

■ Agricable - caso empírico de mecanización de la cosecha de paltas en laderas de cerro

A. Gurovich¹, R. Gurovich¹

¹. AgriCable, Santiago, Chile

RESUMEN

La inversión en maquinaria agrícola está relacionada con las dificultades que tiene el productor de encontrar mano de obra efectiva a costo razonable. En el cultivo de palta destaca la incorporación de mecanización en post-cosecha. No obstante, la labor de recolección desde el árbol y acumulación en bin se mantiene aislada de esta realidad. El aumento de las plantaciones en ladera acrecienta el desafío de mecanizar. Un documento publicado en 1976 por la California Avocado Society concluye que la solución al problema de transporte de la cosecha en laderas empinadas debía considerar “transportadores mecanizados de frutas a los contenedores en los niveles más bajos en el huerto” (Gustafson, 1976). Luego de cuatro décadas el problema persiste. Para enfrentarlo se generó un proyecto de innovación co-financiado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) con el objetivo de estudiar, diseñar, construir y probar en condiciones reales un sistema de transporte mecanizado que constituya una solución efectiva y eficiente al problema de cosechar en laderas de cerros. Los prototipos probados y las mediciones realizadas en huertos de uno de los mayores productores de palta de Chile entre Octubre 2014 y Febrero 2015 demuestran que la utilización del sistema Agricable incrementa efectivamente la productividad laboral obtenida en cosecha con transporte manual en huertos con pendientes entre 20 y 45 grados. También se comprueba que este sistema impulsa la productividad en huertos con fruta baja y escasa a niveles similares de huertos con fruta baja y abundante.

INTRODUCCIÓN

El problema de obtener mano de obra efectiva para el transporte de cargas en entornos difíciles es un desafío longevo y ha cruzado a varios sectores productivos. En varios países donde existe la producción de paltas se enfrentan problemáticas similares, en que las dificultades del terreno y por consiguiente la escasez de mano de obra adecuada y adaptada, buscan resolverse por medio de la mecanización.

Un ejemplo concreto es la mecanización presente en la explotación de bosques y el movimiento de los troncos de árboles. En la misma década en que aparecen iniciativas dedicadas a resolver estos problemas, la California Avocado Society publicó un artículo denominado Fruit Removal from Steep Hillside Avocado Orchards (C.D Gustafson, 1976) donde constató que había algunos productores de palta cosechando en laderas de cerro con pendientes entre 30 y 70 grados que creían que la mula era probablemente el único medio adecuado de transporte que les permitiría sacar la cosecha desde los huertos.

El retrato anterior sólo reafirma que la actividad agrícola siempre ha estado muy unida a la mano de obra. Tanto es así que sistemáticamente la tasa de desocupación de este sector en Chile se ha ubicado dos a tres puntos porcentuales por debajo de la tasa general de la economía, salvo en el período de baja estacionalidad (comprendido entre mayo y septiembre de cada año) donde la tendencia se invierte. Otro indicador relevante es la productividad laboral, la cual ha crecido sostenidamente gracias por una parte a un aumento en la producción y los precios, y por otra parte a una disminución – aunque menos acentuada que la producción y los precios – en el universo total de personas ocupadas en la agricultura. Estas cifras representan un desafío para el productor ya que cualquier aumento de producción conlleva dificultades para encontrar mano de obra efectiva.

La pregunta relevante es entonces: ¿cuánto tiempo más puede sostenerse el desarrollo del cultivo de la palta en laderas de cerro con el ritmo de crecimiento exhibido hasta ahora sin que empiecen a deteriorarse la productividad y la competitividad del productor?

Después de analizar distintos mecanismos incluidos mulas, chutes y tubos de plástico entre otros, C.D. Gustafson (1976) concluyó que la solución al problema de transporte de la cosecha en laderas empinadas debía considerar “transportadores mecanizados de frutas a los contenedores en los niveles más bajos en el huerto”. Cuatro décadas después de haberse publicado este estudio el problema persiste en la industria, y se ha globalizado. El año 2010, una empresa chilena productora de palta, se acercó al departamento de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) con la misma problemática, buscando soluciones con el apoyo de académicos con experiencia en mecanización. El desafío lo tomó personalmente Raul Gurovich Albala, Ingeniero Mecánico, Master en Ciencias en Diseño Mecánico de la Universidad de California, Berkeley y profesor de la cátedra de Diseño Mecánico de la UTFSM. De esa forma surgió un proyecto de innovación co-financiado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) con el objetivo de estudiar, diseñar, construir y probar en condiciones reales un sistema de transporte mecanizado que constituyera una solución efectiva y eficiente al problema de cosechar fruta en laderas de cerros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño de la solución se investigaron distintos métodos de transporte de frutos seleccionándose algunos criterios de diseño. El valor deseable para cada criterio se escogió considerando un diseño y fabricación simples compatibles con las necesidades y restricciones del mercado. A modo de ejemplo, dentro de las soluciones investigadas surgió el monorriel como una alternativa mecanizada existente comercialmente, pero la cual presenta parámetros operacionales con valores alejados de la solución deseada en varios de los criterios seleccionados.

Los criterios más relevantes establecidos fueron: el costo de inversión, la flexibilidad operacional, el costo de mantención y la intervención ambiental.

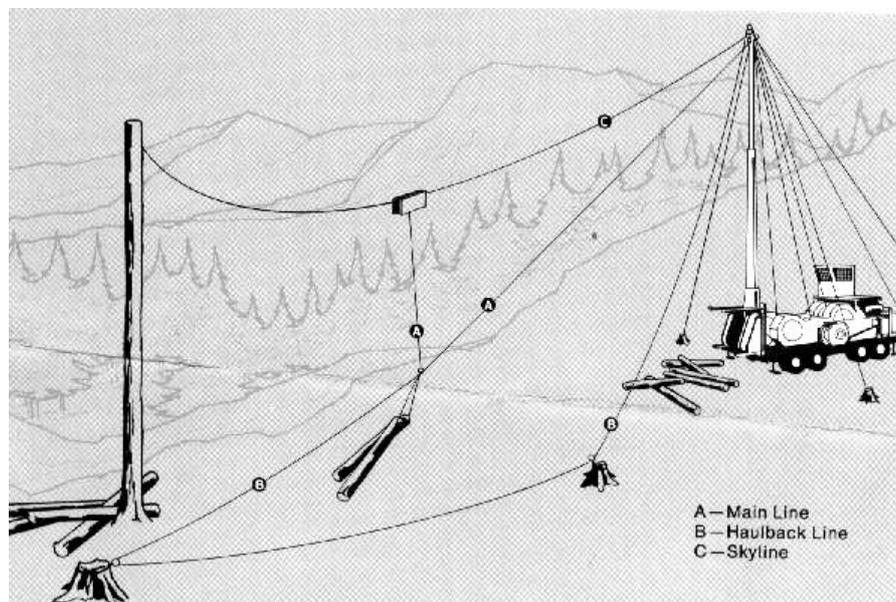
Tabla 1: Criterios de diseño y fabricación

Criterio	Valor Deseable
Costo de Inversión	Bajo, en el rango de equipos agrícolas tradicionales
Personal de Operación	Mínimo – 1 hombre
Período de Recuperación de la Inversión	2 a 3 temporadas de cosecha
Facilidad de Operación	Superior (capacitación mínima del personal)
Costo de Montaje	Bajo
Flexibilidad Operacional	Alta, utilizable en pendientes de 45° o mas
Mantención	Baja (capacitación mínima)
Seguridad	Alta
Uso de Energía	Mínima
Intervención Ambiental	Mínima o cero

Como resultado de este pre-estudio, el diseño conceptual y la fabricación del equipo se basaron en el principio de la “torre de madereo” (cable logging o cable yarding en inglés), utilizada en explotaciones forestales, con las modificaciones conceptuales y adaptaciones tecnológicas que se requieren en el ámbito de su utilización para el transporte de frutos en laderas de cerro.

La torre de madereo es un sistema de transporte de cablevía consistente (en su versión más simple) en un pilar motriz telescópico, montado sobre un tractor o equipo móvil del cual salen dos cables: un cable portante de alta resistencia por el cual se desplaza un carro con un gancho del cual pende el tronco de árbol que se desea transportar, y un cable de tiro que conecta el carro y que se extiende y recoge dependiendo de la distancia que se desea alcanzar. El otro extremo del cable portante va anclado a un tronco a distancia que actúa como pilar fijo. El sistema se alimenta desde uno o más grupos motrices existentes en el equipo móvil, el cual se ancla al terreno mediante vientos convenientemente dispuestos.

Figura 1: Layout sistema Torreo de Madereo



Las principales adaptaciones se enfocaron en el carro de carga, el pilar motriz y en el sistema de tiro. El carro de carga se re-diseñó para transportar vía aérea ocho capachos de lona de 20 kg cada uno, modificando por tanto su estructura y el sistema de rodadura sobre el cable portante de acero. El pilar motriz se adaptó reemplazando el pilar telescópico montado sobre el equipo móvil por uno transportable de altura fija, el que se ancla al terreno a través de vientos y estacas. Finalmente el sistema de tiro del carro basado en la extensión y recogimiento del cable se sustituyó por un cable de tiro entre el pilar motriz y un pilar tensor (ubicado en el otro extremo) tensado y accionado por un huinche motorizado ubicado en el pilar motriz. Todas estas modificaciones concurren a la creación de un equipo innovador que cumple con los criterios de costo, flexibilidad, y facilidad operacionales establecidos como relevantes.

Los componentes principales del equipo de transporte AgriCable se detallan a continuación:

Fijación

El equipo consta de tres pilares: Motriz, Tensor e Intermedio. Cada pilar cuenta con un boggie de traslado, base y pivote inferior. Cada pilar se estabiliza por medio de tres vientos de sujeción de cable de acero con tensores individuales. Los vientos van anclados al terreno por medio de tres estacas, una por cada viento. El montaje se facilita usando dos puntales tubulares en cada pilar.

Sistema Motriz

El sistema motriz consiste en un huinche de 1.1 kW monofásico con partida manual el cual se alimenta desde un grupo electrógeno a bencina de 93 octanos. Este grupo electrógeno entrega una potencia de 4 kW otorgando una autonomía de ocho horas a carga completa. Además el sistema posee un freno electromagnético ubicado en el pilar motriz.

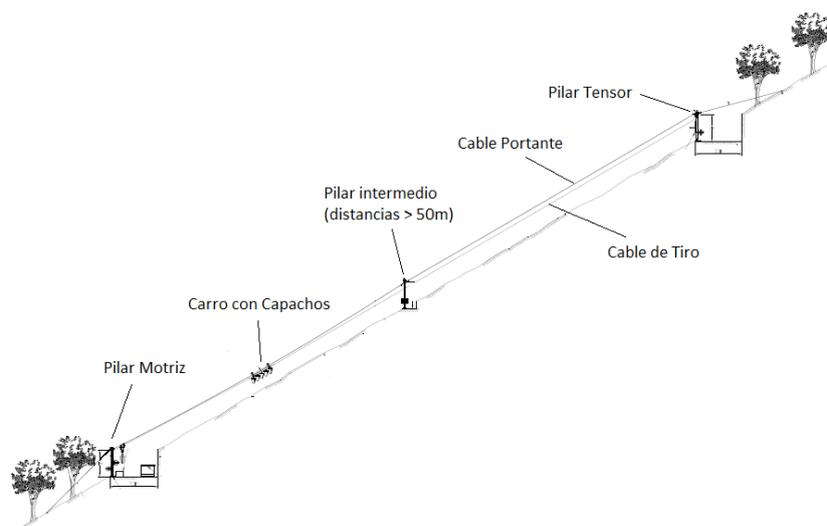
Desplazamiento

Los frutos se transportan en capachos sujetos al carro de carga, y está diseñado para transportar hasta ocho capachos de lona de 20 kg cada uno. El carro se desplaza por medio de un tren de rodadura sobre un cable portante de acero de 50 metros de longitud (en configuración standard) y límite de carga de trabajo de 3500 kg con un factor de seguridad cuatro. Accionando dos tensores manuales, uno ubicado en el pilar motriz y otro en el pilar tensor, se levanta el cable portante a la altura adecuada para permitir el despeje del carro cargado con 160 kg sobre el terreno. El sistema motriz ejerce tracción sobre un cable de tiro de nylon o similar de longitud 100 metros y límite de carga de trabajo de 300 kg con un factor de seguridad cinco. El cable de tiro es tensado por medio de un sistema gravitacional dispuesto en el área del pilar motriz.

Adicionales

El equipo completo puede cargarse manualmente por dos personas en un carro de arrastre para ser transportado por un tractor agrícola desde un cuartel a otro dentro del predio. La suma de los pesos de los componentes individuales no sobrepasa los 450 kg y sus dimensiones son tales que se estiban con facilidad en un carro con barandas de 1.20m de ancho x 2.10m de longitud.

Figura 2: Layout equipo de transporte



Las características operacionales nominales del equipo se detallan a continuación:

Capacidad de carga

El equipo puede transportar hasta 160 kg de fruta en cada viaje del carro de carga.

Pendiente

El equipo se diseñó para trabajar en laderas con pendientes de 0 a 100 % (0 a 45 grados).

Tamaño del cuartel

El sistema de transporte con sus dos pilares principales (motriz y tensor) puede transportar la carga a lo largo de 50 metros lineales con mínimo despeje al suelo. Adicionalmente, el sistema permite escalar hasta 150 metros lineales ubicando uno o más pilares intermedios con una distancia entre los pilares de 40 a 50 metros, similar a las distancias existentes en las laderas a lo largo de las pendientes, entre los caminos que separan los cuarteles.

La distancia horizontal óptima (cantidad de hileras) debe ser escogida considerando el objetivo de lograr la productividad nominal de diseño. Si se considera una productividad de 10.000 kg/há, el resultado nominal es que el equipo puede barrer con 17 hileras hacia la derecha y 17 hileras hacia la izquierda en un cuartel de 3 x 3 en una jornada. Para cuarteles menos abundantes o menos densos, conviene considerar una reducción en el número de cosecheros, o bien considerar dos o más equipos de transporte instalados simultáneamente.

Rendimiento nominal

El carro se desplaza a una velocidad lineal entre 12 a 14 m/min dentro del ciclo normal de trabajo. El ciclo de trabajo comprende el ascenso del carro vacío desde el nivel inferior hasta el punto superior de la ladera, el descenso con detenciones para el carguío de la fruta, y la descarga en el bin de recepción abajo. Considerando este ciclo de trabajo la capacidad de transporte nominal es de 1.100 a 1.300 kg/h para un cuartel con fruta abundante.

El grupo electrógeno tiene un consumo aproximado de 2 litros/h lo que le da al equipo una autonomía de uso equivalente a una jornada normal de ocho horas.}

Pruebas

Durante todo el año 2014 se efectuaron extensas pruebas en fábrica y en un campo de pruebas especialmente acondicionado, las que posibilitaron introducir mejoras y optimizar el diseño y la operación del equipo.

Las pruebas en terreno del equipo se realizaron entre los meses de octubre de 2014 y febrero de 2015 en las plantaciones de una productora de paltas ubicada en el sector rural de Melipilla en Chile. El objetivo de las pruebas fue comprobar el funcionamiento del equipo en una cosecha real, estudiar y comprobar la indispensable coordinación del sistema Cosechero-Máquina y medir las variables de operación de interés tales como productividad y tiempos.

Las mediciones estuvieron a cargo de tres observadores. Uno de ellos registró la operación desde el pilar intermedio focalizando su trabajo en las variables de proceso asociadas al cosechero y al proceso de carga de la fruta en el carro. El segundo observador registró la operación desde el pilar motriz focalizándose en las variables de proceso asociadas al desplazamiento del carro. El último observador registró la operación también desde el pilar motriz focalizándose en la producción y un conjunto diferente de variables asociadas al desplazamiento del carro. Adicionalmente, y con el objetivo de contrastar el desarrollo de la cosecha manual con una cosecha de transporte mecanizado, se observaron los rendimientos en huertos cosechados de forma tradicional con uso exclusivo de mano de obra.

Las variables independientes medidas y tabuladas fueron las siguientes:

	Cosecha Mecanizada (Cosechero)	Cosecha Mecanizada (Carro)	Cosecha Manual
Variables Independientes	<ol style="list-style-type: none"> Tiempo que demora en sacar el capacho del carro. Tiempo que demora en acercarse al árbol (o extrae la primera palta) Tiempo que demora en llenar el capacho Tiempo que demora en retornar con el capacho lleno a la línea. Tiempo que demora en cargar el carro con el capacho Tiempo que demora en sacarse el capacho del cuerpo y colgarlo en el carro. 	<ol style="list-style-type: none"> Tiempo de subida del carro (vacío) Tiempo de llegada al bin (cargado). Tiempo de descarga de capachos al bin. Tiempo de reposición de los capachos vacíos en el carro. Número de paradas realizadas en la bajada Número de capachos llenos que llegan al bin. 	<ol style="list-style-type: none"> Tiempo de partida de cosechero (vacío) Tiempo de llegada de cosechero al bin (cargado). Carga de cada capacho Cantidad de bins de 400 kg producidos
Variables Dependientes	<ol style="list-style-type: none"> Tiempo de cosecha (desde el punto de primera extracción hasta llenar el capacho. Tiempo de ciclo (desde que retira el capacho del carro hasta que lo vuelve a colocar cargado) Tiempo de colocación del capacho en el carro. 	<ol style="list-style-type: none"> Tiempo de ciclo, desde que empieza a subir vacío hasta que se vuelve a reponer con capachos vacíos luego de la descarga en bin. Producción por ciclo. 	
Variables Controladas	<ol style="list-style-type: none"> Distancia horizontal máxima recorrida (hileras) Cantidad de cosecheros (3) Fruta baja y escasa 	<ol style="list-style-type: none"> Distancia vertical máxima recorrida. Pendiente de trabajo ($\pm 100\%$ = 45 grados) 	<ol style="list-style-type: none"> Distancia horizontal y vertical máxima recorrida. Pendientes de trabajo (distintas)

RESULTADOS

Los resultados de productividad fueron las siguientes:

Para una cosecha manual la productividad promedio observada durante una jornada de cuatro horas fue de 212,5 kg/hora-cosechero. Durante esta jornada se observaron cosechas en huertos de diferentes pendientes entre 0% y 100%, midiéndose una productividad de 450 kg/hora-cosechero para un huerto con pendiente suave (36% = 20 grados), de fruta baja y abundante y de 125 kg/hora-cosechero para un huerto en una ladera más empinada. Esta última medida fue respaldada por un supervisor de terreno.

La producción de la cosecha mecanizada en una ladera empinada con pendiente de 45 grados fue de 31 cachos de 20 kg c/u por hora con tres cosecheros, lo que resulta en una productividad promedio de 204 kg/hora-cosechero. Al comparar este valor con el mismo tipo de pendiente de la cosecha manual se observa un alza del 63% en la productividad.

Los resultados de funcionamiento fueron los siguientes:

- El sistema de transporte satisface en forma efectiva el requisito de liberar al cosechero de la necesidad de desplazarse hacia abajo o hacia arriba del cerro con carga.
- El sistema de transporte en condición de cosecha real opera satisfactoriamente con la carga máxima de diseño de 160 kg.
- El sistema de transporte es estable. No se observaron oscilaciones verticales ni horizontales al desplazarse, lo que es una condición necesaria para operar en terrenos irregulares.
- El sistema de transporte es confiable. Los anclajes aceptaron las solicitaciones de carga y los pilares se mantuvieron alineados durante las pruebas en un terreno arcilloso y de pendiente fuerte.
- Las pruebas de operación detectaron la frecuente ocurrencia de cosecheros cruzando la línea de acarreo. Esto podría generar un riesgo de accidente en un sistema de transporte de cable sinfín portacachos y movimiento continuo. Pero no ocurre para el sistema AgriCable, de movimientos discretos del carro de carga y control visual permanente de toda la línea de acarreo por el operador del equipo.
- El montaje del equipo en el terreno se presenta como la etapa más laboriosa y observada de la operación global del sistema, por las partes que presenciaron el funcionamiento del equipo. Ello señala la oportunidad de optimizar esta etapa.

DISCUSIÓN

Al analizar los resultados obtenidos resumidos en los puntos anteriores se puede desprender que la productividad observada para la cosecha mecanizada fue mayor que la de la cosecha manual para un huerto con pendiente fuerte (cercana al 100%). Si bien la productividad del grupo de tres cosecheros fue de 612 kg/hr-trabajador, resultado que es menor a la productividad de diseño del equipo de 1.100-1.300 kg/hora, es relevante notar que la primera fue obtenida en un cuartel con fruta escasa, permitiendo suponer que efectivamente se puede alcanzar el valor de diseño en un huerto con fruta abundante. El resultado es comparable con el de una cosecha manual parcial donde en vez de barrer con el cuartel completo, se cosecha solo aquellos frutos con un calibre superior a un tamaño definido, repasándolo luego hasta cosechar el cuartel completo. Lo anterior es una hipótesis, y por tanto habría que diseñar una prueba en estas condiciones para verificarlo.

La productividad observada de la cosecha con transporte mecanizado fue un 63% mayor que la de la cosecha manual, lo que se traduce definitivamente en un potencial de ahorro en la mano de obra requerida. Dicho de otro modo, una cosecha manual que utiliza hoy de 8 a 10 jornadas-hombre para cosechar un cuartel de 10.000 kg en un día, puede reconfigurarse para trabajar sólo con 5 a 6 cosecheros con el transporte mecanizado.

Otro punto esencial es la diferencia entre capacidad operacional y rentabilidad económica. El equipo fue diseñado para trabajar en cualquier pendiente mayor a 0%. No obstante, del punto i de los resultados se desprende que para el caso de pendientes suaves (menos de 20 grados) el beneficio de cosechar con transporte mecanizado está presente principalmente en el menor desgaste físico de los cosecheros.

Finalmente respecto a los resultados de la instalación se pudo comprobar que la sujeción de los pilares con estacas y vientos ocupa la mayor parte del tiempo de instalación. El tiempo de instalación y desinstalación se proyectó en una jornada de seis a ocho horas. Este tiempo se puede reducir fácilmente hasta media jornada si el terreno se pre-acondiciona para la instalación del equipo. Existen varias medidas posibles, entre las que se encuentran definir y señalar con anterioridad a la cosecha los puntos donde deberán colocarse los pilares y sus vientos; hincar definitivamente en el terreno las estacas de anclaje; instalar losetas para los pilares; despejar previamente las entre-hileras por donde se tenderá la línea de acarreo con los cables y el carro.

Es importante indicar que no se requieren poyos de concreto para fijar o afianzar los vientos y los pilares. El diseño de los elementos de anclaje es tal que su adecuada colocación en terreno desnudo es suficiente para asegurar la estabilidad del equipo en operación durante la temporada de cosecha.

CONCLUSIONES

El objetivo principal del proyecto fue estudiar, diseñar, construir y probar en condiciones reales un sistema de transporte mecanizado que constituya una solución efectiva y eficiente al problema de cosechar en laderas de cerros. El sistema de transporte se diseñó basándose en criterios de simplicidad y menor costo de inversión y explotación para el usuario final. Según cálculos preliminares el costo del equipo se ubicaría en torno a CLP \$5-\$8 por kg de palta cosechada. Esto es alrededor de USD 1,5 centavos/kg o USD 6 por bin cosechado, para un plazo de depreciación total de dos temporadas, lo que representa alrededor del 10% del costo empresa de una cosecha. Al compararse con otras soluciones mecanizadas comercialmente existentes el objetivo económico se cumple ampliamente.

Una vez construido y perfeccionado el sistema, éste se probó en una cosecha real ubicada en las cercanías de Pomaire, Región Metropolitana, Chile. Se comprobó que el sistema de transporte satisface la condición de evitar que el cosechero se desplace verticalmente a lo largo de la pendiente del cerro, lo que provoca un alto impacto positivo en la seguridad laboral, enfermedades profesionales, productividad y costos directos de la cosecha. Al compararse con el método de cosecha manual, el sistema de transporte mecanizado es un 63% más productivo.

Desde la perspectiva de los costos de cosecha esta mayor productividad implica poder disponer de cuatro cosecheros de un grupo de diez para otras labores en el huerto sin mermar la producción. Bajo esta reorganización del trabajo y considerando el pre-acondicionamiento del terreno para reducir los tiempos de instalación, el tamaño mínimo óptimo del sistema para asegurar una producción continua mecanizada se estima en dos equipos.

LITERATURA CITADA

Gustafson, C.D. 1976. Fruit Removal from Steep Hillside Avocado Orchards, California Avocado Society Yearbook 60: 97-105.



ACTAS • PROCEEDINGS

VIII CONGRESO MUNDIAL DE LA PALTA 2015

del 13 al 18 de Septiembre. Lima, Perú 2015

www.wacperu2015.com

