

**TAD DE INGENIERIA**

**Revista de  
la Facultad  
de Ingeniería**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
AÑO XVII - NÚMERO 37 - 1998**

**Desde 1930 sembramos Tecnología  
en el camino de la Construcción.**



Páginas/100

*Juan Minetti S.A.*

*Cemento Portland*

Tecnología en construcción

[www.juanminetti.com](http://www.juanminetti.com)

# Autoridades

Revista de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad Nacional de Cuyo  
Año XVII - Número 37 - Agosto 1998

## **Decano**

Ing. Tomás Anibal Montes

## **Vicedecano**

Ing. Eduardo Fortunato Manfredi

## **Consejo Directivo**

Prof. titular: Ing. Alfredo Sarmiento, Carlos Larriqueta,  
Carmelo Rodríguez y Eduardo Manfredi.

## **Prof. Adjunto**

Ings. Hilario Garbulinsky y Pedro Oelsner.

## **Aux. Docente**

Ing. Alfredo Caballero.

## **Egresados**

Ing. Ricardo Ramírez y Erica Germ.

## **Alumnos**

José Alonso, Cecilia Ruvek y Marcelo Cadenas.

## **No Docente**

Carlos Tejada.

## **Dir. Gral. de Gestión Administrativa y Financiera**

Lic. Roberto Testasecca

## **Directora Administrativa**

Srta. Hilda Inés Herrera

## **Secretario Técnico**

Ing. Samuel Raúl Riveira

## **Dir. Carrera Ingeniería de Petróleo**

Ing. Carmelo Rodríguez

## **Dir. Carrera Ingeniería Civil**

Ing. Angel C. Videla

## **Dir. Carrera Ingeniería Industrial**

Ing. Alfredo Sarmiento

## **Dir. Ciencias Básicas**

Lic. Norberto Giordano

## **Dir. de Cuarto Nivel**

Ing. Walter Brottier

## **Dir. Doctorado en Ingeniería**

Dr. Jorge Barón

## **Dir. Ingeniero Especialista y Maestría en Ingeniería Ambiental**

Ing. Luis María Magistocchi

## **Dir. Maestría en Logística**

Dr. Enrique Forradellas

## **Secretario de Asuntos Estudiantiles**

Ing. Carlos Adriano García

## **Dir. de Estudios Tecnológicos e Investigaciones**

Ing. Tomás Juan Martínez

## **Dir. Extensión Universitaria y Graduados**

Ing. Hilario Garbulinsky

## **Jefe Departamento de Extensión Universitaria**

Ing. José Ramón Mini

## **Jefe Departamento de Graduados**

Ing. Adolfo Bove

## **Director de la Revista**

Ing. José Ramón Mini

## **Referato**

Cuerpo de Profesores Consultores.

## **Asesoría de Inglés**

Prof. Delta Papadacos de Valentini

## **Producción, Publicidad, Edición, Diagramación**

## **Corrección y Gestión Comercial**

Departamento de Extensión Universitaria

E.mail: fing@raiz.uncu.edu.ar

Web: www.uncu.edu.ar

La Dirección no se responsabiliza por las opiniones  
emitidas en los artículos firmados

Centro Universitario Parque Gral. San Martín

5500 Mendoza - Fax 54 61 380 120

Conmutador 061-234448 061- 494002

# Sumario

|  |    |
|--|----|
| Editorial .....  | 3  |
| Método de laboratorio para evaluación de biopolímero en<br>recuperación de petróleo .....  | 5  |
| Estudio sismográfico del túnel de conducción y chimenea<br>de equilibrio - Aprovechamiento Hidroeléctrico presa Agua<br>del Toro (primera parte) ..... | 15 |
| Influencia del proceso de extracción sobre calidad de aceite<br>de oliva y la contaminación ambiental. ....  | 23 |
| A novel reactor design for controlled studies of interacting<br>populations .....  | 31 |



# Editorial

Con el N° 36 aparecido en diciembre último dimos comienzo a una nueva etapa de la presente revista, que procuraremos mantener en el tiempo con nueva imagen y renovado esfuerzo.

En principio se tratará de brindar a través de estas páginas lo mejor de nuestra producción científica y tecnológica, como también de aquélla que nos acerque el entorno académico y profesional.

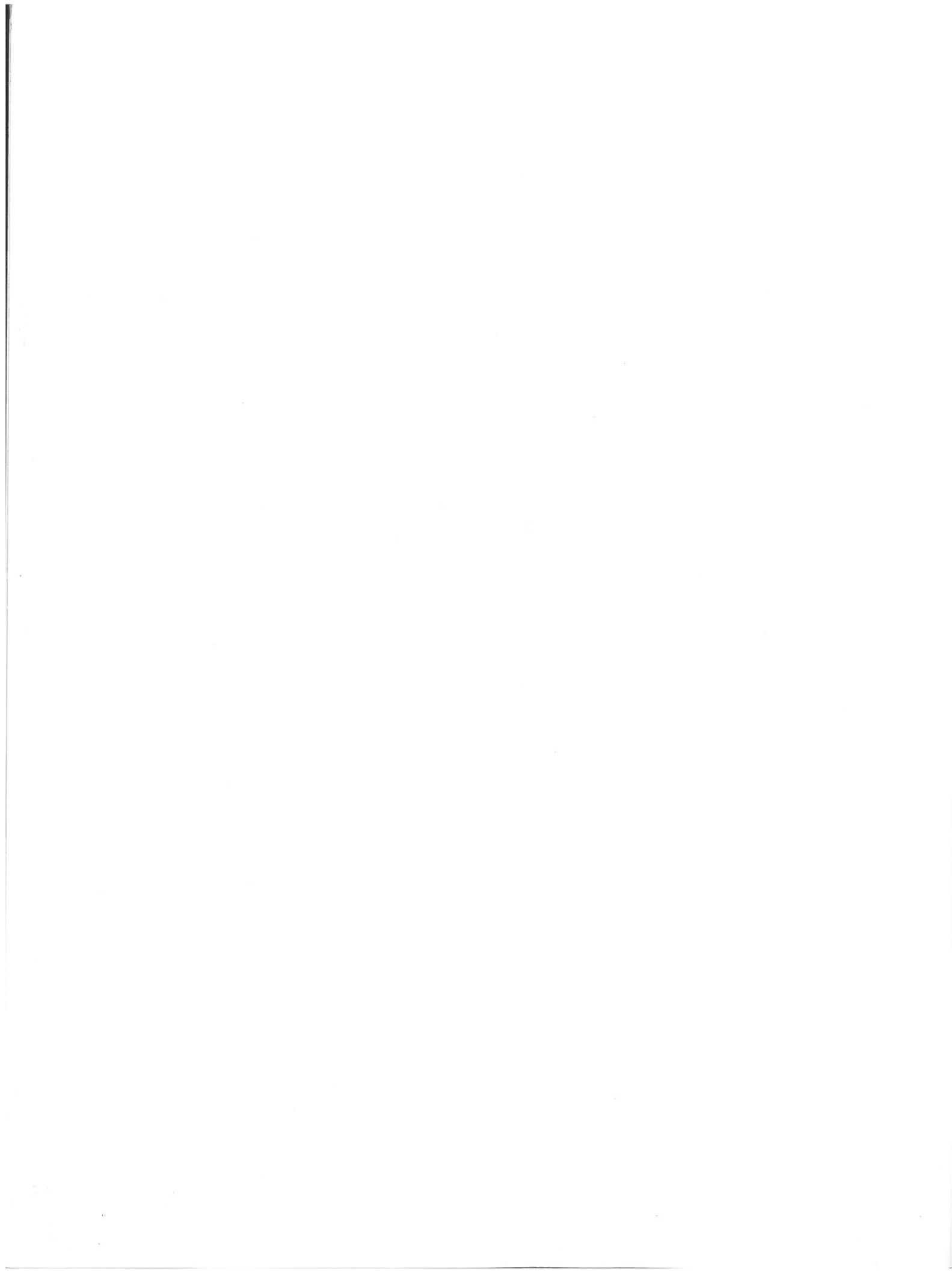
Apuntamos a una periodicidad semestral, frecuencia que aspiramos incrementar en la medida que afirmemos nuestro andar, tratando de conciliar la búsqueda de la excelencia y originalidad con las limitaciones prácticas y económicas propias de esta gestión editorial.

Agradecemos el eficaz apoyo cedido en esa búsqueda de calidad por el cuerpo de profesores consultos de esta Casa, que asumieron con desprendimiento el compromiso del imprescindible referato de esta instancia - el que gradualmente iremos enriqueciendo con la incorporación de árbitros externos- y a los avisadores, quienes sustentan en definitiva esta expresión tangible de las ideas a través de nuestras páginas. Con el tiempo y Dios mediante llegaremos, es nuestra meta, a una publicación con la jerarquía que amerite las apetencias de expresión de los diferentes autores que habrán de nutrir las sucesivas ediciones.

Quedamos por último a la espera de las inquietudes que contribuyen a mejorar y perfeccionar la publicación, que rogamos se hagan llegar a nuestro Departamento de Extensión Universitaria.

Ing. José Ramón Mini

Director



# Método Integral de Laboratorio para la evaluación de un biopolímetro en recuperación asistida.

**E.B. Castiglione<sup>(1)</sup>, F. Arévalo, M. Cisternas, A. Fornés**

Grupo de Física de Líquidos y Medios Porosos. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.

<sup>(1)</sup> e-mail: bcasti@raíz.uncu.edu.ar

## RESUMEN

El agregado de un polímero al agua en recuperación asistida produce tres efectos:

- a) Modifica la relación de movilidades, aumentando el flujo fraccional de petróleo.
- b) Mejora la eficiencia de barrido.
- c) Disminuye el petróleo residual.

Por ello se estudia la factibilidad del uso de xantano en recuperación asistida. En primer lugar se llevan a cabo mediciones de permeabilidad de las soluciones xantánicas, a diferentes concentraciones, a través de un medio poroso real. Se calcula la movilidad y el factor de resistencia residual, en función de la concentración de polímero.

Mediante estudios de laboratorio con la celda de Hele-Shaw, se estudia el efecto que produce, sobre la eficiencia areal y sobre el petróleo residual, el agregado de xantano. Estas experiencias fueron filmadas y tratadas computacionalmente, con el fin de estudiar el fingering viscoso que se forma.

## ABSTRACT

Aggregate of a polymer to the water in enhanced oil recovery produces three effects:

- a) Modifies the relation of mobilities, increasing the fractional flow of petroleum.
- b) Improvement the sweep efficiency.
- c) Lessen the residual petroleum.

The purposes of this paper is to investigate the factibility of the use of xanthan in enhanced oil recovery. In the first place are carry out measurement of permeability of the xanthanics solutions, to different concentrations, through a real porous medium. The mobility and the residual factor of resistance are calculated, in function of the concentration of polymer.

By means of studies of laboratory with the cell of Hele-Shaw. The effect that the aggregate of xanthan produces upon the areal efficiency and the residual petroleum is studied. These experiences were filmed and treated through a computer, in order to studying the viscous fingering that is formed.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se evalúa, mediante técnicas de laboratorio, la acción del xantano en recuperación asistida de petróleo.

El agregado de un polímero al agua usada en una recuperación asistida de petróleo, afecta a la misma en varios aspectos,<sup>[1][2][3][4][5]</sup> a saber:

- Mejora el flujo fraccional de petróleo.
- Mejora la eficiencia de barrido.
- Mejora la calidad de barrido.
- Daña a la formación.

El primer y segundo punto, mencionado anteriormente, depende de la razón de movilidades, dada por:

$$M = \frac{\mu_p k_a}{\mu_a k_p} \quad (1)$$

donde:

- $\mu_p$ : viscosidad del petróleo.
- $\mu_a$ : viscosidad del agua.
- $K_p$ : permeabilidad al petróleo.
- $K_a$ : permeabilidad al agua.

Debido a la alta dureza y salinidad del agua de los reservorios mendocinos (Argentina), el polímero más apropiado para el caso sería el biopolímero denominado xantano.

Este biopolímero se caracteriza por no degradar con la presencia de sales, tener moléculas relativamente pequeñas, ser inocuo, resistente a la temperatura y luego de un cierto tiempo, biodegradable.

En el siguiente trabajo se determina la acción del xantano sobre el flujo fraccional; el daño en formación producido por el mismo y la acción de este polímero en la eficiencia areal de barrido. Esto último mediante estudios de fingering viscoso con Hele-Shaw haciendo las mismas experiencias con y sin medio poroso, a fin de verificar realmente si los efectos de la tensión interfacial invalidan la misma, en líquidos inmiscibles, como modelo de medio poroso.<sup>[10]</sup>

## 2. TEORÍA

En recuperación asistida de petróleo es deseable obtener la menor cantidad de agua y la mayor de petróleo para un caudal determinado. si se logra reducir la movilidad del agua, aumenta el flujo fraccional de petróleo<sup>[2]</sup>, como se puede ver en la siguiente ecuación.

$$f_p = \frac{1}{1 + \frac{M_a}{M_p}}$$

Con:

- $f_p$  : flujo fraccional de petróleo
- $M_a$  : movilidad del agua.
- $M_p$  : movilidad del petróleo.



donde:

$$M_p = \frac{K_p}{\mu_p} \quad ; \quad M_a = \frac{K_a}{\mu_a}$$

La disminución de la movilidad del agua usada en recuperación secundaria, se puede lograr con el agregado de un polímero. Como se puede observar en la variación relativa del flujo fraccional del agua (ecuación [2]), para disminuir el mismo se debe reducir su movilidad.

$$\frac{f_{apol}}{f_a} = \frac{M_{apol}}{M_a} \quad (2)$$

Donde el subíndice "apol" indica agua con polímero (solución polimérica).

Cuando hacemos la relación entre la permeabilidad al agua, antes del paso del polímero por la muestra porosa y la permeabilidad efectiva después del paso del mismo se obtiene el factor de resistencia residual. Este da idea del daño que ha producido el paso del polímero en el medio poroso. Es importante resaltar que dicho daño disminuirá con el tiempo, puesto que el xantano degrada con él.

En recuperación asistida de petróleo la interface de los fluidos se ve afectada por un fenómeno hidrodinámico conocido como fingering viscoso [6][7][8][9][10][11][12] (la interface adquiere forma de dedos). La inestabilidad y el crecimiento de los dedos tiene su origen en la diferencia de viscosidades de ambos fluidos. Tal fenómeno se presenta cuando un fluido menos viscoso empuja a otro de mayor viscosidad. La tensión interfacial se opone a la inestabilidad puesto que tiende a reducir la superficie de la interface y por lo tanto a disminuir el fingering viscoso.

Este fenómeno hace disminuir notablemente la producción de crudo, constituyendo entonces, un problema para la industria petrolera. Es por ello que en recuperación asistida de petróleo, es también importante estudiar la eficiencia de barrido, calidad de barrido y saturación residual. Para estos estudios se realizan experiencias de laboratorio con celdas de Hele-Shaw (ver figura 1); la misma consta de dos placas de vidrio paralelas, de 36 mm de lado por 6, de espesor. Esta celda tiene cinco orificios ("five spot" invertido), cuatro en los laterales, simulando pozos productores y uno en el centro de la placa superior, simulando el pozo inyector.

Las experiencias son filmadas, digitalizadas y convertidas en un arreglo de pixels, para su posterior procesamiento en computadora. El software utilizado digitaliza las imágenes en 256 tonos de grises. El histograma muestra que sólo 5 tonos son significativos. de esta forma la zona que no es alcanzada por el agua quedará en pixels de color negro, la totalmente barrida, en blancos y los restantes tonos de grises indicarán zonas de distinto grado de barrido.

La eficiencia areal de barrido está dada por la relación entre el área tocada por la solución ( $A_b$ ) y el área total de la celda ( $A_t$ ).

La dinámica del frente del fingering viscoso tiene estructura fractal. El coeficiente de Hausdorff [11][12][13][14][15] ( $D$ ) se determina a través de la ecuación [11] (3)

$$\ln E_{fA} = D \ln r + \ln C \quad (3)$$

Donde:

- $E_{fA}$  : eficiencia areal de barrido.
- $D$  : coeficiente de Hausdorff.
- $r$  : longitud del dedo.
- $C$  : constante.

La calidad de barrido ( $C_B$ ) determina cuánto ha barrido el líquido empujante al petróleo, que contenía la celda de Hele-Shaw. Para su cálculo se lleva a cabo la relación entre el área donde ha sido totalmente desplazado el petróleo por la solución ( $A_d$ ) y el área que la solución ha desplazado al petróleo parcialmente ( $A_{dp}$ ).

La saturación residual ( $S_R$ ) está dada por la razón entre la saturación de petróleo, después del paso del polímero, con la saturación de petróleo antes de la inyección.

### **3. DETERMINACIONES EXPERIMENTALES**

#### **3.1 Movilidad, Relación de flujo fraccional y factor de resistencia residual.**

Para poder determinar en cuánto mejora el flujo fraccional de petróleo, cuando se agrega xantano al agua de inyección en recuperación asistida, se realizaron determinaciones de viscosidad y permeabilidad de soluciones poliméricas, a diferentes concentraciones. Las mismas fueron preparadas con agua destilada a 0 ppm, 32 pp., 57 ppm, 100 ppm y 550 ppm de concentración polimérica y con agua de reservorio a 0 ppm, 100 ppm y 550 ppm.

Tanto las muestras de testigo corona, como el petróleo y el agua de reservorio usada en estas experiencias pertenecen a la formación Barrancas, correspondiente a un yacimiento petrolero en Mendoza, Argentina.

Con los resultados de permeabilidad y viscosidad se calcularon luego: la disminución de la Movilidad y el Factor de Resistencia Residual.

#### **3.2 Eficiencia Areal de Barrido, Calidad de Barrido y Saturación Residual.**

El uso de agua de reservorio en lugar del agua destilada, en la preparación de las soluciones, no alteró significativamente los resultados de la razón de movilidades, tampoco las curvas de viscosidad. Este es el motivo por el cual, las experiencias en celda de Hele-Shaw, se realizaron con agua destilada. Las mismas se llevaron a cabo, con y sin lecho de esferas de vidrio (simulando un medio poroso) entre sus placas. La celda es saturada con un petróleo no newtoniano (característica particular de los petróleos mendocinos), el cual es desplazado por la solución polimérica. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el punto 3.1, en estas experiencias se trabajó en concentraciones de 100 ppm a 750 ppm.

Las experiencias se realizaron a diferentes presiones de inyección: 0.125 kg/cm<sup>2</sup>, 0,250 kg/cm<sup>2</sup> y 0,500 kg/cm<sup>2</sup>, a una permeabilidad constante (a una misma separación de placas) y a diferentes concentraciones: 0 ppm, 100 ppm, 350 ppm, 750 ppm.

Luego se obtuvieron la eficiencia de barrido areal, calidad de barrido y saturación residual, para ello se toma el último cuadro de la filmación antes de que la solución polimérica salga por uno de los cuatro orificios de la celda y posteriormente se procede de la siguiente manera.

La eficiencia areal se obtiene de la razón entre número de pixels blancos, más número de pixels grises y el número total de pixels. La calidad de barrido se calcula por medio de la razón entre el número de pixels blancos y el número de pixels grises y la saturación residual como número de pixels negros sobre número total de pixels.

También fueron realizadas mediciones de tensión interfacial para todas las concentraciones, a fin de explicar algunos de los resultados obtenidos.

### **4. RESULTADOS EXPERIMENTALES**

#### **4.1 Mediciones de permeabilidad y viscosidad**

Las curvas de viscosidad obtenida, tanto para soluciones preparadas con agua destilada, como con

agua de reservorio son similares como se puede observar en la figura 2, que muestra un ejemplo de lo expuesto, el correspondiente a la concentración de 550 ppm.

Al comparar las tablas I y II, se puede observar que no existe gran diferencia en la disminución de permeabilidad y por consiguiente de la movilidad, entre los resultados obtenidos, tanto con agua destilada como con agua de reservorio, a las mismas concentraciones. Esto indica que el xantano no es atacado por las sales existentes en el agua de reservorio. En las mismas tablas se puede ver que las disminuciones de permeabilidades y por lo tanto de movilidades son mucho menores a muy bajas concentraciones, mientras que no existe mucha diferencia entre los valores correspondientes a 100 ppm y 550 ppm.

En la figura 3, se observa que los resultados del factor de resistencia residual para 32 ppm y 57 ppm son parecidos entre sí y muy bajos. Para 100 ppm y 550 ppm los valores son mayores. Esto nos indicaría un mayor daño para las altas concentraciones, pero como se dijo anteriormente, este daño biodegradará con el tiempo. Es importante notar que con agua de reservorio el daño es significativamente menor, sobre todo a la más alta concentración.

Por otra parte es importante destacar que, a bajas concentraciones las movilidades no muestran una apreciable disminución.

## 4.2 Experiencias en celda de Hele-Shaw

### 4.2.1 Eficiencia Areal

Si se analiza la eficiencia areal en función de la presión para cada concentración (figura 4, experiencia sin lecho de esferas de vidrio), puede observarse que la misma, disminuye al aumentar la presión. Si ahora se analiza la eficiencia areal para las diferentes concentraciones, vemos que es mayor a mayores concentraciones, con excepción de la curva correspondiente a 100 ppm, cuyas eficiencias areales son, en todas las presiones, menores que para soluciones de 0 ppm. Ello se debe a que el xantano baja la tensión interfacial. Al ser mayor la tensión interfacial del agua pura (fig. 7), las inestabilidades de la interface disminuyen y ello hace decrecer el fingering viscoso.

En los casos de soluciones poliméricas de concentraciones de 350 ppm, y 750 ppm, la caída de tensión interfacial no es tan importante y se ve compensada por el importante aumento de la relación de viscosidades. <sup>[15][16]</sup>:

La influencia de la tensión interfacial puede verse claramente comparando las figuras 6 y 7, que muestran la eficiencia areal en función de la concentración y la tensión interfacial en función de la concentración respectivamente, ya que la forma de ambas curvas es la misma, lo que indica que la eficiencia areal se ve fuertemente afectada por la tensión interfacial.

Si observamos las curvas para las concentraciones de 100 ppm, 350 ppm y 750 ppm, vemos que éstas no son paralelas. La explicación de este comportamiento es que, en el caso de 100 ppm, se trató de un newtoniano empujando a otro, los gradientes de velocidades fueron tales que el petróleo se encontró siempre en la zona newtoniana de su curva de viscosidad <sup>[15][16]</sup>; en otros casos no fue así.

Comparando las figuras 6 y 8 que muestran la eficiencia areal en función de la concentración y la dimensión fractal en función de la concentración respectivamente, se ve que la forma de las curvas es la misma, lo que significa que la dimensión fractal de las imágenes es un índice de la eficiencia areal. Una mayor dimensión fractal indica una mejor eficiencia de barrido. Es importante destacar que este último método de estimar las eficiencias es más seguro que el anterior ya que se hace sobre un número mucho mayor de imágenes.

Analizando la figura 5 (experiencia con lecho de esferas de vidrio), eficiencia areal en función de la presión para cada concentración, se observa que ésta disminuye cuando la presión aumenta, comportamiento ya observado en el caso de la figura 4. Así también, como en el caso de la experiencia sin lecho de esferas de vidrio, la curva correspondiente a 100 ppm, se encuentra por debajo de las otras

concentraciones en este caso lo que indicaría que la tensión interfacial sigue jugando un rol muy importante, aun en la celda con esferas de vidrio, contrariamente a lo propuesto por Stoneberger and Claridge.<sup>(10)</sup>

En el caso de celda de Hele-Shaw con medio poroso, las eficiencias areales encontradas fueron mucho menores, para todas las concentraciones, que en el caso donde no se usaron esferas de vidrio. Ello puede adjudicarse a que aunque la tensión interfacial sigue siendo estabilizadora de la interface, la superficie a estabilizar es ahora diferente, y por lo tanto no lo hace con igual eficiencia. La falta de paralelismo en las curvas se debe nuevamente a la variación en la relación de viscosidades, debido a su comportamiento no newtoniano.

#### 4.2.2 Calidad de barrido y saturación residual

En la figura 9 se muestra la calidad de barrido en función del tiempo. Este se tomó a partir del momento en que comienza la inestabilidad y hasta antes del momento en que el agua salga por algunos de los orificios.

En ella puede observarse que la calidad de barrido mejora a medida que avanza el proceso, a pesar de que el fingering es mayor y disminuye la eficiencia areal, es decir que aunque el agua toca una zona menor, desplaza mejor al petróleo. La mejor calidad de barrido se encuentra sin polímero. En los casos donde varía la concentración de solución polimérica, la calidad de barrido aumenta con la concentración.

La figura 10 muestra la saturación residual como función de la concentración. En ella se puede ver que hay menor saturación residual cuando no se usa polímero. A medida que aumenta la concentración, la saturación residual disminuye.

### 5. CONCLUSIONES

El xantano puede usarse como viscosificante para recuperación asistida de petróleo en agua con alto contenido salino. Bajas concentraciones de xantano dan muy buen resultado, en cuanto a la disminución de movilidad del fluido empujante, es decir en cuanto al aumento del flujo fraccional.

La comparación de los resultados obtenidos en celda Hele-Shaw con y sin medio poroso muestra que en reservorios mojantes al agua, esta última es un buen modelo de fingering en líquidos inmiscibles.

Las concentraciones de polímero muy bajas no dan muy buen resultado en cuanto a la mejora de la eficiencia areal, y su uso a estas concentraciones dependerá de los intereses de la empresa en ese momento.

Una concentración de 350 ppm, es mucho más baja que las que habitualmente se usan en recuperación terciaria de petróleo y da aceptables resultados en todos los aspectos. Estos estudios nos dan un indicio de que usando xantano se puede sacar más petróleo en menos tiempo y llegar a zonas donde habitualmente no llega el agua sin polímero, pero no disminuye el petróleo residual.

La combinación de uso de permeabilímetro con celda de Hele-Shaw, constituye un método de laboratorio económico, que permite evaluar cualitativamente, todos los aspectos del uso de un polímero en recuperación asistida de petróleo.

Los resultados serán altamente dependientes, con las características de formación y el comportamiento geológico del petróleo utilizado, por lo que para el uso de cualquier polímero en recuperación asistida se recomienda hacer un estudio previo, a fin de determinar la concentración óptima a utilizar.

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] - Fornés, A., Castiglione, E.B., Martínez, T. Estudio hidrodinámico de la mezcla agua xanthano, en testigos de reservorios mendocinos. EQUIFASE 92: Memorias Tercer Simposio Latinoamericano de Propiedades de fluidos y equilibrio de fases para el diseño de procesos Químicos, 1992, 469-479.

[2] - Needham, R.B., Doe, P.H. Polymer flooding review. Journal of Petroleum Technology, 1997, 1503-1507.

- [3] - EOR field case histories, N° 23, 1998; (137), (172), (187), (196), (226), (242), (253), (266), (273) y (282).
- [4] - Chatterji, J., Borchardt, J.K. Aplicaciones de water-soluble polymers in the oil field. Journal fo Petroleum Technology, 1981, 2042-2053.
- [5] - Castiglione, E.B., Fornés, A. Soluciones xantánicas de bajas concentraciones en recuperación terciarias de petróleo. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, Vol. XXVII, No. 1, pág.: 62-64, enero-junio 1995.
- [6] - Saffman, P.G., Taylor, G.I. The penetration of fluid into a porous medium or Hele-Shaw cel containing a more viscous liquid. proc. R. Soc., A 245, 1958, 312 - 329.
- [7] - Pavone, D. observations and correlations for inmisible viscous fingering experiments. SPE. RE, 1992, 187 - 194.
- [8] - Daccord, G., Nittmann, J. and Stanley, H. Fractals in Physics. Martinus Nijhoff Pub., 1985, 203- 210.
- [9] - Sigmund, P., Sharma, H., Sheldon, D. and Aziz, K. Rate dependece of unstable waterflow. SPE RE, 1988, 401 - 409.
- [10] - Stoneberger, M.W. and Claridge, E.L. Graded -viscosity-dank desing with pseudoplastic fluid. SPE RE, 1998, 1221 - 1232.
- [11] - Peters, E. and Cavalero, S. The fractal natura of viscous fingering in porous media. SPE, No. 78, 1991, 225-230.
- [12] - Kjems, J.K. Fractals and disorderes system. A. Bunde - S. Havlink de., 1991, 263-295.
- [13] - Nittmann, J., Daccord, G. and Stanley, H. Fractal grow of viscous fingerinng: cuantitative characterization of a fluid instability phenomenon. Nature, vol. 314, 1985, 141 - 144.
- [14] - Nittmann, J., Daccord, G. and Stanley, H. Elsevier Science Publishers B.V. de., 1986, 193-202.
- [15] - Arévalo, F.k Cisternas, M., Fornés, A. Fingering viscoso inmisible de soluciones poliméricas desplazando petróleo no-newtoniano. Anales ARA, 1995, 335-9.
- [16] - Arévalo, F., Cisternas, M., Fornés, A. Efecto del xantano en la digitación viscosa agua-petróleo no newtoniano. Actas 2do Simposio de Producción de Hidrocarburos, I.A.P., Mendoza, tomo II, 1995, 25-44.

Tabla I

Disminución de la permeabilidad y disminución de movilidad de las soluciones poliméricas preparadas con agua destilada.

| Concentración [ppm]              | 32 | 57   | 100  | 550 |
|----------------------------------|----|------|------|-----|
| Disminución de Permeabilidad (%) | 23 | 55   | 93   | 98  |
| Disminución de movilidad (%)     | 79 | 87.5 | 93.3 | 94  |

Tabla II

Disminución de la permeabilidad y Disminución de movilidad de las soluciones poliméricas preparadas con agua de reservorio.

| Concentración (ppm)              | 100  | 550  |
|----------------------------------|------|------|
| Disminución de Permeabilidad (%) | 72.3 | 82.2 |
| Disminución de movilidad (%)     | 91.4 | 92   |

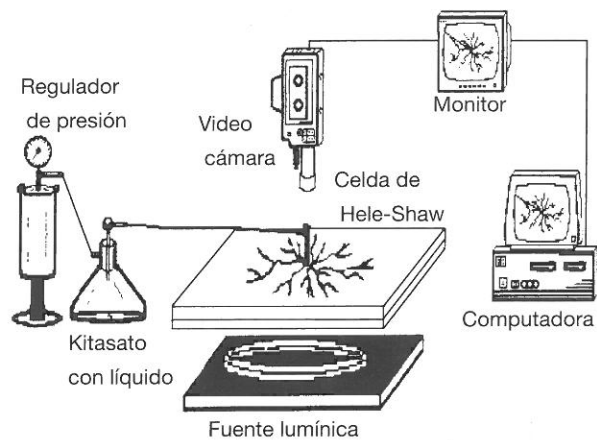


Fig. 1- Equipo experimental

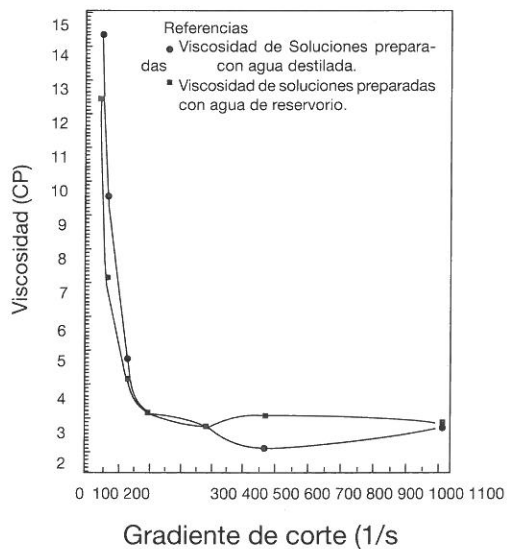


Fig. 2 - Viscosidad vs. gradiente de corte para soluciones preparadas con agua destilada y con agua de reservorio a una concentración de 550 ppm.

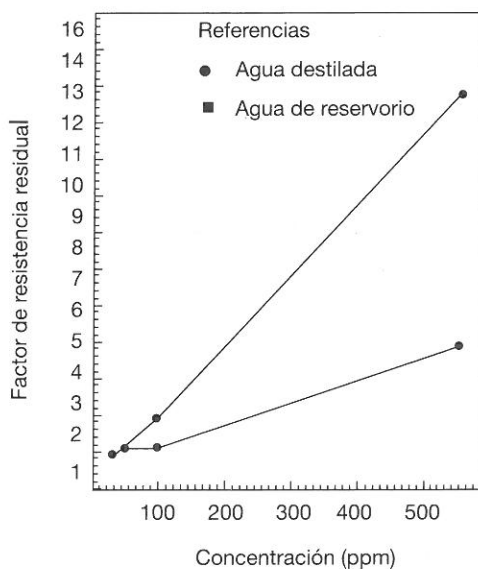


Fig. 3 - Factor de resistencia residual vs. concentración para soluciones preparadas con agua destilada y con agua de reservorio.

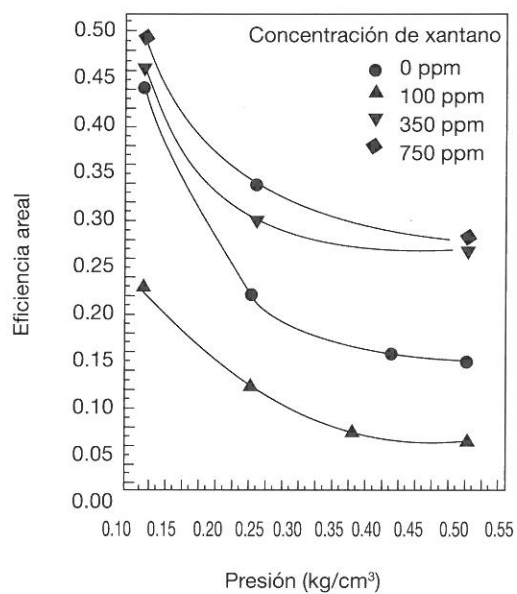


Fig.4: - Eficiencia areal vs. presión en celda de Hele-Shaw sin lecho de esferas de vidrio y con permeabilidad constante de 41,36 mD.

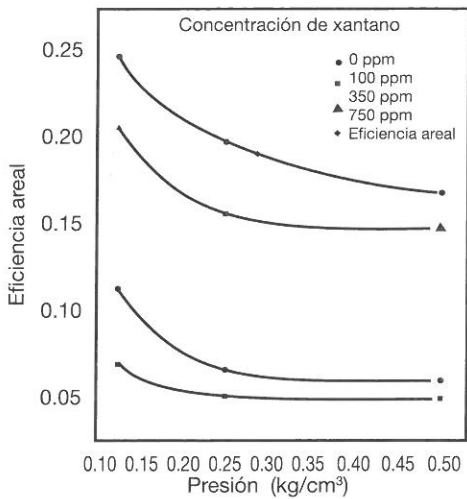


Fig. 5 - Eficiencia areal vs. presión en la celda de Hele-Shaw con lecho de esferas de vidrio y con permeabilidad constante de 202 mD.

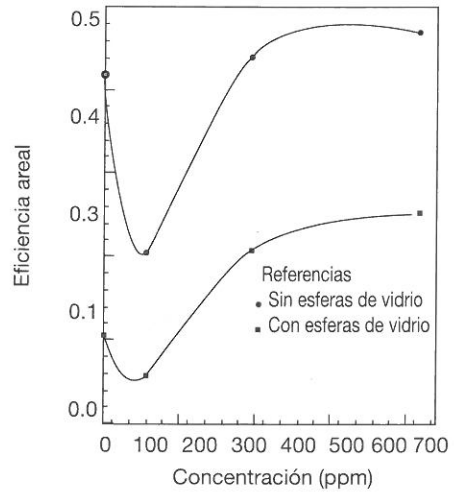


Fig. 6 - Eficiencia areal vs. concentración en celda de Hele-Shaw con y sin lecho de esferas de vidrio, a la presión constante de 0.125 kg/cm<sup>2</sup>.

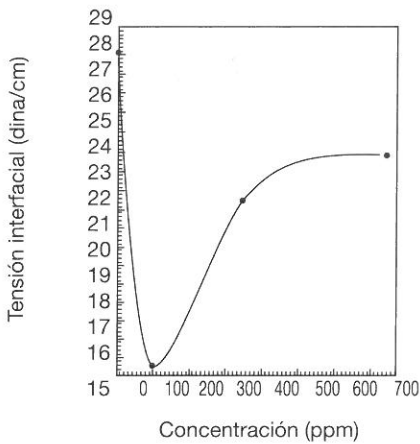


Fig. 7 - Tensión interfacial vs. concentración

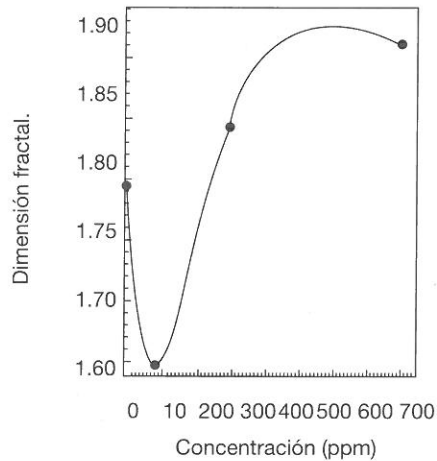


Fig. 8 - Dimensión fractal vs. concentración para celda de Hele-shaw sin lecho de esferas de vidrio, con permeabilidad 41.36 mD y la presión de 0.500 Kg/cm<sup>2</sup>.

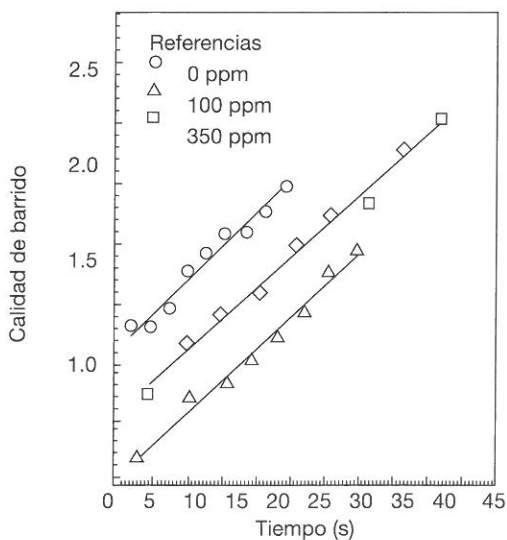


Fig. 9 - Calidad de Barrido vs. Tiempo, para distintas concentraciones, para celda de Hele-Shaw sin lecho de esferas de vidrio, con permeabilidad 41.36 mD y la presión de 0.125/ cm<sup>2</sup>.

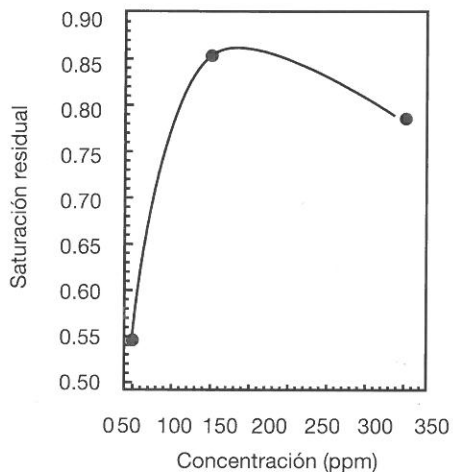


Fig. 10 - Saturación residual vs. concentración para celda de Hele-Shaw sin lecho de esferas de vidrio, con permeabilidad 41.36 mD y la presión de 0.125 Kg/cm<sup>2</sup>.



## La naturaleza es un buen espejo donde mirarnos.

Somos una empresa integrada  
de energía que produce  
bienes indispensables  
para el desarrollo de todas  
las actividades económicas.

Trabajamos con plena conciencia  
de nuestra responsabilidad  
en la preservación del medio ambiente.

Por eso, todas nuestras empresas  
armonizan sus operaciones industriales  
con el cuidado de la ecología.

Y nuestro trabajo se está reflejando.

Con energía.



**ASTRA**

Compañía Argentina  
de Petróleo S.A.



# Estudio sismográfico del túnel de conducción a Central Hidráulica y Chimenea de equilibrio - aprovechamiento Hidroeléctrico Agua del Toro

**Ing. Jorge Lázaro González <sup>(1)</sup>**

**Ing. Mario Carlos Vacirca**

## **RESUMEN**

El presente trabajo está basado en la aplicación de las fórmulas simples de la propagación de ondas elásticas de la teoría de la elasticidad y de la comparación de los valores obtenidos con ensayos de gran placa realizados en túnel de Agua del Toro.

El objetivo del mismo fue determinar el espesor de la corona descomprimida que se estimaba para la aplicación de la Fórmula de Marco Lelli, donde el espesor se estimaba en base al diámetro de la abertura (túnel y chimenea de equilibrio) la medición resultó inferior a dicha estimación por lo que se ahorraron alrededor de 30.000m de perforación en roca para consolidación de la misma y más de 2.000 tn. de cemento e hierro en la construcción del revestimiento del túnel y de la chimenea de equilibrio.

Hoy, a más de 15 años de inaugurada la obra, el túnel y la chimenea de equilibrio, ambos trabajaron normalmente.

## **ABSTRACT**

This document is based on the application of simple formulas of the elastic wave propagation from the theory of elasticity and the comparison of the obtained values with tests of great plate carried out in Agua del Toro tunnel.

Its aim was to determine the thickness of the uncompressed crown considered for the application of Marco Lelli formula: where the thickness was calculated according to the opening diameter - equilibrium surge chamber y tunnel. The measurement resulted inferior to that estimation and thus it was saved nearly 30,000m. of rock drilling for its consolidation and more than 2,000 tn. of cement and iron in the tunnel coating and surge chamber building.

Now fifteen years later from the inauguration of the work both the tunnel and the surge chamber are normally operating.

## **1 - Ubicación y descripción del proyecto Agua del Toro.**

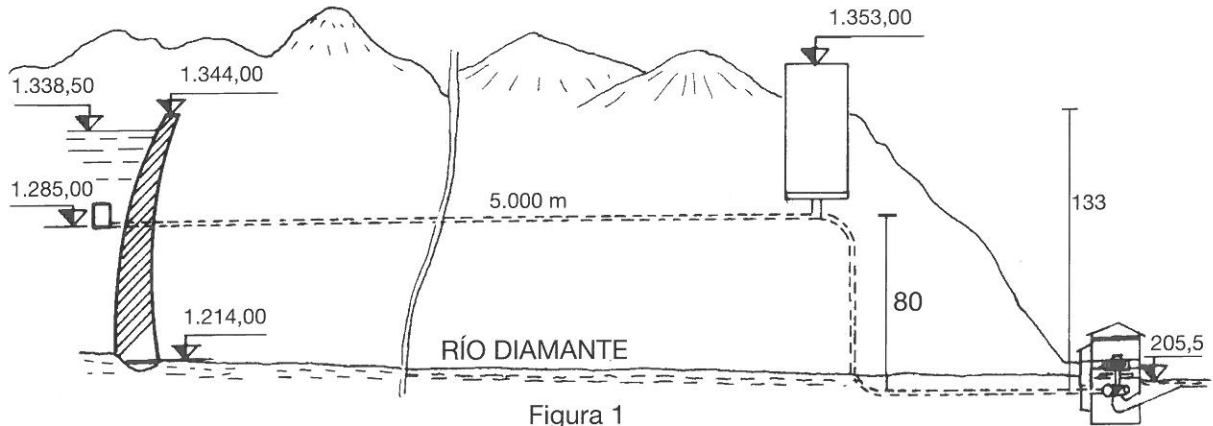
El proyecto de la Central Hidráulica Agua del Toro de 130.000 KW instalados y hoy en funcionamiento, se encuentra sobre el tramo medio del Río Diamante, en la Provincia de Mendoza.

---

1 - Profesor de la Cátedra Geofísica - Facultad de Ingeniería - U.N.C. Premio "Ing. Eduardo Baglietto", 1978, de la Academia Argentina de Ingeniería por su trabajo de investigación en Mecánica de Rocas para la represa Los Reyunos.

N. de R: El autor dedica esta publicación a la memoria del geólogo Dr. Alejandro Aníbal Palma.

Se compone de una presa bóveda de hormigón de 130 m. de altura que constituye el embalse cabecera del aprovechamiento del tramo del río mencionado, casi cinco km. de túnel para conducción de agua, chimenea de equilibrio y un edificio de máquinas con dos turbinas Francis de 65.000 KW c/u que aprovechan un salto útil de 133m. de altura. (fig. 1)



## 2 - Objeto de las Investigaciones Sísmicas

Se había previsto en el Contrato de Obras Civiles la ejecución de investigaciones sísmicas en las excavaciones de la galería de presión, de la chimenea de equilibrio y de la tubería forzada, que permitirán determinar el módulo elástico de la roca, el coeficiente de Poisson y el espesor de corona descomprimida. Luego, la metodología de cálculo establecida para la realización del proyecto constructivo, basada en las fórmulas de Marco Lelli permitiría verificar las tensiones en los revestimientos proyectados y establecer la presión inicial de consolidación del entorno de roca, en función de estos resultados obtenidos.

El método de los incrementos finitos y la aplicación del programa denominado de «Elementos de borde» nos lleva a un estado de distribución de tensiones alrededor de una abertura circular como el de la fig. 2.

$$Z = 300 \text{ mts.}$$

$$K = 1.25 = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 11.78 \text{ MPa}$$

### FACTOR DE SEGURIDAD

|         |  |
|---------|--|
| > 1 < 2 |  |
| > 2 < 4 |  |
| > 4 < 6 |  |
| > 6     |  |

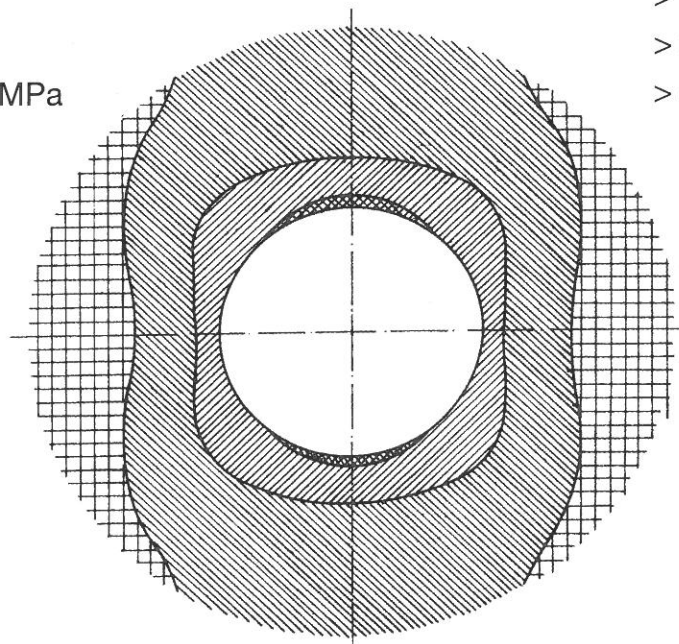


Figura 2

La aplicación del modelo matemático está condicionada por el requerimiento de los parámetros geomecánicos que deben alimentar al mismo.

Estos parámetros geomecánicos serán utilizados a posteriori para la realización del proyecto constructivo.

### 3 - Consideraciones Teóricas

Un postulado básico para la interpretación de cualquier trabajo sismográfico es el denominado "Postulado del comportamiento elástico reológico general".

«En la naturaleza no existen cuerpos ideales; todo material posee en mayor o menor grado todas las propiedades elásticas reológicas.»

En virtud de ello y como consecuencia de la excavación de túneles y galerías se alteran en el interior de los macizos los estados tensionales dando origen a modificaciones de los parámetros elásticos que caracterizan al mismo. Estas modificaciones, sumadas a la presión de la montaña hacen que las rocas tiendan a deformarse, fisurarse o desplazarse afectando la estabilidad de los hastiales y bóvedas.

Estas deformaciones permiten aplicar el concepto de que el fraccionamiento de una deformación finita en distintos pasos de deformación infinitesimal nos lleva a un estado final finito por deformación progresiva del medio; lo que en definitiva significa poder aplicar las leyes generales de la reología de las rocas.

El parámetro tiempo juega un papel fundamental puesto que las deformaciones mencionadas pueden producirse rápidamente, a medida que la excavación se realiza o bien con retardos de tiempos prolongados, siendo los parámetros viscosidad del medio y contextura estructural de las rocas las que en definitiva gobiernan el modo de deformación.

De acuerdo con los modernos conceptos geomecánicos, los macizos rocosos son medios complejos distribuidos en elementos estructurales de diverso orden.

De la consideración del tamaño de estos elementos estructurales surgen las propiedades denominadas **Geneidad y Tropía** que en definitiva son conceptos referidos a la distribución geométrica y dirección de dichos elementos estructurales en el ambiente considerado.

Como postulado básico para ambas propiedades se puede enunciar, desde el punto de vista geomecánico que: si un macizo rocoso es estructuralmente homogéneo e isótropo; también es isótropo y homogéneo en sus propiedades físicas. Por el contrario un macizo estructuralmente heterogéneo y anisótropo no tiene por qué ser heterogéneo y anisótropo en sus propiedades físicas.

Si bien la mecánica de los medios continuos vincula a la homogeneidad con la densidad, debe dejarse en claro que la densidad de un cuerpo debe ser considerada como una magnitud vectorial y como consecuencia de que la materia está compuesta por partículas discretas, la homogeneidad de un cuerpo real debe ser considerada como una homogeneidad estadística.

Las propiedades físicas y mecánicas surgidas del concepto de geneidad y tropía son gobernadas por las propiedades primitivas de las rocas, condicionadas por su génesis litológica, composición mineralógica, distribución de tensiones, elementos de relleno de fracturas, etc.

Estos elementos citados son causa de heterogeneidad en el macizo bajo estudio, pero cuando algunos de ellos como la estratificación, diaclasamiento, etc., se presentan en forma regular, producen estados de cuasi-isotropía que pueden ser estudiados por métodos sismográficos.

La aplicación de los métodos sismográficos como complementarios de los estudios geológicos, geotécnicos, etc., permiten obtener un conocimiento más amplio de los sistemas en estudio.

El macizo rocoso, se encuentra originalmente en un estado de equilibrio que es modificado como consecuencia de la excavación del túnel; dichas modificaciones están vinculadas al diámetro de la abertura, estado tensional previo a la excavación, espesor de la tapada, tipo de roca, condiciones estructurales, etc.

El método de los incrementos finitos y la aplicación del programa denominado de "Elementos de

borde" nos lleva a un estado de distribución de tensiones alrededor de una abertura circular como el de la fig. 2.

La aplicación del modelo matemático está condicionada por el requerimiento de los parámetros geomecánicos que deben alimentar al mismo.

Estos parámetros geomecánicos serán utilizados a posteriori para la realización del proyecto constructivo.

La determinación de los parámetros geomecánicos en forma dinámica está vinculada en forma directa con la teoría de la elasticidad y la validez de los resultados obtenidos, está relacionada con las hipótesis efectuadas con el objeto de obtener fórmulas matemáticas que permitan cuantificar dichos parámetros.

Por ejemplo, se puede determinar que, para el caso de un sólido infinito isótropo homogéneo y perfectamente elástico (cuerpo de Hooke) las velocidades de propagación de una perturbación elástica están definidas por:

$$V_L = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad V_T = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

$V_L$  = Velocidad de propagación de las ondas longitudinales.

$V_T$  = Velocidad de propagación de las ondas transversales.

$\lambda$  y  $\mu$  = Constantes de Lamé.

$\rho$  = Densidad.

Las constantes de Lamé están en función del coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) y del módulo de elasticidad longitudinal ( $E$ ) o de Young.

Conocidas las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales, la densidad, y operando matemáticamente, se pueden determinar los siguientes parámetros elásticos dinámicos:

$$\nu = \frac{V_L^2 - 2V_T^2}{2(V_L^2 - V_T^2)} \quad (\text{Coeficiente de Poisson})$$

$$E = \frac{V_L^2(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (\text{Módulo de elasticidad longitudinal o de Young})$$

$$G = \rho V_L^2 \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \quad (\text{Módulo de elasticidad transversal})$$

$$K = \rho V_L^2 \frac{(1+\nu)}{3(1-\nu)} \quad (\text{Módulo Volumétrico})$$

$$\lambda = \rho V_L^2 \frac{\nu}{(1-\nu)} \quad (\text{Primera constante de Lamé})$$

$$\mu = \rho V_L^2 \frac{(1-2\nu)}{2(1+\nu)} \quad (\text{Segunda constante de Lamé})$$

Si se introducen los conceptos reológicos clásicos, es decir, si se considera el sistema visco elástico (cuerpo de Maxwell-Kelvin), las ecuaciones anteriores se ven modificadas con la introducción de las variables: frecuencia de la perturbación ( $\omega$ ), coeficiente de atenuación ( $\alpha$ ) y viscosidad del medio ( $\eta$ ).

La ecuación de propagación de una onda plana en un medio visco elástico infinito puede ser escrita bajo la forma:

$$\lambda + 2\mu \frac{\partial^2 \nu}{\partial x^2} + \rho \eta \frac{\partial^3 \nu}{\partial x^2 \partial t} - \rho \frac{\partial^2 \nu}{\partial t^2} = 0$$

de operar matemáticamente se obtiene:

$$\eta = \frac{2\alpha V_L^3 \omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2 V_L^2)^2}$$

En el caso de que la atenuación sea nula (cuerpo elástico ideal)  $\eta = 0$ .

La solución de la ecuación diferencial para el medio visco elástico nos conduce a:

$$\lambda + 2\mu = \rho V_L^2 \omega^2 \frac{\omega^2 - \alpha^2 V_L^2}{(\omega^2 + \alpha^2 V_L^2)^2}$$

donde la velocidad de propagación está vinculada con la frecuencia de la perturbación.

El producto  $\rho V_L^2$  debe ser tenido muy en cuenta puesto que si se considera que la velocidad de propagación es independiente de la frecuencia, resulta:

$$\lambda + 2\mu = E_e \frac{1-\nu_e}{(1+\nu_e)(1-2\nu_e)}$$

El sub-índice e significa estático.

El producto  $\rho V_L^2$  está ligado al módulo dinámico

$$\rho V_L^2 = E_d \frac{1 - \nu_d}{(1 + \nu_d)(1 - 2\nu_d)}$$

El sub-índice d significa dinámico.

De las ecuaciones anteriores se puede escribir que:

$$\frac{E_e}{E_d} = \omega^2 \frac{\omega^2 - \alpha^2 V_L^2}{(\omega^2 + \alpha^2 V_L^2)^2}$$

La relación entre ambos módulos, estático y dinámico, está vinculada al coeficiente de atenuación; la frecuencia fundamental de la perturbación y lógicamente, a la velocidad de propagación de la onda longitudinal.

Idéntico tratamiento se puede realizar para el estudio de las ondas transversales.

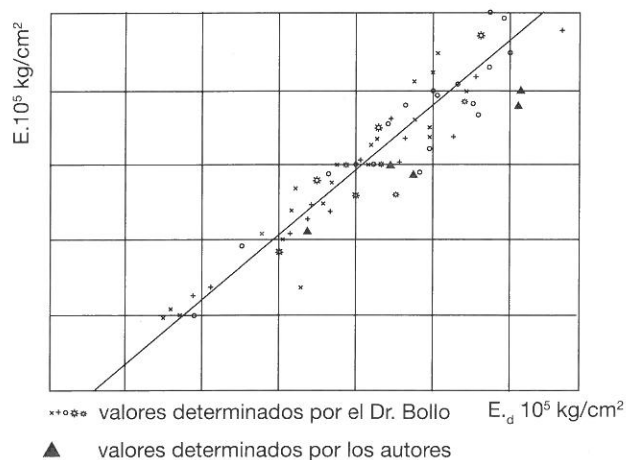
La determinación de la frecuencia de la perturbación se realiza aplicando el análisis de Fourier al registro, previa digitalización del mismo, resultando un espectro y no una frecuencia única.

El coeficiente de atenuación es uno de los factores más complejo de definir, por cuanto el mismo es variable y está en función de las propiedades de geneidad y tropía de la zona del macizo estudiado, razón por la cual la aplicación de estas metodologías resultan complejas, siendo la validez de los resultados más que aceptables.

El método denominado "Petit Sismique" ha adquirido preponderancia a nivel mundial y está basado en la aplicación de la metodología aplicada anteriormente.

Otra manera de encarar el estudio de la divergencia en la determinación de los módulos de elasticidad estáticos y dinámicos, es correlacionar los valores obtenidos con ensayos "in situ" en forma estática.

Los valores del gráfico fueron determinados por el Dr. Mariano Fernández Bollo y los autores del presente trabajo con colaboradores, permitiendo el mismo definir ecuaciones de regresión que vinculan los valores de módulos de elasticidad estáticos con los valores dinámicos obtenidos por el método clásico.



Debe tenerse en cuenta que para el caso de determinar los parámetros elásticos mediante el método clásico de definir las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales en un sistema real (no ideal) las divergencias en los valores obtenidos se verán incrementados por los siguientes efectos:

a) Tiempo de aplicación de la carga:

En el caso de los ensayos estáticos la carga se aplica lentamente y la transformación es adiabática; en el caso del impulso dinámico, la carga se aplica en el orden de milisegundos y la transformación es isotérmica.

b) Longitud del tendido sísmico:

Tiene importancia fundamental en la determinación de velocidades. En general la descompresión superficial del macizo rocoso hace que las velocidades superficiales sean menores que las profundas y la longitud del tendido tiene relación con la profundidad de investigación.

c) Dirección del tendido sísmico:

En la mayoría de los macizos rocosos, existen direcciones de diaclasamiento y de estructuras predominantes, razón por la cual, si la dirección del dispositivo sísmico es normal a la de las estructuras, la velocidad determinada será menor que en el caso de registrar el sentido estructural predominante.

d) Influencia del agua en el interior del macizo:

Está plenamente demostrado que la velocidad de propagación de las ondas longitudinales es superior en macizos saturados o con alto contenido de humedad que en aquellos que están secos; el hecho de que la velocidad de propagación longitudinal y el módulo estén relacionados en forma directa, provoca un alto grado de divergencia.

e) Estado tensional del macizo:

Dado que las velocidades de propagación de las ondas elásticas están vinculadas a los parámetros elásticos del macizo (Constantes de Lamé  $\lambda$  y  $\mu$ ) y éstos a su vez dependen del estado tensional del mismo, las determinaciones de los módulos se ven afectadas por dicho estado.

#### 4 - EFECTOS DE DECOMPRESIÓN

Debe analizarse el estudio de la descompresión que se produce por efecto de la excavación en los alrededores de ésta. En general se puede definir como "Corona Decomprimida" a la roca alterada en sus propiedades elásticas en forma irreversible alrededor de la excavación. Fig. 4. Se pueden distinguir dos zonas dentro de la corona, la primera inmediata a la pared de la excavación (Zona I) está originada por la disminución de la presión intersticial y por las vibraciones de las cargas explosivas, estos fenómenos originan aperturas de las diaclasas produciendo una descompresión por dilatación de la roca, dicha descompresión produce una modificación del estado de cuasi isotropía que altera en forma apreciable la velocidad de propagación de las ondas longitudinales y transversales. La segunda zona está estrechamente vinculada con la variación de las constantes elásticas del macizo, (Zona II) en ella las diaclasas permanecen cerradas y el comportamiento dinámico varía fundamentalmente en función del estado de tensiones internas residuales (relajación). Las variaciones de la velocidad de propagación no es tan apreciable como en la primer zona.

Como límite exterior de esta zona se encuentra el macizo cuyas propiedades dinámicas no se han modificado por efecto de la excavación (Zona III).

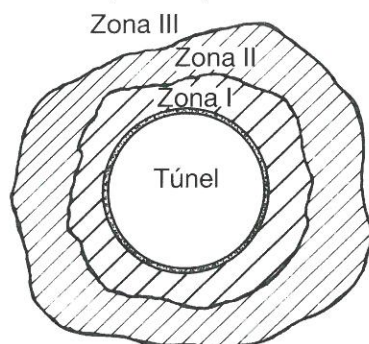


Figura 4

## 5 - ASPECTO GEOLÓGICO

Las obras de conducción a Central Hidráulica han sido excavadas en la formación denominada Serie del Imperial. Las rocas atravesadas por el túnel de conducción y chimenea de equilibrio son en general areniscas cuarcíticas de grano fino a grueso hasta conglomerádico, intercaladas con lutitas y esquistos, existen intrusiones de rocas metamórficas.

En la chimenea de equilibrio, en su parte superior existen pumitas que van pasando a tobas con arenas cuarcíferas hasta encontrar arenisca de granulometría variable con intercalaciones de arcillitas.

Las fallas encontradas durante la excavación corresponden a líneas tectónicas generales y en algunos casos a fallas subsidiarias de las mismas.

Para la interpretación de los resultados, se dispuso de dos relevamientos geológicos, uno de superficie realizado por el Dr. A. A. Palma y el correspondiente a las excavaciones realizadas por los geólogos Dr. Antelo Pérez y Dr. Di Salvo.

En la figura N° 5 se observa el perfil geológico general realizado por el Dr. Palma y en los planos N° 1, 2, y 3 el relevamiento de las excavaciones.

Continuará en el próximo número.



**Esim** S.R.L.

### REPARACION DE:

- BOMBAS
- TURBINAS-COMPRESORES
- VALVULAS-SELLOS MECANICOS
- MAQUINADO-SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE PLANTA DE PROCESOS CONTINUOS

**PRECERTIFICADOS BAJO NORMAS ISO 9000**

**EMPRESA DE SERVICIOS  
INDUSTRIALES MECANICOS S.R.L.**

Roque Sáenz Peña 1940 - (5507) - Lujan de Cuyo Mendoza Arg.  
Tel./Fax: 0054 61 982308 - Parque Industrial (061) 985249



# Influencia del Proceso de Extracción sobre la calidad del Aceite de Oliva Virgen y la Contaminación Ambiental

Ing: Alfredo A. Caballero<sup>(1)</sup>

## DESARROLLO DE UN SISTEMA CON VENTAJAS TÉCNICAS-ECONÓMICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ACEITE DE OLIVA.

### RESUMEN

Tras años de investigación se mejoró la extracción del aceite de oliva por medio de máquinas centrífugas.

En este trabajo se presentan las ventajas y desventajas de trabajar en un proceso de extracción por medio de máquinas centrífugas de dos fases, respecto a las de tres fases.

También se incorpora una rápida explicación del proceso completo de extracción de aceite de oliva, aplicando criterios modernos.

Finalmente se establece una serie de conclusiones del trabajo.

### SUMMARY

After a long fine of research work the extraction of olive oil was improved by means of centrifugal machines.

In this paper it is shown the advantages and disadvantages of working in an extraction process by means of centrifugal machines of two phases comparing it with that of three phases. It is also included a brief explanation about the olive oil complete extraction process when applying modern criterial. At the end a series of final conclusions is presented.

### 1 - EXTRACCION DEL ACEITE DE OLIVA.

La operación de extracción de aceite de oliva, en apariencia sencilla, no lo es, ya que para obtener un aceite de calidad hay que cuidar muchos factores del proceso.

El aceite presente en las aceitunas, entre un 15-35%, se aloja en las células del mesocarpio, encurado en su mayor parte en las vacuolas y en menor medida disperso en el tejido coloidal del citoplasma.

Una condición indispensable para extraer el aceite por procedimientos mecánicos es liberarlo de los tejidos de tal manera que las minúsculas gotas se reúnan formando gotas más grandes que constituyen las denominadas bolsas, capaces de separarse en una fase líquida continua.

---

1- Ing. Industrial, Miembro del Instituto de Estadística y Economía Aplicada a la Ingeniería.

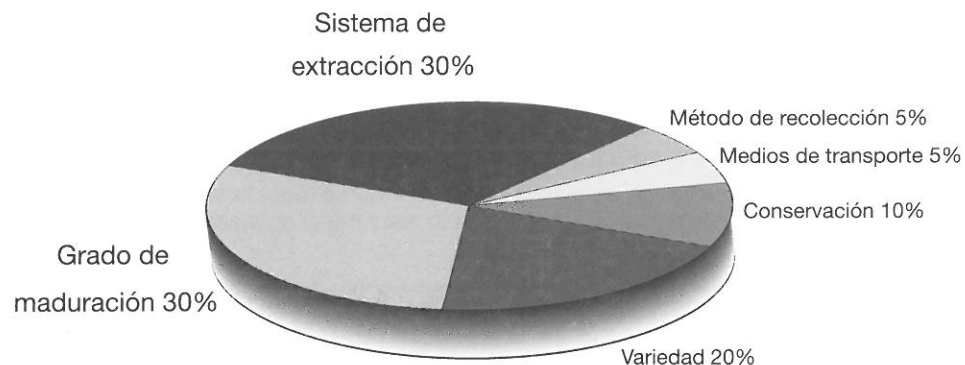
Jefe de Trabajos Prácticos de las Cátedras Operaciones Unitarias y Equipos Industriales y Mantenimiento. Becario en el XXV Curso de especialización de Grasas, Instituto de la Grasa, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Sevilla, España.

El aceite de oliva virgen conserva inalterables todos los componentes y propiedades de las aceitunas como auténtico zumo del fruto del olivo, destacan su valor nutritivo y su poder vitamínico. En la fracción insaponificable se encuentran aportes vitamínicos A y E, además de un gran contenido de  $\beta$ -sitosterol que puede interferir competitivamente con la absorción intestinal del colesterol.

El sistema de extracción ejerce gran influencia en las características cualitativas del aceite de oliva además de otros factores como lo muestra la figura.

De las características de un aceite de oliva.

#### Factores condicionantes de las características de un aceite de oliva



Un aceite de oliva de calidad se obtiene de la aceituna sana y con un óptimo estado de maduración. En la recepción no debe existir demora porque los procesos fermentativos comienzan rápidamente y deterioran la calidad, suministrando al aceite mal olor, sabor o elevada acidez.

Las primeras operaciones a las que se someten las aceitunas son la eliminación de las hojas y el lavado, que pueden representar entre el 5 y 10 % del peso del fruto en el momento de entrar en la fábrica de aceite, además de posibles restos de contaminantes agrícolas.

La molienda tiene por objeto romper las células de la pulpa y provocar la salida del aceite de las vacuolas para unirse en una fase continuo y ser extraído. La operación se realiza en la actualidad con trituradoras mecánicas que giran a 3.000 r.p.m. dentro de una cámara o rejilla perforada que va en sentido contrario a 80 r.p.m., teniendo como ventajas la continuidad de la molturación, su alta capacidad horaria, su menor costo y volumen. Los inconvenientes que presenta son, la rápida molturación no asegura una adecuada preparación de la pasta, posibilidad de generar emulsiones, posibilidad de favorecer alteraciones organolépticas de las aceitunas (aceites amargos), desgaste de las partes metálicas con posibilidad de contaminar el aceite.

El rendimiento industrial está relacionado con el grado de molienda que es regulable en los molinos de martillo por el diámetro de las perforaciones de la criba o rejilla. Depende del tipo de aceituna, por lo que es difícil dar normas generales, pero se puede decir que a principio de campaña debe ser más fino que cuando la aceituna está más madura al fin de la temporada.

Desde el punto de vista de la calidad, hay que reducir en lo posible la superficie y el tiempo de molienda, evitando el contacto de la masa con el oxígeno del aire, que provoca pérdidas de aroma e inicia los procesos oxidativos. Evitar la incorporación de trazas metálicas, ya que deterioran el color y sabor del aceite, por ser catalizadores de los procesos oxidativos disminuyendo la estabilidad de los mismos. Evitar la formación de emulsiones por la adición de agua a la pasta o por molienda muy fina ya que también produce pérdidas importantes de aromas.

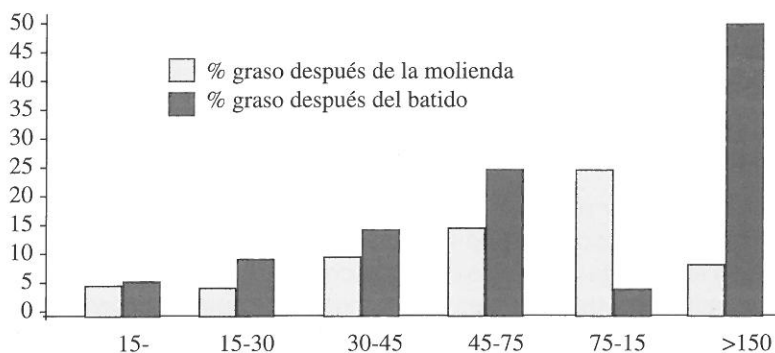
El batido es una operación fundamental para lograr un buen agotamiento reuniendo en una fase oleosa las gotas de aceite dispersas en la pasta para lograr la separación del aceite en los procesos de elaboración siguientes.

Esto se muestra en la figura siguiente en la que se grafica el tamaño de las gotas de aceite después de las operaciones de molienda y batido.

Se debe calentar la masa en esta operación para disminuir la viscosidad, no superando los 25-30°C, ya que por sobre estos valores se producen pérdidas de componentes volátiles, adquisición de tonos rojizos, elevación del valor del índice de peróxido y pérdida de estabilidad de los aceites favoreciendo su enranciamiento.

El tiempo de batido no debe superar los 50 minutos, ya que luego empieza a disminuir el rendimiento graso.

#### Variación del % de gotas de aceite según su diámetro después de la molienda y el batido.



La separación de fases sólidas y líquidas se puede hacer por presión o centrifugación de la masa con o sin extracción parcial, siendo esta una fase del proceso de elaboración basada en el principio de la filtración selectiva, que permite la extracción del aceite que queda "suelto en la pasta, después de las fases de molienda y batido y este aceite no necesita más que su propio peso para separarse.

Normalmente el tiempo de permanencia de la pasta en el extractor no supera los 30 minutos con lo que se consigue entre el 20-50% del aceite total de la pasta.

Obviamente, un sistema de extracción parcial debe ir acompañado de la necesaria instalación de un sistema de agotamiento por presión o centrifugación.

### SISTEMAS CONTINUOS POR CENTRIFUGACIÓN

Tras años de investigación se mejoró la extracción del aceite de oliva por medio de máquinas centrífugas.

Las primeras experiencias prácticas de extracción se realizaron con máquinas Perogio y posteriormente con el sistema Corteggiani, que consistía en una centrífuga con una cuba de gran diámetro con capacidad para 100 Kg. de pasta que giraba a 900 r.p.m., se le adicionaba agua la que era desalojada junto al aceite y para evacuar el orujo se debía parar la máquina y limpiarla.

### Sistema continuo de 3 fases

La centrífuga horizontal (decanter) que permite la separación sólido/líquido consiste en un tambor cilíndrico-cónico que puede girar de 3.000 a 4.000 r.p.m. y lleva en su interior un cuerpo hueco de forma similar con resalto helicoidal. Debido a una diferencial de velocidad de rotación entre el tambor y el tornillo sin fin (más rápido), el orujo sale por el extremo de la centrífuga y el agua y el aceite por el opuesto. Los mostos oleosos obtenidos (aceite con poca agua y agua con poco aceite) son separados en las centrífugas automáticas.

La separación de la fase sólida de las líquidas por centrifugación se realiza por adición de agua caliente a la pasta de aceituna. Dada la posible incidencia del volumen de agua añadida en el rendimiento en aceite, es necesario ajustar la proporción agua/pasta al equipo y a las características reológicas de las aceitunas. La proporción se determina empíricamente observando las características del aceite y del agua a la salida del decanter. A título orientativo se puede decir que varía entre 1:0.5 a 1:1.

Para reducir el consumo de agua se recicla el alpechín en el decanter con efectos positivos en el rendimiento de extracción y en el contenido fenólico del aceite mientras la velocidad del alpechín no sea tan elevada que dificulte la circulación del agua.

### **Sistema continuo de 2 fases**

La adición de agua de procesos a las pastas, como requiere el sistema de extracción con decanter de tres fases, da como resultado la eliminación de sustancias contenidas en los alpechines entre los que se encuentran especialmente los antioxidantes naturales presentes en los aceites. El reciclado de los alpechines en sustitución del agua de proceso, minimiza esta pérdida y trae aparejado, menor consumo de agua y menor volumen de efluentes residuales a evacuar.

Los resultados obtenidos por el reciclado han impulsado la introducción del decanter de dos fases. Mediante este sistema de extracción ya no es necesario añadir agua de proceso o se ha reducido a cantidades mínimas en el caso de aceitunas con bajo contenido de humedad, con la ventaja suplementaria de eliminar la evacuación de efluentes contaminantes (alpechín), pero con el inconveniente de obtener orujos muy húmedos que dificultan su almacenamiento y el secado de los mismos en el proceso de extracción de aceite de orujo por solvente.

El decanter de dos fases trabaja mejor con aceitunas de principio de temporada o recién recolectadas, lo que está relacionado con la humedad de la aceituna que es mayor al principio de temporada y con frutos con poco tiempo de almacenamiento, mejorando el rendimiento a principio de campaña e induciendo una mejor organización del trabajo en fábrica para evitar los tiempos de espera en playa de almacenamiento de la materia prima para lograr mejores rendimientos y calidad de aceite.

Se sugiere, cuando la humedad de la aceituna desciende, de adicionar agua a las pastas, o bien inyectándola en la batidora, o directamente en el decanter, en cantidades que no superen el 10-15% del peso del fruto.

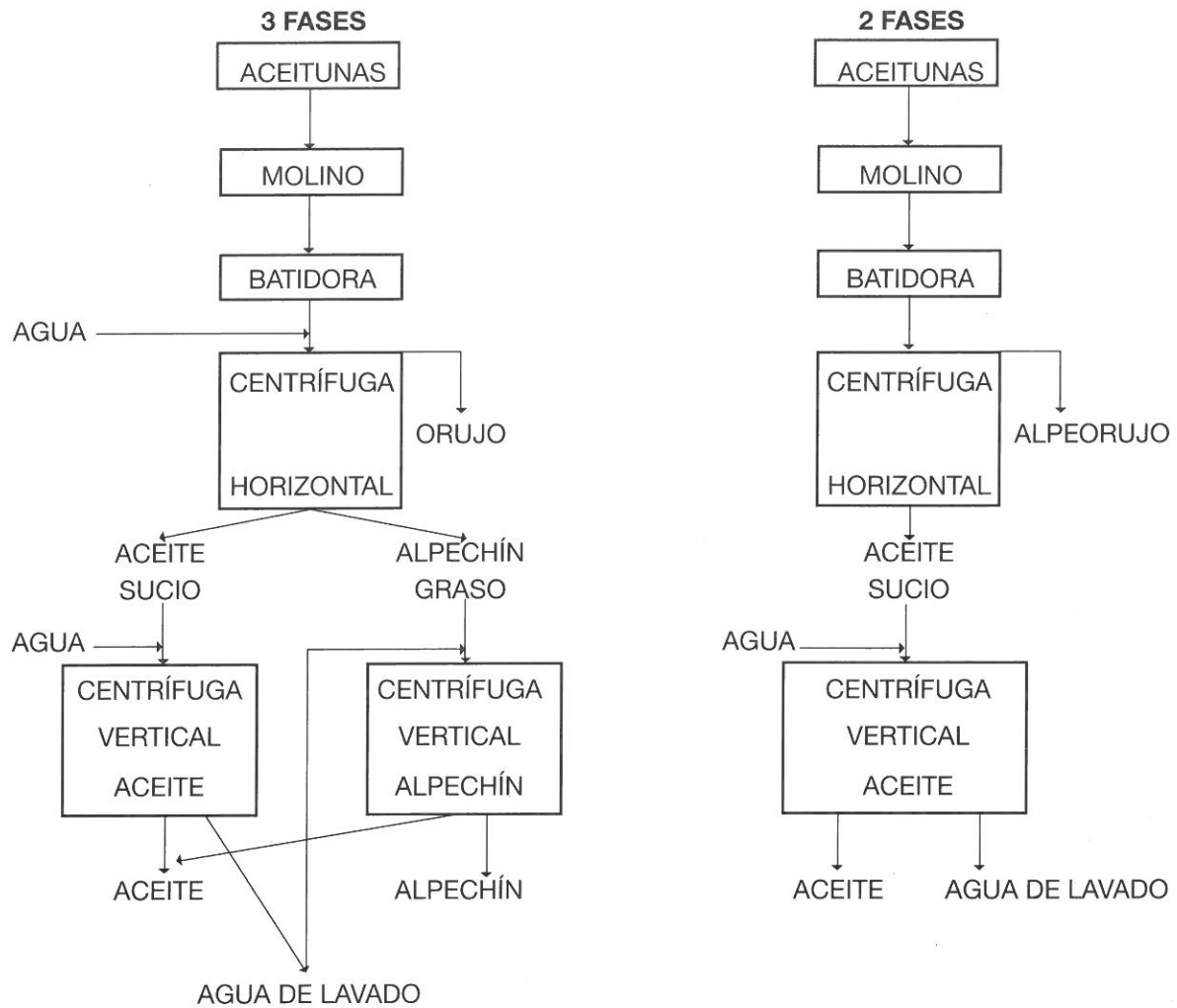
### **Comparación de los sistemas continuos de dos y tres fases**

A nivel comercial los sistemas continuos para la extracción de aceite de oliva instalados actualmente en el país son de tres fases, sin embargo, su funcionamiento implica dos condicionantes:

- 1) Producción importante de alpechín (1 a 1,2 lts. por Kg. de aceituna) con un alto poder contaminante.
- 2) Alto consumo de agua de proceso (fluidización de la pasta y lavado de aceites), evaluable en 0,7-0,8 lts. por Kg. de aceitunas.

Con el objeto fundamental de minimizar estos inconvenientes, se ha comenzado a utilizar con gran éxito en España los sistemas continuos de dos fases, dos salidas o "ecológicos", en los que el sistema básico diferenciador es el decanter, en el que se anula la salida del alpechín y se aumenta la distancia al eje del bol, de la salida del aceite.

En el gráfico siguiente se esquematizan los sistemas de elaboración en continuo de dos y tres fases.



### Ventajas del sistema de elaboración en dos fases

- 1- Ahorro de agua, al quedar suprimida la de adición al decanter, en 0,51 lts. de agua por Kg. de aceituna.
- 2- Menor inversión, en centrifugas verticales, calderas de calefacción de menor potencia.
- 3- Ahorro energético, al no tener que calentar agua de inyección al decanter, no consumir energía eléctrica en la centrifuga vertical de alpechín. Se puede estimar en \$0,002/Kg. De aceituna molturada.
- 4- Producción muy reducida de alpechín, con escaso poder contaminante, siendo esta la principal ventaja que aporta el sistema. realmente el efluente que se produce es el agua de lavado del aceite. Las características se reflejan en el cuadro siguiente.

### Valores de efluentes de sistemas continuos de dos y tres fases.

|  | Agua de lavado 2F | Alpechín 3F |
|--|-------------------|-------------|
| Producción (Kg. por 100 Kg. de aceituna) | 25,00             | 120,00      |
| Humedad %                                | 99,00             | 90,00       |
| Grasa%                                   | 0,04              | 0,45        |
| Azúcares reductores%                     | ---               | 2,80        |
| Polifenoles (p.p.m.)                     | 2500,00           | 10000,00    |
| D.Q.O (p.p.m)                            | 10000,00          | 80000,00    |

### Conclusiones:

Como se observa, la reducción de efluentes en el sistema de dos fases es del orden del 80% y la reducción del poder contaminante (D.Q.O.) del orden del 90%, siendo mucho más variable su depuración. (Instituto de la Grasa).

### Desventajas del sistema de dos fases

1- La producción de orujo en dos fases es un 60% mayor que en tres fases; toda la materia seca que en el sistema de tres fases se encuentra en el alpechín en el sistema de dos fases se localiza en el orujo (alpeorujo) y el contenido de azúcares reductores es más del doble que en el sistema de tres fases, esto unido a que los sólidos "finos" y los solubles que van en el alpechín de tres fases se encuentran en el orujo de dos fases (alpeorujo), hace que la consistencia de este sea totalmente diferente (fluida). En el siguiente cuadro se exponen las características de los orujos obtenidos por ambos sistemas.

### Valores de orujos de sistemas continuos de dos y tres fases.

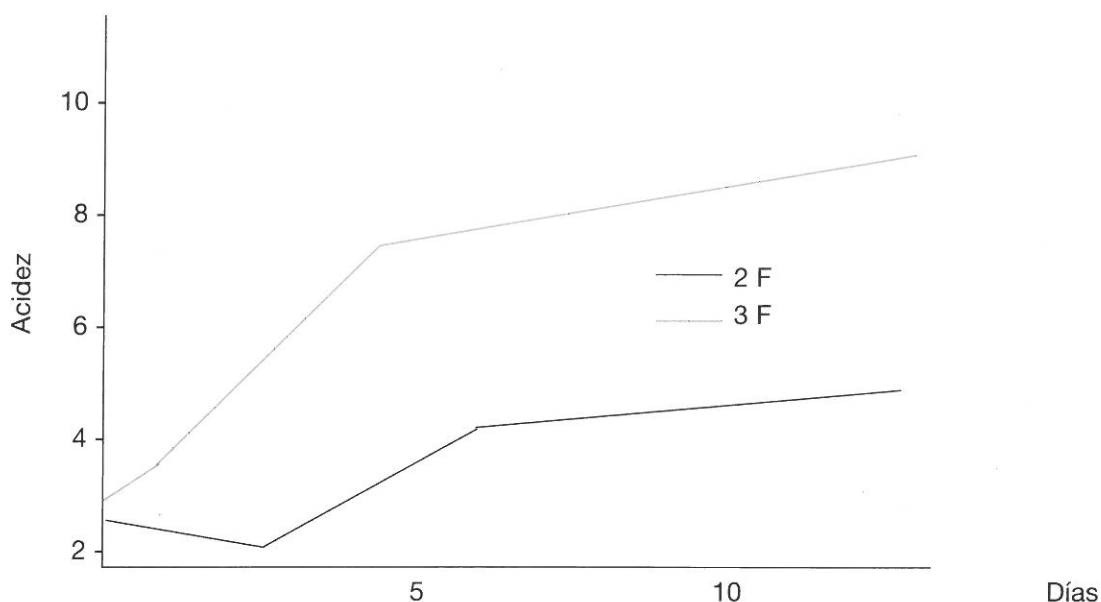
|  | 2 Fases   | 3 Fases   |
|--|-----------|-----------|
| Producción (Kg. por 100 Kg. de aceituna) | 80,00     | 50,00     |
| Humedad %                                | 55,00     | 48,00     |
| Grasa %                                  | 3,00      | 3,40      |
| Azúcares Reductores %                    | 4,80      | 2,00      |
| Polifenoles (p.p.m.)                     | 23.000,00 | 10.000,00 |
| N % (base seca)                          | 0,80      | 0,50      |
| P % (base seca)                          | 0,25      | 0,12      |
| K % (base seca)                          | 1,80      | 0,50      |

2- Escasos controles visuales en el manejo del proceso, al desaparecer determinadas referencias que en el sistema de tres fases eran esenciales (tamices de alpechines y salidas de la centrifuga vertical de alpechines).

3- Adecuación del manejo a frutos con diferentes características, al quedar suprimido un elemento regulador como el agua de inyección.

## Conclusiones:

Se debe adecuar los sistemas de almacenamiento para contener este alpeorujo en las fábricas que los procesan y que extraen aceite de orujo de oliva por solvente, con la ventaja de que el aceite contenido en el orujo de dos fases aumenta su acidez con mayor lentitud en el tiempo que el de tres fases.



Se debe mejorar las instalaciones de secado de las extractoras de aceite por solvente para secar el alpeorujo, fundamentalmente por su alto contenido de azúcares reductores que se caramelizan en dicho proceso.

Con respecto a las posibles mayores pérdidas de aceite del proceso de dos fases respecto del proceso de tres fases se utiliza el repaso del alpeorujo obteniendo un aceite de oliva con características organolépticas inferiores, pero superior a cualquier aceite de orujo de oliva.

## Consideraciones finales

Si observamos ambos procesos el sistema de dos fases tiene ventajas en lograr aceites con un grado mayor de polifenoles que origina mayor estabilidad (resistencia al enranciamiento), siendo estos compuestos sustancias antioxidantes que producen beneficios a la salud. Esto se debe a que no se utiliza agua de proceso, responsable de la disminución en los aceites de las sustancias mencionadas.

Este sistema obliga a una optimización de todo el proceso desde el árbol a la botella de aceite de oliva lo que conlleva a lograr un producto de óptima calidad que permitirá aumentar la demanda interna y lograr nuevos mercados externos.

Desde el punto de vista económico y ecológico el sistema tiene ventajas por menor necesidad de equipamiento (ahorro de una centrífuga vertical de alpechín), no necesita planta de tratamiento de efluentes ya que el agua de lavado no contiene parámetros tan elevados (2500 p.p.m de polifenoles

contra 10000 p.p.m. del alpechín de tres fases), que puede afectar si es volcado en terrenos cultivados por su fitotoxicidad.

Desde el punto de vista del ahorro de agua de proceso es una variable a tener en cuenta sobre todo que en nuestro país las zonas de producción de aceite de oliva son semidesérticas de tal manera que el agua es un recurso escaso a cuidar y optimizar su uso industrial, sobre todo que en este caso en que el 100% se convierte en un efluente industrial contaminante a tratar, con costos al sector industrial y costos sociales.

## BIBLIOGRAFÍA

“Elaboración de aceite de oliva de calidad, Obtención por el sistema de dos fases”. Manuel Hermoso Fernández, Jesús González Delgado, Marino Uceda Ojeda.

“La extracción del aceite de oliva con un decantador de dos fases resultados obtenidos”.

A Koutsaltakis

“Effect of extraction system on the quality of virgen olive oil”.

L. Giovacchino, M. Solinas, M. Miccoli.



**SISTEMAS VISUALES**

Distribuidor Oficial **3M** ARGENTINA

VENTA Y ALQUILER

**jt JOSE B. TAPIA S.R.L.**  
SERVICIOTECNICO

LAS MEJORES MARCAS

IBM - OLIVETTI - SHARP - BEE  
HEWLETT PACKARD - EPSON  
JVC - PANASONIC - LANIER

bee intel

Adolfo Calle 696 - 5519 Dorrego - Guaymallén - Mendoza  
Tel y Fax 061 312004 / 321606  
Correo electrónico (Email): [jt@cpsarg.com.ar](mailto:jt@cpsarg.com.ar)



# A Novel Membrane Reactor Design for Controlled Studies of Interacting Populations (Simulation of the Interaction Between Microorganism and Plant Suspension Cultures)

L. J. Pestchanker,<sup>1</sup> E. C. Ercoli<sup>2</sup>

Received 9 February 1996; accepted 12 December 1996

## ABSTRACT:

The design of a reactor in which two interacting cell populations (microorganisms and plants) could grow under controlled conditions was considered. In this reactor, the cell populations are separated by a membrane which permits semi-in vivo study of induced interaction specific changes in metabolism. In this paper, the interaction of suspension culture of *Nicotiana tabacum* (tobacco) and the Omycete, *Phytophthora nicotiana* was simulated. The results of the computer simulation show the induced metabolic changes as a consequence of the biological interaction. The paper introduces a novel approach in the strategy for the study of interacting population in suspension cultures. This type of system has potential applications in studies of the regulation of secondary metabolism and for the production of high values pharmaceuticals. © 1997 John Wiley & Sons, Inc. *Biotechnol Bioeng* 55: 609-615, 1997.

Keywords: interacting populations; membrane reactor; induced metabolic changes; elicitation.

## INTRODUCTION

The in vitro cultivation of plant cells has led to major advances in understanding plant cell biochemistry and in the development of improved plants. Individual strategies to maximize volumetric productivity of plants cells are: strain selection, production medium development, cell immobilization. It is critical to recognize that these strategies are interactive and their integration into a coherent process strategy is problematic (Shuler, 1994). Furthermore, it is difficult to understand the complex processes of infectious plant diseases caused by some pathogenic microorganisms.

Several biochemical responses between microorganisms and plants have been postulated. In many cases, small organic molecules are known to play an important role in the interaction process. In some

---

N. de R. Es ésta la reproducción del paper publicado por Jhon Wiley & Sons, Inc. en el Vol. 55, N° 4, de agosto de 1997 de la revista *Biotechnology and Bioengineering*.

1. Centro Regional de Estudios Avanzados, Avenida del Fundador, Puente Blanco 5700, San Luis, Argentina;

2. Facultad de Ingeniería Centro Universitario, C.C. 405, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza 5500, Argentina; Telephone: 061234489; fax 061380120; e-mail: eercoli@raiz.uncu.edu.ar

cases, toxic substances are used in an offensive action by the microorganism, while in other cases, inhibitory substances are released by the plant as defensive substances (Ueno, 1990). Elicitation is the response of many plants to an invasion by a pathogenic or non pathogenic microorganism (fungus, bacterium, or virus). Upon elicitation, the plant cells accumulate phytoalexins, which are low molecular weight compounds that inhibit the growth of microorganisms (Albersheim, 1978; Apostol, 1989; Ayers, 1976; Knogge, 1987). Most of the work done on these interacting populations has been focused on the interaction itself by exposing plant cell suspension to microbes cell wall extracts of fungi or bacteria (Apostol 1989; Bolwel, 1987; Croteau, 1987; Dudley, 1986; Ebel, 1976; Eilert, 1984; Rokem, 1984; Wijnsna, 1985). Elucidation of the molecular interaction of phytopathogenic or nonphytopathogenic microorganisms and plants would be greatly facilitated if plant cell suspension and living microorganisms could be co-cultured in a model experimental system.

The need for a controlled experimental system is specially important in biochemical and biological studies aimed at investigating how plant-microbe interaction can modify various metabolic processes. However, to develop a bioreactor system capable of culturing both plant cells and microbes, it is necessary to consider the differences between these cell types. For instance, microbial growth and oxygen consumption rates can be orders of magnitude greater than those for plant cells, while plant cells are considerably more sensitive to shear effects than microbes (Pestchanker et al., 1996). The common observation that plant cell cultures can be contaminated by microbes illustrates the difficulty of controllably co-culturing plant cells with microorganisms.

The purpose of this paper is to consider a membrane bioreactor for the controllable co-cultivation of two interacting cell populations (microorganisms and plants). Such membrane reactors have been used to study interacting populations of microorganisms and to study elicitation processes (Drioli, 1985; Finn, 1986). This type of bioreactor system has potential applications in studies of the regulation of secondary metabolism and for the production of high values pharmaceuticals (Hirasuna et al., 1996 Pestchanker, 1996, Srinivasan, 1995). Specifically, a mathematical model was developed to describe metabolic changes induced by the interaction between plant cells and microorganisms.

## MATERIAL AND METHODS

### Cell Characteristics and Cell Interaction

The model is based on the interactions of cell suspension cultures of *Nicotiana tabacum* L ( $X_A$ ) and *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *parasitica* ( $X_B$ ). *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *parasitica* is a plant pathogen and produces an extracellular elicitor (Albersheim, 1978; Ayers, 1976). This elicitor was demonstrated to be a polysaccharide of molecular weight 10000 with a composition and structure similar to that of the base insoluble glucan of the mycelia walls of the microorganism (Albersheim, 1978; Ayers, 1976).

Cell cultures of *Nicotiana tabacum* L. Produce farnesyl diphosphate (FPP) as an intermediate of the isoprenoid biosynthetic pathway. Vögeli and Chappel (1988) have studied the regulation of isoprenoid metabolism in plants and reported that FPP ( $P_1$ ) is an important and potential regulatory branch point in isoprenoid biosynthetic pathway. Under normal (uninduced) conditions, FPP is consumed mostly for sterol ( $P_3$ ) biosynthesis, with the remaining portion being partitioned between ubiquinone (and other phenyl lipid moieties) and sesquiterpenoids ( $P_2$ ) biosynthesis (Bolwel, 1987) (fig.1).

A dramatic accumulation of sesquiterpenoids has been observed in plant cells after elicitation by *Phytophthora* cell wall extract (Chappell, 1987; Gershenzon, 1989M -Vögeli 1988). Chappell and co-workers suggested that the metabolic changes in tobacco cell suspension cultures upon addition of glucan ( $P_A$ ) (*Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *parasitica*'s elicitors from cell walls), occurred by a coordinated increase in the 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase and sesquiterpene cyclase and a decrease in squalene synthetase enzyme activities.  $P_4$  increase enzyme activities of metabolic step from S to  $P_1$  and from  $P_1$  to  $P_2$  and decrease from  $P_1$  to  $P_3$  (figs. 2, 2<sub>d</sub>).

## Bioreactor Design

A two-chambered membrane reactor design is proposed. If a 0.1  $\mu\text{m}$  pore size membrane is used, then only nutrients and metabolites ( $S$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  and  $P_4$ ) can cross freely through the membrane. Thus this membrane bioreactor separates the cell population while permitting the exchange of metabolites across the membrane (Fig. 3). Basically, the control of interaction is reached through a net interchange of media flowing alternatively in both directions across the membrane. The convective flow of media across the membrane can be controlled by changing the pressures in both compartments. Also, membrane plugging can be prevented by using a large cross flow tangential to the surface of the membrane. Since the flow normal to the filter is small relative to the cross flow, the accumulation of cells at the membrane can be minimized.

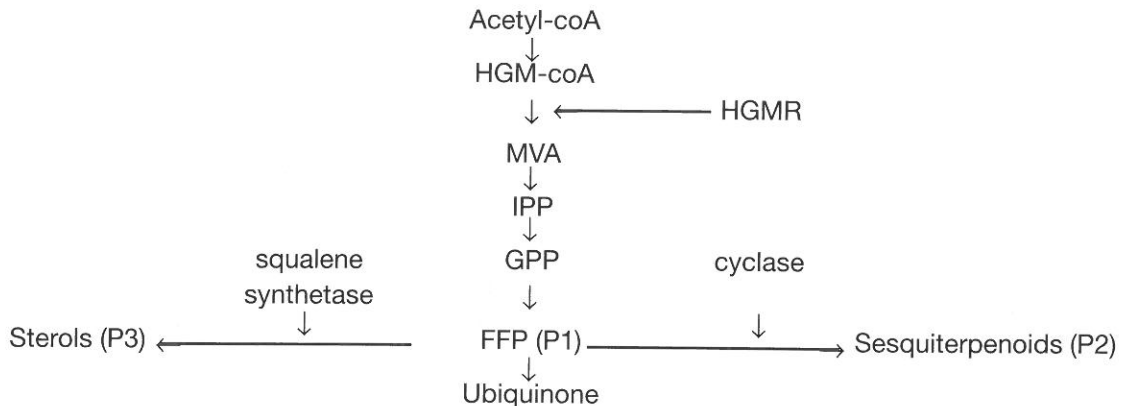


Figure 1. Isoprenoid biosynthetic pathway from *N. ταβαχυμ*.

Balance Equations (Bailey, 1986; Sinclair, et al. 1987)

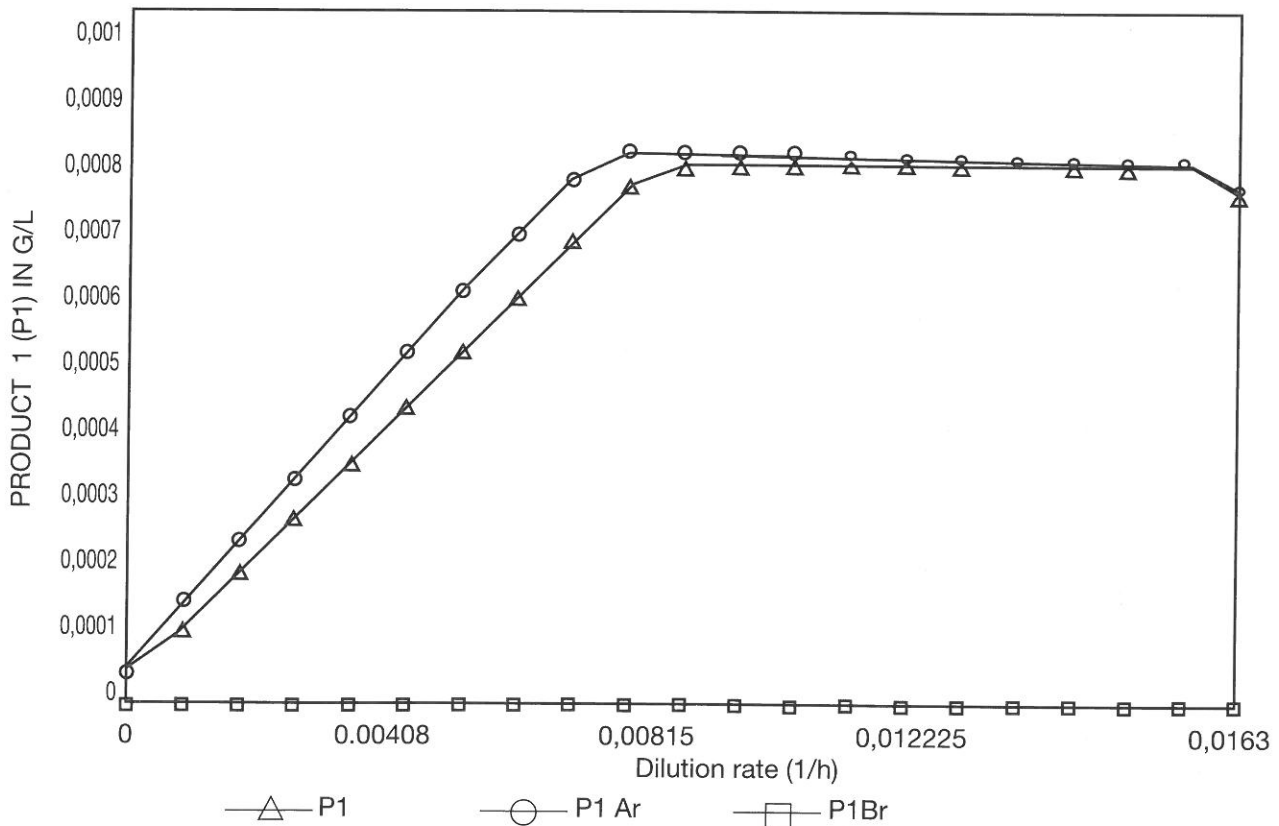


Figure 2a. Product concentration vs. dilution rate, under bath interactive and non-interactive growth conditions.

**Balance Equations** (Bailey, 1986; Sinclair, et al 1987)

Balance on Cells (1)

Side A

$$D_{Af} \cdot X_A - D_A \cdot X_A + m_A \cdot X_A - k_{dA} \cdot X_A = 0$$

Side B

$$D_{Bf} \cdot X_B - D_B \cdot X_B + m_B \cdot X_B - k_{dB} \cdot X_B = 0$$

Considerations:  $X_{Af} = 0$  and  $X_{Bf} = 0$

Balance on Death Cells (2)

Side A

$$D_A \cdot X_{dAf} - D_A \cdot X_{dA} + k_{dA} \cdot X_A = 0$$

Side B

$$D_B \cdot X_{dBf} - D_B \cdot E_{dB} + k_{dB} \cdot X_B = 0$$

Considerations:  $X_{dAf} = 0$  and  $X_{dBf} = 0$

Balance on Substrate (3)

Side A

$$D_A \cdot S_f - D_A \cdot S_A -$$

$$\left[ \frac{m_A}{Y_{XA/SA}} + \frac{(a_1 \cdot m_A + b_1)}{Y_{PI/SA}} \cdot \frac{(k_{E1} + P_{4A})}{k_{E1}} \right] \cdot X_A + D_{AB} \cdot (S_B - S_A) = 0$$

Side B

$$D_B \cdot S_f - D_B \cdot S_B -$$

$$\left( \frac{m_B}{Y_{XB/SB}} + \frac{(a_4 \cdot m_B + b_4)}{Y_{P4/SB}} \right) \cdot X_B + D_{AB} \cdot (S_A - S_B) = 0$$

Balance on Product ( $P_1$ ) (4)

Side A

$$D_A \cdot P_{1Af} - D_A \cdot P_{1A} +$$

$$\left[ a_1 m_A + b_1 \cdot \frac{(K_{E1} + P_{4A})}{K_{E1}} - \frac{(a_2 \cdot m_{max2} \cdot P_{1A} + b_2)}{(k_{P1/P2} + P_{1A})} \right]$$

$$\cdot \frac{(k_{E2} + P_{4A})}{k_{E2}} - \frac{(a_3 \cdot m_{max} \cdot P_{1A} + b_3)}{(k_{P1/P3} + P_{1A})} \cdot \frac{(k_{13})}{(k_{13} + P_{4A})} \cdot X_A + D_{AB} \cdot (P_{1B} - P_{1A}) = 0$$

Side B

$$D_B \cdot P_{1Bf} - D_B \cdot P_{1B} + D_{AB} \cdot (P_{1A} - P_{1B}) = 0$$

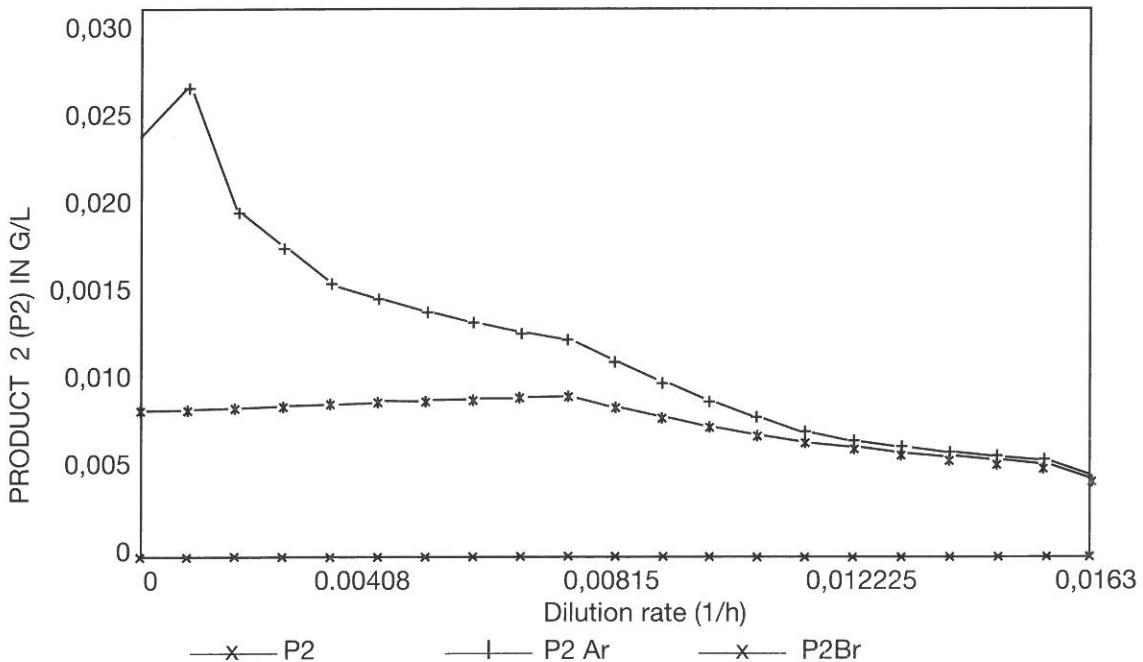


Figure 2b. Product concentration vs. dilution rate, under both, interactive and non-interactive growth conditions.

Considerations:  $P_{1Af} = 0, P_{1Bf} = 0$

$$\frac{(k_{13})}{(k_{13} + P_{4A})} \cdot X_A + D_{AB} \cdot (P_{3B} - P_{3A}) = 0$$

Balance on Product ( $P_2$ ) (5)

Side A

$$D_A \cdot P_{2Af} - D_A \cdot P_{2A} + \frac{[(\alpha_2 \cdot \mu_{\max,2} \cdot P_{1A} + \beta_2) / (k_{P1/P2} + P_{1A})]}{Y_{P1/P2}} \cdot \frac{(k_{E2} + P_{4A})}{k_{E2}} \cdot X_A + D_{AB} \cdot (P_{2B} - P_{2A}) = 0$$

Side B

$$D_B \cdot P_{2Bf} - D_B \cdot P_{2B} + D_{AB} \cdot (P_{2A} - P_{2B}) = 0$$

Considerations:  $P_{2Af} = 0, P_{2Bf} = 0$

Balance on Product ( $P_3$ ) (6)

Side A

$$D_A \cdot P_{3Af} - D_A \cdot P_{3A} + \frac{[(\alpha_3 \cdot \mu_{\max,3} \cdot P_{1A} + \beta_3) / (k_{P1/P3} + P_{1A})]}{Y_{P1/P3}} \cdot X_A + D_{AB} \cdot (P_{3B} - P_{3A}) = 0$$

Side B

$$D_B \cdot P_{3Bf} - D_B \cdot P_{3B} + D_{AB} \cdot (P_{3A} - P_{3B}) = 0$$

Considerations:  $P_{3Af} = 0, P_{3Bf} = 0$

Balance on Product ( $P_4$ )

Side A

$$D_A \cdot P_{4Af} - D_A \cdot P_{4A} + D_{AB} \cdot (P_{4B} - P_{4A}) = 0$$

Side B

$$D_B \cdot P_{4Bf} - D_B \cdot P_{4B} + (\alpha_4 \cdot \mu_B + \beta_4) \cdot X_B + D_{AB} \cdot (P_{4A} - P_{4B}) = 0$$

Considerations:  $P_{4Af} = 0, P_{4Bf} = 0$

Operating Variables

$$Sf = 20 \text{ g/l}$$

$$D_A = 1.63 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1} \text{ to } 1.63 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

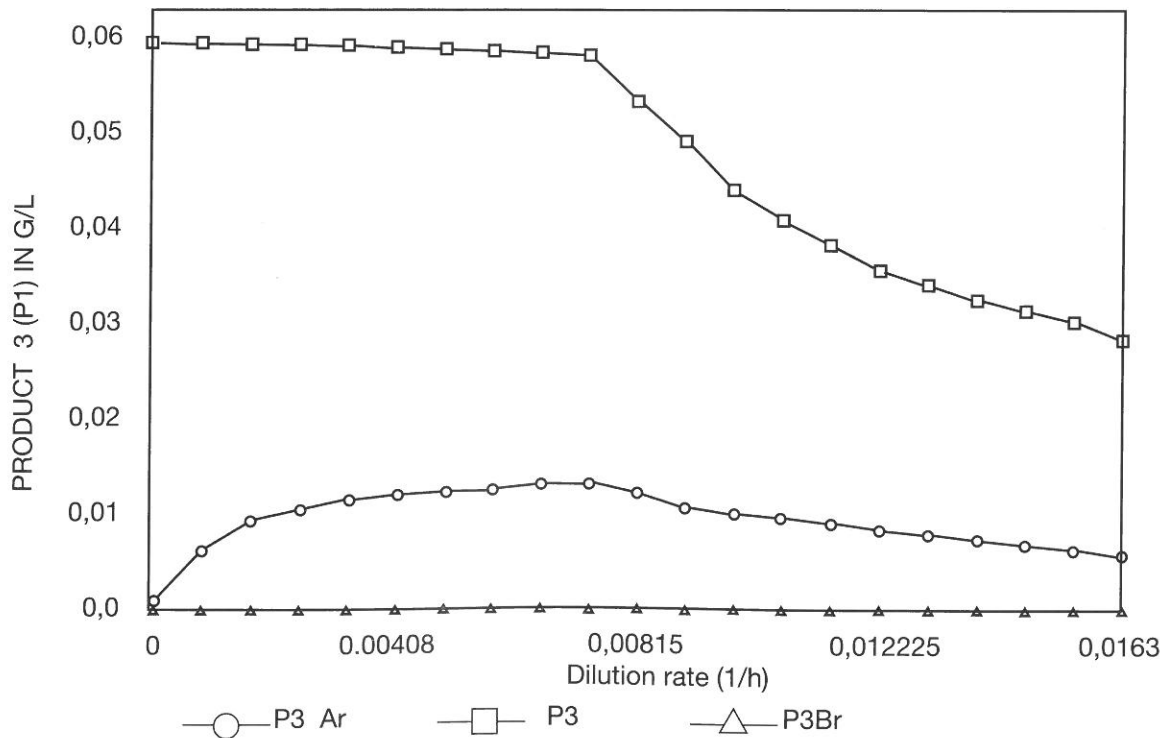


Figure 2c. Product concentration vs. dilution rate, under both, interactive and non-interactive growth conditions.

$$D_B = 2.4 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$D_{AB} = 2.075 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$$

### Kinetics Parameters

$$\mu_{\max A} = 1.66 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$\mu_{\max 2} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$K_{dA} = 3.33 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$K_{sA} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ g/l}$$

$$K_{P1/P2} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ g product 1/g product 2}$$

$$K_{E1} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ g/l}$$

$$K_{E2} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ g/l}$$

$$\alpha_1 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ g product / g. cell h}$$

$$\alpha_2 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ g product/ g cell h}$$

$$\alpha_3 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ g product/ g cell h}$$

$$\alpha_4 = 1 \cdot 10^{-1} \text{ g product/ g cell h}$$

$$\mu_{\max B} = 2.5 \cdot 10^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$\mu_{\max 3} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$K_{dB} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$K_{sB} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ g/l}$$

$$K_{P1/P3} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ g product 1/ product2}$$

$$K_{i3} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ g/l}$$

$$b_1 = 0 \text{ g product/g cell}$$

$$b_2 = 0 \text{ g product/g cell}$$

$$b_3 = 0 \text{ g product/g cell}$$

$$b_4 = 0 \text{ g product/g cell}$$

### Stoichiometry Parameters

$$Y_{XA/SA} = 4 \cdot 10^{-1} \quad Y_{XB/SB} = 4 \cdot 10^{-1}$$

g cell/g substrate    g cell/g substrate

$$Y_{P1/SA} = 1 \cdot 10^{-1}$$

g product/g substrate

$$Y_{P4/SB} = 9.5 \cdot 10^{-1}$$

g product/g substrate

$$Y_{P1/P2} = 8.5 \cdot 10^{-1}$$

g product 1/g product 2

$$Y_{P1/P3} = 8.5 \cdot 10^{-1}$$

g product /g prod. 3

## Nomenclature

|   |  |
|---|--|
| $D_A$ and $D_B$                         | dilution rate on sides A and B                   |
| $D_{AB}$                                | dilution rate through membrane                   |
| $K_{sA}$ and $K_{sB}$                   | Michaelis constant of specie A and B             |
| $K_{dA}$ and $K_{dB}$                   | death rate constant of specie A and B            |
| $P_{1A}$ $P_{2A}$ $P_{3A}$ $P_{4A}$     | product concentrations on side A (g/l)           |
| $P_{1AF}$ $P_{2AF}$ $P_{3AF}$ $P_{4AF}$ | inlet product concentrations on side A (g/l)     |
| $P_{1B}$ $P_{2B}$ $P_{3B}$ $P_{4B}$     | Product concentrations on side B (g/l)           |
| $P_{1BF}$ $P_{2BF}$ $P_{3BF}$ $P_{4BF}$ | inlet product concentrations on side B (g/l)     |
| $S_A$ and $S_B$                         | limiting substrate concentration on side A and B |
| $S_r$                                   | inlet limiting substrate concentration           |
| $X_A$ and $X_B$                         | cell concentration of specie A and B (g/l)       |
| $X_{AF}$ and $X_{BF}$                   | inlet cell concentration of specie A and B (g/l) |

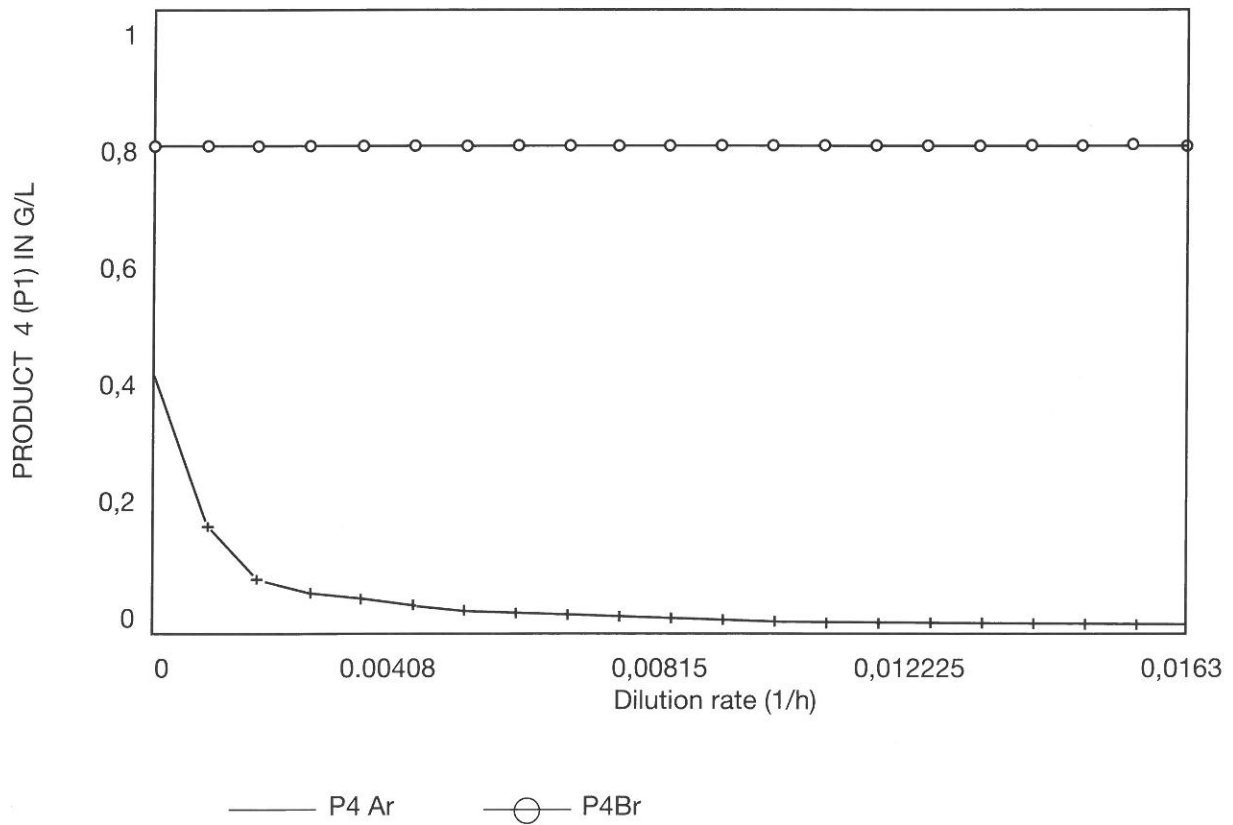


Figure 2d: Product concentration vs. dilution rate, under both, interactive and non-interactive growth conditions.

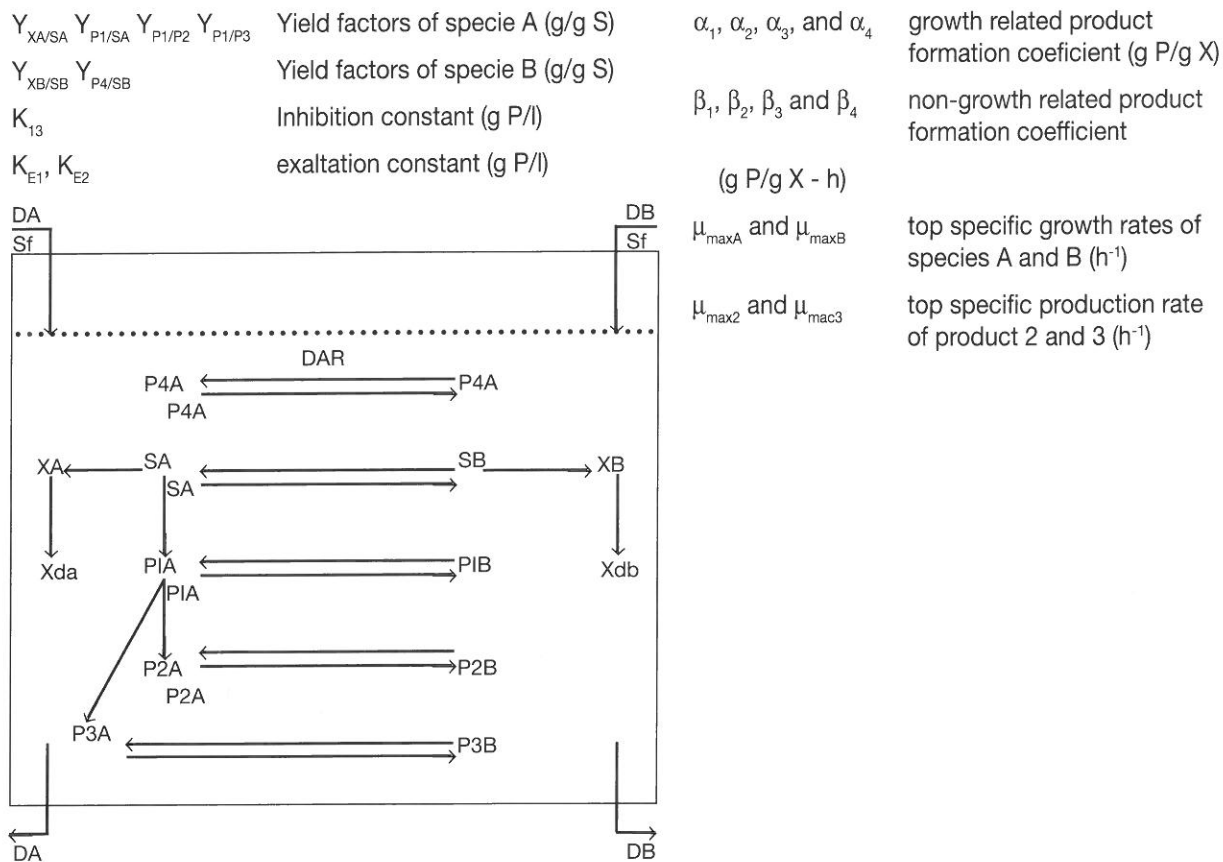


Figure 3. Schematic diagram of the reactor.

## Conclusions

Both microorganism and cell plant populations can be individually controlled by the proposed reactor design. Specifically, it is possible to independently control the growth rate of the population by modifying the dilution rate in each compartment. Also, various types of plant cultures (e.g. suspension culture immobilized and organ culture) can be studied in the plant cell compartment.

Furthermore, since it is possible to alter the flow rate through the membrane, it is possible to alter the concentration of metabolites experienced by each population and therefore to alter the interaction between the two populations. Elucidation of the kinetic parameters of the molecular interaction between microorganisms and plants could be obtained by using different dilution rates through membrane and determining metabolite concentrations in both compartments.

As an industrial system for the production of certain metabolites that are induced by pathogens, it might be more efficient just to add the fungal elicitor to the plant cell suspension culture. Productivity could be increased if more than one elicitor are added.

Contrary to a system in which isolated elicitors are added to plant cell suspension culture, it would not be possible to prove, using the described system in this paper, which would be the true biological elicitor. However, the power of this novel reactor design may be not only to produce elicitation effect, but also could be helpful for studying nutrient exchange between pathogens and hosts. It would be possible to identify new compounds with effect on the interaction by extracting them from the culture and using them in a single reactor or by changing the flow rate through the membrane.

We thank Dr. Gregory F. Payne for helping us to edit this paper and Mr. F. Pestchanker for his technical assistance in the computer simulation process.



## References

- Albersheim, P., Valent, S. 1978. Host-pathogen interactions in plants. The Journal of Cell Biology 78: 627.
- Apostol I., Low P. S., Heinstejn P. 1988. Effect of age of cell suspension culture on susceptibility to a fungal elicitor. Plant Cell Rep. 692.
- Apostol I. Heinstejn, P., Low. P. S. 1989. Rapid stimulation of an oxidative burst during elicitation of cultured plant cells. Plant Physiol. 90: 109.
- Ayers, A. R. et al. 1976. Host-pathogen interaction. Plant Physiol. 57:751.
- Bailey, J. E., Ollis, D. 1986. Biochemical engineering fundamentals. 2nd. edition. McGraw Hill Book Company.
- Bolwel, G.P. 1987. Planta. 185
- Chappell, J., Nable, R. 1987. Induction of sesquiterpenoid biosynthesis in tobacco cell suspension cultures by fungal elicitor. Plant Physiol. 85: 469
- Croteau. R., Gurbekwitz, S., Johnson, M. A., Fisk, H.J. 1987. Biochemistry of oleoresinosis. Plant Physiol. 1123.
- Dudley, M. W., Dueber, M.; West, A. 1986. Biosynthesis of the macrocyclic diterpene casbene in castor bean. Plant Physiol. 81:335.
- Drioli, E. 1985. Membrane processes in the separation, purification and concentration of bioactive compounds from fermentation broths. ACS symposium series 314.52.
- Ebel, J., Ayers. A., Albersheim, P. 1976. Host-pathogen interaction. Plant Physiol. 57:775.
- Eilert, U., Ehmke, A., Wolters, B. 1984. Elicitor-induced accumulation of acridone alkaloid exosides in ruta graveolens suspension cultures. Planta Medica. 508
- Finn, R. K., Ercoli, E. 1986. A membrane reactor for simultaneous production of anaerobic single cell protein and methane. ACS Symposium series 314.43
- Gershenzon, J., Maffei, M., Croteau, R. 1989. Biochemical and histochemical localization monoterpene biosynthesis in the glandular trichomes of spearmint (*mentha spicata*). Plant Physiol. 89: 1351.
- Hirasuna, T., Pestchanker, L. J., Srinivasan, V., Shuler, M. L. 1996. Taxol production in suspension cultures of *Taxus baccata*. Pl. Cell tis. Org. Cult. 44:95.
- Knogge, W., Kombrink, E., Schmelzer, E., Halhbrock, K. 1987. Occurrence of phytoalexins and other putative defense-related substances in uninfected parsley plants. Planta 171: 279.
- Payne, G.T. 1987. Large Scale Cell Culture Technology, 195.
- Pestchanker, L. J., Moser, S. C., Shuler, M.L. 1996. Kinetics of taxol production and nutrient use in suspension cultures of *Taxus* and Wilson-type bioreactor. Enz. Microb. Technol.
- Rokem, J. S., Schwarzberg, J., Goldberg, I. 1984. Autoclaved fungal mycelia increase diosgenin production in cell suspension culture of *dioscorea deltoidea*. Plant Cell Rep. 3: 159.
- Shuler, M.L. 1994. Strategies for improving productivity in plant cell, tissue, and organ culture in bioreactors. Personal communication.
- Sinclair, C. G., Kristiansen, B. 1987. Fermentation kinetics and modeling. Edited by J. D. Bu Lock, Open University Press, Milton Keynes and Taylor Francis, New York- Philadelphia.
- Srinivasan, V., Pestchander. L. J., Moser, S., Hirasuna, T. J., Taticek, R. A., Shuler, M. L. 1995. Biotechnol. Bioeng. 47:666.
- Ueno, T. 1990. Secondary metabolites related to host selection by plant pathogenic fungus. Pure and Appl. Chem. 62 (7): 1347.
- Vögeli, U., Chappell, J. 1988. induction of sesquiterpene cyclase and suppression of squalene synthetase activities in plant cell cultures treated with fungal elicitor. Plant Physiol. 88: 1291.
- Wijnsma, R., Go, J.T.K.A., van Weerden. I.N. Harkes, P.A.A., Verpoorte, R., Svendsen B. 1985. Anthraquinones as phytoalexins in cell and tissue cultures of *Cinchona spec*. Plant Cell Rep. 4: 241.

Se terminó de imprimir  
el 26 de setiembre de 1998  
en



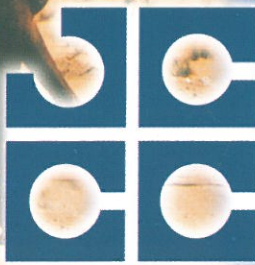
**INCA EDITORIAL**  
**Cooperativa de Trabajo Ltda.**  
Ituzaingó 3073 - 5500 Mendoza  
Telefax 54-61 - 305595-307405  
E.mail: [incagraf@slatino.com.ar](mailto:incagraf@slatino.com.ar)



Nuestro progreso ha sido constante a lo largo de décadas.

Obras hidroenergéticas, líneas de transmisión eléctrica, acueductos, obras para riego, caminos, puentes y autopistas, gasoductos, desarrollos mineros, obras portuarias y de arquitectura.

Nuestra participación en proyectos abarca desde obras tradicionales hasta proyectos de envergadura internacional.



**JOSE CARTELLONE**

**CONSTRUCCIONES CIVILES S.A.**

Hemos acumulado una sólida experiencia en el campo de las obras civiles y hemos formado un destacado grupo humano capaz de gerenciar los proyectos de infraestructura más importantes dentro de la especialidad, contando con el apoyo de los mejores recursos tecnológicos disponibles.

Por todo esto hoy estamos presentes y con crecimiento sostenido en Argentina, Brasil, Bolivia, Costa Rica, Chile, Ecuador, El Salvador, Golfo Pérsico, Honduras, Panamá, Perú y Trinidad y Tobago.



