# FACTORES ECOLOGICOS QUE AFECTAN LA NODULACION DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS EN MEJORAMIENTOS EXTENSIVOS

*Jorge Coll*(*)

## INTRODUCCION

En el presente artículo se analizan algunos aspectos ecológicos de la implantación de leguminosas en campo natural, a la luz de la experiencia acumulada a partir de los ensayos de evaluación de especies y variedades, instalados anualmente en dos localidades del área de cristalino entre 1988 y el presente año.

La información de los ensayos citados se encuentra parcialmente publicada *(Risso, Coll y Zarza, 1990)*. Se emplea además información generada en Australia y en particular en California (EEUU) para ilustrar los efectos de algunos factores ecológicos y sus interrelaciones en la nodulación de leguminosas y especialmente en trébol subterráneo.

## LA EXPERIENCIA DE LOS ULTIMOS AÑOS

En la *Figura 1* se pueden apreciar los porcentajes de plantas verdes y desarrolladas (efectivamente noduladas) y plantas cloróticas o rojizas y muy pequeñas (sin nodulación efectiva) en una evaluación realizada en setiembre de 1988, de ensayos sembrados en mayo de 1988 y resembrados en julio en Cerro Colorado (Florida) y Caballero (Durazno). La resiembra fue motivada por el reducido porcentaje de plantas verdes de varias de las especies sembradas. La gran mayoría de las plántulas sin nodulación efectiva tanto de siembra como se resiembra, murieron antes de la evaluación que se presenta, por lo que ésta subestima la gravedad de la situación.

Como puede apreciarse, algunas especies, a pesar de las características adversas del año, que fue particularmente frío y seco, se instalaron bien, aunque su desarrollo era escaso. En este grupo se encuentra el trébol blanco (con inoculante comercial), el *L. corniculatus*, el *L. tenuis* (ambos con el inoculante comercial para *L. corniculatus)* y el *L. subbiflorus* inoculado masivamente con suelo de un cultivo de la misma especie (se empleó suelo a razón de varios miles de kg/ha).

El inoculante experimental cepas 1 y 4 (Lab. Mic. CHPA) para *L. subbiflorus* no generó nodulación efectiva. El M. truncatula, inoculado con inoculante comercial para alfalfa, presentó una muy baja proporción de plantas verdes. En ensayos posteriores en ambiente controlado, el inoculante comercial para alfalfa evidenció problemas semejantes en la nodulación de alfalfa *(Coll, 1989)*.

En cuanto al trébol subterráneo, una proporción ampliamente mayoritaria de las plántulas que emergieron a lo largo del invierno presentaron nodulación exclusivamente inefectiva y fueron muriendo.

En esa oportunidad se empleó inoculante experimental cepa 2 (Lab. Mic. CHPA). En la resiembra se aplicó una cantidad 200 veces superior a la recomendada de inoculante, en las parcelas de trébol subterráneo de bloque inferior. Las evaluaciones de plantas de trébol subterráneo efectivamente noduladas evidenciaron importantes diferencias entre éste y los otros 3 bloques, denotando entonces una respuesta a la dosis de inoculación.

Resultados semejantes en términos de plantas cloróticas y rojizas de trébol subterráneo se obtuvieron en los ensayos de 1989 y en menor medida en 1990 en siembras de mayo en cobertura en Cerro Colorado y Caballero. La situación fue más extrema en el ensayo sembrado en cobertura en 1988 sobre un suelo de origen basáltico en Artigas, observándose la virtual ausencia de plantas verdes de trébol subterráneo. Las raíces presentaron numerosísimos nódulos de carácter inefectivo que le daban el aspecto de un rosario *(Figura 2)*. Ello estuvo asociado a la abundancia de *Trifolium polymorphum*, el que si bien era inicialmente poco notorio, respondiendo a la fertilización fosfatada y al alivio del pastoreo, posteriormente cubrió todas las parcelas de ensayo (en asociación con *Adesmia bicolor)*. Este

(*)Ing. Agr. MSc. INIA La Estanzuela

factor, junto con la persistencia de la sequía, determinó la pérdida del experimento. En cambio la situación de los ensayos con siembra convencional en suelos arenosos de Tacuarembó fue bastante mejor *(Olmos, 1990)*, observándose altos porcentajes de plantas verdes. Estos resultados sugieren una fuerte interacción del tipo de nodulación logrado con la población de rizobios inefectivos presente en el suelo y posiblemente también con el método de siembra.

Es de resaltar que en los casos en que el trébol subterráneo alcanzó a semillar, la situación de las resiembras naturales en los años sucesivos mejoró progresivamente y en el presente otoño ya no se vieron plántulas rojizas *(Figura 3)*. Ello obedecería a una progresiva colonización del suelo por parte de rizobios efectivos derivados del inoculante. La evolución en el suelo de la cepa original hacia formas más competitivas con la población nativa inefectiva, y mejor adaptadas a la sobrevivencia en ese suelo en particular, no puede descartarse.

Por otra parte, de acuerdo a información que presentaremos más adelante, es posible que la época temprana en que comienzan a germinar las semillas en las resiembras naturales, en comparación con siembras de mayo, explique en parte el incremento de la nodulación efectiva.

La adopción generalizada de mejoramientos de campo natural supone la disponibilidad de un paquete tecnológico que permita lograr que la mayoría de las plántulas de las leguminosas se instalen tanto en su siembra como en las sucesivas resiembras naturales. La información presentada muestra que ese objetivo básico no ha sido alcanzado aún para algunas de las especies en estudio.

A continuación se presenta información que ilustra acerca de algunas de las posibles causales de los problemas de nodulación de trébol subterráneo y se proponen hipótesis que contribuirán a orientar los trabajos de investigación y selección de cepas.

## COMPETENCIA CON RIZOBIOS INEFECTIVOS

La problamática de las especies introducidas del género Trifolium es bien conocida. *Date (1965)* da cuenta de la presencia en los suelos de Uruguay de una población de rizobios nativa asociada a *T. polymorphum*. Todos los aislamientos de la misma resultaron inefectivos y parasitarios en trébol blanco y trébol subterráneo.

Esta población compite con los rizobios del inóculo por el limitado número de sitios de infección en un proceso que depende de: las proporciones relativas de ambos tipos de rizobios presentes, la capacidad competitiva relativa de los mismos y la influencia que la planta tiene en esa competencia. Por último no debemos olvidar que la competencia ocurre en un medio ambiente que es el suelo y que sus propiedades, así como factores más variables como la temperatura del mismo, pueden teóricamente afectar la competencia entre cepas.

De esta competencia se pueden obtener diversos resultados:

a) los rizobios inefectivos pueden excluir totalmente la nodulación efectiva, en cuyo caso, en un suelo con bajo nivel de N y en competencia con una vegetación establecida y eficiente en la absorción de ese N, las plántulas agotan sus reservas y mueren en corto plazo.

b) la cepa del inoculante logra producir una nodulación temprana (en la corona) y la nodulación inefectiva es parcial o totalmente reprimida.

c) en siembras con suelo removido (preparación convencional, excéntrica o zapata) existe una disponibilidad de N que permite a la leguminosa sobrevivir y lograr cierto crecimiento radicular y eventualmente en forma tardía ser infectada por rizobios efectivos y desarrollar algunos nódulos funcionales. Una planta con nodulación mixta (efectiva e inefectiva) probablemente fijará N por debajo de su potencial.

De lo antedicho surge la importancia que tiene el número de rizobios del inoculante presentes en el entorno de la semilla en el momento de la germinación. Los números factores que contribuyen a alterar ese número son de importancia decisiva en la implantación de tréboles.

Ilustrando el efecto del número de rizobios efectivos, el *Cuadro 1* adaptado por *Holland (1970)*, muestra el tipo de nodulación y rendimientos del trébol subterráneo en un suelo de California en el que prosperan leguminosas nativas y que presenta rizobios nativos inefectivos en trébol subterráneo.

Fue necesario alcanzar 7 x $10^4$ rizobios por semilla para lograr un alto porcentaje de nódulos en la corona (efectivos) y correlativamente buenos rendimientos de la leguminosa. Debemos señalar que los resultados dependen de las condiciones del ensayo y en particular de las características de la cepa del inoculante, que en este ensayo fue la cepa R, cepa comercial en uso en California en ese momento.

En un ensayo sobre dosis de inoculación en trébol subterráneo, sembrado con zapatas en Solís (Lavalleja), se obtuvo respuesta en el primer

corte a dosis crecientes de inoculante. El número de rizobios por semilla a partir del cual ya no hubo respuesta, fue 5.8 x $10^4$ *(Lab. Mic. CHPA, 1987).*

El uso de dos paquetes de inoculante comercial en 25 kg de semilla proporcionaría 2.5 x $10^5$ rizobios por semilla de trébol subterráneo. Este cálculo supone un inoculante con la concentración mínima inicial establecida para su aprobación (1 x $10^9$ rizobios/g) *(Lab. Mic. CHPA, 1987).*

La citada cantidad de rizobios por semilla es alta, pero debe tenerse en cuenta que disminuirá rápidamente a partir de la inoculación de acuerdo a su exposición a diversas situaciones (ver apéndice).

Otro ensayo efectuado en California *(Jones et al., 1978),* nos muestra la importancia de la capacidad competitiva de las cepas de los inoculantes. La *Figura 4* presenta la acumulación de N por parte de plantas de trébol subterráneo (cv. Woogenellup) cultivadas en arena con solución nutritiva sin N cuando son inoculadas con diferentes cepas, ya sea en arena estéril o conteniendo una mezcla de rizobios nativos inefectivos que reproduce las condiciones de un suelo local. Como puede apreciarse, en presencia de rizobios inefectivos la acumulación de N es reducida en todos los casos.

La cepa R resultó ser muy pobre en competencia con rizobios inefectivos, a pesar de ser una de las más eficientes en su ausencia. Las cepas X16 y X17, aun cuando en un ensayo convencional en medio agarizado o arena serían descartadas, son las más productivas bajo condiciones más realistas. Por este motivo, existiendo poblaciones de rizobios inefectivos en el suelo, los ensayos para selección de cepas para trébol subterráneo efectuados sin competencia, solamente son útiles para un descarte preliminar de cepas muy poco efectivas. Evaluaciones posteriores deberían ser efectuadas en presencia de poblaciones inefectivas de rizobios típicas de los suelos a los que está destinado el inoculante. Esas evaluaciones deberán estudiar también el comportamiento de la resiembra natural.

Se debe tener en cuenta que en los años siguientes a la siembra, la nodulación de carácter efectivo dependerá de la sobrevivencia y multiplicación de la cepa introducida en el suelo (factor que se trata más adelante) como así de la habilidad de cometir con la población nativa en el proceso conducente a la nodulación de las plántulas. En esa oportunidad los rizobios derivados del inoculante ya no cuentan con la ventaja de estar presentes en grandes cantidades en una ubicación privilegiada con respecto a la plántula. Es más, en el caso de las siembras con zapatas, pueden estar muy poco representados en la entrefila.

El género *Trifolium* no es endémico de Australia, como así tampoco los rizobios capaces de infectar tréboles *(R. leguminosarum* bv trifolii) *(Brockwell et al., 1968).* Unos y otros fueron introducidos en forma no premeditada por los colonizadores. Con el tiempo los suelos fueron colonizados por *R. leguminosarum* bv trifolii.

Los aislamientos de la costa o de localidades húmedas son generalmente efectivos en trébol blanco y trébol rojo, pero no en trébol subterráneo. Los aislamientos de las zonas secas del interior, donde generalmente se cultiva el trébol subterráneo, son mayoritariamente efectivos en trébol subterráneo *(Morley, 1961),* aun cuando la efectividad es variable y en promedio inferior a la de la cepa de referencia (TA1) *(Gibson et al., 1974).* Es lógico asumir que esta situación ecológica, tan distinta a la del Uruguay, haya influido en las características de las cepas seleccionadas para su uso en trébol subterráneo.

Importa señalar que la cepa conocida como U 185 en Uruguay es la cepa australiana WU 290. Esta cepa fue usada en el país para trébol subterráneo desde 1970 y hasta hace pocos años. La evaluación de la misma en el país en condiciones de competencia con rizobios nativos *(Iza, Menéndez y Schroder, 1971)* parece haber sido un tanto limitada.

La experiencia sobre subterráneo, tanto a nivel de investigación como de producción, que se hizo en el país en la década del 70 -con su aleatoriedad y carga de fracasos- es relativa a las variedades que se probaron en ese momento en asociación con la cepa mencionada. No debemos perder de vista que siempre estamos evaluando un par simbiótico y no meramente una variedad o una cepa.

## LA PERSISTENCIA EN EL SUELO

La adaptación de las cepas de rizobios a los diversos factores del suelo y en particular a los factores bióticos, condiciona la persistencia de las mismas. La capacidad de competencia saprofítica es particularmente importante para las cepas usadas con especies anuales, ya que deben sobrevivir en el suelo en competencia con otros microorganismos por varios meses y aun por más de un año, en el caso frecuente de que la población del huésped, en un mal año, sea muy pobre o nula y el cultivo se regenere a partir del banco de semilla dura en un año más favorable.

Hemos observado un fenómeno frecuente en pasturas de trébol subterráneo, con más de 10 años de

sembradas, en que el trébol desapareció del tapiz por varios años. Después de un laboreo superficial o sobrepastoreo ocurre una masiva germinación de la semilla dura presente en el suelo. Este repentino "ablandamiento" de la semilla se origina por la exposición a temperaturas máximas y mínimas particularmente contrastantes, fruto de la remoción de la cobertura vegetal. En algunas de estas pasturas fue casi imposible encontrar plantas con nodulación efectiva, por lo que las mismas dependían del suministro de N del suelo. En todas se observó abundante nodulación inefectiva.

Estas observaciones sugieren que, por lo menos en algunos suelos, la sobrevivencia (en ausencia del trébol) de una población efectiva de rizobios suficientemente importante, es menor que la vida del banco de semillas de subterráneo. Si el trébol no nodula efectivamente, no es de esperar que, en un tapiz imperturbado, sea capaz de semillar en forma importante. Por lo tanto la persistencia de la pastura en estos casos estaría limitada primariamente por la de la población efectiva de rizobios.

En las resiembras naturales de ensayos sobre suelos arenosos de Tacuarembó y Rivera (período 1975-77) se constataron altos porcentajes de plantas amarillas o rojizas y progresiva desaparición del trébol subterráneo del tapiz *(F. Formoso, com. pers.)*.

La nodulación ineficiente de la resiembra natural es citada por *Millot, Risso y Methol (1987)* entre las causales de la desaparición o escasa contribución del trébol subterráneo luego del segundo año.

Con anterioridad *Fillat y S.D. de Fillat (1972)* efectuaron observaciones concordantes. Estos autores reportan que en algunos suelos, en años posteriores a un exitoso establecimiento, se observa una crisis en otoño-invierno, del trébol subterráneo. La misma sería debida a deficiencias de nodulación de la resiembra natural. Debemos acotar que la cepa U185 se comenzó a usar en 1970, por lo que es probable que dichas observaciones estén referidas a otras cepas.

La habilidad de competencia saprofítica en un determinado ambiente, es imposible de evaluar cabalmente en condiciones de laboratorio y requiere prolongada evaluación a campo. La selección de cepas a partir de poblaciones naturalizadas originadas a partir de las cepas introducidas en la década del 60, brinda mayores oportunidades de obtención de cepas adaptadas y por lo tanto, persistentes, que la introducción de nuevas cepas. Asimismo permite seleccionar cepas competitivas con las poblaciones de rizobios inefectivos de nuestros suelos.

La iniciativa abordada por el Laboratorio de Microbiología de la CHPA en 1982, de seleccionar cepas para trébol subterráneo a partir de aislamientos realizados en praderas longevas de la citada especie *(Pagliano, 1985)* apunta en la dirección correcta.

Más recientemente también el Laboratorio del INIA La Estanzuela comenzó a trabajar con similar filosofía, tratando de alcanzar la etapa de evaluación en suelo con un número aun amplio de cepas en proceso de selección.

## EFECTOS DE LA TEMPERATURA

En el país existe información del comportamiento de trébol subterráneo en diferentes épocas de siembra, obtenida en la Estación Experimental del Norte *(F. Formoso com. pers.)*. Estos ensayos de época de siembra mostraron un marcado incremento del porcentaje de plantas clorótico-rojizas en las siembras tardías de otoño.

Por otra parte, existe información acerca de un importante efecto de la temperatura media postgerminación, en el porcentaje de plantas verdes en siembras convencionales de trébol subterráneo en suelos de California *(Jones et al., 1971)*. La *Figura 5* muestra el porcentaje de plantas verdes (promedio de varias siembras realizadas en 3 años sucesivos) en relación a la temperatura media de las 6 semanas posteriores a la germinación.

Para las condiciones del ensayo (inoculante con cepa R, 7 x $10^4$ rizobios/semilla, siembra convencional, cierta población de rizobios inefectivos en el suelo, etc.), se encontró que al descender la temperatura postemergencia se llega a un punto a partir del cual el porcentaje de plantas verdes cae abruptamente.

Los autores sugieren que la baja temperatura fue responsable de impedir o demorar la nodulación y de disminuir la tasa de fijación de N de los nódulos formados. Debemos señalar que el trabajo no brinda información acerca de la nodulación de los tratamientos inoculados, aunque sí reporta que los testigos sin inocular presentaron nódulos muy pequeños de coloración muy poco intensa.

¿En qué medida la baja temperatura es responsable de los resultados reportados? Los trabajos de *Gibson (1962 y 1967)* realizados con trébol subterráneo son muy ilustrativos al respecto. La *Figura 6* muestra cómo la nodulación de las plántulas se retarda y el número de nódulos por planta se reduce cuando la temperatura decrece en el rango de 22 a 7ºC. Por otra parte, la *Figura 7* muestra que el N fijado por plantas

de trébol subterráneo -noduladas previamente al ensayo- decae grandemente al variar la temperatura entre 18 y 5ºC.

Estos efectos de las temperaturas bajas pueden explicar la presencia de plantas cloróticas o rojizas que evidencian déficit de N. Ello derivaría de una mayor sensibilidad a la baja temperatura de la fijación simbiótica en relación a la fotosíntesis. De lo contrario deberían esperarse plantas de muy lento crecimiento pero de color normal.

Sin embargo, los citados efectos de la temperatura no parecen ser los principales responsables de las situaciones observadas en trébol subterráneo en el país en siembras tardías. Cualquier hipótesis que se plantee debe explicar el diferente comportamiento de las plantas de subterráneo frente al de las demás leguminosas evaluadas *(Figura 1)*. Los pares simbióticos compuestos por trébol subterráneo y las cepas utilizadas en 1988 y 1989, podrían ser más sensibles a las bajas temperaturas (o incluso a las condiciones de déficit hídrico) que las demás leguminosas evaluadas con sus respectivas cepas, pero estas hipótesis no parecen ser las más probables.

Tanto estos resultados como los obtenidos por *Jones et al. (1971) (Figura 5)* podrían ser explicados por otro mecanismo algo más complejo que ha sido descripto en la literatura. *Hardarson y Jones (1979)* pusieron en evidencia una fuerte interacción entre la temperatura y el porcentaje de nódulos producidos por diferentes cepas de *R. trifolii* en trébol blanco. Al variar la temperatura entre 12 y 25º, la amplia dominancia de una de las cepas dio lugar a la dominancia de la otra.

Nuestra hipótesis de trabajo sugiere que la temperatura baja afecta diferencialmente la habilidad para competir y nodular de la cepa del inoculante frente a la población de *Rhizobium leguminosarum* bv trifolii presente en el suelo. De esta alteración de la relación de competencia resultaría una nodulación dominantemente inefectiva. Esta interpretación sugiere que la selección de cepas podría ser la vía para ampliar la época posible de siembra de trébol subterráneo y mejorar la confiabilidad de su implantación. Recordamos que son muchos los años en que el suelo no logra niveles adecuados de humedad hasta fines del otoño, por lo que las siembras son necesariamente tardías. Por otra parte, los otoños particularmente fríos no son inusuales.

## CONCLUSIONES

Las siembras de trébol subterráneo, especialmente en cobertura, aún no pueden recomendarse en forma generalizada en función del alto riesgo de fracaso que presentan la implantación y reimplantación.

La información presentada documenta que un elevado porcentaje de los fracasos es atribuible, principalmente, a fallas en lograr una rápida y efectiva nodulación de las plántulas durante la implantación y/o la reimplantación, con el uso de la cepa U185.

Las cepas usadas comercialmente desde 1964 hasta la fecha no parecen haber cumplido (en muchos de los suelos en que fueron usadas) los requisitos de: habilidad competitiva para nodular y persistencia en el suelo en número suficiente en ausencia del trébol. Ello permite diagnosticar una situación de inadaptación ecológica de las mismas.

De acuerdo a lo precedentemente señalado, deberían incentivarse los esfuerzos de selección de cepas naturalizadas, ya reseñados, con especial énfasis en la evaluación en diferentes suelos, tanto en macetas como, en una etapa final, en condiciones de campo, abarcando simultáneamente varios suelos. Debieran considerarse estudios específicos en relación a la competitividad y/o persistencia frente a los factores de acidez del suelo (pH, Al y Mn), temperaturas bajas y altas poblaciones de rizobios inefectivos. Las posibles interacciones cepa por variedad debieran también ser tenidas en cuenta.

Objetivos más generales de la selección de cepas como estabilidad genética de las mismas, sobrevivencia en turba, aptitud para el cultivo industrial, etc., también tendrán que ser contempladas.

Paralelamente es necesario desarrollar más conocimiento en relación a factores capaces de interactuar con el objetivo de lograr en forma confiable una nodulación temprana y eficiente. Entre ellos citaremos: métodos de inoculación, métodos de siembra, niveles de P y localización de este elemento, así como manejo previo del tapiz.

La remoción de un factor limitante principal como en este caso el rizobiológico, permitirá la expresión plena de otras limitantes, tanto del conocimiento agronómico como de la capacidad de las variedades en evaluación para funcionar productivamente en nuestras condiciones ecológicas. Ello demandará la continuidad de los trabajos que en estas áreas se vienen desarrollando y su diversificación regional, abarcando aquellos suelos de amplia representación en los que el trébol subterráneo no puede ser sustituido con ventajas por otras leguminosas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


**BROCKWELL, J.; DUDMAN, W.F.; GIBSON, A.H.; HELY, F.W.; ROBINSON, A.C., 1968.-** *An integrated programme for the improvement of legume inoculant strains.* 9th International Congress Soil Science. Adelaide. Australia. 103-113.

**COLL, J., 1989.-** *Calidad de inoculantes comerciales para alfalfa.* Informe Técnico, INIA La Estanzuela. 10 p.

**DATE, R.A., 1965.-** *Report to the gobernment of Uruguay on legume inoculation and legume inoculant production.* FAO Report 2012, Roma.

**FILLAT, A.; FILLAT, S.D. de, 1972.-** *Observaciones sobre la persistencia del Trébol subterráneo en algunos suelos del Uruguay.* Reun. Latinoamericana de Rhizobium. 193-199.

**GIBSON, A.H.; CURNOW, B.C.; BERGERSEN, J.F.; BROCKWELL, J.; ROBINSON, A.C., 1975.-** *Studies of field populations of* Rhizobium: *effectiveness of strains of* Rhizobium trifolii *associated with* Trifolium subterraneum. L. pastures en South-Eastern Australia. Soil Biology and Biochemistry, 95-182.

**HARDARSON, G.; JONES, D.G., 1979.-** *Effect of temperature on competition amongst strains of diverse* Rhizobium trifolii *isolates.* Annals of Applied Biology 229-236.

**IZA, J.C.; MENENDEZ, R.A., SCHOEDER, E.C., 1971.-** *Selección de cepas de* Rhizobium trifolii *para* Trifolium subterraneum L. cv. Bacchus Marsh empleando diferentes determinaciones. V Congreso Latinoamericano de Microbiología, Punta del Este, Uruguay.

**LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE SUELOS Y CONTROL DE INOCULANTES, 1987.-** *Inoculación de leguminosas forrajeras.* Boletín 13 p.

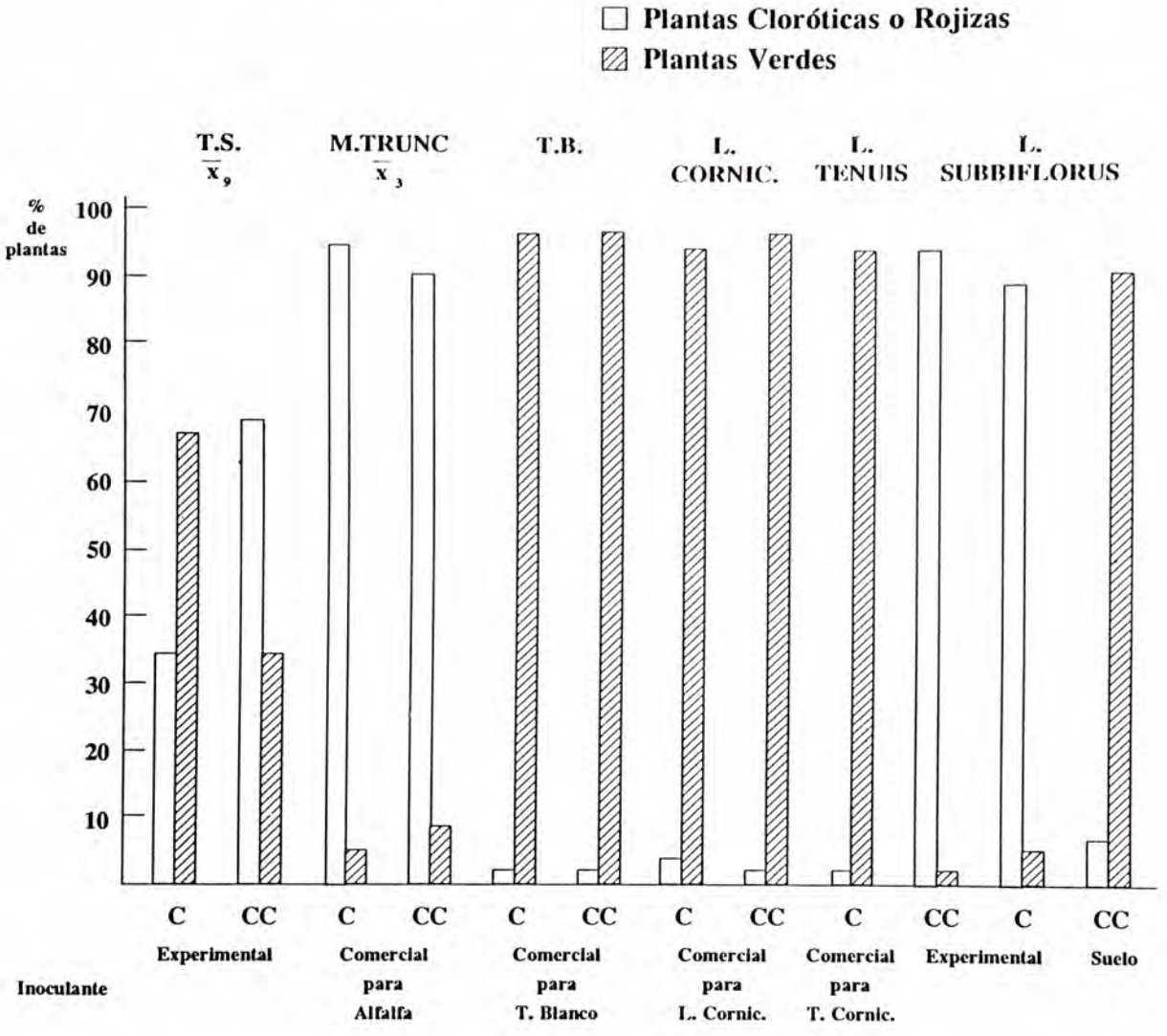
**MILLOT, J.C.; RISSO, D.; METHOL, R., 1987.-** *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay.* MGAP-CHPA. Uruguay. 199p.

**MORLEY, F.H.W., 1961.-** *Subterranean Clover.* In: Advances in Agronomy 13 57-123.

**OLMOS, F., 1990.-** *Evaluación de leguminosas forrajeras, región Noreste.* Informe Técnico, INIA Tacuarembó, 26 p.

**RISSO, D.; COLL, J.; ZARZA, A., 1990.-** *Evaluación de leguminosas para mejoramientos extensivos sobre cristalino (II).* En: Memorias del Segundo Seminario de Campo Natural, Tacuarembó, Uruguay 231-241.

**Figura 1**
**Condición de plantas de diversas leguminosas en Setiembre 1988**
**Siembra en Otoño 1988**
**Localidades: Caballero (Durazno) y Cerro Colorado (Florida)**



**Cuadro 1**
**Tipo de modulación de trébol subterráneo en relación a distintos niveles de inoculación en un suelo de California, en el que prosperan 12 especies nativas de Trifolium**

| Nº de Rizobios/Semilla | % de Plantas de subterráneo con nódulos | | |
|---|---|---|---|
| | Corona | Otra posición | |
| 0 | 0 | 100 | Rendimiento |
| $1 \times 10^3$ | 0 | 100 | 3.9 |
| $4 \times 10^3$ | 4 | 96 | 6.3 |
| $7 \times 10^4$ | 79 | 21 | 43.5 |
| $5 \times 10^5$ | 73 | 27 | 39.5 |
| $1 \times 10^6$ | 82 | 18 | 45.1 |
| $9 \times 10^6$ | 88 | 12 | 41.6 |

Holland, (1970)

Figura 2

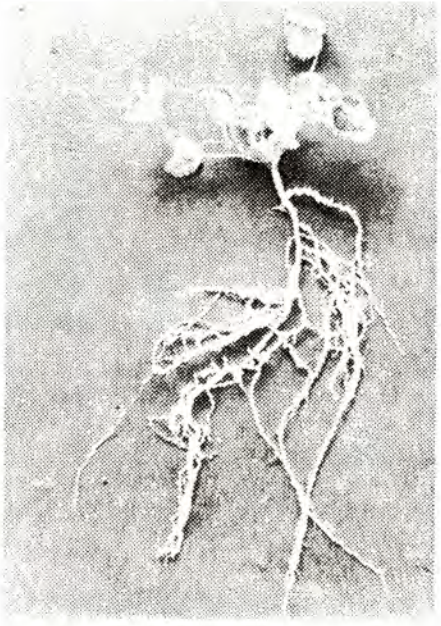


Figura 3

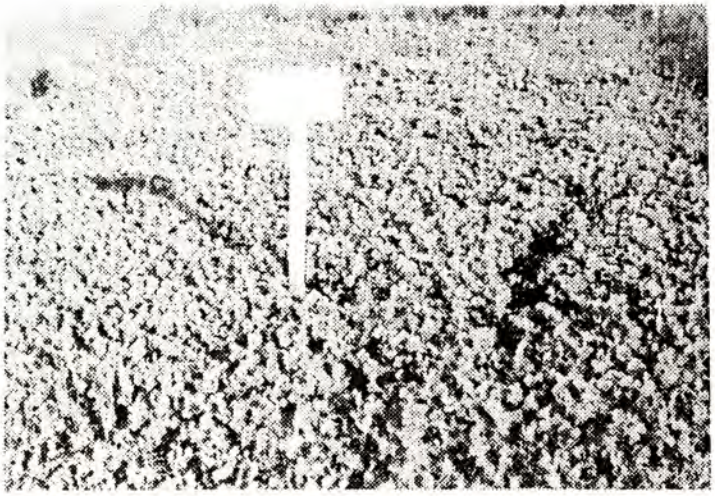
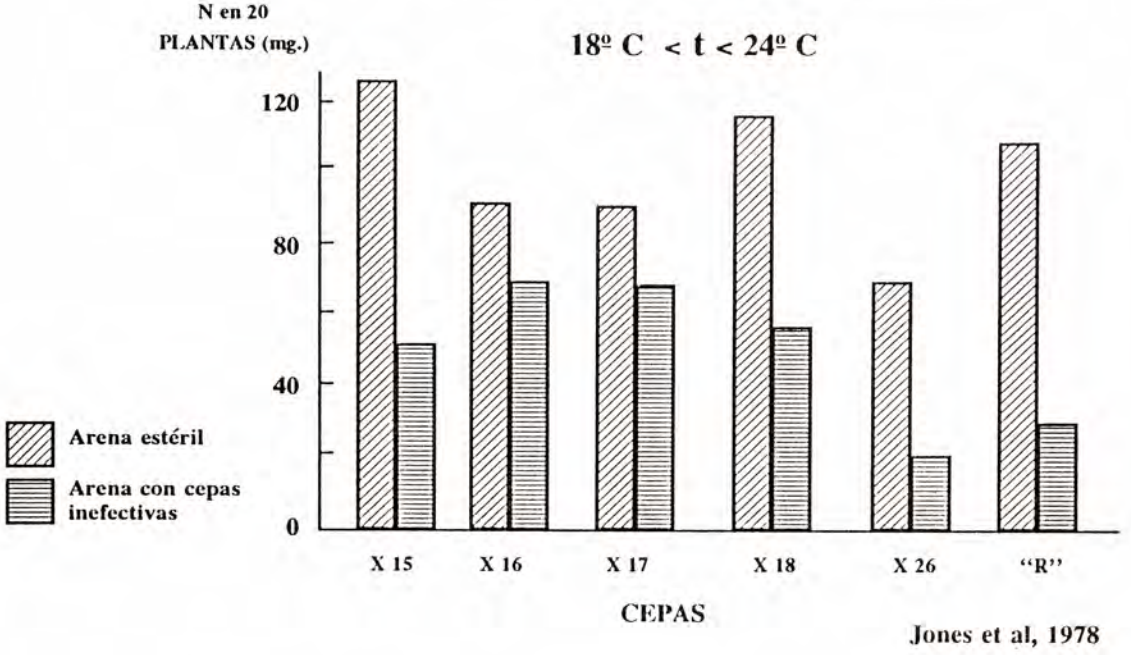
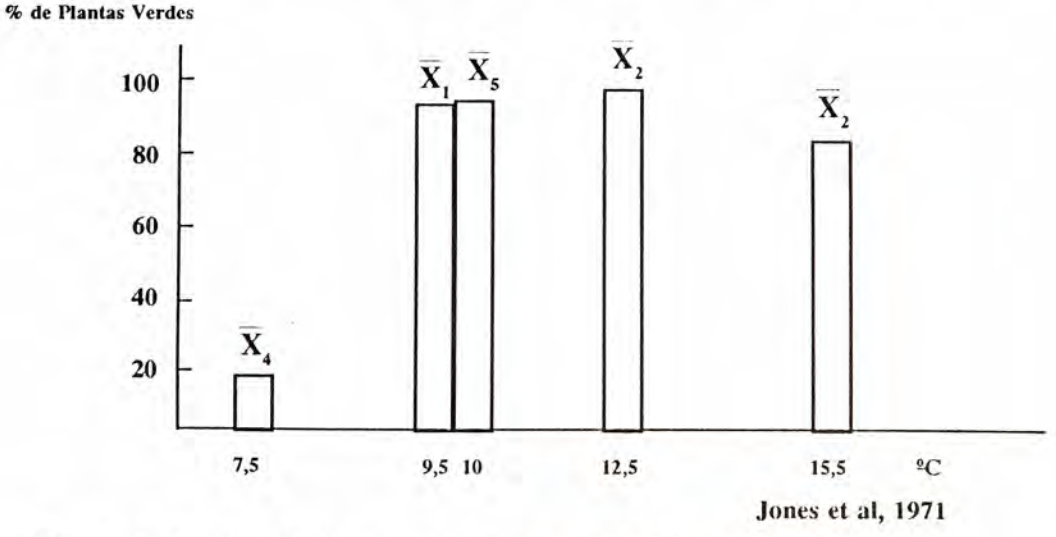


**Figura 4**
**Nitrógeno acumulado por plantas de trébol subterráneo inoculadas con diversas cepas y cultivadas en arena estéril o conteniendo rizobios inefectivos**




Jones et al, 1978

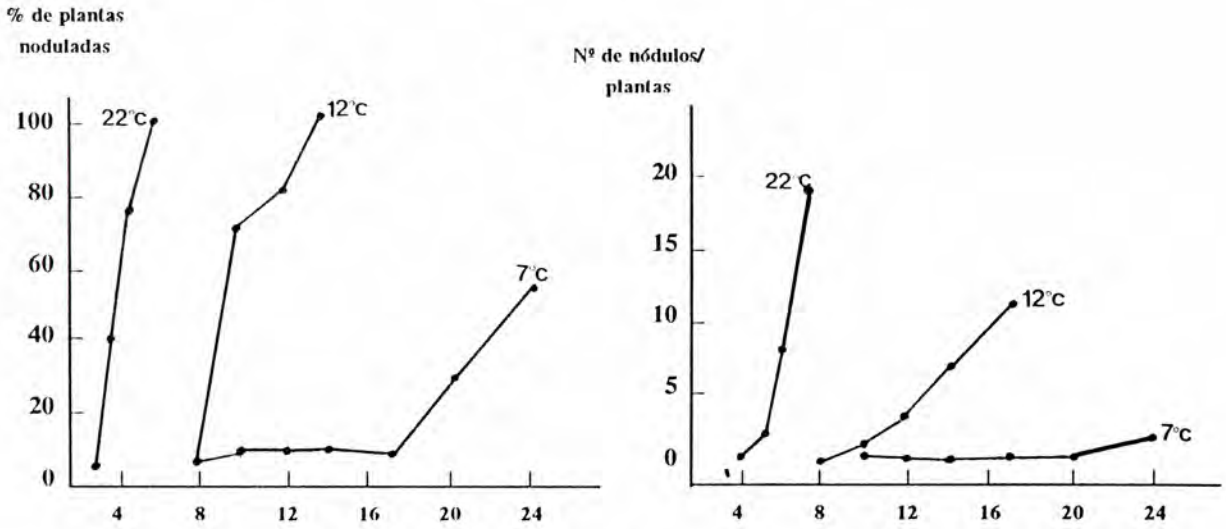
**Figura 5**
**Efecto de la temperatura media en las 6 semanas posteriores a la germinación sobre el % de plantas con nodulación efectiva**




Jones et al, 1971

$\overline{X}$ Resultado promedio (número de ensayos indicado por el subíndice)

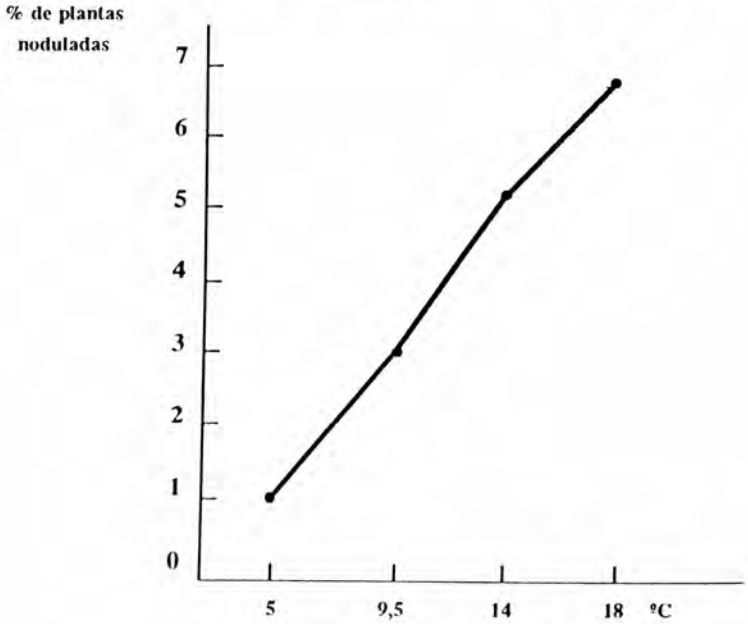
**Figura 6**
**Efecto de la temperatura en la nodulación del trébol subterráneo**




DIAS DESPUES DE LA INOCULACION

GIBSON, 1967

**Figura 7**
**N fijado por trébol subterráneo, previamente nodulado, a diferentes temperaturas de la raiz**




GIBSON, 1962

# APENDICE

## GUÍAS PARA EL RECONOCIMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LAS CAUSALES MÁS FRECUENTES DE DEFICIENTE FIJACIÓN DE N.

| Características de la NODULACION EFICIENTE | Características de la NODULACION INEFICIENTE |
|---|---|
| PLANTAS VERDES AUN EN MEDIO POBRE EN N | PLANTAS AMARILLAS O ROJIZAS Y ENANAS |
| NODULOS: | |
| POCOS | MUY ABUNDANTE |
| GRANDES | PEQUEÑOS |
| ROJIZOS | INCOLOROS O VERDOSOS |
| EN RAIZ PRINCIPAL Y CERCA DE LA CORONA | EN TODO EL SISTEMA RADICULAR |

## AUSENCIA DE NODULOS EN UN PORCENTAJE ELEVADO DE PLANTAS

**Causas posibles:**

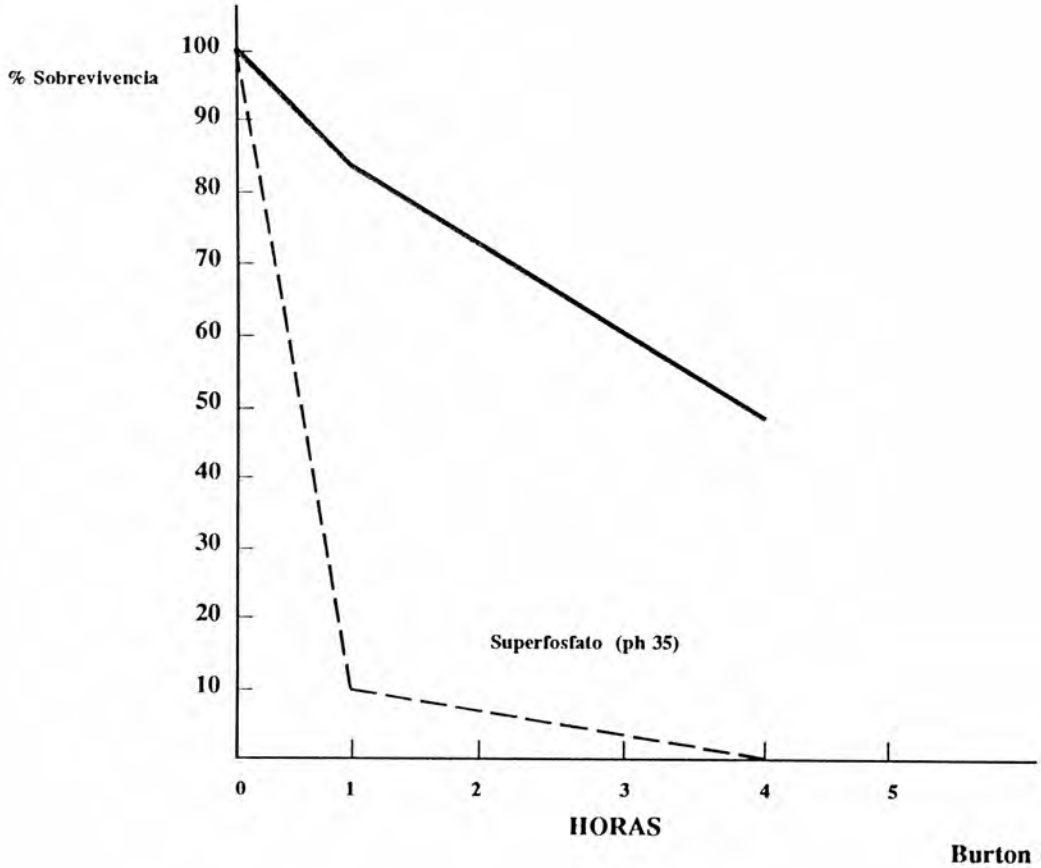
- INOCULANTE EN MAL ESTADO:
  - a) BAJO CONTENIDO DE RIZOBIOS
  - b) RIZOBIOS NO INEFECTIVOS O NO EFECTIVOS
- INOCULACION MUY ANTICIPADA A LA SIEMBRA
- CONTACTO ENTRE SEMILLA Y FERTILIZANTE ACIDO
- SUELO MUY ACIDO PARA EL PAR SIMBIOTICO
- SUELO SECO POR UN PERIODO PROLONGADO
- SIEMBRA EN COBERTURA EN CONDICIONES SECAS
- ALTA DISPONIBILIDAD DE N EN EL SUELO
- USO DE CIERTOS CURASEMILLAS
- DEFICIENDIA DE BO

## NODULOS BLANQUECINOS O MARRONES NO NECESARIAMENTE EVIDENCIAN DEPAS INEFECTIVAS AUNQUE SI AUSENCIA DE FIJACION

**Causas posibles:**

- FIN DE CICLO DE LA PLANTA O FLORACION
- ESTRES HÍDRICO
- POBRE AIREACION
- DEFOLIACION SEVERA O REITERADA
- SOMBREADO INTENSO
- BAJAS TEMPERATURAS
- DEFICIENCIAS MINERALES (Mo, Bo, P)
- ABUNDANCIA DE N COMBINADO

## SOBREVIVENCIA DE R. Leguminosorum br trifolli SOBRE SEMILLA SOLA O EN MEZCLA CON SUPERFOSFATO




Burton (1976)