TEORIA DE PORTAFOLIO: UTILIZACIÓN PARA EVALUAR LOS RIESGOS AGROPECUARIOS

Lic. Marina Pecar[1]

1-Riesgo e incertidumbre: Marco conceptual

El riesgo se define como la incertidumbre sobre resultados que pueden involucrar daños o pérdidas. Cuando las consecuencias de realizar determinada actividad son inciertas, en especial, desfavorables o negativas, se dice que dicha actividad posee un riesgo asociado. En particular, la toma de decisiones en las actividades agropecuarias se realiza en un ambiente de incertidumbre –esto es, conocimiento imperfecto – sobre el futuro y por ende está asociada al riesgo[2].

Algunos de los riesgos que enfrentan los agentes del sector son intrínsecos o afectan en mayor medida a la actividad agropecuaria, en tanto que otros son comunes a distintas actividades económicas.

Los riesgos que afectan la actividad agropecuaria pueden clasificarse según su origen o sus consecuencias. En forma general, se pueden diferenciar los siguientes riesgos:

- climáticos
- de mercado
- productivos
- de incertidumbre macroeconómica

Los tres primeros riesgos pueden reducirse considerablemente, mediante la diversificación, práctica que consiste en invertir en actividades con distinta exposición al riesgo. Dado que, a efectos de medir al riesgo, podemos utilizar la variabilidad observada en los retornos generados por una determinada actividad, la diversificación solo será eficiente si las variaciones en los retornos de las distintas actividades se compensan unas con otras.

Por su parte, la incertidumbre macroeconómica no resulta diversificable, dado su carácter sistémico y comprensivo de la totalidad de las actividades económicas y productivas. En efecto, un impacto macroeconómico negativo afecta a todas las actividades productivas en el mismo sentido, razón por la cual no hay en este caso compensación posible entre las distintas actividades.

Como vemos, si se exceptúa el riesgo de crisis sistémica, el resto de los riesgos son pasibles de ser controlados o mitigados, de forma tal de verse disminuidos considerablemente e incluso eliminados por completo.

---

[1]A cargo del área de Portafolios Eficientes en la Oficina de Riesgo Agropecuario- SAGPyA.

[2] Cabe señalar que algunos autores establecen una diferencia entre los conceptos de riesgo e incertidumbre, En efecto, suele asociarse el riesgo al conocimiento imperfecto acerca de los resultados futuros, pero con conocimiento de las probabilidades de los posibles resultados, mientras que se define como incertidumbre a las situaciones en las cuales estas probabilidades no son conocidas. No obstante ello, esta distinción puede no resultar muy útil, ya que en general las probabilidades son desconocidas al momento de la toma de decisiones. Es por ello que el uso común define incertidumbre como conocimiento imperfecto y riesgo como exposición a consecuencias inciertas. Para un mayor análisis al respecto, véase Hardaker, J. B. et al (1997).

Siguiendo esta línea de análisis, llamaremos riesgo económico al riesgo en que se incurre por la falta de diversificación o la diversificación ineficiente de las distintas actividades productivas.

2-Teoría de Portafolio

Desde un análisis de sentido común, resulta evidente la inconveniencia de concentrar producciones y activos físicos o financieros. En 1952, Harry Markowitz[3] cuantificó este concepto en las decisiones de inversión, utilizando nociones estadísticas (covarianza, correlación), desarrollando un modelo conocido como Teoría Moderna de Portafolio (Modern Portfolio Theory, MPT).

Un portafolio es, precisamente, un conjunto de activos en los que se ha invertido en forma simultánea. La clave de la diversificación se encuentra en la relación de dependencia existente entre los activos que conforman un portafolio, la cual puede estimarse a partir de la correlación entre ellos. Mientras menor sea la correlación de los activos, menor es el riesgo del portafolio.

Debe tenerse en cuenta que el mero hecho de diversificar las actividades no garantiza por sí sólo un planteo eficiente de reducción del riesgo. Por lo tanto, a efectos de seleccionar adecuadamente las actividades que deben considerarse para que la diversificación resulte exitosa, debemos contar con un análisis de la rentabilidad y del riesgo asociado a cada una de las actividades posibles. Asimismo, resulta indispensable medir en qué grado el desarrollo de una actividad del portafolio afecta el rendimiento de las otras, es decir, necesitamos una estimación de las covarianzas.

2.1-Retorno y Riesgo

Los indicadores relevantes a efectos de elegir entre dos portafolios, son el riesgo y el retorno que presentan cada uno de ellos. El retorno muestra el valor o rentabilidad del portafolio. Debe tenerse presente que existe una distinción entre el concepto de retorno realizado y de retorno esperado. En efecto, el primero se refiere al retorno que en la realidad tuvo el portafolio, en tanto que el segundo es una estimación del retorno futuro de la cartera.

Por su parte, el riesgo puede definirse como la incertidumbre sobre el retorno esperado de una inversión. En consecuencia, en los análisis económicos, el riesgo suele medirse mediante la variabilidad: cuanto mayor es la variación de los retornos esperados de una actividad (ya sea medido en márgenes brutos, ingresos o rindes físicos), mayor es el riesgo que dicha actividad tiene asociado. Por el contrario, cuanto menos “saltos” se esperen en un rendimiento, tanto más “segura” será la actividad en cuestión.

---

[3] Harry Max Markowitz: Economista estadounidense nacido en 1927. Su modelo fue formulado en 1952 en su artículo “Portfolio Selection”, y publicado en el *Journal of Finance*, ante la indiferencia del mundo académico. En 1959 publicó “Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments”, trabajo por el cual recibe en 1990 el premio Nobel de Economía, compartido con los profesores M. Miller y W. Sharpe.

3-Teoría de Portafolio aplicada al sector agropecuario

El concepto de diversificación es tan intuitivo e importante que ha encontrado múltiples aplicaciones en diferentes áreas de las finanzas. No obstante ello, poco se ha avanzado hasta el momento en la aplicación de la teoría del portafolio en relación con actividades productivas. En lo referente al sector agropecuario en particular, consideramos que la utilización de una herramienta que permita cuantificar distintos grado de riesgo, al tiempo que posibilita la evaluación de diferentes alternativas de producción sería de suma utilidad a efectos de diseñar y planificar las posibles estrategias productivas.

En el marco de las actividades agrícolas, la diversificación consiste en distribuir la inversión en distintos productos, de manera tal de evitar la concentración en una única actividad que condicione los resultados económicos al desempeño de la misma. De esta forma, resulta posible reducir el riesgo al distribuirlo entre varias actividades, de tal modo que la evolución negativa de una de ellas pueda verse compensada por la evolución positiva de otras, obteniendo en promedio un nivel de riesgo más acotado.

En relación con las actividades agrícolas, la diversificación puede ser de dos tipos:

- Inter-zonal: consiste en realizar un mismo cultivo en diferentes zonas agroecológicas y tiene como objetivo lograr una oferta del producto más estable, aprovechando las diferencias climáticas, biológicas, etc. Un ejemplo de ello sería producir papa en Tucumán y en el sudeste de Buenos Aires.
- Intra-zonal: se trata de la combinación de diferentes cultivos dentro de una misma zona agroecológica, con el objetivo de maximizar los retornos esperados (ingresos, margen bruto, etc.) y minimizar su variabilidad. Por ejemplo, producir en Pergamino, soja y girasol.

La combinación de estos dos tipos de diversificación permite a los agentes del sector (productores, inversores externos, etc.), considerar a cada una de las actividades en la zona agroecológica más adecuada; como por ejemplo, maíz en la zona núcleo, trigo en el sudeste de Buenos Aires, y girasol en el oeste bonaerense o en el este de La Pampa.

3.1-Especificación del modelo para Portafolios Agrícolas

Como primer paso para utilizar el concepto a la Teoría de Portafolio en las actividades agrícolas, debemos definir los siguientes términos:

Actividad agrícola: es la producción de un cultivo en una zona agroecológica, por ejemplo producir maíz en la zona núcleo pampeana.

Portafolio agrícola: es el conjunto de actividades agrícolas, a modo de ejemplo maíz en zona núcleo pampena, trigo en el sudeste de Buenos Aires y girasol en el oeste bonaerense.

A efectos de poder cuantificar el riesgo de un portafolio agrícola necesitamos asignar a las actividades un concepto de retorno. En este sentido, y para permitir la comparación entre los distintos productos, utilizaremos la noción de margen bruto de explotación por hectárea. Además los agentes del sector agropecuario están, por lo general, familiarizados con este concepto lo cual brinda una ventaja en términos del manejo del modelo del portafolio y su potencial utilización por parte de los productores agropecuarios.

Sean $A_1,.....,A_n$ n actividades agrícolas y sea P un portafolio en el cual se combinan las n actividades. El retorno de P está dado por:

$$R_P = \sum_{i=1}^{n} x_i R_i \qquad (3.1.1)$$

donde para cada i ($1 \leq i \leq n$) R_i es el retorno de la actividad A_i y x_i es la participación de dicha actividad en el portafolio P con lo cual $\sum_{i=1}^{n} x_i = 1$ con $x_i \geq 0$ para todo i ($1 \leq i \leq n$)

El retorno esperado de P es la esperanza matemática de R_P esta dada por

$$E(R_P) = \sum_{i=1}^{n} x_i \mu_i \qquad (3.1.2)$$

donde para cada i ($1 \leq i \leq n$) μ_i es el retorno esperado de la actividad A_i es decir $\mu_i = E(R_i)$

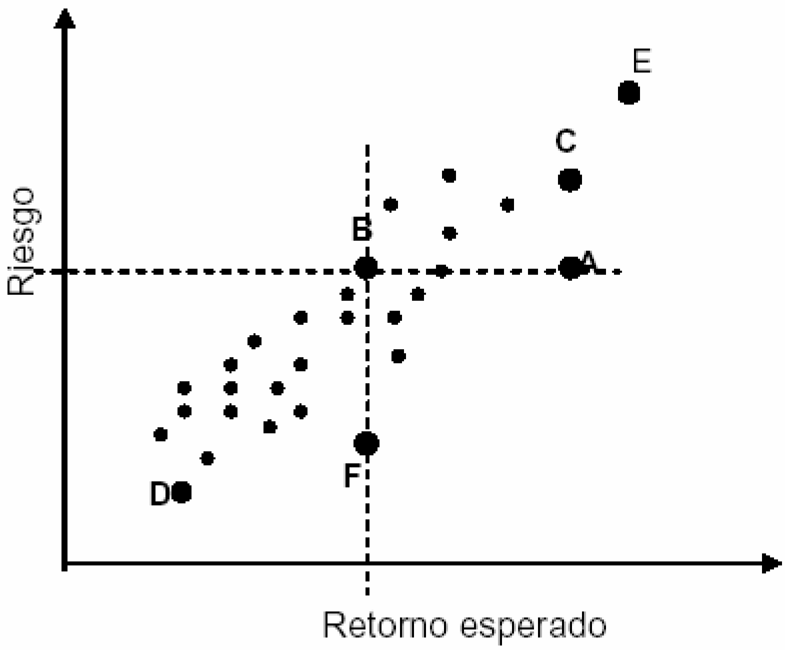
El riesgo del portafolio P está dado por la dispersión de los retornos realizados con el retorno esperado. Para medir esta dispersión se puede recurrir a distintos indicadores estadísticos, aunque el más usado es la varianza o su raíz cuadrada, la desviación estándar. Aplicando la varianza en (3.1.1) se obtiene el riesgo de P:

$$Var(R_P) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} \qquad (3.1.3)$$

donde los σ_{ij} representan las covarianzas entre los retornos de las n actividades.
Para $i=j$ tenemos que $\sigma_{ii} = Cov(R_i, R_i) = Var(R_i) = \sigma_i^2$

3.2-Perfil Retorno/Riesgo de un Portafolio

Si se colocan en un gráfico de ejes cartesianos los riesgos y retornos esperados de distintos portafolios, se obtiene una nube de puntos como la siguiente:



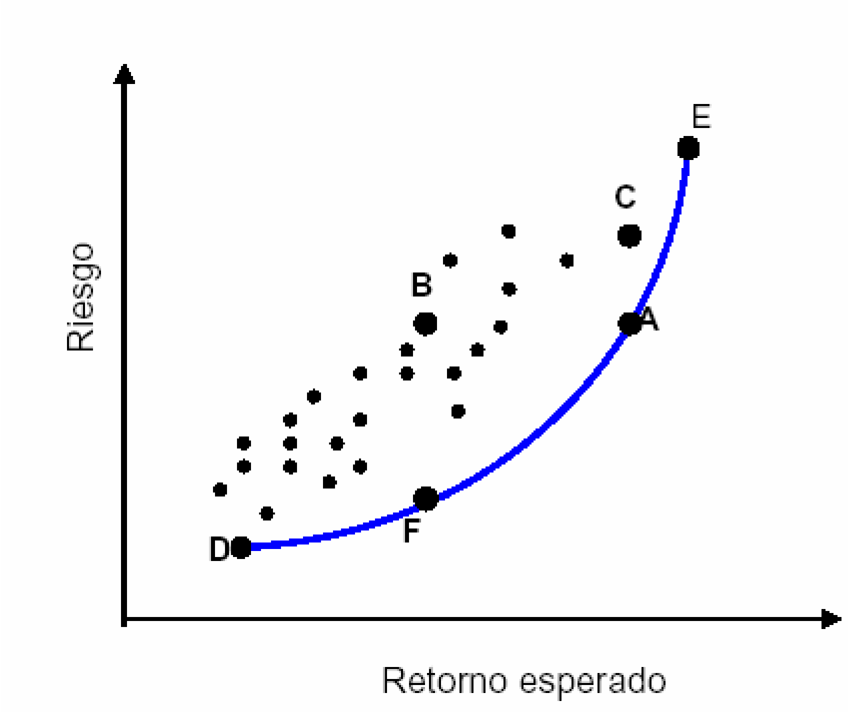
Dado que cada punto representa a un portafolio, se puede apreciar que, desde una óptica racional, hay portafolios que tienen un mejor perfil retorno/riesgo que otros, o dicho de otra manera, hay portafolios que dominan a otros. Por ejemplo, los portafolios B y F presentan igual retorno esperado, sin embargo F tiene menor riesgo con lo cual F es preferible a B. Si se compara B con A que presentan igual riesgo, el preferido será A por poseer mayor retorno esperado.

También se observa que el punto E es el que tiene mayor retorno esperado, pero también tiene el mayor riesgo. Por el contrario, el punto D ostenta el menor riesgo, no obstante tiene el retorno esperado más bajo.

3.3-Frontera de Eficiencia

El modelo de portafolio está basado sobre el supuesto de comportamiento racional del agente decisor, quien desea maximizar la rentabilidad y minimizar el riesgo. Por lo tanto, para el agente un portafolio será eficiente en tanto proporcione el máximo retorno posible para un riesgo dado, o de forma equivalente, si presenta el menor riesgo posible para un nivel determinado de retorno.

En el gráfico siguiente, los portafolios eficientes forman una curva envolvente llamada **frontera de eficiencia**. Con la notación del grafico anterior, la frontera queda determinada uniendo los puntos DFAE.



La mayor o menor concavidad de la curva dependerá de la correlación que exista entre los distintos activos. En efecto, si la correlación entre los activos es 1, la frontera de eficiencia será una línea recta en D y E. A medida que la correlación disminuye, la frontera se tornará más cóncava.

3.3.1-Cálculo de la Frontera de Eficiencia

El conjunto de portafolios eficientes puede calcularse resolviendo el siguiente programa cuadrático paramétrico:

$$
\begin{aligned}
&\underset{(x_1,\ldots,x_n)}{Min} \quad \sigma^2(R_P) = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} \\
&sujeto\ a: \\
&E(R_P) = \sum_{i=1}^{n} x_i \mu_i = \mu^* \\
&\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \\
&x_i \geq 0 \quad (i = 1,\ldots.,n) \\
&\min_i \mu_i \leq \mu^* \leq \max_i \mu_i
\end{aligned}
\qquad (3.3.1)
$$

donde para cada i ($1 \leq i \leq n$), x_i es la proporción del total de hectáreas destinadas a la actividad agrícola A_i e incógnita del modelo, μ_i es el retorno esperado de la actividad A_i.
$\sigma(R_P)$ es el desvío estándar del retorno del portafolio P, $\sigma^2(R_P)$ es la varianza del mismo y σ_{ij} la covarianza entre los retornos de las actividades agrícolas A_i y A_j.
$E(R_P)$ es el retorno esperado del portafolio P, de tal forma que al variar el parámetro μ^*, obtendremos en cada caso, al resolver el programa, el conjunto de proporciones x_i que minimizan el riesgo del portafolio, así como su valor correspondiente. Estas soluciones existen y son únicas debido a que la matriz de varianzas y covarianzas es definida positiva y a que las restricciones del programa definen un subconjunto convexo de $\Re^n$. Se enuncian en la nota al pie las definiciones y teoremas que constituyen la justificación matemática de la construcción de la frontera de eficiencia[4]

La frontera de eficiencia queda determinada por el conjunto de pares $[E(R_P), \sigma(R_P)]$ o perfiles retorno/riesgo de todos los portafolios eficientes.

El modelo así planteado busca el portafolio de menor riesgo para cada nivel de retorno posible y así va obteniendo los perfiles retorno/riesgo eficientes. También se pueden obtener los portafolios eficientes maximizando el retorno esperado cada vez que varía un parámetro de riesgo σ^*, planteando el siguiente ejercicio de optimización equivalente al anterior:

$$\begin{aligned}
&\underset{(x_1,..,x_n)}{Max} \quad E(R_P) = \sum_{i=1}^{n} x_i \mu_i \\
&sujeto\ a: \\
&\sigma^2(R_P) = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} = \sigma^{*2} \\
&\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \\
&x_i \geq 0 \quad (i = 1,....,n)
\end{aligned}$$

---

[4] **Teorema de Weierstrass** :Sea $f : D \subseteq \Re^n \to \Re$ una función continua y sea el siguiente problema general de programación matemática:

$$Optimizar\ f(x) \quad sujeto\ a: \quad x \in S$$

Si el conjunto $D \cap S$ es compacto (cerrado y acotado) y no vacío, entonces la función objetivo posee un máximo y un mínimo global en $D \cap S$.

Función convexa. Una función $f : \Re^n \to \Re$: definida en un conjunto convexo S es convexa si para $x, y \in S$ y $0 \leq t \leq 1$ se verifica:

$$f(tx + (1-t)y) \leq tf(x) + (1-t)f(y)$$

Teorema: Sea una función $f : \Re^n \to \Re$ doblemente diferenciable definida sobre un conjunto convexo. Esta función es convexa si y solo si tiene matriz hessiana $H(x)$ semidefinida positiva.

Teorema: (Unicidad). Dado el siguiente problema de optimización:

$$\text{Min } f(x) \quad sujeto\ a: \quad x \in S$$

en el que. $f : \Re^n \to \Re$ es una función estrictamente convexa y el conjunto S es convexo entonces el problema de optimización tiene a lo sumo una solución.

4-Ejemplo de aplicación: Diversificación intrazonal

Consideremos la posibilidad de armar un portafolio agrícola intrazonal en el Oeste de la provincia de Buenos Aires diversificando entre los cuatro cultivos principales girasol, maíz, soja y trigo. Se tienen cuatro actividades distintas:

A_1: girasol en el Oeste de la provincia de Buenos Aires
A_2: maíz en el Oeste de la provincia de Buenos Aires
A_3: soja en el Oeste de la provincia de Buenos Aires
A_4: trigo en el Oeste de la provincia de Buenos Aires

Para cada i ($1 \leq i \leq 4$) sea Q_i el rinde de A_i y sea P_i el precio a cosecha del cultivo de A_i: Luego de analizar los datos disponibles de estas variables (históricos, de mercado y otros elementos de juicio), asignamos a estas variables distribuciones triangulares tales que:

$$Q_i \sim \text{Triang}(a_i,b_i,c_i) \text{ y } P_i \sim \text{Triang}(u_i,v_i,w_i)$$

En los siguientes cuadros se presentan los parámetros de las distribuciones

Rindes en qq/ha para el Oeste de Buenos Aires	Mínimo posible a_i	Más probable b_i	Máximo posible c_i
Girasol Q_1	16	24	30
Maíz Q_2	60	80	100
Soja Q_3	15	28	45
Trigo Q_4	14	32	40

Precios en $/qq	Mínimo posible u_i	Más probable v_i	Máximo posible w_i
Girasol P_1	37.70	53.36	63.80
Maíz P_2	17.40	20.30	29.00
Soja P_3	37.70	46.40	69.60
Trigo P_4	22.04	26.97	38.16

Además se cuenta con datos de costos de comercialización, cosecha y gastos directos

Cuadro de datos para el Oeste de Buenos Aires

Cultivo	Girasol		Maíz		Soja		Trigo	
Comisión	%I.B.	3	%I.B.	3	%I.B.	3	%I.B.	3
Impuestos	%I.B.	0.65	%I.B.	0.65	%I.B.	0.65	%I.B.	0.65
Bonificación por grasa	%I.B.	-10						
Cosecha	%I.B.	8	%I.B.	8	%I.B.	8	%I.B.	8
α_i		**0.0165**		**0.1165**		**0.1165**		**0.1165**
Gastos varios		0.40		0.40		0.40		0.40
Secada	1,5 ptos.	0.26	5 ptos.	0.85	1,5 ptos.	0.26		
Flete corto	20 km	1.21	20 km	1.01	20 km	1.01	20 km	1.01
Flete largo	400 km	7.46	400 km	6.22	400 km	6.22	400 km	6.22
β_i	**$/qq**	**9.33**	**$/qq**	**8.48**	**$/qq**	**7.89**	**$/qq**	**7.63**
Total Labores	$/ha	132.75	$/ha	85.50	$/ha	144.00	$/ha	144.00
Semilla	$/ha	53.86	$/ha	275.50	$/ha	93.53	$/ha	57.42
Total Agroquímicos	$/ha	129.95	$/ha	253.98	$/ha	115.25	$/ha	235.33
γ_i	**$/ha**	**316.56**	**$/ha**	**614.98**	**$/ha**	**352.77**	**$/ha**	**436.75**

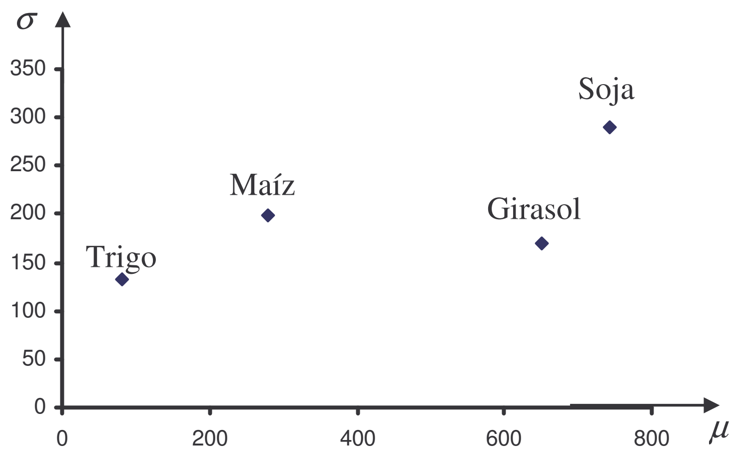
Fuente: SAGPyA, marzo 2005.

Con los datos de todos los parámetros se puede realizar la simulación del modelo. Se obtienen los siguientes resultados:

Perfiles de retorno/riesgo de las cuatro actividades

Oeste de Buenos Aires en $/ha	media μ_i	desvío estándar σ_i
Girasol R_1	650.01	170.15
Maíz R_2	278.36	199.22
Soja R_3	743.49	290.58
Trigo R_4	80.74	131.76

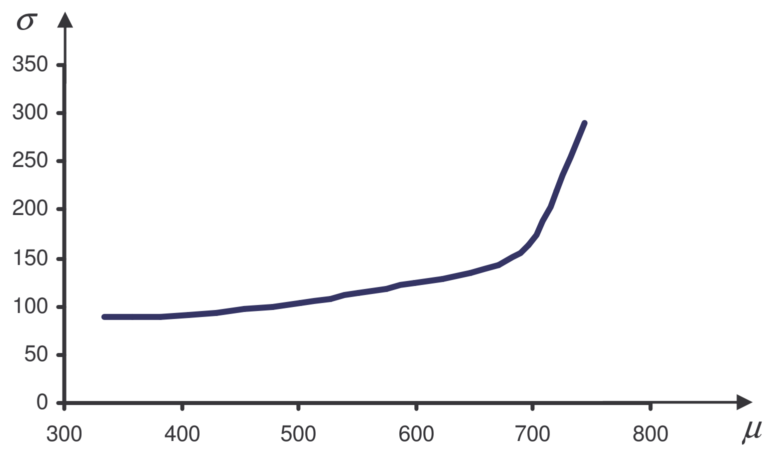
Podemos ver los perfiles en un gráfico



Además se obtiene la siguiente matriz de varianzas y covarianzas estimada para los márgenes brutos de los cuatro cultivos en el Oeste de Buenos Aires.

σ_{ij}	*Girasol*	*Maíz*	*Soja*	*Trigo*
Girasol	28951.61	880.06	-1501.39	-14.93
Maíz	880.06	39689.43	1102.45	-31.38
Soja	-1501.39	1102.45	84439.30	47.68
Trigo	-14.93	-31.38	47.68	17361.95

Resolviendo el problema de optimización (3.3.1) obtenemos la Frontera de Eficiencia.



En el cuadro se muestran los perfiles y las composiciones de algunos portafolios eficientes

	Media $/ha	Desvío estándar	Girasol A_1	Maíz A_2	Soja A_3	Trigo A_4
mínimo riesgo	333	88	27%	19%	9%	45%
portafolio 1	415	92	37%	17%	14%	32%
portafolio 2	497	103	46%	16%	18%	20%
portafolio 3	579	119	56%	14%	23%	7%
portafolio 4	661	140	67%	4%	29%	0%
máximo retorno	743	291	0%	0%	100%	0%

Los agentes más aversos al riesgo se ubicarán en el punto inferior de la Frontera de Eficiencia priorizando el trigo como actividad menos riesgosa aunque esto les signifique tener un portafolio con menor margen bruto esperado. Aquellos que deseen un poco más de retorno optarán por el girasol y la soja.

Bibliografía

CAMPOS, M. S. (2002): *Diagnóstico del Riesgo Agropecuario*. Brasilia, 17 de mayo de 2002

ELTON, E. J., GRUBER M. J.(1995): *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. 5th ed: John Wiley & Sons.

HARDAKER, J.B., HUIRNE, R.B.M. Y ANDERSON, J.R. (1997). *Coping with risk in agriculture*. Wallingford, United Kingdom, Cab International. 274p.

MARKOWITZ, H. (1952): *Portfolio selection. Journal of Finance*, vol. 7, nº 1, marzo, pp. 77-91.

MARKOWITZ, H. (1959): *Portfolio selection: Efficient diversification of investments*. John Wiley & Sons. New York.

PISKUNOV, N. (1980): *Cálculo Diferencial e Integral.* Editorial Mir.