compuesta por las operaciones de despedregado, despajado y pallado (ver Figura 6); y c) el envasado final, bajo normas que se cumplen para la exportación.



Figura 6. Clasificador granulométrico (izquierda superior), despedregador densimétrico (derecha superior), despajador, en desuso (izquierda inferior); y operación de pallado (derecha inferior).

A continuación se presenta un resumen de la eficiencia con la que operaban las máquinas señaladas (ver Figura 6) para realizar la limpieza final:

- „ El clasificador, incluyendo su sistema de alimentación neumático (no mostrado en la Figura 6), además de cumplir con su función de clasificación granulométrica, era eficiente para separar toda la cascarilla que no se eliminaba en el proceso de limpieza por vía seca (especialmente en el escarificador).
- „ El despedregador densimétrico, si bien separaba la piedrecilla de alta densidad (se requería de dos a tres pasadas), no era eficiente para separar la piedrecilla de baja densidad.
- „ El despajador, que operaba al final de este proceso, tampoco era eficiente para separar la paja.

Las dos ineficiencias señaladas se subsanaban mediante la operación de pallado, ya que permitía eliminar el 100% de las impurezas remanentes en el grano de quinua a ser envasado como producto final de exportación.

Situación actual:

Cantidad de impurezas (piedrecilla, paja., larvas, heces, etc.) contenidas en el grano clasificado, antes del pallado manual = 0.6 gramos/kg de grano.

AVSA no ha modificado su proceso de clasificado, limpieza final y envasado con relación a la situación anterior, excepto por la incorporación de un venteador (ver Figura 7) en reemplazo del despajador (ver Figura 6). El venteador se construyó a partir

del que ya disponían, que era operado en forma manual, y al que se le ha adaptado un motor eléctrico. La eficiencia de este venteador para eliminar paja es superior a la del antiguo despajador. El hecho de que el porcentaje de piedrecilla y de las otras impurezas es cero, tanto en la situación anterior como en la actual, se debe al trabajo de pallado que realizan las palliris. Sin embargo, el venteador está aliviando el trabajo de las palliris, por lo que su productividad ha aumentado en forma significativa. El aumento en la productividad de las palliris, si bien tiene un cierto beneficio económico, éste no ha sido cuantificado.



Figura 7. Venteador manual, al que se le adaptó un motor eléctrico, que es utilizado para reducir el contenido de paja del grano que sale del despedregador.

BENEFICIOS DE LA PRÁCTICA DE PML

Mediante la aplicación de tecnología y prácticas de PML, Andean Valley S.A. ha dado un gran paso para implementar un programa de PML de largo aliento, el cual constituye una herramienta útil para facilitar el cumplimiento de normas relacionadas con la certificación HACCP e ISO 9001. Con estas medidas, la empresa ha logrado aumentar los rendimientos del uso de materia prima (grano de quinua en bruto), reducir sus consumos específicos de energía eléctrica, agua y GLP, y convertir el polvo de saponina, antes descartado como desecho, en un subproducto comerciable.

Paralelamente, en lo ambiental, AVSA ha logrado disminuir drásticamente la contaminación del efluente industrial con saponinas.

Las Tablas 1 y 2 resumen en forma cuantitativa, tanto los beneficios económicos, como ambientales que AVSA obtuvo al implementar las recomendaciones de PML, algunas de las cuales tuvieron una gran contribución e iniciativa de la propia empresa.

Tabla 1. Mejoras en el desempeño de AVSA según indicadores medidos antes y después de implementar las recomendaciones de PML.

Indicador de desempeño	Antes	Después	Disminución (Aumento)	%Reducción (%Aumento)
RENDIMIENTO GLOBAL DEL BENEFICIADO DEL GRANO DE QUINUA [Grano beneficiado y envasado / grano en bruto]	0.918	0.936	(0.018)	(1.8%)
RECUPERACIÓN DE POLVO DE SAPONINA [Toneladas / año]	0 (*)	19.5	(19.5)	(**)
CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA [kWh / tonelada de grano en bruto procesado]	94.7	44.7	50	52.8%
CONSUMO ESPECÍFICO DE AGUA [Metros cúbicos de agua / tonelada de grano en bruto procesado]	14.0	9.6	4.4	31.4%
CONSUMO ESPECÍFICO DE GLP [kg GLP / tonelada de grano en bruto procesado]	30	8.8	21.2	70.7%

(*) El polvo de saponina era desechado en su integridad al efluente industrial, después de ser atrapado en una trampa de agua.

(**) Actualmente, el 95% de la cantidad de episperma contenida en el grano se escarifica en forma de polvo de saponina; y se recupera el 95% de esa cantidad producida.

Tabla 2. Inversiones, ahorros, retornos y beneficios ambientales.

Recomendación	Inversión [US\$]	Beneficios económico [US\$/año]	Retorno [%]	Beneficio operativo / ambiental
1. Adquirir grano de quinua con menor cantidad de impurezas	-	400	-	Mejora la calidad de la materia prima.
2. Construir silos para almacenar grano de quinua en bruto	20,000	1,840		Evita la contaminación del grano de quinua almacenado.
3. Proceso de limpieza por vía seca	84,000	36,053		Evita la pérdida de masa de grano. Recupera polvo de saponina limpio y evita contaminar el efluente industrial con 5.8 t DBO por año. Disminuye el consumo específico de energía eléctrica.
4. Proceso de limpieza por vía húmeda		1,087		Disminuye la contaminación del efluente industrial. Disminuye los consumos específicos de agua y energía eléctrica.
5. Proceso de secado		4,250		Disminuye la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Disminuye el consumo específico de GLP.
6. Proceso de clasificado, limpieza final y envasado	200	-		-
Totales:	104,200	43,630	42%	