OPTIMIZACION TEMPORAL DE LA FECHA DE RECOLECCION DE AGRIOS EN EL LEVANTE ESPAÑOL (*)

por

VICENTE CABALLER (**)

SUMARIO

1. INTRODUCCION

La importancia del sector citrícola (que proporciona una de las principales partidas de la exportación española) ha motivado la realización de diversos estudios sobre el mismo, tanto a nivel regional como empresarial. Sin embargo, se han olvidado casi totalmente las cuestiones relacionadas con la duración del período de recolección y sus implicaciones económicas y, en particular, la determinación de óptimos estacionales en la recogida de cosecha, problema sin duda interesante, sobre todo para algunas variedades de cítricos. Las cotizaciones de la variedad Navel durante la campaña 1974-75 muestran claramente la notable influencia de la cantidad ofertada sobre el precio, a causa de la baja elasticidad demanda-precio. En las primeras semanas de la campaña (meses de noviembre-diciembre) el precio de la naranja Navel en árbol era de unas 40 pts/arroba (1). En el mes de abril, con una cosecha unitaria inferior tan sólo al 10 por 100 res-

(*) Con introducción del coste de oportunidad temporal.

(**) Dr. Ingeniero Agrónomo. Profesor Adjunto de Economía de la Empresa de la ETSIA de Valencia.

(1) 1 arroba = 12,75 kg.

pecto a la cosecha de noviembre-diciembre, la misma naranja se cotizaba a 200 pts/arroba.

Este ejemplo es sobradamente explicativo de la importancia que puede tener la estacionalidad en la estrategia del empresario, aunque la campaña 1974-75 haya sido calificada, a este respecto, de excepcional.

En el presente trabajo, desarrollamos algunos modelos de optimización estacional para fechas de recolección, modelos que no han sido aún aplicados a la citricultura española.

Por otra parte, continuamos investigando sobre el concepto de coste de oportunidad temporal. Este concepto fue introducido por nosotros en la literatura económica en un artículo publicado en 1975 (2) y quizá pueda significar una cierta contribución al planteamiento de los modelos estacionales.

2. LA VARIACION ESTACIONAL DE LOS PRECIOS

Los precios pagados al agricultor por la naranja en árbol oscilan a lo largo de la campaña. Estas oscilaciones no dejan de ser intensas, aunque el incremento del 500 por 100 sufrido por los precios de la variedad Navel en la campaña 1974-75 no pueda ser considerado como representativo de la variación media, ya que, como hemos dicho anteriormente, concurrieron en aquella campaña algunas circunstancias anómalas. Pero en cambio, puede trabajarse con las variedades medias semanales del precio de naranja Navel (medias de las diez campañas comprendidas entre 1964-1965 a 1973-1974), que figuran en la tabla 1.

Tomando como variable endógena el precio medio semanal en ptas/kg. (columna 3) y como variable exógena el número de orden para cada semana dentro de la campaña (columna 1), se puede estudiar la variación estacional de los precios de la naranja en árbol mediante los siguientes ajustes estadísticos:

1. $p = 3{,}503 + 0{,}083\ t \qquad v = 0{,}877 \qquad [1]$
2. $p = 3{,}509^{0{,}017\ t} \qquad v = 0{,}872 \qquad [2]$
3. $p = 3{,}447\ t^{0{,}117} \qquad v = 0{,}668 \qquad [3]$

---

(2) Véase "Optimización temporal para la fecha de recolección y siembra de la patata temprana en la comarca de l'Horta (Valencia)". Revista A.S.P.A., núm. 127. Madrid, 1975.

Tabla 1

VARIACIONES EN EL PRECIO DE LA NARANJA NAVEL

Núm. de orden (1)	*Semana del año* (2)	*Precio medio semanal del período 1964-65 a 1973-74 en ptas/kg* (3)
1	45 (1.er año)	4,16
2	46	4,16
3	47	4,11
4	48	4,06
5	49	3,96
6	50	3,85
7	51	3,81
8	52	3,80
9	1 (2.° año)	3,83
10	2	3,77
11	3	4,07
12	4	4,32
13	5	4,26
14	6	4,43
15	7	4,44
16	8	4,82
17	9	5,13
18	10	5,28
19	11	5,53
20	12	5,53
21	13	5,45
22	14	5,50
23	15	5,40
24	16	5,54

donde:

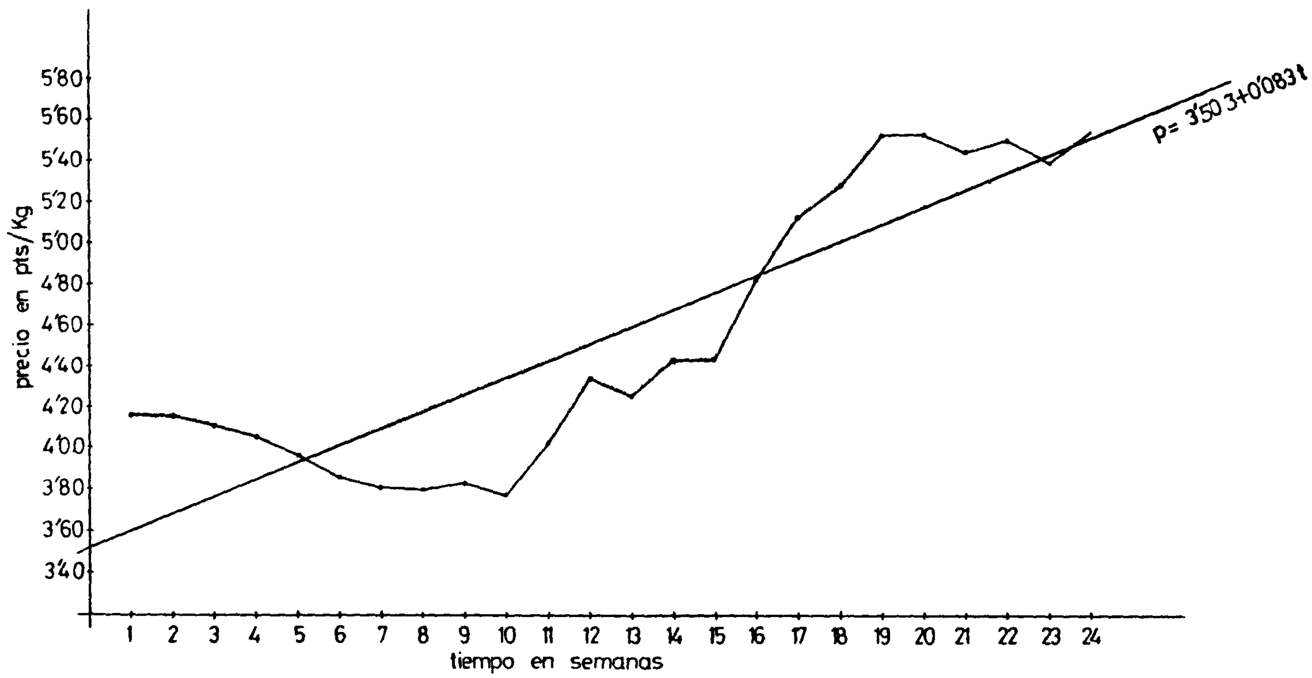
p = precio medio semanal.
t = número de orden de la semana dentro de la campaña.
v = coeficiente de correlación.

La representación gráfica de la ecuación [1], a la que corresponde el coeficiente de correlación más alto, aparece en la figura 1.

Tanto la figura 1 como el coeficiente de correlación (v = 0,877) indican que el ajuste lineal, a pesar de ser el mejor entre las distintas funciones ensayadas, y significativo a nivel del 1 por 100 para 24 datos (3), no es demasiado bueno. En otras palabras, la estacionalidad no explica suficientemente la variación del precio.

El hecho de que el anterior coeficiente de correlación, aunque significativo a nivel del 1 por 100, no sea excesivamente alto, merece un análisis más detallado que pueda arrojar alguna luz sobre la variación estacional de los precios a lo largo de la campaña. De ningún modo

(3) Véase SNEDECOR, W. G.: "Métodos Estadísticos". Editorial CECSA. México, 1970. 3.ª reimpresión, pág. 217.



p= 3'50 3+0'083 t
precio en pts/Kg
5'80
5'60
5'40
5'20
5'00
4'80
4'60
4'40
4'20
4'00
3'80
3'60
3'40
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
tiempo en semanas

Figura 1.

pretendemos llegar a resultados definitivos, sino solamente hacer notar algunas causas que influyen en el fenómeno, causas que supondremos constantes.

En la tabla 1 se observa que el precio de la naranja desciende durante las primeras semanas, pasa por un mínimo hacia $t = 10$ y después se va elevando hasta el final de la campaña. En primer lugar, esto se debe a que la oferta global de fruta madura aumenta en las primeras semanas y disminuye después, aunque no ocurre exactamente así con la oferta global (que incluye fruto todavía no bien maduro), la cual disminuye desde los primeros días de la campaña.

En segundo lugar, el riesgo de helada presenta un máximo entre $t = 10$ y $t = 14$; luego la esperanza matemática de vender la cosechacha antes de una probable helada va disminuyendo a medida que nos acercamos a $t = 10$. Por tanto, la postura negociadora del agricultor se hace más débil alrededor de $t = 10$, provocando una caída del precio. Cuando pasa el peligro de helada, el agricultor se hace fuerte en su estrategia negociadora y el precio sube paulatinamente en los meses de febrero y marzo. Este último efecto puede estudiarse cuantitativamente si se cuenta con información sobre probabilidades de helada (existen datos a este respecto).

Sin perjuicio de que insistamos en este análisis intentando mejorar la explicación estadística de la variación de precios, nos contentaremos de momento con estos resultados y pasaremos a considerar un planteamiento teórico del problema.

De manera más general, se puede escribir:

$$p = f(t) \qquad [4]$$

siendo:

$$f'(t) > 0$$

Con más detalle, y observando la tabla número 1 o la figura 1, la función [4] se hubiera podido descomponer en dos:

$$\begin{array}{ll} p = f_1(t) & \\ f'_1(t) < 0 & 0 < t < n_1 \\ & \\ p = f_2(t) & \\ f'_2(t) > 0 & n_1 < t < n_2 \end{array} \qquad [5]$$

donde, según sugieren los datos de la tabla, $n_1 = 10$ y $n_2 = 24$ para el caso que venimos exponiendo.

Esta descomposición será utilizada en el siguiente capítulo. Mientras tanto, aceptaremos que la variación estacional del precio de la naranja viene dada por una función de la forma [4], con precios crecientes a lo largo de la campaña.

3. LA VARIACION ESTACIONAL DE LOS RENDIMIENTOS

Si los rendimientos unitarios fueran constantes a lo largo de la campaña, esto es, independientes de la fecha de recolección, es obvio que la maximización de los ingresos (o del beneficio, suponiendo costes constantes) se obtendría recolectando al final de campaña, ya que el precio se incrementa monótonamente con el tiempo.

Pero la experiencia demuestra que la hipótesis de rendimientos independientes de la fecha de recolección es insostenible. Las heladas, fundamentalmente, y otras adversidades climatológicas (pedrisco, vientos, humedad, etc.), se presentan con probabilidad creciente a medida que se retrasa la fecha de recolección e influyen considerablemente sobre el rendimiento, que incluso pueden reducirse a cero (caso de heladas suficientemente intensas). Por ejemplo, la helada de febrero de 1956 no sólo arrasó totalmente la cosecha en la zona que estudiamos, sino que en algunos parajes afectó al árbol, que sufrió fuertes daños.

Aunque las heladas no se presentan invariablemente, puede asegurarse que casi todos los años se termina la campaña con pérdidas superiores al 10 por 100 sobre el rendimiento máximo. En la campaña de 1974-75, que fue excepcionalmente favorable, la cifra de pérdidas se elevó al 10 por 100.

Entre estos dos extremos (pérdidas del 10 por 100 y pérdida del 100 por 100 respecto al rendimiento máximo) se encuentran los años normales.

Por otra parte, el máximo estacional de rendimientos, prescindiendo del efecto aleatorio de las heladas, no está situado al principio de campaña, sino que se produce entre diciembre y enero (entre $t = 4$ y $t = 16$, para la variedad Navel), pues el peso del fruto en árbol va creciendo, a partir del umbral de madurez, hasta un determinado momento, pasado el cual tiende a disminuir por causas fisiológicas y ambientales.

De acuerdo con estas consideraciones, se puede representar la variación estacional de los rendimientos para la variedad Navel, según muestra la figura 2.

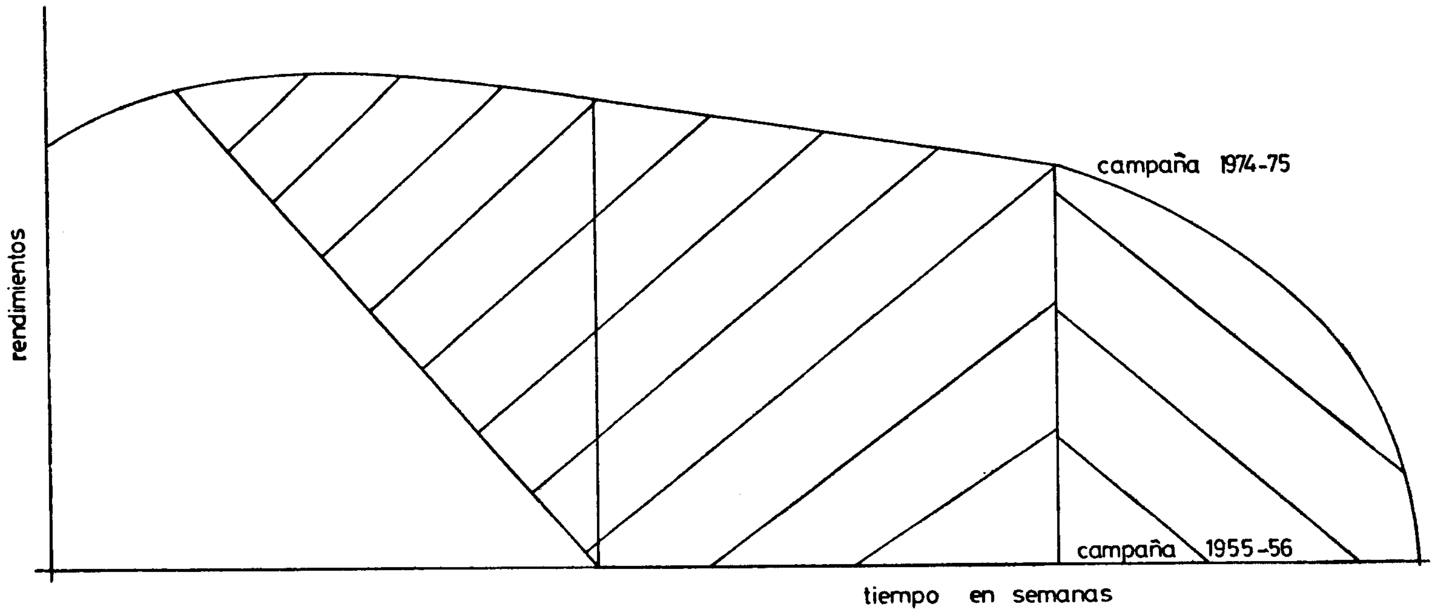

campaña 1974-75
rendimientos
campaña 1955-56
tiempo en semanas

Figura 2

En esta figura aparecen las variaciones estacionales para dos campañas que podemos considerar como extremas (1974-75 y 1955-56). En el período comprendido entre las campañas 1941-42 y 1968-69, la primera helada tuvo lugar el 25 de noviembre de 1955 (—2° C en la estación meteorológica de Manises) (4). Al llegar al mes de febrero del año siguiente, el rendimiento fue prácticamente nulo. Estos datos permiten delimitar la zona de variación estacional de los rendimientos (área rayada de la figura).

En general, podría calcularse:

A) El rendimiento estacional medio de una serie temporal para una zona naranjera.

B) La probabilidad del rendimiento estacional para cada zona, en función de la probabilidad de helada, que difiere ampliamente de unas comarcas a otras:

Siendo:

$$q = g(t)$$

la función de rendimiento, se tiene:

$$g'(t) < 0 \qquad [6]$$

ya que el rendimiento medio estacional es decreciente a lo largo de la campaña, como consecuencia de la probabilidad de mermas por heladas y otros riesgos climáticos. Como ya hemos apuntado, este efecto aleatorio sobre los rendimientos es el más importante. El efecto de los factores fisiológicos puede despreciarse en comparación con el primero. Si omitiéramos el efecto aleatorio, se tendría:

$$\begin{array}{ll} g'(t) > 0 & 0 < t < 8 \\ g'(t) < 0 & 8 < t < 24 \end{array} \qquad [7]$$

Por tanto, admitimos que prevalezca la condición [6].

En la campaña 1974-75, a pesar de no haber ocurrido adversidades climatológicas, disminuye la cosecha a partir de $t = 24$, hasta llegar a un rendimiento nulo en los meses de agosto y septiembre, ya que desde la floración (en primavera) se está desarrollando la nueva cosecha (campaña 1975-76), como puede verse en el segundo tramo de la figura 2; hecho que apoya asimismo la validez de la condición [6].

(4) CARRERO, J. M.: "La frecuencia de heladas de agrios en el Levante español". Anales INIA. Serie: Protección vegetal, núm. 1, Ministerio de Agricultura, 1971.

El óptimo de recolección, entendido como aquella fecha que maximiza el ingreso, se obtiene derivando e igualando a cero la expresión:

$$I = f(t)g(t)$$

Es decir, resulta al resolver la ecuación:

$$f'(t)g(t) + f(t)g'(t) = 0 \qquad [8]$$

Supongamos que, de acuerdo con [1], la función de precios venga dada por la recta:

$$p = 3{,}503 + 0{,}083\ t$$

Supongamos también que la función de rendimientos $g(t)$ sea lineal y decreciente con t (de acuerdo con las observaciones anteriores). Es decir:

$$g(t) = a - bt$$

La ecuación del ingreso es entonces:

$$I = (3{,}503 + 0{,}083\ t)\ (a - bt)$$

Derivando respecto a t e igualando a cero:

$$-3{,}503\ b + 0{,}083\ a - 0{,}166\ bt = 0$$

De donde:

$$t_0 = \frac{0{,}083\ a - 3{,}503\ b}{0{,}166\ b} \simeq 0{,}5 \frac{a}{b} - 21{,}10$$

siendo t_0 la fecha óptima para el objetivo «ingreso».

En este caso, la solución depende del valor que tome el cociente a/b. Si

$$\frac{a}{b} < 42{,}20$$

se tiene

$$t = 1$$

Si:

$$42{,}20 < \frac{a}{b} < 88{,}20$$

se tiene:

$$2 < t < 23$$

Por último, si

$$\frac{a}{b} > 88{,}20$$

se tiene:

$$t = 24$$

4. EL COSTE DE OPORTUNIDAD TEMPORAL RESPECTO A LA COSECHA SIGUIENTE

El modelo expuesto en el párrafo anterior puede utilizarse para calcular la fecha de recolección que maximiza el ingreso en una campaña determinada: la campaña que se está estudiando. Sin embargo, el hecho de aislar una campaña en una serie temporal (i. e., aislarla de las campañas anteriores y posteriores) lleva implícito el supuesto de que los rendimientos no dependen de variables retardadas (relativas a las campañas que preceden). Como veremos a continuación, este supuesto puede difícilmente mantenerse en un modelo dinámico avanzado, aunque sea útil en una primera aproximación.

Indudablemente, una observación más afinada de la realidad conduce a conclusiones distintas. La fecha de recolección t influye sobre la cosecha del próximo año, como también influye la cuantía de la cosecha del año i sobre la del año $i + 1$. (El caso de las variedades veceras constituye un ejemplo de esta segunda afirmación.)

Prescindiendo del efecto «cantidad cosechada en la campaña sobre cantidad cosechada en la campaña siguiente» y reteniendo solamente el efecto «fecha de recolección en la campaña actual sobre cantidad cosechada en la campaña siguiente», para simplificar el análisis, se puede hablar de un coste de oportunidad temporal o estacional, tal como ha sido definido por la escuela de BALLESTERO (5).

Como es sabido, el coste de oportunidad se define habitualmente como la retribución de los factores de producción propios que han sido dirigidos a una cierta actividad productiva p y que, por tanto, han sido desviados de otras actividades productivas renunciando su propietario a la renta o al beneficio empresarial que le hubiera correspondido, caso de haberles dedicado a alguna de estas últimas actividades.

Definimos el coste de oportunidad temporal o estacional como el efecto negativo que el retraso de la fecha de recolección (con vistas a incrementar el ingreso y el beneficio que una campaña i) tiene sobre la campaña $i + 1$. La campaña agrícola no coincide siempre con un año natural; así, por ejemplo, si nos referimos a hortalizas, pueden

(5) Respecto al concepto general de coste de oportunidad, tal como aparece en la literatura económica, puede consultarse cualquier tratado de economía, y en particular: BALLESTERO, E.: "Principios de Economía de la Empresa". Alianza Editorial. Madrid, 1971, pág. 41. El concepto de "coste de oportunidad temporal" aparece por primera vez en CABALLER, V.: "Optimización temporal para las fechas de recolección y siembra de la patata temprana en la comarca de l'Horta (Valencia)". A.S.P.A. núm. 127. Madrid, 1975.

darse en un año dos campañas (patatas-chufa), mientras que si nos referimos a frutales, la campaña $i + 1$ corresponde al año siguiente.

La razón por la cual un retraso en la fecha de recolección tanto en algunos cultivos herbáceos (v. gr.: patata) como en algunos cultivos frutales incide sobre el aumento de los ingresos o de los beneficios de la campaña puede deberse al incremento del volumen de cosecha o a las variaciones estacionales de los precios. En términos más precisos, es función de ambos fenómenos, pero su influencia no es similar en todos los cultivos. En el caso de la naranja Navel (véase § 3), hemos visto que si los rendimientos obedecían a la ecuación:

$$g(t) = a - bt$$

convenía retrasar la fecha de recolección hasta final de campaña cuando la relación entre los coeficientes a y b era tal que:

$$a/b > 88{,}20$$

De este modo, se maximizaba el ingreso en la campaña i, aunque no se tenía en cuenta en este planteamiento restringido el coste de oportunidad temporal en relación con las campañas posteriores.

En nuestros trabajos de investigación empírica no hemos podido cuantificar aún el coste de oportunidad temporal (6), pero creemos que es más importante en árboles jóvenes que en árboles viejos, y que en algunas variedades (como la Salustiana) es más significativo que en otras.

5. OPTIMIZACION DE LA FECHA DE RECOLECCION PARA UN PERIODO BIANUAL CON EL COSTE DE OPORTUNIDAD TEMPORAL

La fuerte conexión entre la fecha de recolección en una campaña y rendimientos en la campaña siguiente sugiere que la optimización temporal debe abarcar, por lo menos, un período bianual cuando la campaña se extiende a un año, lo cual es típico de las variedades veceras (7). A ser posible, convendría efectuar el análisis con mayor generalidad, para un período de n años.

En el planteamiento bianual, se tiene el ingreso unitario (Ptas/Ha):

$$I = p_1q_1 + p_2q_2 \qquad [10]$$

(6) Estamos experimentando en este sentido.

(7) Sobre programación bajo condiciones de vecería, véase: BALLESTERO, E.: "Dimensión óptima de una central frutícola en una comarca de producción vecera". *Revista de Estudios Agro-Sociales*, núm. 60. Madrid, 1967, págs. 47 a 76.

donde:

p_1 = precio en la campaña 1.
q_1 = rendimiento en la campaña 1 (kg/Ha).
p_2 = precio en la campaña 2.
q_2 = rendimiento en la campaña 2 (kg/Ha).

tanto p_1 como p_2 han de expresarse como expectativas y pueden obedecer a una variación estacional como la dada por [1] para el caso de la naranja Navel.

De acuerdo con [6], el rendimiento en la campaña 1 se escribiría:

$$q_1 = g_1(t_1) \qquad [11]$$

ya que el pasado es aquí un dato.

El rendimiento en la campaña 2, teniendo en cuenta el coste de oportunidad temporal, es:

$$q_2 = g_2(t_2, q_1, t_1) \qquad [12]$$

observándose que depende:

1.° De la fecha de recolección, como ocurría en [11].

2.° Del rendimiento q_1 de la cosecha anterior, bien a causa de un conocido fenómeno de vecería, cuando el cultivo es el mismo en ambas campañas, bien como consecuencia del esquilmo de la tierra por el cultivo de la campaña 1, esquilmo que está correlacionado con el volumen de cosecha.

3.° De la fecha de recolección t_1 de la cosecha anterior.

El rendimiento q puede formularse en función de t_1, según [11], con lo que se tiene:

$$q_2 = g_2(t_2, g_1(t_1), t_1)$$

Es decir, cambiando la característica funcional:

$$\begin{aligned} q_1 &= g(t_1) \\ q_2 &= G(t_1, t_2) \end{aligned} \qquad [13]$$

Si nos limitamos al caso de un mismo cultivo en las campañas 1 y 2, como sucede en las plantaciones frutales, podemos expresar los precios p_1 y p_2 por una estimación estacional, tal como:

$$\begin{aligned} p_1 &= c + dt_1 \\ p_2 &= c + dt_2 \end{aligned}$$

Sustituyendo precios y rendimientos en [10] resulta:

$$I = (c + dt_1)\, g\,(t_1) + (c + dt_2)\, G\,(t_1, t_2) \qquad [14]$$

El óptimo vendrá dado por las ecuaciones:

$$\frac{\partial I}{\partial t_1} = 0$$

$$\frac{\partial I}{\partial t_2} = 0 \qquad [15]$$

Sustituyendo:

$$dg(t_1) + dt_2 g'(t_1) + (c + dt_2) \frac{\partial G}{\partial t_1} = 0$$

$$dG(t_1, t_2) + c + dt_2) \frac{\partial G}{\partial t_2} = 0 \qquad [16]$$

El sistema anterior, en caso de existir una solución de máximo, proporciona las fechas de recolección t_1 y t_2 que optimizan el ingreso para el período bianual.

6. GENERALIZACION A UN PERIODO DE N AÑOS

La optimización para un período bianual constituye tan sólo una primera aproximación a la realidad, pues aísla convencionalmente este período dentro de una serie cronológica ilimitada o, por lo menos, más larga.

Sin embargo, existe una justificación desde el punto de vista práctico, para usar un modelo bianual. En las variedades veceras se puede despreciar el efecto de la campaña de bajo rendimiento sobre la cosecha siguiente, pero no el efecto de la campaña de alto rendimiento que influye, sin duda, sobre la cosecha siguiente en sentido negativo. Por tanto, parece válido, en casos como este, considerar un período de dos años, que constituye un ciclo, y referir a este ciclo la optimización del ingreso.

En los restantes casos, sería preferible pensar en un período de n años, dependiendo n de la limitación del horizonte temporal para el empresario.

El problema consistirá entonces en hallar una fecha t de recolección constante para todas las campañas.

Se tiene, de este modo, la secuencia:

$$\begin{aligned} q_1 &= g(t,\ q_0) \\ q_2 &= g(t,\ q_1) \\ q_3 &= g(t,\ q_2) \\ &\cdots\cdots\cdots \\ q_n &= g(t,\ q_n - 1) \end{aligned} \tag{17}$$

Obsérvese que, tratándose de una plantación frutal, el origen de la secuencia queda perfectamente determinado, pues coincide con el primer año en que se produce cosecha.

El ingreso total, actualizado, del período es:

$$I = \sum_{i=0}^{n} p_i q_i \left(\frac{1}{1 + r}\right)^i \tag{18}$$

Derivando I respecto a *t* (previas las sustituciones secuenciales de los valores de q_i) e igualando a cero, se obtiene la fecha óptima.

Un primer supuesto simplificativo es la constancia de precios a lo largo del período. A corto plazo, este supuesto es admisible, pero en un análisis a largo plazo conviene introducir una variación anual de los precios que, unida a la variación estacional, podría formularse como:

$$p_i = p(t_i,\ i) \tag{19}$$

siendo:

i = índice serial (año o campaña)
t_i = fecha de recolección dentro del año o campaña.

La fecha de recolección no sólo influye sobre la cosecha del año siguiente, sino que también puede afectar a la vegetación del árbol en los años sucesivos. Sin embargo, este efecto puede quedar reflejado en las funciones de rendimiento [17].

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrollan algunos modelos de optimización de la fecha de recolección en agrios, considerando, por una parte, una variación estacional de los precios en sentido creciente a lo largo de la campaña y, por otra parte, la variación estacional de los rendimientos como consecuencia de la climatología y de la superposición de la cosecha siguiente. Como fecha de recolección óptima se toma aquella que maximiza el ingreso total.

Se define el coste de oportunidad temporal, para el caso de plantaciones frutales, como la repercusión que tiene el retraso de la cosecha de un año sobre la cosecha del año siguiente. Al introducir el coste de oportunidad temporal se llega a planteamientos más generales, investigando la fecha de recolección óptima para un período bianual.

RÉSUMÉ

Dans ce travail on développe certains modèles d'optimalisation de la date de la récolte des agrumes en considérant, d'une part, une variation saisonnière des prix dans un sens croissant au cours de la campagne et, d'autre part, la variation saisonnière des rendements comme conséquence de la climatologie et de la superposition de la récolte suivante. On prend comme date de récolte optimale celle qui augmente au maximum la recette totale.

On définit le coût d'opportunité temporaire dans le cas des plantations d'arbres fruitiers comme la répercussion qu'a le retard de la récolte d'une année sur celle de l'année suivante. En introduisant le coût d'opportunité temporaire, on arrive à de modes plus généraux de considérer la question et l'on recherche la date de la récolte optimale pour une période de deux ans.

SUMMARY

This work develops some models for optimising the date for harvesting citrus crops, considering on the one hand a seasonal variation of prices that rises throughout the harvesting period, and on the other the seasonal variation of the yields as a consequence of the climatology and of overlapping with the following harvest. It takes as the date of optimum harvesting that which maximises the total earnings.

The cost of temporal opportunity, in the case of fruit plantations, is defined as the effect that the delay of the harvest of one years has on the harvest of the following one. In introducing the cost of temporal opportunity the author arrives at more general approaches by investigating the optimum harvesting date for a two-year period.