

COMPARACIÓN DE MÉTODOS MULTICRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES AGROINDUSTRIALES, CONSIDERANDO SERIES TEMPORALES PARA LA PREDICCIÓN DE LOS CRITERIOS

José Miguel Parot Silva

Programa de Magíster en Gestión de Operaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca,
Camino a Los Niches km 1, Curicó, Chile
jparots@uautonoma.cl

Marcela C. González-Araya

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca,
Camino a Los Niches km. 1, Curicó, Chile
mgonzalez@utalca.cl

Gonzalo E. Campos Hernández

Ingeniería Civil Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile,
5 Poniente 1670, Talca, Chile
gcamposh@uautonoma.cl

RESUMEN

En este trabajo se aplica y compara dos metodologías de análisis de decisiones multicriterio para apoyar a la selección de proveedores de la cadena de suministro agroindustrial, siendo éstas la Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT) y Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Los criterios utilizados para ambo modelos se pueden dividir en dos: aquellos constantes en el tiempo y los que varían en el tiempo, para los cuales se usa su predicción mediante el modelo de suavizamiento exponencial (SE) de Winter. Los rankings de proveedores entregados por ambas metodologías fueron comparados por medio del coeficiente de correlación de Spearman, mostrando que ambas metodologías tienen comportamientos similares, a pesar de variaciones en el comportamiento de los proveedores. Por otro lado, el ranking del futuro comportamiento de los proveedores permitirá tomar decisiones de largo plazo.

PALABRAS CLAVE. Selección de proveedores, Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT), Proceso Analítico Jerárquico (AHP), suavizamiento exponencial.

ADM - Apoyo a la Decisión Multicriterio

ABSTRACT

This research applies and compares two multicriteria decision methods to support the suppliers' selection of the agribusiness supply chain. These methods are Multiple Attribute Utility Theory (MAUT) and the Analytic Hierarchy Process (AHP). The criteria used for both methods can be divided into two: those don't vary along the time and those that change along the time, using Winter's Exponential Smoothing (ES) method for estimating them. The suppliers' rankings, provided by both methods, were compared using the Spearman correlation coefficient. Despite the variation shown in the supplier's performance, both methods have similar performances. On the other hand, the future ranking based on the suppliers' performance will allow long term decision making.

KEYWORDS. Supplier selection, Multiple Attribute Utility Theory (MAUT), Analytic Hierarchy Process (AHP), Exponential Smoothing.

ADM - Multicriteria Decision Support

1. Introducción

Al mirar la evolución de las últimas décadas, es posible constatar que la agricultura chilena ha experimentado profundas transformaciones. Luego de un largo período de desarrollo interno, en que la agricultura jugaba un rol más bien secundario, desde la década de los 80 el sector ha venido consolidando una exitosa estrategia de internacionalización, en el marco de una nueva estrategia de desarrollo, que se funda en la plena apertura de la economía al exterior y en el ordenamiento de la actividad productiva, sobre la base de sus ventajas comparativas y el desarrollo de ventajas competitivas. Como resultado de estas transformaciones, paulatinamente el sector agroalimentario se ha ido constituyendo en uno de los pilares del desarrollo económico del país y en muchos rubros ya tiene importancia internacional. Las frutas y hortalizas, el vino y las semillas, la agroindustria y el sector forestal, sin duda ya se han ganado un sitio en la oferta exportable chilena.

“Esta positiva evolución del sector, si bien tiene como telón de fondo las transformaciones de carácter estructural de la economía del país, es también el resultado de años de trabajo conjunto realizado por los diversos agentes del sector, tanto del ámbito público como del privado, lo que ha permitido ir configurando un recurso humano con altas capacidades profesionales, empresariales y laborales, para enfrentar los retos de la globalización. Chile posee importantes ventajas naturales, ya que por las características de su geografía cuenta con una gran diversidad de agroecosistemas que le permiten diversificar y diferenciar su oferta de productos. A ello se agrega que el país cuenta con un patrimonio sanitario reconocido internacionalmente, lo cual es el resultado de sus condiciones naturales de aislamiento y de la aplicación de una política eficaz en materias fito y zoonositarias” (ODEPA, 2005).

“La agricultura chilena ya está instalada en los mercados internacionales, compitiendo con los países agrícolas más eficientes en una agricultura mundial que acelera su proceso de integración y especialización, sin embargo, esta posición no está exenta de incertidumbres. Por un lado, los mercados mundiales están sufriendo profundas y rápidas mutaciones impulsadas por los consumidores, las cadenas de distribución, los procesos de integración comercial entre bloques y países y la competencia entre empresas agrícolas, forestales o agroindustriales. Por otro lado, dicha instalación es todavía incompleta, pues hay diversos rubros y miles de explotaciones que todavía no se insertan en el proceso exportador, pero que dentro de diez años la apertura comercial habrá alcanzado su plena expresión y todos los rubros deberán enfrentar la competencia externa. Para sostener y ampliar lo ya alcanzado, será necesario hacer los cambios requeridos para enfrentar con éxito ese momento” (ODEPA, 2005).



Figura 1. Evolución de la producción y la superficie de frutales

La Figura 1 muestra la evolución que ha tenido la producción de frutas y las hectáreas sembradas, donde el 100% de la producción corresponde a la producción del año 2005 con un total de 4,1MM toneladas, el 100% de la superficie sembrada corresponde a 294.865 hectáreas del año 2012 (ODEPA, 2012).

Con esta mirada del futuro y evolución de la agroindustria, se hace imprescindible un buen análisis y toma de decisiones para toda empresa agroindustrial, a lo largo de la cadena de suministro. En esta cadena, una de las partes más importantes es la selección de proveedores, porque de esta depende en gran parte la calidad, precio del producto final y el cumplimiento de los plazos definidos. Por lo que se considera a la Teoría de Utilidad Multiatributo, por su fácil

implementación, su amplio margen de utilización y bajo costo, junto con la predicción de la evolución con modelos de suavizamiento exponencial, por su fácil implementación, buenas predicciones en cortos periodos. La unión de estos dos métodos permite evaluar a los proveedores considerando sus cambios en el tiempo, y facilitando esta por medio de un valor único para cada proveedor.

1.2. Descripción del problema

El objetivo de cualquier organización es aumentar el valor de la cadena de suministro y disminuir los costos, por lo que la selección eficiente de proveedores es de suma importancia para cumplir estos objetivos. Esto permite obtener productos de alta calidad y satisfacer los requerimientos de los clientes a tiempo. La gestión de la cadena de suministro es un proceso de planificación, ejecución y control de la red de abastecimiento que atiende las demandas de los clientes lo más eficientemente posible.

Los proveedores que posea una empresa determinarán en gran medida el éxito de ésta. El contar con buenos proveedores no sólo significa tener insumos de calidad y por tanto, poder ofrecer no solo productos de calidad, sino también la posibilidad de tener bajos costos, o la seguridad de poseer los productos cada vez que se requieran. Por lo que cada vez que se tenga que elegir a un proveedor, hay que tomarse un tiempo y evaluar bien las diferentes alternativas que existan.

La selección de proveedores y el desempeño de éstos dependen de atributos cualitativos y cuantitativos que los caracterizan. Los atributos cuantitativos pueden ser calculados mediante métodos matemáticos. Por otro lado, los atributos cualitativos deben modelarse de manera que al evaluar a los proveedores se consideren todos los parámetros para entregar mejores resultados. Las variables cualitativas son de suma importancia ya que refiere a características que no se pueden medir numéricamente. En algunos casos estos atributos se pueden ordenar, como por ejemplo la calidad, la cual puede ser buena, regular o mala.

Esta tesis busca proponer y comparar dos metodologías de selección de proveedores integrando predicción con suavizamiento exponencial en el proceso de selección de proveedores, estas metodologías son MAUT (Keeney y Raiffa, 1976) y AHP (Saaty, 1980), ambas de la escuela americana (Gomes *et al.*, 2004). Además de identificar los criterios más relevantes para la selección de proveedores en cadena de suministro agroindustrial, se utiliza MAUT, debido a la ventaja que tiene por sobre otras metodologías en relación al tiempo y facilidad de uso. Por otro lado, se utiliza AHP con medida absoluta que ordena las alternativas una a una en lugar de compararlas par a par, como lo hace el AHP clásico, después de descomponer el problema en niveles jerárquicos. En cuanto al suavizamiento exponencial, es una técnica popular para los pronósticos de corto plazo. Sus mayores ventajas son bajos costos y simplicidad. Además, son atractivos, ya que generan pronósticos al asignar pesos que disminuyen de forma exponencial conforme las observaciones se vuelven más antiguas.

Es importante mencionar que el principal objetivo de la investigación consiste en realizar una contribución a la agroindustria apoyando la gestión de insumos, específicamente en la selección de proveedores. Para ello se predice que es lo que pasará con los proveedores en el periodo en el que se lleva a cabo la inversión en insumos. Es necesario predecir el comportamiento de los proveedores, ya que al tener criterios variantes en el tiempo y ser tan incierto el futuro de los proveedores, la buena predicción permite aumentar los esfuerzos de negociación, aumentar los precios a mejores proveedores y disminuirlo para los peores.

2. Metodología

Se proponen dos metodologías para la selección de proveedores, donde se realiza una combinación de MAUT con modelos de predicción con serie de tiempo y AHP con modelos de predicción con serie de tiempo.

Se utilizará MAUT y AHP-AM – *Analytic Hierarchy Process Absolute Measurement* (Saaty, 1987), debido a la ventaja que tiene por sobre otras metodologías en relación al tiempo de ejecución, facilidad para tener varias alternativas y criterios, y poder agregar nuevas alternativas

fácilmente. Por otro lado, se utilizan métodos de predicción con suavizamiento exponencial (Holt, 1957) por ser populares para pronósticos de corto plazo, además de sus mayores ventajas que son los bajos costos y simplicidad.

Es importante mencionar que el principal objetivo de la investigación consiste en realizar una contribución a la agroindustria apoyando la gestión de insumos específicamente la selección de proveedores. Para esto se predice que es lo que pasara con los proveedores en el periodo en el que se lleva a cabo la inversión en insumos.

2.1 Metodología de selección de proveedores con MAUT

Esta metodología está basada en MAUT y Suavizamiento Exponencial. La Teoría de Utilidad Multiatributo se basa en la hipótesis de que en cualquier problema de decisión existe una función de valor real v sobre el conjunto de alternativas A , que el decisor desea examinar, consciente o inconscientemente (Keeney y Raiffa, 1976). Estas hipótesis que se mantiene en esta metodología.

A continuación se describen brevemente las etapas a seguir para desarrollar esta metodología.

Etapa 1: Definir el o los decisores

Es necesario identificar al tomador de decisiones, en la mayoría de los casos, el gerente de la empresa agroindustrial es el encargado de tomar la decisión de que proveedores y la cantidad de proveedores que abastecerán a la empresa agroindustrial. Teniendo en cuenta los criterios relevantes con ayuda de un equipo de toma de decisiones.

Etapa 2: Definir las alternativas

En algunos casos está claro cuáles son los proveedores a los cuales aplicaremos el modelo. En otros casos es necesario reducir el número de alternativas a un tamaño menor, más fácil de administrar. Esto se hará eliminando las alternativas que no alcancen un nivel preestablecido de algún criterio.

Etapa 3: Definir los criterios relevantes para el problema y la importancia relativa de estos

Los criterios más altos son descompuestos progresivamente en niveles de mayor detalle. A continuación en la Figura 2 se muestran los criterios padres de un árbol de criterios propuesto.



Figura 2. Árbol de valor

El árbol posee tres grandes ramas la primera corresponde a los costos, luego aspectos del proveedor y por ultimo desempeño.

Luego de construir el árbol de criterios, puede juzgarse si esta representación es útil para el decisor a través de cinco factores sugeridos por Keeney y Raiffa (1976): Completitud, Operacionalidad, Descomponibilidad, Ausencia de redundancia y Tamaño mínimo.

Con la representación de los criterios es útil y necesario hacer un análisis de independencia preferencial entre los criterios que componen el árbol.

Luego es necesario calcular la importancia relativa de los criterios, esta parte del proceso consiste en dar pesos a los criterios, con el fin de reflejar su importancia para los tomadores de decisión. Los pesos son valores de trade-off o tasas marginales de sustitución, es decir, se determina cuanto se puede disminuir un criterio con el fin de mejorar el desempeño de otro.

Los valores de los pesos están relacionados con las escalas de medida usadas en la puntuación de las alternativas. De esta forma, el peso de un criterio involucra el concepto psicológico de importancia y el poder discriminatorio de la escala en que éste es medido. Para esto se utilizarán pesos móviles (swing weights). Estos pesos se han obtenido cuando se pide al decisor que compare un cambio o movimiento entre el valor menos preferido y el valor más preferido de un criterio, con un cambio similar en otro criterio.

Etapa 4: Construcción de función de valor

Esta parte del proceso es denominada puntuación (*scoring*). Lo que se realiza en esta etapa es cuantificar el valor de cada alternativa en relación a cada criterio. Es decir, se modelan las preferencias del decisor como una función de utilidad. Esta etapa fue dividida en dos partes, las cuales se presentan a continuación.

Criterios cualitativos:

La escala ordinal permite asignar un nombre al elemento medido. Además, permite establecer un orden entre los elementos medidos.

La escala ordinal mostrada como ejemplo en la tabla 1 tiene cinco niveles de clasificación. Esto puede variar de acuerdo al criterio.

Tabla 1. Escala Ordinal

Calificación porcentual	Planteamiento verbal	Descripción
100	Excelente	El proveedor cuenta con la cantidad y/o características de acuerdo al volumen y requisitos especificados del input, destacando algún plus dentro de la oferta de proveedores.
80	Muy Bueno	El proveedor cuenta con la cantidad y características de acuerdo al volumen y requisitos especificados del input.
60	Bueno	El proveedor cuenta con la cantidad o características medias de acuerdo al volumen y requisitos especificados del input.
40	Malo	El proveedor no cuenta con la cantidad y/o características de acuerdo al volumen y requisitos especificados del input.
0	Inaceptable	El proveedor sale de los rangos acerca de las especificaciones técnicas que requiere la empresa del input.

Vale la pena mencionar que esta escala es sólo una guía y sirve de ayuda para el decisor, por lo tanto, son variables y se tienen que adaptar a los criterios utilizados.

Criterios cuantitativos:

Para estos criterios la función de valor es encontrada por medio de la regresión de preferencias ya sea lineales, exponenciales, logarítmicas y potenciales, dependiendo de la que otorgue un mayor nivel de confiabilidad R . Esta se define con una serie de preguntas al tomador de decisión, utilizando el método de la bisección.

Este método requiere que el tomador de decisiones identifique el valor del criterio que se encuentre entre el más preferido y el menos preferido. Después de esto nuevamente se le pregunta al tomador de decisión los puntos intermedios que corresponden a los cuartos. Luego de esto se genera la función de valor midiendo el valor de R para seleccionar la mejor opción. A continuación podemos ver un ejemplo de esto.

Tabla 2. Ejemplo método bisección

Criterio 1	Puntaje	Descripción
5	100	Más preferido
7	75	Cuartos
15	50	Valor intermedio
20	25	Cuartos
40	0	Menos preferido

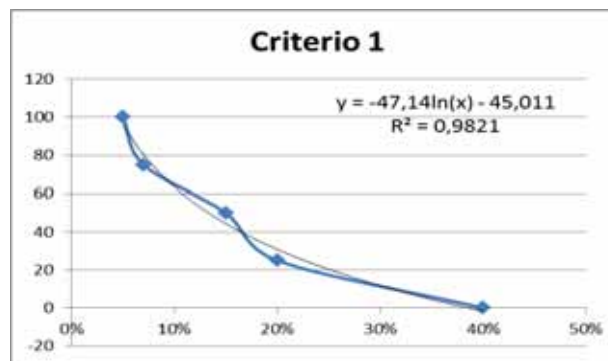


Figura 3. Função de valor

En el ejemplo de la figura 3 se puede ver que la mejor función que se adopta a la respuesta del tomador de decisión es una logarítmica con un $R = 0,9821$. Esto entrega una escala cardinal a nivel intervalo.

Etapla 5: Obtener los datos de desempeño de las alternativas en relación a los criterios

Obtención Directa:

Se refiere a los datos constantes, no varían a través del tiempo o su variación es conocida, entre estos datos podemos encontrar por ejemplo, certificación, las cuales pueden variar, pero no es necesario hacer un análisis predictivo para ver si la empresa va a tener o no certificación el periodo siguiente.

Obtención a través de predicción:

Con el fin de poder predecir que pasará en el futuro con los proveedores se utilizarán modelos de serie de tiempo para obtener el valor de los criterios, específicamente modelos de suavizamiento exponencial. Esto se realizará para todos los criterios que el decisor considere variantes a través del tiempo, que no se tenga la exactitud de que pasará con ello al periodo siguiente y por último, no menos importante, la disponibilidad de datos.

Etapla 6: Evaluar las alternativas en relación a los criterios

Con la predicción de los criterios de la etapa anterior y los criterios de obtención directa, se procede a evaluar las alternativas, utilizando la función de valor creada en la etapa 4.

Usando la función de valor multiatributo se determina el valor o puntuación global de cada alternativa. Esto se lleva a cabo con el desempeño de cada proveedor según cada criterio, considerando las predicciones, y los pesos de cada criterio. Ahora se puede encontrar el desempeño global de cada alternativa, combinando los valores de cada uno de los criterios.

2.2 Metodología de selección de proveedores con AHP y predicción en los criterios

Etapla 1: Modelamiento

En la primera etapa (modelización), se construye un modelo o estructura en la que queden representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de resolución (actores, escenarios, factores, elementos e interdependencias).

En su formulación inicial, AHP supone cuatro axiomas (reciprocidad, homogeneidad, jerarquías y sistemas con dependencias, y expectativas) y utiliza como estructura para modelizar el problema, una jerarquía (Saaty, 1980). En esta jerarquía, los elementos de un nivel no dependían de los descendientes ni de los hermanos. En el nivel superior de la jerarquía (nivel 0) se coloca la meta global o misión considerada para el problema, y en los sucesivos niveles los demás aspectos relevantes.

Etapa 2: Valoración

En la segunda etapa se incorporan las preferencias, gustos y deseos de los actores mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparaciones pareadas. Estas matrices cuadradas $A = (a_{ij})$ reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad en común. En particular, a_{ij} representa la dominación de la alternativa i sobre la j .

En la práctica, de los dos elementos comparados, se toma como referencia el que posee en menor medida o grado la característica en estudio, y se da una medida de las veces que “el mayor” incluye, recoge, domina, es más preferido, o es más verosímil que el “menor” respecto al atributo estudiado.

Obviamente, las medidas en diferentes escalas no pueden agregarse directamente. Para su tratamiento conjunto se consideran todos los aspectos como si fueran intangibles, recurriendo a las comparaciones pareadas para derivar las prioridades relativas. Cuando se dispone de una escala, puede tomarse como juicios las razones entre las mediciones, en cambio, si no se dispone de una escala, se usan como juicio los correspondientes a las comparaciones pareadas entre los elementos considerados.

Etapa 3: Priorización y síntesis

La última etapa de la metodología, proporciona las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema: prioridades locales, globales y totales. En general, se entiende por prioridad una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el individuo tiene al comparar aspectos tangibles e intangibles.

Las prioridades locales, esto es, las prioridades de los elementos que cuelgan de un nodo común, están medidas en escalas de razón de las magnitudes relativas, y se obtienen a partir de la matriz recíproca de comparaciones pareadas.

El procedimiento matemático seguido en su obtención es el método de autovector principal por la derecha (Saaty, 1980). Este método, basado en el teorema de Perron-Frobenius, proporciona las prioridades locales resolviendo el sistema de ecuación:

$Aw = \lambda_{max}w$, con $\sum_j w_j = 1$, donde $A = (a_{ij})$ es la matriz recíproca de comparaciones pareadas, λ_{max} el autovalor principal de A , y $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ el vector de prioridades locales medidas en escala de razón y normalizadas para tener unicidad. En este caso, la normalización se ha efectuado aplicando el denominado modo distributivo ($\sum_j w_j = 1$).

Cuando se dispone de una escala, las prioridades relativas de los elementos que cuelgan de un nodo son conocidas directamente. En este caso, la matriz recíproca de comparaciones pareadas, $W = (w_i/w_j)$, queda como:

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

En este caso, la matriz W anterior tiene rango uno, con lo que el problema del autovector se reduce a $Ww = nw$, con $\sum_j w_j = 1$.

Una forma sencilla de obtener el valor de λ_{max} si se conoce el valor exacto de w en forma normalizada, es sumar las columnas de A y multiplicar el vector resultante por el vector de prioridades w . En general, utilizando el teorema de Perron-Frobenius, se puede probar que $\lambda_{max} \geq n$ para el método de Saaty (Saaty, 1980).

En AHP se dice que el decisor, o persona que introduzca los juicios, es consistente, si la matriz de comparaciones pareadas lo es, esto es, si verifica que $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$, $\forall i, j, k$. Para evaluar la consistencia del decisor se calcula la denominada razón de consistencia (RC), un índice no estadístico (en su propuesta inicial) que viene dada como el cociente entre el índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatorio (ICA), esto es:

$$RC = IC/ICA$$

donde:

$$IC = \frac{\lambda_{max}}{n-1} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j}^n (e_{ij} - 1)$$

siendo $e_{ij} = a_{ij} w_j / w_i$ y el ICA es el índice de consistencia medio obtenido al simular aleatoriamente los juicios para las matrices recíprocas de orden n .

En la práctica, suelen darse por buenas razones de consistencia inferiores al 10%. Si la razón de consistencia supera ese umbral se recomienda revisar los juicios, corrigiendo aquél que más se separa de la razón dada por las prioridades relativas correspondientes.

3. Caso de estudio

Se desarrolló la metodología propuesta anteriormente, en la selección de proveedores de un paking de cerezas. Donde se encontrará un orden para los productores según la predicción de sus criterios y las preferencias del decisor.

3.1. Criterios de evaluación

Se definieron los criterios relevantes para el problema y la importancia relativa de estos según el decisor, los cuales se muestran en la Figura 4.

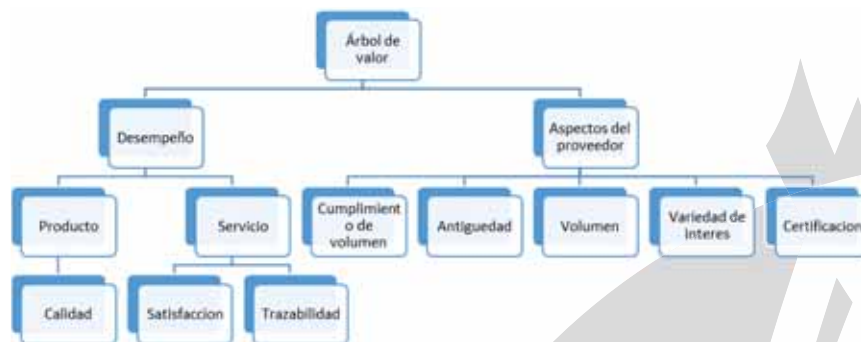


Figura 4. Árbol de criterio para cerezas

Después de construir el árbol de criterios, se juzgó si esta representación es útil para el decisor a través de cinco factores sugeridos por Keeney y Raiffa, (1976). Estos son Completitud, Operacionalidad, Descomponibilidad, Ausencia de redundancia y Tamaño mínimo.

Obtener los datos de desempeño de las alternativas en relación a los criterios

No todos los datos se obtendrán de la misma forma, algunos son conocidos por los decisores, otros varían a través del tiempo pero son conocidos, y están los que no se conocen y se desean conocer, para estos se aplicarán modelos de suavizamiento exponencial. Estos criterios son: Volumen, Variedad predominante, Machucón, Calibre, Firmeza, Cumplimiento de Volumen, Pitting, Pudrición, Pre-calibre y Sólido Soluble.

Los criterios que no necesitan predicción son cuatro. Certificación, Satisfacción del cliente, Antigüedad y Trazabilidad.

Obtención Directa:

Debido a que estos datos son constantes, no varían a través del tiempo o su variación es conocida. Los datos que son obtenidos directamente, son datos que no tienen variaciones inciertas, o son subjetivos entregados por el decisor.

Obtención a través de predicción:

Es necesario unir la información y generar series temporales, de las distintas fuentes de datos. Posteriormente, utilizando los modelos de suavizamiento exponencial, se realiza la predicción de los datos por cada criterio de cada proveedor. En la Figura 5 se aprecia la predicción por medio del modelo de suavizamiento exponencial del criterio "Volumen" del

productor “868”, donde la franja naranja representa el 80% de certeza y la amarilla un 95%. Con una predicción de 5.723.859 Kg. para la temporada 2012-2013 para el criterio “Volumen”.

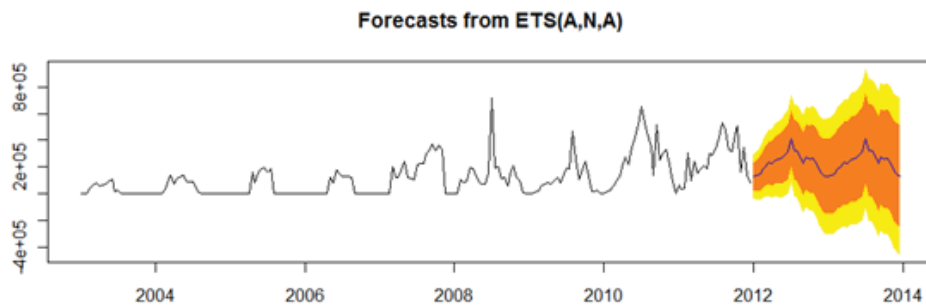


Figura 5. Predicción del Criterio Volumen – Productor 868

Con los criterios de evaluación y las predicciones de los datos se realizaron ambos métodos, MAUT (función de valor) y AHP (datos obtenidos por la matriz de comparación). Se entregaron 2 evaluaciones globales, las cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tabla de Resultados Obtenidos con MAUT y AHP

Proveedor	Ponderación MAUT	Ranking MAUT	Ponderación AHP	Ranking AHP
868	89,89	1	0,914	1
214	80,99	4	0,859	2
385	84,99	2	0,859	3
710	81,84	3	0,826	4
406	78,96	6	0,818	5
845	77,21	7	0,805	6
389	79,98	5	0,782	7
664	70,8	9	0,779	8
158	72,56	8	0,74	9
949	69,42	11	0,729	10
863	69,82	10	0,71	11
120	67,99	12	0,706	12
265	67,87	13	0,646	13
321	65,75	15	0,644	14
269	66,2	14	0,634	15
278	53,52	16	0,546	16
879	52,11	18	0,479	17
744	52,43	17	0,458	18
706	43,45	19	0,385	19

4. Resultados

Los resultados entregados por ambas metodologías (Tabla 4) fueron comparados por medio del coeficiente de correlación de Spearman y el Índice de compatibilidad Garuti –G (Garuti y Salomon, 2011), mostrando que ambas metodologías obtienen clasificaciones similares.

Tabla 4 Resultado de ambas metodologías para los casos periodos analizados

PROVEEDOR	PEOR AÑO		PEOR AÑO VAR.		MEJOR AÑO		MEJOR AÑO VAR.	
	AHP	MAUT	AHP	MAUT	AHP	MAUT	AHP	MAUT
868	0,717	77,1	0,578	59,8	0,73	79,2	0,90	90,1
385	0,659	70,0	0,604	61,9	0,82	85,7	0,87	86,0
214	0,612	65,3	0,561	60,9	0,77	73,7	0,75	73,9
710	0,791	73,5	0,800	76,2	0,83	79,2	0,85	80,8
406	0,636	70,4	0,418	48,3	0,67	69,8	0,79	81,8
845	0,801	74,8	0,735	66,5	0,77	74,3	0,79	76,8
389	0,636	69,9	0,430	57,5	0,62	69,0	0,65	73,4
664	0,561	55,3	0,698	63,1	0,76	69,6	0,77	72,4
158	0,528	57,2	0,500	51,4	0,59	60,5	0,76	74,9
949	0,601	63,4	0,547	59,5	0,72	91,0	0,73	74,0
863	0,595	63,5	0,540	61,9	0,52	60,9	0,70	70,2
120	0,639	65,8	0,547	62,5	0,61	63,7	0,61	63,0
265	0,530	60,4	0,532	51,6	0,63	64,3	0,74	73,5
321	0,580	57,9	0,538	56,6	0,66	68,2	0,64	64,4
269	0,535	61,4	0,484	54,3	0,59	57,4	0,71	70,3
278	0,548	57,8	0,396	43,6	0,52	54,7	0,55	56,8
879	0,563	57,1	0,673	77,6	0,71	69,5	0,51	52,1
744	0,405	42,5	0,378	41,7	0,53	54,9	0,43	51,7
706	0,401	42,7	0,474	49,8	0,55	60,1	0,41	51,0

4.1. Comparación ordinal

Con el fin de obtener algún indicador de síntesis acerca de la coherencia de las dos ordenaciones, se calcula la correlación de Spearman (Spearman, 1904) entre pares de resultados presentados. En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del coeficiente de correlación entre los dos modelos para la predicción de los criterios, además de los 4 periodos utilizados para el análisis de sensibilidad.

Tabla 5. Correlación de Spearman para comparación de modelos

Matriz de comparación (correlación de Spearman)		AHP				
		Predicción	Peor Periodo Volumen	Peor Periodo Variable de interés	Mejor Periodo Volumen	Mejor Periodo Variable de interés
MAUT	Predicción	0,99	-	-		
	Peor Periodo Volumen	-	0,92	-		
	Peor Periodo Variable de interés	-	-	0,92		
	Mejor Periodo Volumen				0,91	
	Mejor Periodo Variable de interés					0,95

Utilizando como variables, la ordenación obtenida a partir de las predicciones el método AHP y el MAUT, el coeficiente de correlación obtenido es de 0,99, el cual corresponde a una correlación perfecta.

De los resultados obtenidos con esta correlación por rangos, se puede afirmar que existe una relación muy alta entre las dos metodologías obtenidas. Así, a pesar de que los modelos son distintos, tanto conceptualmente, como metodológicamente, presentan un elevado grado de coherencia a la hora de ordenar los proveedores de cerezas.

4.2. Comparación cardinal

Esta comparación aborda el problema de la medición de la compatibilidad en un proceso de toma de decisiones con vectores prioritarios (Garuti y Salomon, 2011). Se comparan los resultados en términos cardinales y se mide su compatibilidad vectorial en un espacio (ambiente) pesado (ponderado).

No es necesario que al entregar los mismos órdenes (escala ordinal) por ambos modelos, éstos sean compatibles y, al contrario, dos órdenes distintos no sea compatibles.

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos del índice de compatibilidad G entre los dos modelos para la predicción de los criterios, además de los 4 periodos utilizados para el análisis de sensibilidad.

Tabla 6 Índice de compatibilidad G para comparación de modelos

Matriz de compatibilidad		AHP				
		Predicción	Peor Periodo Volumen	Peor Periodo Variable de interés	Mejor Periodo Volumen	Mejor Periodo Variable de interés
MAUT	Predicción	0,96	-	-	-	-
	Peor Periodo Volumen	-	0,96	-	-	-
	Peor Periodo Variable de interés	-	-	0,93	-	-
	Mejor Periodo Volumen	-	-	-	0,94	-
	Mejor Periodo Variable de interés	-	-	-	-	0,96

El índice de compatibilidad G obtenido se encuentra entre 0,93 – 0,96. Mostrando que existe una importante compatibilidad en los resultados entregados por ambos métodos.

5. CONCLUSIONES

Los métodos propuestos son un aporte a la toma de decisiones en la adquisición de materias primas ya que entrega una base para la compra en función de las preferencias del decisor y su programa de producción, también es un aporte para la literatura del área por abordar en forma específica un método de predicción y multicriterio al mismo tiempo, además de enfocarse en la agroindustria.

La ventaja del método AHP es que no requiere de transitividad cardinal en los juicios. Esto significa que permite cierta inconsistencia en el tomador de decisiones al emitirlos, además esta inconsistencia puede ser medida.

Para validar el modelo, se aplicó a un caso real. Con los resultados se evaluaron el comportamiento de los modelos y la coherencia de éstos, junto con dos encargados de operaciones y adquisición de la empresa agroindustrial. Estos profesionales del área ven una correlación entre los resultados entregados por la metodología multicriterio predictiva y el comportamiento de sus proveedores, cosa que no se pudo comparar, ya que no tienen una forma de jerarquizar u ordenar a sus proveedores más que su preferencias personales y experiencias.

Los modelos propuestos mejoran los tiempos de otros modelos como los de programación matemática, los cuales para gran cantidad de proveedores y criterios, necesita un gran tiempo de modelación. El modelo propuesto tiene la ventaja sobre otras metodologías de selección al poder soportar una gran cantidad de criterios, como por ejemplo los modelos DEA, aunque este no fue creado para ordenar alternativas, si no analizar eficiencia. Además tiene la ventaja de utilizar el modelo de predicción para los criterios, lo cual permite tomar decisiones a mediano y largo plazo, teniendo una aproximación a los comportamientos futuros de los proveedores.

La comparación de los modelos es difícil de llevar a cabo, ya que no se conocen los valores reales en el caso de estudio, con respecto a pesos, niveles, jerarquías, escalas, etc., los modelos coinciden en sus resultados. Existe subjetividad al comparar los métodos, pero las preferencias son las mismas o similares debido a que el decisor es el mismo. La comparación que se realizó fue una comparación con la correlación de Spearman e índice de compatibilidad G (Comparación ordinal y cardinal respectivamente) La cual demostró que ambas metodologías para el caso propuesto se comportan de igual forma (Correlación de Spearman) y son compatibles (Índice de compatibilidad G). Se modelan las mismas preferencias de distintas formas, MAUT que utiliza escalas de intervalos y funciones de valor, mientras que AHP escalas ratio.

A partir de lo anterior, se puede concluir que aplicar AHP-AM o MAUT, para este caso, no genera mayores diferencias, lo que a su vez lleva a pensar con una mayor certeza que el resultado sea efectivamente el obtenido en el estudio, por ambas metodologías. Se puede decir que el error aleatorio del proceso se ha disminuido, debido a tener resultados similares y ambos resultados ser compatibles.

Referencias

- Garuti A., C, Salomon, V.** (2011). Compatibility indices between priority vectors. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, vol. 4, 152-160
- Gomes, L.F.A.M., González, M.C. A., e Carignano, C.** (2004). *Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão*. Thomson.
- Holt, C.C.** (1957). *Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted averages*, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh ONR memorandum no. 52.
- Keeney, R. L., Raiffa, H.** (1976). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*. Nueva York: Wiley.
- ODEPA – Oficina de Estudios y Políticas Agrarias** (2005). *Agricultura Chilena 2014, una perspectiva de mediano plazo*. Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. Descargado de: <http://www.sna.cl/ww/admin/spaw2/uploads/files/Agricultura%202014.pdf>
- ODEPA – Oficina de Estudios y Políticas Agrarias** (2012). *Boletín estadístico de hortalizas frescas: superficie, precios y comercio exterior*. Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. Descargado de: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1395675606boletinHortalizasFrescasFeb2012.pdf
- Saaty, T. L.** (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Nueva York: McGraw Hill.
- Saaty, T.L.** (1987): Rank generation, preservation and reversal in the analytic hierarchy process. *Decision Sciences*, vol. 18(2), 157-177.
- Spearman, C.** (1904). Proof and measurement of association between two things, *American Journal of Psychology*, 15:72-101.