

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS (BIOLOGIA)



**BIBLIOTECA
CENTRO DE BIOLOGIA**

TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS

**BIOLOGIA, ECOLOGIA Y AGROECOLOGIA DEL FRIJOL GANDUL
EN LA REGION DEL CABO**

ENRIQUE TROYO DIEGUEZ

COMITE TUTORIAL

DR. ALFREDO ORTEGA, DRA. ALMA L. OROZCO Y DR. CARLOS VAZQUEZ Y.

000212101

OCTUBRE, 1994



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	Pág.
INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	ii
INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE ECUACIONES	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
JUSTIFICACION	5
OBJETIVOS.....	9
ANTECEDENTES.....	11
MATERIAL Y METODOS.....	52
RESULTADOS Y DISCUSION.....	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
BIBLIOGRAFIA.....	137
ANEXOS.....	145
PUBLICACIONES.....	158

INDICE GENERAL

I. RESUMEN	4
II. JUSTIFICACION	6
III. OBJETIVOS	9
IV. ANTECEDENTES	11
4.1. IMPORTANCIA DEL BALANCE HIDRICO EN LAS PLANTAS Y AGROECOSISTEMAS DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS	11
4.1.1. CONCEPTOS DEL BALANCE HIDRICO EN LOS VEGETALES.....	11
4.1.2. ECOFISIOLOGIA DE LAS PLANTAS DE ZONAS SECAS.....	27
4.1.3. CLIMATOLOGIA Y AGROECOLOGIA DE LAS ZONAS SEMIARIDAS.....	34
4.1.4. EXPECTATIVAS DEL FITOMEJORAMIENTO DIRIGIDO A SEQUIA.....	36
4.2. BIOLOGIA Y ECOLOGIA DEL FRIJOL GANDUL <i>Cajanus cajan</i>	46
4.2.1. UBICACION SISTEMATICA Y CARACTERISTICAS BOTANICAS.....	47
4.2.2. ORIGEN, DISTRIBUCION Y ECOLOGIA DE ZONAS PRODUCTORAS.....	48
4.2.3. ADAPTABILIDAD Y CARACTERISTICAS AGROECOLOGICAS.....	49
4.2.4. USOS TRADICIONALES Y POTENCIALES DEL FRIJOL GANDUL.....	50
V. MATERIAL Y METODOS	52
5.1. UBICACION DE LOS SITIOS DE ESTUDIO Y CRONOLOGIA	52
5.1.1. METODOS PARA LA DESCRIPCION AGROCLIMATOLOGICA.....	54
5.1.2. EDAFOLOGIA Y ANALISIS DEL SUELO Y AGUA DE RIEGO.....	55
5.2. EVALUACION ECOFISIOLOGICA Y AGROECOLOGICA	60
5.2.1. ETAPA DE CAMPO.- DEFINICION DE VARIABLES Y MUESTREO.....	60
5.2.2. ETAPA DE LABORATORIO Y GABINETE.....	66
5.2.2.1. Mediciones y determinaciones en laboratorio.....	66
5.2.2.2. Análisis estadísticos e integración en gabinete.....	71

VI. RESULTADOS Y DISCUSION	74
6.1. CARACTERIZACION DAFO-AGRICOLA Y AGROCLIMATICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	74
6.2. DESCRIPCION DEL GERMOPLASMA Y CAPACIDAD DE GERMINACION.....	93
6.3. EVALUACION FITOTECNICA Y DE PRODUCCION POR MICRORREGIONES.....	99
6.4. CARACTERIZACION MORFOLOGICA Y ECOFISIOLÓGICA.....	101
6.4.1. Variable Morfológicas.....	101
6.4.2. Variable Ecofisiológicas.....	104
6.5. DEMANDA DE AGUA E IRRIGACION.....	123
6.5.1. MODELACION EMPLEANDO VARIABLES CLIMATICAS.....	123
6.5.2. ESTIMACION DE LA ETa REAL.....	132
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
7.1. POSIBILIDADES DE ESTABLECIMIENTO Y CAPACIDAD PRODUCCION DEL FRIJOL GANDULEN EN EL AREA DE ESTUDIO.....	133
7.2. USOS POTENCIALES EN SISTEMAS AGROFORESTALES Y RECOMENDACIONES PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LA AGRICULTURA.....	134
7.3. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES FINALES.....	135
VIII. BIBLIOGRAFIA	137
IX. ANEXOS	145
9.1. INFORMACION CLIMATOLOGICA Y DE DEMANDA DE AGUA.....	146
9.2. MEMORIA DE DATOS Y CALCULOS ESTADISTICOS.....	150
9.3. PUBLICACIONES.....	158

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición de aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína) en grano seco de cuatro líneas genéticas de frijol gandul y una de soya (adaptado de Singh <i>et al.</i> , 1984a).....	51
Cuadro 2. Grupos de suelo y tipos de agua en 6 puntos del área de influencia del Campo Experimental del CIBNOR, en El Comitán, B.C.S.....	76
Cuadro 3. Uso actual del suelo y parámetros de salinidad edáfica en El Comitán y puntos aledaños, cuenca hidroagícola La Paz-Carrizal, B.C.S. México.....	76
Cuadro 4. Composición química del suelo del área de influencia de El Comitán y del Campo Experimental del CIBNOR, La Paz, B.C.S.....	77
Cuadro 5. Composición química del agua subterránea de seis pozos en la zona semiárida de El Comitán, La Paz B.C.S. México.....	77
Cuadro 6. Grupos de suelo y tipos de agua asociados a frijol gandul, en las localidades de P.E. Calles (vertiente del Océano Pacífico) y Santiago (vertiente del Mar de Cortés), Región del Cabo BCS.....	81
Cuadro 7. Uso actual del suelo y parámetros de salinidad edáfica en la Colonia P.E. Calles y Santiago, B.C.S. Los Cabos, México.....	81
Cuadro 8. Composición química del suelo del área de influencia de El Comitán y del Campo Experimental del CIBNOR, La Paz, B.C.S.....	82
Cuadro 9. Composición química del agua subterránea de dos pozos en las cuencas de P.E. Calles y Santiago, Los Cabos, BCS. México.....	82
Cuadro 10. Factores fitotécnicos y resultados de producción del frijol gandul en tres sitios de establecimiento de la Región del Cabo, B.C.S.....	100
Cuadro 11. Coeficientes de correlación de las variables <i>longitud</i> , <i>ancho medio</i> y <i>ancho tercio</i> de la hoja con la variable independiente <i>área foliar</i> para todas las muestras de frijol gandul (n = 200); ciclos 1990-92.....	101
Cuadro 12. Diámetro de proyección de copa, IAF y asignaciones cualitativas de vigor en frijol gandul, en tres sitios de estudio (promedios del período 1990-92).....	103
Cuadro 13. Valores críticos de los potenciales hídrico, osmótico y de turgencia, en MPa, determinados en las poblaciones evaluadas; época crítica, Región del Cabo, B.C.S.....	118
Cuadro 14. Valores críticos de Déficit Hídrico y % de agua apoplástica, correspondientes al potencial osmótico mínimo (plasmólisis incipiente), cuando el Potencial Hídrico $\approx \pi$	118.
Cuadro 15. Cálculos para la estimación del riego (Irt) del frijol gandul, para el área de La Pas, B.C.S.....	129

CUADROS DEL ANEXO 9.1. INFORMACION CLIMATOLOGICA Y DE DEMANDA DE AGUA.

Cuadro A1. Temperatura y radiación neta en El Comitán (Estación La Paz, BCS). (65 Años).....	146
Cuadro A2. Datos hidrometeorológicos y de aridez en El Comitán (Estación La Paz, BCS).....	146
Cuadro A3. Datos de temperatura y radiación neta en la Colonia P.E. Calles, B.C.S. (Estación climatol. San Jacinto, 34 años).....	147
Cuadro A4. Datos hidrometeorológicos y de aridez en la Colonia Calles (San Jacinto).....	147
Cuadro A5. Datos de temperatura y radiación neta en el Ejido Santiago, B.C.S. (48 años).....	148
Cuadro A6. Datos hidrometeorológicos y de aridez en el Ejido Santiago, B.C.S.....	148
Cuadro A7. Cálculos de Evapotranspiración mensual (cm) para el frijol gandul, por el Método de Blaney-Criddle; El Comitán, B.C.S.....	149
Cuadro A8. Cálculos de Evapotranspiración mensual (cm) para el frijol gandul, por el Método de Blaney-Criddle; Col. Calles, B.C.S.....	149
Cuadro A9. Cálculos de Evapotranspiración mensual (cm) para el frijol gandul, por el Método de Blaney-Criddle; Santiago, B.C.S.....	149

CUADROS DEL ANEXO 9.2. CÁLCULOS ESTADÍSTICOS.

Cuadro B1. Promedios de la variable peso de semilla por sitio de estudio.....	150
Cuadro B2. Comparaciones múltiples del peso de semilla de frijol gandul.....	150
Cuadro B3. Análisis de Varianza para la variable $\text{arc sen (porcent de germ)}^{1/2}$, bajo dos niveles de salinidad edáfica. Cultivo de frijol gandul; El Comitán B.C.S.....	151
Cuadro B4. Análisis de comparaciones múltiples para $\text{arc sen (porc de germ)}^{1/2}$, bajo dos niveles de salinidad edáfica. Cultivo de frijol gandul; El Comitán B.C.S.....	151
Cuadro B5. Análisis de Varianza para la variable $\text{arc sen (porcent de establ)}^{1/2}$, bajo dos niveles de salinidad edáfica (% de establecimiento a los 30 días).....	151
Cuadro B6. Análisis de comparaciones múltiples para $\text{arc sen (porc de establ)}^{1/2}$, bajo dos niveles de salinidad edáfica. Cultivo de frijol gandul; El Comitán BCS.....	151
Cuadro B7. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (cm^2) (variable independiente) y Longitud de hoja (en cm) (var. dependiente).....	152

Cuadro B8. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (cm^2) (variable independiente) y Ancho Medio de hoja (en cm) (var. depend.).....	152
Cuadro B9. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (cm^2) (variable independiente) y Ancho Tercio de hoja (en cm) (var. depend.).....	153
Cuadro B10. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (cm^2) (var. independ.) y el producto Long. \times Ancho Medio \times 0.75 (var. depend.).....	153
Cuadro B11. Valores promedio de la transpiración unitaria (Tr) bajo dos niveles de humedad edáfica en El Comitán, para el mes y hora críticos.....	154
Cuadro B12. Análisis de varianza para la variable transpiración (Tr) bajo dos niveles de humedad, en El Comitán, para el mes y hora críticos.....	154
Cuadro B13. Comparación entre medias de la variable transpiración, bajo dos niveles de humedad disponible, en El Comitán, para el mes y hora críticos.....	154
Cuadro B14. Valores promedio de la resistencia estomática bajo dos niveles de humedad edáfica en El Comitán, para el mes y hora críticos.....	155
Cuadro B15. Análisis de varianza para la variable res. estomática (r) bajo dos niveles de humedad, en El Comitán, para el mes y hora críticos.....	155
Cuadro B16. Comparación entre medias de la r estomática, bajo dos niveles de humedad disponible, en El Comitán, para el mes y hora críticos.....	155
Cuadro B17. Valores promedio de la Tr bajo tres niveles de humedad edáfica en la porción sur de la Región del Cabo, para el mes y hora críticos.....	156
Cuadro B18. Análisis de Varianza para la variable Tr bajo tres niveles de humedad, en la porción sur de la Región del Cabo; mes y hora críticos.....	156
Cuadro B19. Comparación entre medias de la Tr , bajo tres niveles de humedad disponible, en la porción sur de la Región del Cabo, para el mes y hora críticos.....	156
Cuadro B20. Valores promedio de la r estom. bajo tres niveles de humedad edáfica en la porción sur de la Región del Cabo, para el mes y hora críticos.....	157
Cuadro B21. Análisis de Varianza para la variable r bajo tres niveles de humedad en la porción sur de la Región del Cabo; mes y hora crítica críticos.....	157
Cuadro B22. Comparación entre medias para r , bajo tres niveles de humedad disponible en la porción sur de la Región del Cabo; mes y hora críticos.....	157

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Tipos y asociaciones de vegetación dominantes en Baja California Sur y en la Región del Cabo, B.C.S. (Adaptado de Wiggins, 1980).....	8
Fig. 2. Variación de la transpiración foliar en relación con la resistencia estomática, con dos valores de resistencia de la capa límite.....	25
Fig. 3. Ubicación de los sitios de establecimiento del frijol gandul en la Región del Cabo de la Península de Baja California.....	53
Fig. 4. Tendencia típica del potencial hídrico en respuesta al aumento del déficit hídrico.....	70
Fig. 5. Curva teórica del inverso del potencial hídrico, mostrando las secciones a y b, y $1/\pi$	70
Fig. 6. Variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima mínima (en °C), y de la lámina evaporativa en El Comitán, B.C.S.....	88
Fig. 7. Variación mensual de la precipitación (en mm), y de los índices de sequía D y aridez A, en El Comitán, B.C.S.....	88
Fig. 8. Variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima (en °C), y de la lámina evaporativa en P.E. Calles, B.C.S.....	90
Fig. 9. Variación mensual de la precipitación (en mm), y de los índices de sequía D y aridez A, en P.E. Calles, B.C.S.....	90
Fig. 10. Variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima mínima (en °C), y de la lámina evaporativa en Santiago, B.C.S.....	92
Fig. 11. Variación mensual de la precipitación (en mm), y de los índices de sequía D y aridez A, en Santiago, B.C.S.....	92
Fig. 12. Peso de grano del frijol común "Pinto Mexicano", frijol yorimón blanco (<i>Vigna unguiculata</i>), <i>V. sinensis</i> y frijol gandul.....	93
Fig. 13. Peso promedio de granos de frijol gandul en tres sitios de estudio; Región del Cabo, B.C.S.....	94
Fig. 14. Dispersión de los valores del peso de grano de frijol gandul en tres sitios; Región del Cabo, B.C.S.....	94
Fig. 15. Germinación del frijol gandul en un suelo normal y en unosalino, El Comitán, BCS. (Datos transformados).....	97

Fig. 16. Dispersión de los datos de germinación de frijol gandul en un suelo normal y en uno salino (El Comitán, BCS).....	97
Fig. 17. Establecimiento del frijol gandul en suelo normal y salino, a los 30 días de siembra; El Comitán, BCS.....	98
Fig. 18. Dispersión de los datos de establecimiento del frijol gandul en suelo normal y salino; El Comitán, BCS.....	98
Fig. 19. Tendencia del rendimiento del frijol común en México y Baja California Sur (período 1925-1988).....	100
Fig. 20. Ajuste de la lámina foliar mediante la correlación de parámetros foliares para la determinación del área <i>in situ</i>	102
Fig. 21. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (mayo). PS = 20% HD.....	105
Fig. 22. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (mayo). PS = 36% HD.....	106
Fig. 23. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (junio). PS = 23.5% HD.....	107
Fig. 24. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (junio). PS = 40% HD.....	108
Fig. 25. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la porción sur de la Región del Cabo para la época crítica (junio). PS = 38% HD.....	110
Fig. 26. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la porción sur de la Región del Cabo para la época crítica (junio). PS = 29.3% HD.....	111
Fig. 27. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la porción sur de la Región del Cabo para la época crítica (junio). PS = 7% HD.....	112
Fig. 28. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la transpiración T_r bajo dos niveles de humedad en El Comitán.....	113
Fig. 29. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la resistencia estomática r_{st} bajo dos niveles de humedad en El Comitán.....	114
Fig. 30. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la transpiración T_{ren} en la porción sur de la Región del Cabo.....	115

Fig. 31. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la resistencia estomática en la porción sur de la Región del Cabo.....	116
Fig. 32. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en El Comitán, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica óptima.....	119
Fig. 33. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en Santiago, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica óptima.....	119
Fig. 34. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en P.E. Calles, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica óptima.....	120
Fig. 35. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en El Comitán, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica deficitaria.....	120
Fig. 36. Curvas Déficit Hídrico-Presión donde se muestra el potencial hídrico y sus componentes. (a) El Comitán, humedad óptima; (b) El Comitán, sequía.....	121
Fig. 37. Curvas Déficit Hídrico-Presión donde se muestra el potencial hídrico y sus componentes. Porción sur de la Región del Cabo: (a) PE Calles; (b) Santiago.....	122
Fig. 38. Representación gráfica de las mediciones de PAR sobrepuestas a un conjunto de curvas sinusoidales.....	130
Fig. 39. Comparación entre la distribución de $G(t)$ y la función propuesta para la radiación PAR.....	130
Fig. 40. Cantidad de agua requerida por día estimada mediante el modelo modelo propuesto, y la estimada según el modelo de Blaney-Criddle.....	131
Fig. 41. Cantidad de agua requerida (acumulada) estimada por el modelo propuesto, y la estimada según el modelo de Blaney-Criddle.....	131
Fig. 42. Areas geográficas de la Región del Cabo con mayor posibilidad de establecimiento y de éxito del cultivo de frijol gandul (<i>Cajanus cajan</i>).....	136

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Condición de equilibrio del potencial químico del agua.....	13
Ecuación 2. Expresión del potencial químico del agua que incluye las presiones osmótica y de turgencia.....	13
Ecuación 3. Expresión del potencial hídrico o potencial de succión S	13
Ecuación 4. Ecuación del potencial químico del agua en términos de componentes energéticos.....	14
Ecuación 5. Relación del potencial de succión con la presión de vapor.....	14
Ecuación 6. Ecuación para el cálculo del potencial osmótico π	14
Ecuación 7. Presión de succión ejercida por la atmósfera que rodea a las plantas.....	22
Ecuación 8. Cálculo del flujo de agua del suelo a la raíz en función del potencial de succión y de la resistencia al flujo.....	23
Ecuación 9. Expresión para el cálculo del intercambio energético.....	27
Ecuación 10. Cálculo de la presión de turgencia en función del potencial hídrico y del potencial osmótico.....	31
Ecuación 11. Expresión para calcular el déficit hídrico.....	33
Ecuación 12. Expresión para calcular el contenido relativo de agua (CRA).....	33
Ecuación 13. Equivalencia entre el CRA y el déficit hídrico.....	33
Ecuación 14. Modelo de aridez propuesto para la Región del Cabo, B.C.S.....	54
Ecuación 15. Modelo de aridez simplificado para la región de La Paz, B.C.S.....	55
Ecuación 16. Ecuación para el cálculo de la relación de adsorción de sodio (RAS).....	58
Ecuación 17. Ecuación para el cálculo del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).....	58
Ecuación 18. Fórmula para la determinación de la humedad del suelo en base a peso seco.....	59
Ecuación 19. Relación que expresa la reciprocidad entre la resistencia y la conductividad estomáticas.....	61
Ecuación 20. Equivalencia entre las unidades $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	62

Ecuación 21. Ecuación para el cálculo del déficit de presión de vapor (d.p.v.).....	63
Ecuación 22. Ecuación para el cálculo de la presión de vapor a saturación.....	63
Ecuación 23. Ecuación para el cálculo de la presión de vapor a la temperatura del aire y H.R. instantáneos.....	63
Ecuación 24. Fórmula para el cálculo del índice de área foliar (IAF).....	65
Ecuación 25. Modelo para el cálculo del índice irradiacional de sequía.....	84
Ecuación 26. Expresión para el cálculo de la radiación neta.....	84
Ecuación 27. Fórmula para calcular el área de una hoja promedio de frijol gandul en función de la longitud y ancho medio seccional.....	102
Ecuación 28. Modelo de regresión exponencial para el ajuste del inverso del potencial hídrico (y) y el déficit hídrico (x).....	117
Ecuación 29. Expresión de PAR como función de tiempo.....	126
Ecuación 30. Integral definida para el cálculo de los requerimientos de irrigación (Ir) del frijol gandul en función de PAR y G(t).....	126
Ecuación 31. Expresión de G(t) como una función de tipo sinoidal.....	126
Ecuación 32. Expresión de PAR como una función de tipo sinoidal.....	127
Ecuación 33. Expresión para el cálculo de la variación temporal de PAR, f(t).....	127
Ecuación 34. Expresión simplificada de f(t) en función de Γ	127
Ecuación 35. Cálculo de los requerimientos de riego (Ir) que incluye el coeficiente regional para el frijol gandul K_c	127
Ecuación 36. Cálculo de los requerimientos de riego (Ir) que incluye el coeficiente regional para el frijol gandul K_c y el factor de corrección por temperatura K_t	127
Ecuación 37. Expresión para el cálculo del factor de corrección por temperatura K_t	128

I. RESUMEN

En la presente investigación se proporcionan los resultados agroecológicos y ecofisiológicos obtenidos de la evaluación del frijol gandul, conocido en Baja California Sur como frijol de árbol. Dicha evaluación fue realizada durante cuatro años, de 1989 a 1993, en la porción meridional de la península de Baja California.

El trabajo experimental se desarrolló en parcelas ubicadas en la Región del Cabo, abarcando fundamentalmente dos regiones climatológicas; una que incluye zonas semiáridas subtropicales y otra que abarca zonas semiáridas secas. El potencial agrícola del frijol gandul fue evaluado en localidades de las vertientes del Océano Pacífico, del Mar de Cortés y en el valle agrícola de La Paz, en el Estado de Baja California Sur. En todos los casos el sitio experimental se ubicó en una área con vegetación de tipo matorral xerófilo, con baja fertilidad del suelo, pH entre 7 y 7.8 y contenido de materia orgánica no mayor de uno por ciento. La semilla empleada se originó a partir de una línea avanzada para resistencia a sequía, obtenida en el Centro de Investigaciones Biológicas. Se evaluaron parámetros hídricos del frijol gandul, tales como la conductividad estomática, potencial hídrico y tasa transpirativa en los sitios de estudio y bajo diferentes contenidos de humedad edáfica. Se analizaron variables morfométricas y de crecimiento del frijol gandul, tales como área foliar, índice de área foliar y altura total. Finalmente, se midió la producción de grano de plantas representativas de cada sitio y su correspondiente rendimiento por unidad de superficie. La porimetría, o medición del movimiento estomático, se llevó a cabo empleando un porómetro auto-estabilizado marca LI-COR. Las variables ambientales registradas simultáneamente fueron la humedad relativa del aire, la temperatura ambiental y la fracción fotosintéticamente activa (PAR) de la radiación solar; la velocidad del viento se registró en los anemómetros de las estaciones climatológicas más cercanas. En todos los casos el punto crítico de transpiración (la tasa más elevada) se observó aproximadamente a las 11:00 am; a partir de este momento la transpiración y conductividad estomática decrecieron, observándose una fuerte pendiente en su curva hacia la puesta del sol (ocaso). No se encontraron diferencias significativas en cuanto al comportamiento estomático en los sitios evaluados; sin embargo, la

tasa de transpiración unitaria disminuyó conforme la condición deficitaria de humedad fue más elevada, observándose una mayor demanda de agua en los sitios más septentrionales. Los resultados obtenidos indican que el frijol gandul se adapta favorablemente a las condiciones ambientales de las partes más meridionales de la Región del Cabo, produciendo un mayor rendimiento en la franja de la costa del Pacífico, disminuyendo la producción y la tolerancia a la sequía conforme más septentrional era la latitud de establecimiento. No se presentaron plagas ni enfermedades en las parcelas experimentales durante el desarrollo del trabajo de investigación. El rendimiento promedio para la zona sur del Estado se estimó en $6.5 \text{ Mg}\cdot\text{Ha}^{-1}$, ésto es, en las zonas subtropicales semiáridas, y de $4.0 \text{ Mg}\cdot\text{Ha}^{-1}$ en la región de La Paz, que representa una zona semiárida seca. El arquetipo desarrollado en el sur del Estado le confiere potencialidad de uso en cultivos múltiples. Aunque su sobrevivencia es alta bajo humedad deficitaria, su producción se reduce en períodos de sequía progresiva; sin embargo, al terminarse la sequía recupera su tasa de crecimiento alcanzando un rendimiento notoriamente más alto que el del frijol común *Phaseolus vulgaris* L.

Dado que Baja California Sur es el Estado más árido de México, las actividades agrícolas son mínimas, aún en la Región del Cabo, ocupando un porcentaje ínfimo de la superficie total estatal. En el presente estudio se concluye que debe hacerse un marcado énfasis en la promoción, a través de extensionismo y transferencia, del frijol gandul como un cultivo altamente adaptable a las condiciones del Estado, tolerante a las condiciones de humedad deficitaria, sequías temporales, salinidad y baja fertilidad imperantes. El frijol gandul, representa una opción valiosa para reutilizar extensas áreas para la agricultura, actualmente excluidas de los esquemas productivos por abatimiento en la cantidad y calidad del agua en pozos de agua subterránea. Finalmente, se proveen las evidencias de que el frijol gandul mediante un manejo y proceso adecuado, constituirá un aporte fundamental a la canasta básica de los habitantes del Estado más aislado del país, dado su rendimiento y elevada calidad proteica. Aunado a lo anterior, presenta mecanismos de evasión a la sequía y otras propiedades agroecológicas de utilidad para el equilibrio del agroecosistema y para la restauración y estabilización de la fertilidad del suelo.

ABSTRACT

...continua el abstract...

II. JUSTIFICACION

El Estado de Baja California Sur, cuenta con la característica típica de las zonas áridas, que es la escasez de agua; lo anterior, desde un punto de vista comparativo, lo convierte en el Estados más árido del país. Se ubica en el noroeste de México, con una precipitación media anual de sólo 130 mm anuales. La evaporación potencial excede ampliamente la precipitación, resultando un déficit de agua alrededor de 2000 mm anuales (Salinas-Zavala *et al.*, 1992; Troyo-Diéguez *et al.*, 1990). Dadas las características de alta evaporación y escasa precipitación, prácticamente todas las actividades agropecuarias en las cuencas y valles agrícolas del Estado dependen de la irrigación, práctica a la que se destina alrededor del 90% del agua total disponible (Gobierno del Edo. de B.C.S., 1980). Los recursos hidráulicos disponibles dependen en su totalidad del agua subterránea, que se almacena en acuíferos costeros del tipo de nivel freático libre (Comisión Nacional del Agua, 1992).

Las actividades económicas principales de B.C.S. son el turismo, la agricultura, la acuacultura, las pesquerías y la minería. El Valle agrícola de Santo Domingo, en la porción central de B.C.S., antaño era considerado como una de las regiones productoras con los mayores rendimientos de trigo y algodón en el país, llegándose a comparar inclusive con el Valle del Yaqui, en Sonora, donde se originó la Revolución Verde (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 1982); sin embargo, las tendencias de producción han decaído debido a la problemática relacionada con la escasez de agua, salinización de pozos y parcelas y desertificación gradual (Comisión Nacional del Agua, 1992).

Para aliviar, al menos en parte, la aguda deficiencia de agua, que es el factor limitante para el desarrollo de la Entidad, surge como alternativa el uso del potencial que presentan los recursos naturales que presentan adaptación a las condiciones prevalecientes, ya sean endémicos o introducidos. A la fecha, sólo algunas especies y en forma muy localizada han sido aprovechadas; los recursos naturales endémicos y algunas especies introducidas no contempladas por el esquema tradicional de la agricultura están subexplotados. Ante los objetivos

globales del sector agropecuario y forestal de la entidad de racionalizar el uso del agua, consolidar el sector, generar empleos y preservar el equilibrio ecológico, se tienen grandes posibilidades de desarrollar alternativas compatibles con el ambiente y socio-económicamente rentables.

Baja California Sur consta de 7'367,700 Ha; su longitud es de 750 Km y su ancho promedio totaliza 100 Km aproximadamente; sus elevaciones orográficas alcanzan alturas medias de 600 m. Está conformado geológicamente por una serranía de origen volcánico que desciende sensiblemente de norte a sur, cubierta en su porción sur por vegetación predominantemente xerófila, con franjas de selva baja caducifolia que bordean la Sierra de La Laguna, y una vegetación marcadamente desértica en su porción septentrional (Figura 1).

A pesar de las características tan extremosas de las condiciones termopluviométricas, edafológicas y geomorfológicas que presenta, el Estado posee dentro de su flora un gran número de géneros, especies y variedades que representan una fuente potencial de productos que pueden reportar utilidad económica para los habitantes de las comunidades rurales.

Un número importante de los recursos vegetales disponibles en Baja California Sur pueden ser utilizados para diversos fines; entre ellos para calefacción, alimentación, madera para la construcción, forrajes, industria aceitera, protección contra la erosión, como sombra contra el sol y barreras contra el viento, tintes, goma, cera, alcoholes y uso medicinal, entre otros (León de la Luz y Coria, 1994).

En el Estado no existen tierras para agricultura de temporal por lo escaso y aleatorio de las precipitaciones, que alcanzan un promedio anual estatal de 160 mm (Troyo-Diéguez *et al.*, 1990). Son los valles del suroeste (costa del Pacífico) y del sureste (costa del Mar de Cortés) los que presentan una precipitación relativamente mayor.

Dadas las características expuestas anteriormente, es evidente que debe fortalecerse la investigación de los recursos locales que representen opciones productivas para los habitantes de la región. La búsqueda de especies vegetales mejor adaptadas a condiciones marginales adversas como la sequía y salinidad, propias de las zonas semiáridas y subtropicales, es indispensable para el

aprovechamiento y recuperación de terrenos susceptibles de ser cultivados, actualmente abandonados o sobrepastoreados. Tal esquema de investigación debe ser dirigido hacia el desarrollo de una agricultura sostenible, donde los aspectos focales deben ser sustentados en el equilibrio entre la producción y la conservación.

De investigaciones como la presente, se espera entonces que:

(1) Se caracterizen biológicamente los recursos promisorios disponibles para la agricultura, sean locales o que hayan sido introducidos en alguna época, actualmente desaprovechados;

(2) Se promueva la prospección selectiva de variedades o ecotipos de especies tolerantes o resistentes similares, para coadyuvar en lo posible en la reorientación de las políticas agropecuarias en el momento pertinente y en los foros donde sea posible;

(3) Se desarrollen métodos de manejo sustentable y compatibles con el entorno socio-ecológico; y,

(4) Se motive a los estudiantes, agricultores, campesinos y extensionistas para que lleven a cabo el trabajo colectivo más coordinado e integrado, para una aplicación más expedita y oportuna de las nuevas alternativas que se generen mediante la investigación básica y aplicada.

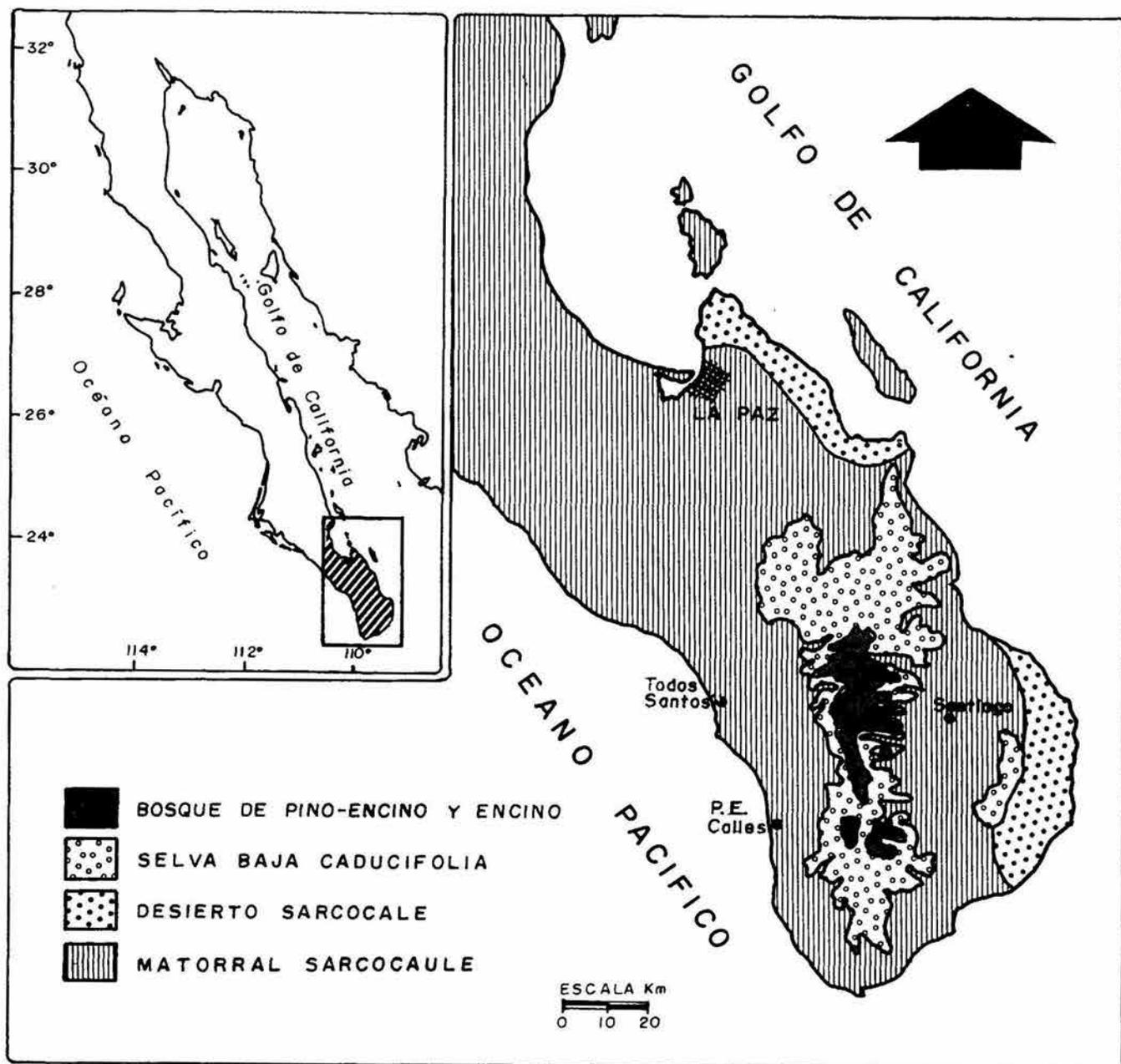


Fig. 1. Tipos y asociaciones de vegetación dominantes en Baja California Sur y en la Región del Cabo, B.C.S. (Adaptado de Wiggins, 1980).

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GENERALES

A. Evaluar si el frijol gandul o frijol de árbol [*Cajanus cajan* (L.) Millsp] representa una alternativa viable para Baja California Sur, especialmente para las zonas agrícolas de la Región del Cabo, B.C.S.

B. Determinar el ciclo biológico del frijol gandul en la Región del Cabo, así como la fenología y etapas críticas en cuanto a la disponibilidad de humedad para su cultivo.

C. Evaluar el potencial agrobiológico de la especie bajo estudio y sus características ecofisiológicas en la Región del Cabo.

D. Evaluar las adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecofisiológicas de la mencionada especie a la zona en estudio.

E. Realizar los estudios necesarios para su integral desarrollo, y su eventual incorporación como nuevo recurso en los esquemas agrícolas y agro-forestales de la Región del Cabo y del noroeste de México.

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES

A. Estudiar la biología del frijol gandul bajo las condiciones de la Región del Cabo, B.C.S.

B. Evaluar las características ambientales que determinan su establecimiento de esta especie en los sitios de estudio.

C. Determinar las adaptaciones ecofisiológicas del frijol gandul a las condiciones de los sitios de estudio, con el fin de evaluar su adaptabilidad y desarrollo en la Región del Cabo, B.C.S.

D. Evaluar la transpiración y demanda de agua del frijol gandul en las microrregiones bajo estudio.

E. Evaluar la producción de grano y el rendimiento de poblaciones experimentales piloto en zonas de importancia agrícola y ecológica de la Región del Cabo, B.C.S.

F. Definir las características agroecológicas y fitotécnicas que sirvan de base para la elaboración de descripciones y recomendaciones técnicas pertinentes para su promoción.

IV. ANTECEDENTES

4.1. IMPORTANCIA DEL BALANCE HIDRICO EN LAS PLANTAS Y AGROECOSISTEMAS DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS.

4.1.1. DESCRIPCION DEL BALANCE HIDRICO EN LOS VEGETALES.

4.1.1.1. NIVEL BIOQUÍMICO.

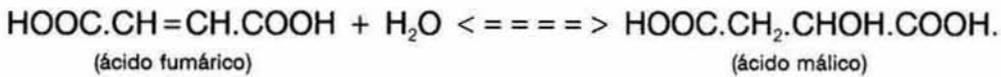
La importancia ecológica del agua se debe a su papel fisiológico y bioquímico (Kramer, 1983), ya que afecta los procesos fisiológicos y las reacciones internas (Slatyer, 1967). De sus propiedades físicas y químicas, destacan las siguientes:

Tiene el calor específico más alto de todas las sustancias ($1 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), excepto el amoniaco líquido (un 13% más elevado); su calor de vaporización ($540 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}$ a 100 C) y su calor de fusión ($80 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}$) son inusitadamente elevados. El alto calor latente de vaporización implica que la evaporación tiene un efecto enfriador, y la condensación, un efecto de calentamiento. El agua tiene viscosidad y tensión superficial mucho mayores que la mayoría de los líquidos por sus elevadas fuerzas cohesivas entre moléculas, lo que avala la teoría de la tensión-cohesión de su ascenso por el xilema. Es notable por su densidad máxima a 4°C y no al congelarse, y se expande al congelarse; el volumen del hielo es un 10% mayor que el H_2O líquido que lo formó. Dada su baja ionización, su constante dieléctrica es elevada, por lo que es un disolvente casi perfecto (Sutcliffe, 1974). Tiende a ser adsorbida en las superficies de arcillas, proteínas y otras sustancias, lo cual es de enorme relevancia para las relaciones hídricas entre el suelo y las plantas (Kramer, 1974). El agua es esencial para las plantas por las siguientes razones:

a) Contribuye con un 95% del peso total del protoplasma. Al deshidratarse, el protoplasma cesa de ser activo y abajo de un cierto contenido de agua muere, debido a que al perder agua se afectan sus propiedades.

b) Participa en numerosas reacciones químicas que ocurren en el protoplasma. La hidrólisis y reacciones de intercambio y condensación son importantes en

numerosos procesos metabólicos, como la interconversión de carbohidratos, ej. $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightleftharpoons nC_6H_{12}O_6$, así como la de ácidos orgánicos, ej.



El agua dona hidrógeno y radicales hidronio (H_3O^+) para la reducción de CO_2 en la fotosíntesis, y es producto de la respiración.

c) Es el solvente en el que innumerables sustancias se disuelven y el vehículo para numerosas reacciones importantes.

d) Una fracción importante del agua en las plantas se encuentra en grandes vacuolas, responsables de mantener la rigidez (turgencia) de las células vegetales.

e) Una capa de agua rodea a las células e impregna los espacios intercelulares, formando una red acuosa a través de la planta, facilitando el flujo e intercambio de sustancias.

f) El agua cumple otras funciones: es el medio para el traslado de sustancias en el xilema y floema. También es el medio en el que los gametos móviles efectúan la fertilización, y disemina esporas y semillas (Sutcliffe, 1974).

Procesos osmóticos y bioquímicos a nivel celular.

Una célula vegetal es un sistema osmótico de tres compartimentos: la pared celular, el citoplasma y la vacuola, que ocupa la mayor parte del volumen celular. El citoplasma y la vacuola están rodeados por membranas de naturaleza lipoproteica, diferencialmente permeables. La pared celular es un conjunto de celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas. La membrana exterior del citoplasma (plasmalema) y la membrana interior que limita la vacuola (tonoplasto) acusan diferente permeabilidad, lo que se demuestra exponiendo células a disoluciones de electrolitos o sacarosa. Los primeros penetran rápidamente al citoplasma y lo hidratan mientras que su paso a la vacuola es más lento (Salisbury y Ross, 1978). El tonoplasto es resistente a la salida de sustancias en el líquido vacuolar, lo que mantiene la turgencia celular. Una célula en una disolución acuosa presenta tres fases: solución vacuolar, citoplasma y disolución exterior. En condiciones de equilibrio no hay flujo neto de agua hacia el interior o exterior de la célula. La

condición para el equilibrio es que el potencial químico del agua (μ_a) en las distintas fases sea idéntico, esto es:

$$\mu_{a,\text{vacuola}} = \mu_{a,\text{citoplasma}} = \mu_{a,\text{disolución exterior}} \quad (1)$$

El potencial químico de una sustancia indica su actividad en un sistema, y se define como el cociente de dividir la energía libre de Gibbs de la molécula de la sustancia, entre el número de moles de la sustancia en la fase considerada (Spanner, 1966), en condiciones fijas de temperatura y presión. El máximo potencial químico de una sustancia se alcanza en su estado puro. En el caso del agua, la dirección del flujo entre dos fases **A** y **B** en contacto está dado por el signo algebraico de la diferencia: $\mu_a^A - \mu_a^B$. Si es positivo, el potencial en **A** es mayor que en **B**, y el agua fluye en la dirección **A**→**B**; si es negativo, el flujo será **B**→**A**. No se puede medir el potencial químico absoluto de una sustancia, aunque sólo interesa la diferencia de potenciales químicos entre dos fases en contacto para conocer la interacción entre ellas. En sistemas encerrados por una membrana expansible hay una presión parietal añadida a la atmosférica bajo la que se encuentra el conjunto; esa presión parietal (**P**) tiende a aumentar el potencial químico del agua en la fase interna (Medina, 1977). En una disolución acuosa, el potencial químico del agua en la fase **A** es menor que el del agua pura (μ_a°), por tanto:

$$\mu_a = \mu_a^\circ - \pi \bar{V}_a + P \bar{V}_a \quad (2)$$

donde: μ_a es el potencial químico del agua en la fase considerada; π es la presión osmótica potencial de la disolución de la misma fase, y **P** es la presión de la pared o de turgencia. V_a es el volumen molar parcial del agua en cada fase (≈ 18 ml). Como π y **P** son magnitudes medibles, la anterior expresión puede expresarse así:

$$(\mu_a - \mu_a^\circ)/V_a = P - \pi = -S = \Psi \quad (3)$$

La ecuación anterior permite calcular el potencial hídrico (Ψ) o el potencial de succión (**S**) de agua de una célula o tejido (Slatyer, 1967), y debe incluir en rigor

el potencial matricial (τ), que representa la retención de agua en los coloides orgánicos del citoplasma y en la pared celular. En la práctica, el potencial τ es un fenómeno propio de tejidos deshidratados y es importante en procesos como la imbibición de semillas; en la mayoría de los casos es muy poco relevante por lo que el potencial hídrico se expresa en la forma tradicional.

El potencial Ψ de la célula es igual o menor que cero porque representa la diferencia del potencial químico del agua más los solutos con respecto al agua pura, mientras que su potencial de succión es igual o mayor que cero porque representa la fuerza con que es "succionada" el agua hacia el interior de la célula. Las unidades de potencial son de presión como el bar, atmósfera, julios·Kg⁻¹, y el Pascal (1 atm = 1.013 bars = 101.3 J·Kg⁻¹) (Medina, 1977). En condiciones isotérmicas, el potencial químico del agua puede expresarse en términos de componentes energéticos como entrópicos de la siguiente manera:

$$\mu_a = \underbrace{\mu_a^\circ}_{\text{Término entrópico}} - \pi \bar{V}_a + \underbrace{P \bar{V}_a}_{\text{Término energético}} \quad (4)$$

En el flujo de agua del suelo a las raíces predomina el componente entrópico (las diferencias de π determinan el gradiente de S), y en el flujo de agua de las raíces a las hojas predomina el componente energético, resultante de la evaporación del agua en las hojas (Nobel, 1983). El potencial de succión está relacionado con la presión de vapor por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{RT}{V_a} \ln \frac{p}{p^\circ} \quad (5)$$

donde: R es la constante universal de los gases, T es la temperatura absoluta y p la presión de vapor del agua de la fase considerada, mientras que p° es la presión de vapor del agua pura bajo las mismas condiciones de temperatura y presión. En una disolución a la presión atmosférica, la presión parietal o matricial es 0, de donde se desprende la siguiente igualdad:

$$\pi = \frac{RT}{V_a} \ln \frac{p}{p^\circ} \quad (6)$$

El término $\ln(p/p^\circ)$ representa el estado del agua en una célula, tejido o suelo; se denomina hidratación o "hidratación", por analogía con el término temperatura, y no indica el contenido de H_2O de un sistema, sino la actividad del agua en el mismo (Medina, 1977). Si se controla la temperatura, estima con precisión el potencial de succión de tejidos o disoluciones. La ecuación $[S = \pi - P]$ estima la presión con la que el agua es incorporada a la célula; tal incorporación depende de la diferencia de potencial de succión entre la célula y el medio. El citoplasma se encuentra a la misma presión de turgencia que la vacuola, y posee una presión de imbibición potencial igual a la presión osmótica del fluido vacuolar, lo cual implica que se puede conocer el grado de imbibición del citoplasma midiendo el potencial osmótico del líquido vacuolar: se extrae el líquido vacuolar del tejido destruyendo la permeabilidad celular (por calentamiento o congelación) y se mide el descenso del punto de congelación mediante un osmómetro (Sutcliffe, 1974).

Asimilación del Carbono.

La fotosíntesis es la base para la biodiversidad de nuestro planeta, ya que por este proceso se fijan cerca de 698.9×10^{18} cal·año⁻¹; 426.1×10^{18} corresponden a la superficie terrestre y el resto a las oceánicas (Golley y Lieth, 1972).

Resumen de la fotosíntesis.

Las plántulas después de germinar producen un vástago (brote) que desarrolla una superficie asimilatoria (las hojas). En las células foliares existen los cloroplastos, de unas $4 \mu m$ de diámetro, que contienen clorofila (pigmento responsable de la absorción de la energía radiante incidente), y que albergan un sistema enzimático que cataliza la reducción del CO_2 atmosférico mediante la energía radiante de longitud de onda comprendida entre 400 y 700 nm. El cloroplasto contiene un sistema membranoso de gran superficie donde ocurre la absorción de luz por las moléculas de los pigmentos fotosintetizantes, así como la transferencia de energía (reacciones fotoquímicas). En la matriz que rodea al sistema membranoso (estroma) se realiza la fase bioquímica de la fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1978).

Cinética de la fijación del CO₂. - La fijación del CO₂ en las plantas depende de la luz, de la concentración de CO₂ en el aire y la temperatura, así como de una humedad adecuada que mantenga la turgencia foliar, y del movimiento del aire circundante a las hojas. El balance energético de las hojas depende de la velocidad del viento, de la morfología foliar y del suministro de agua. A baja intensidad de luz existe dependencia lineal entre el flujo de CO₂ y dicha intensidad.

En obscuridad, el flujo de CO₂ es negativo y se debe a la respiración mitocondrial. Al iluminarse la hoja, funcionan los cloroplastos, en cuya cadena de transporte de electrones se sintetizan los ATP's; son dos los procesos productores de ATP: el fotosintético (cloroplastos) y el oxidativo (mitocondrias). La intensidad de luz en la que el intercambio de CO₂ es nulo, se conoce como *punto de compensación de luz*. Arriba de cierta intensidad de luz no hay incremento en el flujo neto del CO₂; tal intensidad es el *punto de saturación de luz*. El valor de cada parámetro depende de la especie y está correlacionado con el ambiente: las plantas del sotobosque (o de sombra) tienen menor tasa de respiración mitocondrial, menor punto de compensación de luz e inferior punto de saturación lumínica, en contraste con las plantas de sol (Richter, 1972; Fitter y Hay, 1991).

La concentración del CO₂ en el aire (300 a 350 ppm) es un factor limitante de la fotosíntesis; a baja concentración de CO₂ (0 a 300 ppm) la tasa de intercambio del mismo sigue un curso lineal, a mayor radiación solar. Si el aire que circunda las hojas carece de CO₂, a alta intensidad de luz, numerosas plantas muestran un flujo neto negativo de CO₂. Cinéticamente, los dos grupos se diferencian en el *punto de compensación* del CO₂, esto es, aquella concentración del CO₂ a la cual el flujo neto del mismo de la hoja es nulo (Medina, 1977; Fitter y Hay, 1991; Salisbury y Ross, 1978).

En plantas que no liberan CO₂ al aire circundante, al exponerlas a una atmósfera exenta de este gas, el punto de compensación de CO₂ es cercano a cero, mientras que en las plantas que sí producen CO₂ en esas condiciones, el punto de compensación oscila alrededor de 60 ppm, y su magnitud depende de la temperatura. Arriba de cierta concentración de CO₂ ambiental no ocurre un incremento del flujo neto de CO₂ hacia la hoja, éste es entonces el *punto de*

saturación de CO₂. Los anteriores parámetros están afectados por la temperatura: un aumento de ella puede provocar aumento de los puntos de compensación de la luz y del CO₂, así como aumento de los puntos de saturación de luz y CO₂. Tales correlaciones pueden interpretarse a partir de la interacción de procesos bioquímicos y fotoquímicos, que ocurren en los cloroplastos, y también considerando los procesos oxidativos de las mitocondrias y los peroxisomas. A baja intensidad de luz, el sistema fotoquímico limita la reducción del CO₂, proceso independiente de la temperatura, mientras que altas intensidades de luz saturan el sistema fotoquímico (Hay, 1981; Richter, 1972).

En cuanto al intercambio de CO₂ en plantas superiores, se diferencian tres tipos de comportamiento. Primero se encuentran las plantas cuyo incremento diario de materia orgánica se debe sólo a la fijación diurna de CO₂ (incluye plantas con alto y bajo punto de compensación de CO₂); plantas de otro grupo presentan ganancia diurna y nocturna de CO₂. Bajo ciertas condiciones, el último grupo sólo acusa un balance positivo de CO₂ durante la noche, lo cual fue observado en cactáceas (Familia Crassulaceae) durante el siglo pasado por DeSaussure, por ello se le denominó '*metabolismo ácido de las crasuláceas*' (MAC o CAM), distinguiéndose por variaciones diarias de la acidez tisular (Salisbury y Ross, 1978).

El efecto del oxígeno en la fotosíntesis indica la existencia de un proceso oxidativo, que ocurre simultáneamente con la fotosíntesis, denominado fotorrespiración, el cual es más sensible a la presión parcial del O₂ que la respiración *obscura* o mitocondrial, como se desprende de que la tasa de producción de CO₂ en la oscuridad no se altera por cambios en la concentración del O₂ en el intervalo de concentraciones mencionado. La cantidad de CO₂ producida por fotorrespiración depende de la intensidad de luz, lo que indica que se trata de la oxidación de un substrato producido durante el metabolismo fotosintético. La eficiencia en la fijación de CO₂ en plantas con fotorrespiración es menor a temperaturas más elevadas, mientras que no hay efectos en plantas sin fotorrespiración. Es notorio que en las plantas CAM puede detectarse fotorrespiración durante la fijación diurna del CO₂, y no en la nocturna (Medina, 1977; Fitter y Hay, 1991; Salisbury y Ross, 1978).

Resumen de los mecanismos fotosintéticos.- A continuación, se resume el funcionamiento de los mecanismos y respuestas que operan en los tres tipos de plantas, de acuerdo con la ruta fotosintética que presentan:

Grupo I. (C_3). Alto punto de compensación del CO_2 , fotorrespiración, sin vaina vascular con cloroplastos desarrollados, fijación del CO_2 durante el día.

Grupo II. (C_4). Bajo punto de compensación del CO_2 , sin fotorrespiración detectable, con anatomía "Kranz", fijación del CO_2 durante el día.

Grupo III. (CAM). Punto de compensación del CO_2 y fotorrespiración variables, tejido asimilatorio suculento, fijación diurna y nocturna del CO_2 (Salisbury y Ross, 1978).

Fundamentos bioquímicos de la diferenciación fotosintética.

i) *Plantas con alto punto de compensación de CO_2 .*- El CO_2 es fijado por la enzima RuDP-carboxilasa; se produce un ácido orgánico de 3 C, por ello se les conoce como C_3 . A una alta tensión de O_2 como en la atmósfera (20%), la RuDP-carboxilasa actúa también como oxigenasa y genera 1 molécula de ácido AFG y 1 de ácido AG por cada molécula de CO_2 fijada en la de RuDP. A una baja tensión de O_2 se produce sólo AFG. El ácido glicólico sale de los cloroplastos y se oxida en los peroxisomas formándose CO_2 (*fotorrespiración*). Ocurren consumo y formación simultáneos de CO_2 . En las plantas C_3 , 1/3 del CO_2 empleado para fotosíntesis se libera nuevamente mediante fotorrespiración (Medina, 1977).

ii) *Plantas con bajo punto de compensación de CO_2 .*- El CO_2 es fijado por la PEP-carboxilasa en el mesófilo produciéndose dos ácidos orgánicos de 4 C: ácido málico y aspártico, predominando uno de ellos, por lo que se conocen como C_4 .

El producto de la fijación del CO_2 en el mesófilo pasa a la vaina vascular, donde es descarboxilado. El CO_2 resultante se incorpora a los carbohidratos mediante la RuDP-carboxilasa en un proceso similar al de las plantas C_3 . Las plantas C_4 se diferencian en el sistema enzimático, al que se debe la acumulación de ácido

málico o aspártico (deshidrogenasa málica NADP, o aspártico-aminotransferasa), y en la descarboxilación del ácido de 4 C en la vaina vascular. Hatch *et al.* (1975) describen tres sistemas enzimáticos de descarboxilación en tres grupos de plantas C4: a) enzima málica NAD; b) enzima málica NADP y c) PEP-carboxiquinasa.

iii) *Plantas con fijación nocturna de CO₂*- Fijan durante la noche el C para el crecimiento, y lo convierten en carbohidratos al día siguiente. Presentan doble carboxilación: en la noche se fija CO₂ en el citoplasma mediante la PEP-carboxilasa con energía proveniente de la respiración. El ácido málico sintetizado se acumula en la vacuola; sale al día siguiente, se descarboxila y se emplea en la fotosíntesis en los cloroplastos. Igual que las plantas C4, las plantas MAC se diferencian por las enzimas descarboxilantes del malato: la enzima málica NADP y la PEP-carboxiquinasa (Salisbury y Ross, 1978). La actividad de las dos carboxilasas en plantas tipo MAC está desfasada entre el día y la noche.

Plantas con diferente ruta fotosintética son:

	C3	C4	MAC
Monocotiledóneas:	<i>Allium cepa</i> <i>Triticum aestivum</i>	<i>Saccharum officinarum</i> <i>Zea mays</i>	<i>Ananas comosus</i> <i>Agave sisalana</i>
Dicotiledóneas:	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Nicotiana tabacum</i>	<i>Amaranthus viridis</i> <i>Chenopodium album</i>	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i> <i>Opuntia spp.</i>

4.1.1.2. NIVEL FISIOLÓGICO.

El ciclo vital de las plantas abarca en su fase de reproducción sexual la formación de estructuras que contienen un embrión, que resulta del crecimiento por división celular de la ovocélula fertilizada por el núcleo espermático del pólen.

En las plantas superiores la división del óvulo fertilizado prosigue hasta que se forme una estructura en la que se diferencien cotiledones, hipocotilo y radícula. En cierto momento el crecimiento se detiene y se inicia un proceso de deshidratación de los tejidos, quedando el embrión en un estado caracterizado por un metabolismo muy reducido; así, la mayoría de las semillas atraviesa por un período

de desecación hasta alcanzar la etapa final en su desarrollo. Entonces el embrión entra en latencia. El embrión permanece latente por períodos de tiempo variables según la especie. El inicio del crecimiento del embrión (la germinación) es una fase crítica del establecimiento (Wolk *et al.*, 1989).

Capacidad germinativa y viabilidad. Para la germinación normal de una unidad dispersante, ésta debe poseer capacidad para germinar. Sin embargo, una unidad dispersante cuyo embrión está vivo puede no germinar porque requiere un período de posmaduración; se dice entonces que posee potencial germinativo. La capacidad germinativa disminuye con la edad de la unidad dispersante. En plantas cultivadas la longevidad puede alcanzar 5 a 6 años. Las semillas de algunas plantas silvestres poseen una longevidad mucho más larga, como ocurre con leguminosas, cuyas semillas poseen testa gruesa. Semillas de ciertas malezas permanecen viables hasta por unos 50 años (Mayer y Poljakoff, 1975).

Condiciones para la germinación. Los factores que más influyen en el inicio de la germinación, en condiciones naturales, se clasifican de la siguiente forma:

- a) Factores externos: agua, oxígeno, temperatura, luz, sustancias químicas.
- b) Factores internos: inhibidores, ritmos endógenos de germinación, maduración de las unidades dispersantes, etc. (Bleasdale, 1984).

Factores externos que influyen en la germinación.

Agua.

Como se mencionó anteriormente, las unidades dispersantes se hallan en alto grado de deshidratación. Así, el peso del agua en las semillas maduras es un 10% o menos de su peso total. No debe sorprender pues que la carencia de agua sea el factor limitante de la germinación más común. Al colocar una semilla en agua, se hidrata (absorbe por imbibición a consecuencia del bajo potencial hídrico de sus tejidos), y se activan las enzimas hidrolíticas existentes en sus células que movilizan las sustancias de reserva acumuladas en los cotiledones o en el endospermo,

según el tipo de unidad dispersante (cotiledones: *Phaseolus*; endospermo: *Ricinus*). Durante este proceso se pueden distinguir dos etapas en la absorción de agua por las semillas: 1) La hidratación de las paredes de las semillas y la de los coloides citoplasmáticos; proceso que es reversible sin causar daño al embrión. 2) Un período de incremento exponencial de la absorción de agua coincidente con el crecimiento del embrión, y es irreversible en el sentido que la deshidratación del embrión en esta etapa significa su muerte (Salisbury y Ross, 1978).

Oxígeno y CO₂.

Una vez iniciada la hidratación se puede detectar la respiración, dado que el embrión necesita oxígeno para obtener energía y alimentos de las reservas del endosperma o de los cotiledones. El suministro de oxígeno debe ser suficiente, de ahí que la mayoría de las semillas no germinen en condiciones anaeróbicas. Semillas como las del arroz son una excepción ya que germinan bajo el agua y a baja tensión de O₂. Con frecuencia la germinación está limitada por testas duras que se oponen al paso del agua o gases, pudiendo constituir incluso un obstáculo para el desarrollo del embrión; en tal tipo de semillas (ej., las leguminosas) se requiere escarificar la testa para la germinación (Fitter y Hay, 1991).

Efectos de la temperatura y de la luz.

La germinación ocurre dentro de un margen de temperatura, variable según la especie. La alternancia de temperatura, por lo común en ciclos de 24 horas (termoperiodismo), induce la germinación. Algunas semillas necesitan luz para germinar; la alternancia luz-obscuridad varía según la especie. Dentro de cierto margen de temperatura, numerosas especies germinan en la oscuridad, pero arriba de ese margen requieren el estímulo lumínico; por ejemplo, la especie *Emilia coccinea*, presenta semillas con dimorfismo en una misma cabezuela, sólo un 20% de ellas contienen clorofila en la testa, lo que no ocurre con el resto. Las primeras son oscuras al madurar, mientras que el resto son blancas, por lo que tienen diferentes requerimientos de luz; las oscuras requieren un mayor fotoperíodo.

Las semillas se agrupan según su respuesta a la luz de la manera siguiente:

- a) Semillas que sólo germinan previo estímulo luminoso.
- b) Semillas que en un porcentaje germinan en la oscuridad.
- c) Semillas insensibles a la luz.
- d) Semillas cuya germinación es inhibida por la luz.

Las semillas cuya germinación es afectada por la luz son fotoblásticas; el fotoblastismo puede ser positivo o negativo según provoque o inhiba la germinación. El fotoblastismo y la sensibilidad térmica de las semillas son dos características del proceso de instalación reguladas por el ambiente (Bleasdale, 1984; Salisbury y Ross, 1978).

Absorción, transporte y pérdida de agua por las plantas.

Una vez emergida la plántula y formadas las primeras raicillas absorbentes, se establece el flujo de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera, formándose en la planta (que es parte intermediaria del continuum) una columna de agua, desde las primeras raicillas hasta las últimas hojas y meristemas, obedeciendo las leyes físicas y termodinámicas para satisfacer la demanda evaporativa (Kramer, 1983).

La planta en crecimiento puede considerarse como una unidad intermedia en el flujo de agua del suelo a la atmósfera. La atmósfera, que rodea a las plantas, en general no está saturada de agua, por lo cual ejerce una presión de succión proporcional al logaritmo neperiano del cociente de la presión de vapor de agua actual del aire entre la máxima posible a una determinada temperatura; tal presión, se puede determinar mediante la siguiente expresión (Slatyer, 1967):

$$S = \frac{RT}{V_a} \ln \frac{p}{p^o} \quad (7)$$

Tanto en el suelo como en la planta, en condiciones normales de crecimiento, hay un potencial de succión mucho menor que en la atmósfera, de modo que durante la mayor parte de la vida de la planta existe un flujo de agua en la dirección suelo —> planta —> atmósfera. La continuidad de este proceso mantiene la turgencia de las células foliares, siempre y cuando exista suficiente agua disponible

en el suelo, cuya demanda varía según la especie. Este flujo obedece el gradiente de potenciales de succión. En casos extremos de sequía edáfica, y en los casos en que las hojas se humedecen por lluvia esporádica o rocío, puede detenerse o invertirse el flujo, por lo menos de la atmósfera a las hojas, aunque ello, sin embargo, no reviste importancia ecológica (Kramer, 1983; Salisbury y Ross, 1978).

En plantas superiores el abasto de agua ocurre básicamente por las raíces; el agua fluye a través de compartimentos, donde encuentra diversos tipos de resistencia, que depende de las características de los compartimentos y de la magnitud del flujo (Kramer, 1974, 1983).

Con respecto a la serie suelo-raíz-xilema-hoja (cámara subestomática), se puede afirmar que el flujo (**F**) de agua del suelo (**1**) a la raíz (**2**) depende de la diferencia de potenciales de succión (tensión) **S**₁ - **S**₂ y de la resistencia al flujo entre el suelo y la raíz (**r**_{1,2}). La naturaleza de la resistencia puede ser muy compleja, ya que intervienen fenómenos de hidratación, de superficie, etc. En condiciones de flujo constante a través de todos los compartimentos se obtiene:

$$F = \frac{S_{1,2} - S_{2,3}}{r_{1,2}} - \dots - \frac{S_{n,n+1}}{r_{n,n+1}} \quad (8)$$

Para un cierto flujo, las resistencias varían según las diferencias de **S** en los compartimentos considerados, por tanto, la mayor resistencia al flujo se encuentre donde el **S** es mayor; tal situación se presenta en condiciones de aporte constante de agua, entre la hoja y la atmósfera (Slatyer, 1967). El potencial de succión del suelo bajo humedad normal varía entre 0.1 y 10 atm (10 y 1000 KPa); en las hojas, oscila de 2 a 15 atm (200-1500 KPa), en tanto que en la atmósfera varía entre 100 y 2000 atm (10-200 MPa) (Milthorpe y Moorby, 1974).

La diferencia de potenciales de succión entre la atmósfera y la planta explica el ascenso del agua hasta la copa de árboles altos (**S** 1 atm = 10 m), el cual se realiza por el xilema en columnas continuas, ya que la fuerza cohesiva es enorme (en helechos, tal tensión supera las 200 atm ó 20,000 Kpa (Medina, 1977)); así, la columna de agua resiste la tracción a la que es sometida.

Además, las paredes del xilema se hidratan, y la tensión superficial del agua en los tubos capilares sinuosos de las paredes evitan que la columna se desprege de la pared. A través de los estomas de la lámina foliar ocurre el intercambio gaseoso de H_2O , O_2 y CO_2 . Cada estoma está formado por la turgencia de las células guardianes; son más numerosos en el envés foliar y son la vía transpiratoria desde el mesófilo (Jones, 1983; Salisbury y Ross, 1978).

Resumen del flujo transpirativo.-

En la superficie húmeda de las paredes celulares del mesófilo foliar, principalmente en la cámara subestomática, el agua se evapora y difunde al exterior por los estomas y cutícula (transpiración estomática y cuticular). La resistencia al paso del agua por ambas vías es distinta; cuando los estomas están abiertos, la diferencia alcanza varios órdenes de magnitud.

El aire que circunda la hoja es heterogéneo; la capa de aire inmediata a la superficie es más viscosa y dificulta la difusión molecular; se denomina "capa límite".

Se distinguen dos resistencias al flujo de vapor de agua de la hoja a la atmósfera: la resistencia foliar (r_f), suma de la resistencia estomática (r_e), de la cuticular (r_c) y otras propias del estado del agua en las superficies celulares de la cámara subestomática, y la resistencia de la capa limitante (r_a).

La resistencia r_a de la capa límite depende de su espesor, y éste a su vez de la tasa o velocidad de desplazamiento de la masa de aire circundante. La resistencia de la hoja a la emisión del vapor de agua varía con la apertura estomática. La variación de la resistencia estomática influye más mientras menor es la resistencia r_a (Figura 2).

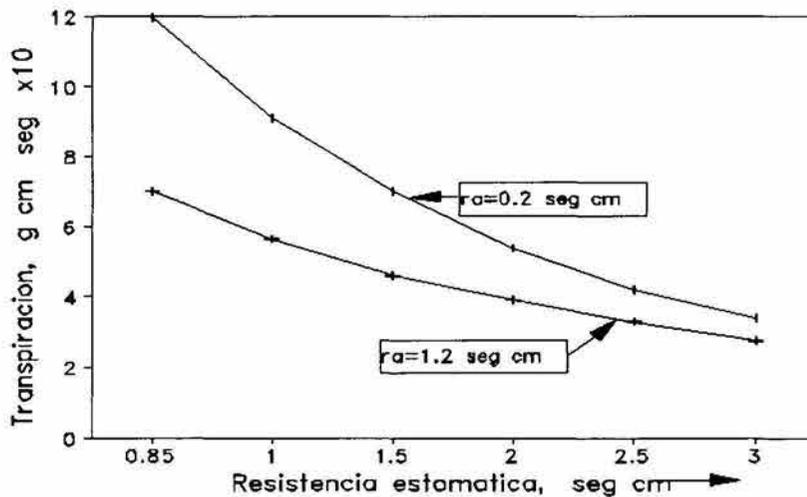


Fig. 2. Variación de la transpiración foliar en relación con la resistencia estomática, con dos valores de resistencia de la capa límite.

La respuesta de la transpiración a la resistencia de los estomas a la difusión es más marcada cuanto mayor es r_t con respecto a r_a , por lo que al aumentar la velocidad del viento aumenta la importancia de r_t como reguladora de la transpiración. La apertura y cierre del estoma se debe a la variación de la turgencia de las células oclusivas. Las paredes de las células oclusivas son colindantes, por ello, las células al hincharse forman un poro entre ellas. Los factores que influyen en la apertura estomática son los que afectan la turgidez celular, provocando así la apertura y cierre. También, la turgencia está asociada a la entrada de K^+ a las células oclusivas. Los principales factores que afectan el movimiento estomático son los siguientes.-

a) Hídricos: la escasez del agua aportada a las hojas reduce la turgencia de las células oclusivas, las que terminan por cerrarse y reducen así la transpiración.

b) Concentración del CO_2 : si en la cavidad subestomática la concentración de CO_2 es mayor a la del aire, se cierra el estoma; si es menor, se abre.

c) Luz: la exposición a la luz de las células oclusivas suscita la apertura estomática debida a dos fenómenos: la síntesis de azúcares en los cloroplastos de las células oclusivas (aumento de **S**), y el descenso de la concentración del CO_2 de la cámara subestomática por fijación de este gas en el mesófilo.

d) Temperatura: un incremento moderado de la temperatura foliar provoca la apertura estomática, y un aumento excesivo causa el cierre, debido posiblemente a un incremento del nivel de CO_2 intercelular (Medina, 1977; Salisbury y Ross, 1978).

Los estomas tienen ciclos diurnos de apertura y cierre, sobre los que influyen los factores señalados, aunque en ocasiones predomine alguno de ellos. Al pasar de la luz a la oscuridad el cierre estomático puede ser una respuesta al incremento de la concentración de CO_2 en la cámara subestomática debido al cese de la fotosíntesis. En el día, el ascenso de temperatura foliar y el déficit de agua, causan pérdida parcial de turgencia foliar y pueden producir cierre estomático parcial o total; además, la estructura estomática afecta la resistencia al flujo del CO_2 (Fitter y Hay, 1991; Kramer, 1983).

Determinantes físicas para el intercambio gaseoso: el balance energético.-

En la lámina foliar ocurre el intercambio de gases, siendo una entrada neta de CO_2 , O_2 y vapor de agua durante el día, mientras que en la noche se invierte el flujo de CO_2 y O_2 ; todo ello debido a la fotosíntesis, fotorrespiración y respiración mitocondrial a nivel celular (Taylor, 1975). El clima contiguo debe describirse considerando variables como: **a)** flujo radiante, **b)** temperatura del aire, **c)** velocidad del viento y **d)** humedad relativa. El intercambio energético hoja-ambiente incluye los procesos de: **1)** conversión de energía química por el metabolismo; **2)** absorción y emisión de energía radiante; **3)** intercambio convectivo de calor; **4)** intercambio de calor latente por evaporación o condensación; y **5)** conducción. Los procesos **1** y **5** no son relevantes, excepto para órganos suculentos, como los de las cactáceas. El intercambio energético se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_a = \epsilon\sigma T_f^4 + H \cdot (T_f - T_a) + L \cdot E \quad (9)$$

donde:

- Q_a** = Energía de la radiación absorbida (cal·cm⁻²·min⁻¹).
ε = Emisividad de la hoja.
σ = Coef. de Stefan-Boltzmann (radiación de cuerpo negro):
 8.132x10⁻¹¹ cal·cm⁻²·min⁻¹·K⁴.
T_f y **T_a** = Temperatura foliar y temperatura del aire, en °K.
H = Coeficiente de convección.
L = Calor latente de vaporización del agua, dependiente de la temperatura en cal·g⁻¹ (580 cal·g⁻¹ a 30°C).
E = Cantidad de agua evaporada por transpiración.

La ecuación (9) permite calcular la pérdida de agua de la hoja considerando la radiación incidente, la temperatura del aire, y las propiedades físicas de las hojas (coeficientes de absorción, emisividad y convección) (Gates, 1975).

4.1.2. ECOFISIOLOGIA DE LAS PLANTAS DE ZONAS SECAS

RELACIONES PLANTA-AGUA-AMBIENTE: LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SU SIGNIFICADO ECOLOGICO.

Significación ecofisiológica de la hidratación del citoplasma. La ecuación para el cálculo del potencial de succión de una célula o un tejido no permite conocer el estado del agua en el citoplasma. Del grado de hidratación del citoplasma depende la actividad de las enzimas. En general, las plantas que crecen en ambientes donde la humedad no es óptima, presentan en sus tejidos, especialmente en las hojas, un potencial osmótico del fluido vacuolar mayor, es decir, menor hidratación del citoplasma. Tal deficiencia se refleja en el crecimiento de la planta y en la estructura de la superficies asimilatoria y radical. Tal fenómeno se puede estudiar observando la estructura de "hojas de sol" y "de sombra" de una misma especie, denominación que se debe a las diferencias en su localización dentro del follaje de la planta respectiva o de la comunidad vegetal. Las hojas de sol crecen bajo exposición total, mientras que las de sombra crecieron dentro del follaje, a la sombra de otras hojas; las hojas de sol son más gruesas que las de

sombra (tienen mayor relación entre peso foliar/superficie foliar), poseen un parénquima de empalizada bien estructurado (bifacialidad acentuada), cutícula más gruesa, mayor densidad de estomas y nervaduras (Salisbury y Ross, 1978).

Las variaciones morfológicas descritas están relacionadas con un saldo de agua desfavorable para las hojas de sol por períodos prolongados. La hoja de sol recibe una dosis de radiación mayor, por lo cual, durante los períodos de iluminación, su temperatura es más elevada que en las de sombra. Por ello, el gradiente de humedad hoja-atmósfera se acentúa, con lo cual para una misma resistencia difusiva, hay mayor pérdida de agua por transpiración. La medición del potencial osmótico del líquido vacuolar de hojas de sol y de sombra permite evidenciar que el grado de hidratación del citoplasma es mayor en las hojas de sombra porque crecen bajo un régimen más equilibrado de suministro de agua (Sutcliffe, 1974).

Las características de las hojas que se desarrollan en condiciones hídricas temporalmente desequilibradas, se asocian con la xeromorfia (morfología de plantas de zonas secas). Las modificaciones estructurales repercuten en gran medida en el metabolismo fotosintético de las hojas y en la capacidad de producir materia orgánica por la planta (Nobel, 1983).

Las condiciones de balance de agua en la vegetación varían a diario debido a los cambios de la incidencia de la luz, y según las estaciones, a causa de las variaciones de las épocas de lluvia y sequía, de las temperaturas, de la insolación, y otras variables climáticas (Fitter y Hay, 1991).

Los cambios en el suministro de agua se reflejan en variaciones pasivas y reversibles, o activas e irreversibles, del potencial osmótico del fluido vacuolar. Las variaciones diurnas del potencial osmótico vacuolar en plantas sometidas a radiación fuerte oscilan de 2 a 6 atm entre el valor máximo (mediodía) y el valor mínimo (amanecer). Tales variaciones se deben a un desequilibrio transitorio entre la absorción y la pérdida de agua, lo cual produce un aumento de la concentración relativa del fluido vacuolar.

El anterior fenómeno se hace manifiesto si el producto del contenido de agua de la hoja por el potencial osmótico del líquido vacuolar permanece constante durante el día. Bajo un balance hídrico desfavorable prolongado, como en plantas

de zonas secas o en hojas de sol, ocurren procesos de regulación que elevan el potencial osmótico del fluido vacuolar (Slatyer, 1967).

El estudio del balance de agua en plantas de zonas secas es básico para comprender los procesos de producción de materia orgánica bajo déficits hídricos (Fischer y Turner, 1978).

Al estudiar la evolución de las plantas terrestres puede concluirse que con la aparición del mecanismo de turgencia, las células vacuolizadas alcanzan gran rigidez, pero pierden la capacidad de desecarse, posiblemente por los efectos mecánicos de la deshidratación sobre la estructura fina del plasma. Por otra parte, la formación de la vacuola provee a la célula de un medio acuoso interno separado del citoplasma por el tonoplasto (Salisbury y Ross, 1978; Nobel, 1983).

Otras características que surgen durante la evolución son la formación de una cutícula impermeable y de un sistema de absorción y transporte de agua que compensa las pérdidas por los órganos asimiladores, expuestos al gradiente de humedad de la atmósfera, para fijar el CO_2 (Nobel, 1983).

El equilibrio de agua en las plantas es decisivo para su supervivencia en su hábitat y por ello gran parte de la investigación relacionada con su adaptación se ha dedicado al análisis de la estructura y funcionamiento del aparato estomático. En general, el aparato estomático de las plantas de zonas secas es muy complejo, y su estructura dificulta la difusión del vapor de agua por los estomas.

Asimismo, el grosor cuticular de estas plantas implica un alto valor de la resistencia difusiva por la cutícula. Por otro lado, la densa pilosidad frecuente en la superficie foliar es causa de un aumento considerable de r_a y, por tanto, causa una drástica reducción del flujo de agua planta \rightarrow atmósfera.

Sin lugar a dudas, los aspectos inherentes a la eficiencia de uso del agua (EUA), los efectos de la desecación gradual con las apareadas reducciones graduales en el Ψ de la planta, como ocurre en el campo, y la significancia de la respuesta estomática a la humedad, son relevantes para la conservación del agua en zonas áridas y semiáridas (Fischer y Turner, 1978).

MECANISMOS DE ADAPTACION A LA SEQUIA, MEDICION Y MUESTREO.

Levitt (1980) estableció la siguiente clasificación de respuestas a la sequía:

1) Escape a la sequía.- Implica una respuesta a nivel de la longevidad de las plantas, ej. las plantas anuales que pasan las sequías en forma de semilla.

2) Resistencia a la sequía.- En plantas de ciclo de vida largo se han observado dos tipos de respuesta a la sequía: a) evasión, y b) tolerancia a la sequía.

a) Evasión a la sequía.- Estos mecanismos permiten a las plantas mantener potenciales hídricos elevados, aunque estén expuestas a déficits de agua externos. Dentro de estos se pueden reconocer dos tipos: a₁) reducción de la pérdida de agua, y a₂) mantenimiento de altas tasas de toma de agua, que permiten reponer la pérdida de agua por transpiración.

a₁) La evasión se logra a través de adaptaciones morfo-anatómicas, como en las xerófitas, que presentan barreras cuticulares, disminución de la proporción superficie/volumen, caducifoleidad, pubescencia, espinas y movimientos foliares (Begg, 1980). Tales adaptaciones disminuyen la pérdida de agua por transpiración, además de las adaptaciones fisiológicas y bioquímicas, la sensibilidad estomática y tipo de metabolismo fotosintético (Ting, 1985).

a₂) Altas tasas de transpiración se logran a través de adaptaciones morfológicas y bioquímicas como: proporción alta de tejido conductor/no conductor y de la relación raíz/tallo, potencial alto de absorción de agua, mayor conductancia hidráulica en la raíz, o variación en el potencial osmótico radical que permita cambios en el PMP (Nielsen *et al.*, 1984). Park (1990) observó que las raíces de *Eleusine indica* Gaertn. profundizan al agotarse la humedad superficial.

b) Tolerancia a la sequía. Para tolerar la sequía, el potencial hídrico presenta valores bajos. Las adaptaciones que permiten esta tolerancia de potenciales hídricos bajos son: el mantenimiento de valores relativamente positivos de la presión de turgencia y de la resistencia protoplasmática (Turner y Jones, 1980).

La capacidad de las plantas para mantener potenciales de turgencia relativamente positivos a bajos potenciales de agua, es una ventaja adaptativa en hábitats donde existe déficit hídrico; cabe recordar que la magnitud del potencial de turgencia, depende de los valores del potencial osmótico y de la elasticidad de

las paredes celulares (Tyree y Jarvis, 1982). La presión de turgencia (P_t) resulta de la diferencia del potencial hídrico (Ψ) menos el osmótico (π):

$$P_t = \Psi - \pi \quad (10)$$

como Ψ y π son valores algebraicamente negativos, π debe mantenerse a un valor menor que Ψ , para que la célula permanezca turgente. La disminución del potencial osmótico celular, en respuesta al déficit hídrico, puede ser resultado de un incremento en solutos y se logra, disminuyendo el volumen de agua celular, ya sea por pérdida de agua de la hoja, o una redistribución de agua entre el simplasto y el apoplasto, o bien, por un incremento de solutos o ajuste osmótico (Morgan, 1984). La magnitud del potencial de turgencia depende también del grado de elasticidad del tejido a nivel de paredes celulares. Para un valor de potencial hídrico, un tejido elástico tiene una turgencia mayor que uno más rígido (Tyree y Jarvis, 1982; Nobel, 1983).

Mediciones en Campo y Laboratorio y Problemas de Muestreo.

La medición de la tensión hídrica a partir de la humedad edáfica o de los coeficientes de evapotranspiración es útil para ciertos fines. Sin embargo, no son suficientemente confiables para evaluar los aportes de agua sobre la fisiología y crecimiento de la planta. Los indicadores más confiables de la tensión hídrica evidentemente son las medidas directas efectuadas precisamente sobre ella.

Variables relacionadas. La importancia de la tensión hídrica en las plantas, de diferentes ecosistemas, ha sido reconocida desde principios de siglo, como lo revelan las numerosas medidas de potencial osmótico reportadas en literatura. Sin embargo, el interés desvió de las medidas de potencial osmótico hacia lo que actualmente se conoce como "potencial hídrico". Desafortunadamente, las dificultades inherentes a una medida confiable de potencial hídrico obstaculiza el avance de la ecofisiología vegetal. Para solventar el problema, se han llevado a cabo intentos para evaluar la tensión hídrica en términos de contenido hídrico,

turgencia relativa o contenido hídrico relativo, déficit de saturación e inclusive de apertura de estomas. Una de las razones que dificultan las mediciones de tensión hídrica de plantas es la incertidumbre concerniente a lo que debe medirse. Es claro que debe medirse la variable más relacionada con los procesos fisiológicos esenciales.

Además del contenido hídrico, existen los componentes del potencial hídrico (el potencial osmótico y la turgencia o potencial de presión). Kramer (1974), ha insistido sobre la importancia del potencial osmótico como indicador del estado hídrico de la célula, porque el mismo afecta la hidratación del protoplasma. Sin embargo, los límites de los potenciales osmóticos varían entre plantas; un valor normal para halófitas resulta muy bajo para mesofitas.

No hay duda sobre la importancia del potencial de turgencia sobre el agrandamiento celular y la apertura de los estomas, pero la presión de turgencia (Pt) es difícil de medir directamente, por lo que comúnmente se evalúan el potencial hídrico y el potencial osmótico de la célula, para estimar numéricamente Pt.

Problemas de muestreo. Cualquiera que sea el método, el uso de muestras representativas y comparables es importante. Comúnmente las mediciones se efectúan en hojas, separándolas de la planta (métodos destructivos), porque son accesibles y fáciles de muestrear, además de que por su fisiología son importantes. Debido a su expansión, son indicadores sensibles de la tensión hídrica. Sin embargo, el estado hídrico de las hojas varía enormemente. Las hojas viejas y las jóvenes difieren en su contenido hídrico y potencial osmótico, lo mismo sucede con las hojas al sol y bajo sombra, o las que brotan en la parte superior o inferior de la planta. Se cometen errores al comparar muestras de edades diferentes, de lugares con exposiciones diferentes, o extraídas a diferentes horas del día, por lo que deben evitarse los cambios de contenido hídrico de las muestras durante y después del desprendimiento. Deben colocarse en recipientes ligeros, a la sombra, y deben evaluarse con prontitud. Métodos como cortar muestras de hojas para colocarlas en cajas Petri o tubos de ensayo deben efectuarse en un lugar húmedo.

Medidas directas del contenido hídrico.

Contenido hídrico basado en el peso seco. Es el método tradicional para medir el estado hídrico de las plantas; se determina como porcentaje del peso seco. Para calcular el contenido hídrico mediante el peso seco, el material se seca en horno a 85°C. El método no es del todo satisfactorio, especialmente con hojas, dado que aumentan notoriamente el peso seco durante su vida. La fotosíntesis, respiración y traslado provocan cambios en la cantidad de solutos dentro de las hojas y, por tanto, cambios diurnos del peso seco de la hoja.

Contenido hídrico basado en el peso fresco. Se expresa como porcentaje del peso fresco; es impreciso por las variaciones diurnas de contenido hídrico, pero es relativamente insensible a pequeños cambios hídricos.

Contenido hídrico relativo. Dada la imprecisión de los pesos fresco y seco, se ha optado por expresar el contenido hídrico como porcentaje del contenido hídrico a turgencia. Un parámetro relacionado es el "déficit hídrico", que se calcula así:

$$\text{Déficit hídrico} = \frac{\text{peso turgente} - \text{peso de campo}}{\text{peso turg.} - \text{peso seco al horno}} * 100 \quad (11)$$

Posteriormente, Weatherley (1951) propuso el parámetro que denominó turgencia relativa o "contenido relativo de agua", mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Cont relat de agua (CRA)} = \frac{\text{peso de campo} - \text{peso seco al horno}}{\text{peso turgente} - \text{peso seco al horno}} * 100 \quad (12)$$

El déficit hídrico y el contenido relativo de agua son complementarios:

$$\text{CRA} = 100 - \text{Déficit hídrico} \quad (13)$$

El procedimiento para una medida más confiable de la turgencia varía según la especie. Siempre es necesario un manejo cuidadoso para coleccionar y procesar las muestras. Una fuente de error procede de la infiltración de agua en los espacios

intercelulares; otra consiste en no secar la superficie de la hoja al pesarla. Las mediciones deben iniciarse inmediatamente después de coleccionar las muestras. El CRA y el déficit hídrico son convenientes para evaluar los cambios en el contenido hídrico, sin los errores que pudieran causar el cambio de peso seco.

Medición del potencial hídrico por equilibrio de presión.

Scholander y col. (1965) introdujeron un método ampliamente aplicable: se coloca una hoja dentro de una cámara de presión herméticamente cerrada, con la parte seccionada fuera; se aplica presión al vástago hasta que aparece savia del xilema en la superficie del corte. La presión ejercida para impulsar el agua de las células foliares nuevamente al xilema adentro se considera igual al potencial hídrico de las células foliares. Se toman medidas rápidamente con la cámara de presión, y el equipo puede transportarse al campo. El método es útil para una variedad de propósitos; su confiabilidad para cualquier tipo de tejido vegetal debe compararse con otros métodos, como el del psicrómetro. Cabe mencionar que los tallos o pecíolos deben ser suficientemente fuertes para fijarse en la cámara de presión. Siempre debe tomarse en cuenta que el método es destructivo.

4.2. CLIMATOLOGIA Y AGROECOLOGIA DE LAS ZONAS SEMIARIDAS.

El término "semiaridez" denota una expresión o término comparativo, que implica un estado de humedad intermedio entre el de aquellas condiciones verdaderamente áridas, y el de otras propias de una mayor humedad.

Mientras que las regiones áridas reciben alguna precipitación, aunque mínima y en ocurrencia irregular, en contraste, las regiones semiáridas típicamente reciben una precipitación substancial, al menos durante algunos meses del año, suficiente para humedecer el suelo hasta un nivel tal que reverdezcan los pastizales y arbustos xerófilos.

La biomasa que se produce después de las lluvias en una zona semiárida excede, por mucho, a la que se produce en una zona árida después de una precipitación (Walter, 1973). Asimismo, la falta de una precipitación oportuna a lo

largo de una gran parte del año también es típica de los regímenes de precipitación en zonas semiáridas.

Aún en las regiones donde las lluvias se presentan con una adecuada distribución a lo largo del año, largos períodos secos de duración errática pueden considerarse comunes dentro de un largo plazo.

Desde un punto de vista meteorológico, la aridez es el resultado de la presencia de una masa de aire seco descendiente. Tal condición es inherente de las regiones centrales de anticiclones; por tanto, la aridez se hace más patente donde las condiciones anticiclónicas son persistentes, como ocurre en las regiones que están bajo la influencia de celdas cuasi-permanentes de alta presión, situación común en los subtropicos (Leighly, 1953, citado por Bailey, 1979).

El efecto anti-lluvia de los anticiclones subtropicales es magnificado o prolongado a causa del intercambio térmico que ocurre en superficies de agua fría, como aquellas que son típicas de las corrientes oceánicas frías que bordean las costas occidentales de los continentes americano y africano.

Se pueden localizar costas en extremo áridas a lo largo del litoral occidental de Sudamérica y Sudáfrica, donde las temperaturas superficiales del mar son aún más bajas que las que presentan la Corriente de California, que bordea Norteamérica, y la Corriente de las Canarias de Africa del Norte (Lydolph, 1957). Sin embargo, también existen grandes áreas de clima seco alejadas del mar; la zona árida más grande del mundo se extiende desde la costa oeste de Africa del Norte hacia el interior de Asia, exceptuando los lugares donde intervienen masas montañosas capaces de provocar suficiente convección que favorezca cantidades significativas de precipitación. América del Norte, Sudamérica y Australia también tienen áreas considerables de clima seco en regiones interiores.

Ante tales variaciones climáticas, aunadas a otros factores adversos, resulta difícil evaluar el desarrollo global y el potencial productivo de cultivos en ambientes semiáridos, donde, además de lo aleatorio de la precipitación y la amplitud de la oscilación térmica, los niveles de radiación solar son de los más elevados del planeta (Arnon, 1972).

El excesivo calor no siempre limita la productividad, dado que diversas plantas son capaces de tolerar, o incluso crecer, cuando están sujetas a las altas temperaturas que prevalecen en zonas áridas (Bjorkman y colaboradores, 1974). Algunas plantas xerófilas toleran potenciales hídricos foliares menores de -80 bars (Slatyer, 1961); sin embargo, sus tasas de crecimiento pueden abatirse al enfrentar una sequía (Evenari y colaboradores, 1975), por lo que las limitantes impuestas por una precipitación deficiente no están del todo determinadas.

Las necesidades de agua de los cultivos son menores que 600, o incluso 200 mm/año de lluvia que pueda precipitarse sobre las regiones semi-áridas. Sin embargo, lo importante es su distribución a lo largo del año. Un cultivo anual que alcanza crecimiento completo puede contener 100 Mg de agua/Ha, con un uso neto de 9 Mg de agua para el metabolismo involucrado en la producción de 15 Mg de carbohidratos. El uso de agua de 109 Mg/Ha equivale a 10.9 mm de lluvia; sin embargo, los cultivos tradicionales requieren cientos de mm de agua para alcanzar la producción esperada. Es claro que volúmenes importantes de agua son evapotranspiradas; sin embargo, las evidencias indican que satisfacer aún tasas moderadas de transpiración no es estrictamente necesario para la función vegetal (Poljakoff-Mayber y Gale, 1972).

Las características adaptativas y de tolerancia de las plantas en zonas semiáridas deben incluir mecanismos fisiológicos que reduzcan la transpiración por debajo de la evaporación potencial, siempre que se mantengan niveles óptimos de fotosíntesis y productividad. En zonas semiáridas debe fortalecerse la investigación de cereales y leguminosas, dos de los alimentos básicos, que reúnan tales cualidades; su aprovechamiento mejorará las dietas y el nivel nutricional en numerosas áreas del mundo.

Causas de la Aridez en el Noroeste de México

La climatología de zonas áridas es de considerable importancia para el desarrollo agrícola de las tierras sudcalifornianas, principalmente para comprender el patrón de las fluctuaciones y reducir la incertidumbre sobre períodos prolongados de sequía.

En el caso específico de Baja California Sur, no existen descripciones precisas sobre la aridez y sus fluctuaciones, aún cuando es uno de los estados mexicanos de mayor aridez. En la literatura, la sequía se ha definido de diversas maneras, incluyendo el concepto de déficit de precipitación que ocurre en períodos considerables de tiempo sobre una variedad de escalas espaciales. Las sequías son eventos que resultan de la subsidencia de fenómenos meteorológicos de gran escala los cuales inhiben los mecanismos productores de precipitación (Landsberg, 1984). Si tales fluctuaciones climáticas pudieran predecirse con suficiente precisión, tanto los agricultores como los planificadores gubernamentales pudieran tomar decisiones y precauciones "a priori" para reducir al mínimo posible las consecuencias devastadoras (Nicholls, 1985).

El análisis intensivo de casos individuales de sequía son un prerequisite para anticipar su inicio y pronosticar su duración (Namias, 1978). La incidencia de sequías, y por ende la aridez, en Baja California Sur obedecen a tres factores fundamentales:

i) El arribo a las costas occidentales de Baja California Sur de corrientes oceánicas frías, provenientes del Canadá y Alaska. Debido a su naturaleza y a mecanismos adiabáticos oceánico-atmosféricos deshidratan el aire que contactan a su arribo, por lo que tales masas de aire se tornan prácticamente secas al ingresar a tierras sudcalifornianas, exceptuando el rocío que se presenta en la franja costera en los meses de otoño-invierno;

ii) Baja California Sur geográficamente se encuentra dentro de las latitudes en las que se encuentran los grandes desiertos del mundo, esto es, estamos dentro de la ruta de la trayectoria de los vientos contra-alisios, los cuales son vientos secos que se originan en centros de baja presión; y finalmente,

iii) Las cadenas montañosas del sur del Estado (Sierras de La Laguna y de San Lázaro, y cordilleras asociadas) generan sombra orográfica a los sitios de sotavento: las masas de nube húmedas que arriban del Océano Pacífico de latitudes más meridionales descargan por ascenso las lluvias en las mencionadas sierras por lo que después de traspasar tales cadenas orográficas se convierten en masas de aire seco.

Desde mediados de siglo se han formulado una gran variedad de modelos numéricos empíricos de aridez, en notables esfuerzos por cuantificar, medir y registrar tal fenómeno; a tales estimadores de aridez se les denomina *índices de aridez*. En este punto no debe olvidarse que la aridez es en sí la expresión de la fisiografía y del paisaje a consecuencia de la escasez de agua, así como del establecimiento sucesional de diferentes tipos de vegetación que coevolucionaron en tales ambientes. Por consiguiente, puede resultar inadecuado (sobre todo para algunos propósitos) considerar la aridez precisamente como el efecto directo de la interacción de variables climatológicas. En los primeros trabajos reportados sobre aridez y deficiencia de agua, el término *índice de aridez* fue empleado inicialmente por Thornthwaite en 1948 (Stadler, 1987). En este punto, cabe aclarar que los climas desérticos y semidesérticos son generalmente definidos en términos de baja precipitación y humedad; por tanto, una adecuada representación numérica de aridez o "sequedad" debe reflejar claramente una condición de escasez de agua.

En México, las zonas áridas son extensas, cubriendo alrededor del 60% del país. Las actividades agrícolas en ellas tienen disponibilidad de agua limitada. La aridez, entendida como una condición de deficiencia de agua, debe ser evaluada para planificar adecuadamente la agricultura en tales zonas y racionalizar objetivamente el uso de los recursos hidráulicos; '*racionalizar*', en este sentido, significa darle a cada uso del suelo la 'ración' o parte de agua que le corresponde manejándola óptimamente, esto es, no significa necesariamente suspender o clausurar el abastecimiento.

4.3. EXPECTATIVAS DEL FITOMEJORAMIENTO DIRIGIDO A SEQUIA.

Análisis Histórico del Mejoramiento Agrícola.

Uno de los eventos históricos más significativos del fitomejoramiento es la denominada "Revolución Verde", iniciada en las zonas agrícolas semiáridas del noroeste de México (particularmente en los Valles del Yaqui y del Mayo), fue mundialmente reconocida por la liberación de nuevas variedades de trigo y arroz

con mayor potencial de rendimiento. Las variedades mejoradas resultaron de dos cambios fundamentales:

- (i) Un drástico acortamiento de los tallos para reducir el esfuerzo de carga de los mismos e incrementar la relación grano/paja, y,
- (ii) Un marcado incremento en la adaptabilidad a los factores ambientales.

Es claro que las nuevas variedades se desarrollaron bajo condiciones óptimas; la semilla por sí sola producía pocos cambios. En realidad, una interacción compleja entre diversos factores (densidad de siembra, control del agua y malezas, niveles óptimos de fertilización, fechas de siembra, y otros) fue desarrollada para las nuevas variedades. La combinación de nuevas semillas con el mejoramiento de las prácticas fué necesaria para alcanzar los incrementos en el rendimiento de campo. Tal "paquete" de *variedades + ambiente agrícola mejorado* contenía sólo una fracción genética, incompleta para un cambio sostenible, y fue dirigido exclusivamente a la producción de grano. La extensión de la tecnología por sí sola no pudo estimular aumentos en la producción, especialmente en el sector marginal, cuya agricultura es de subsistencia. Por tanto, el cambio sostenible debe integrar adecuadamente los factores involucrados: precios adecuados, financiamiento, disponibilidad de insumos, transporte, conservación, mantenimiento de la fertilidad, y, en el caso de las zonas secas, conservación del agua.

¿Qué beneficios entonces se obtuvieron de la Revolución Verde?

- A principios de la década de los 70's (1972-74) se sembraron en el mundo cerca de 27 millones de Ha con variedades mejoradas. Resultó particularmente difícil estimar el beneficio real obtenido de las nuevas variedades dado que por lo común son cultivadas en las mejores parcelas, bajo las mejores condiciones. Después de evaluar la producción, una vez realizados los ajustes pertinentes, se concluyó que el rendimiento de las nuevas variedades mejoradas fue superior en, al menos, 0.5 Ton de grano por Ha, en promedio (Jennings, 1974). Sin embargo,

aumentaron los costos, y por otro lado, se agravó la contaminación de cuencas hidro-agrícolas con pesticidas y fertilizantes industriales, aunada al abatimiento en la disponibilidad de agua de buena calidad, principalmente en zonas áridas.

Ante tal problemática, cabe el cuestionamiento:

- *¿Cuál es el papel de los fito-mejoradores en una agricultura estancada?*
- *¿Cómo se evitarían las consecuencias indeseables de una agricultura de alta tecnología, dirigida a sólo un sector de los agricultores?*
- *¿Estamos concientes de la necesidad de desarrollo de una agricultura de nivel tecnológico intermedio o bajo, que contemple pocos requerimientos?*

Los paquetes desarrollados en la Revolución Verde fueron claramente ambiente-específicos, siendo una decisión inicial lógica para estimular la aceptación pública de la nueva tecnología que crearía un clima socio-político favorable en ese momento, y un marco adecuado para continuar las investigaciones agrícolas. La poca adopción de los nuevos trigos en la Septoria, las royas, el déficit de agua, y las demandas excesivas de insumos para modificar las tecnologías locales, fueron, entre otros, algunos de los factores que opacaron el éxito de la Revolución Verde a finales de los 70's. Lo anterior causó el sentir de que verdaderamente lo que se necesita son variedades adaptadas a los factores de producción limitantes.

Realmente es esencial que los mejoradores expongan su material genético a fuertes presiones de selección. Se ha vuelto demasiado común controlar en las parcelas experimentales los insectos-plaga, enfermedades, malezas y el déficit hídrico como una "obligación" rutinaria para realizar exitosas pruebas y vistosas demostraciones. Ello, por supuesto, reduce las posibilidades de reconocer los segregantes tolerantes, que frecuentemente por azar, por insuficiente muestreo, u otras razones, no son tomados en cuenta.

Definitivamente, para alcanzar una agricultura sostenible, se requiere desarrollar tolerancia a una amplia gama de enfermedades, plagas, heladas, altas temperaturas, baja fertilidad, salinidad, excesos de humedad, pobre drenaje y

déficits hídricos. Lo anterior implica una extensiva selección y evaluación de líneas, nativas e introducidas, que muestren tolerancia a los factores adversos, promoviéndolos en el marco de un control integral y una planificación sostenible, específica para cada caso particular.

Implicaciones de un fitomejoramiento basado en el balance hídrico.

Se considera como un axioma el que la producción de biomasa de una planta que se desarrolla en condiciones de falta de agua será menor que cuando se desarrolla con óptimos suministros de humedad al suelo. Por tanto, en términos reales no es posible obtener inmunidad biológica contra los efectos de la sequía. La productividad podría incrementarse al prolongar la disponibilidad de humedad del suelo en una mayor parte del período de crecimiento, si se reducen de algún modo la tasa de transpiración, o si se logra un uso más eficiente del agua de transpiración durante la fotosíntesis. El término "resistencia a la sequía" está relacionado con un ambiente desfavorable por falta de humedad y es la capacidad de un genotipo para ser más productivo que otro, con una determinada humedad edáfica. La duración de la sequía determina la cantidad de daño ocasionado.

Posibilidades reales y potenciales de un mejoramiento a partir de las características del aparato estomático.

Desde hace alrededor de 20 años ha aumentado el interés de los fitomejoradores por desarrollar variedades de plantas con características estomáticas particulares. Lo anterior se debió a la amplia percepción que se alcanzó sobre el papel del estoma en el control de la pérdida de agua (lo que implica posibilidades de tolerancia a la sequía) y en la entrada de CO₂ (con posibles efectos en la producción), y porque, en primera instancia, es un carácter anatómico simple que pudiera ser objeto de los métodos de selección y mejoramiento.

No obstante el entusiasmo inicial, desde entonces se ha ido aclarando que, así como en el caso de otros caracteres, la genética del estoma no es tan sencilla como se creía. En su problemática están implícitos los mecanismos innatos de compensación, que frecuentemente operan al aplicar selección sobre un carácter

aislado; por otro lado, deben considerarse las respuestas particulares del estoma al ambiente. Además, gran parte de la variación de los caracteres estomáticos está determinada fenotípicamente, más que genéticamente. Más importante es afrontar la realidad acerca de que la comprensión del papel eco-fisiológico del estoma es aún incompleta, sobre todo en relación con la tolerancia a la sequía, por ejemplo, para alcanzar un balance entre la conservación del agua y sobrevivencia (pocos y pequeños estomas, o cerrados la mayor parte del período lumínico) y las expectativas de productividad (numerosos y grandes, o abiertos). Desafortunadamente, alcanzar la combinación óptima depende, en medio de complejas interrelaciones, de otros caracteres de la planta y ambiente.

Objetivos de un mejoramiento a partir de caracteres estomáticos.

Se vislumbran dos razones poderosas para manipular el aparato estomático.-

a) La primera es maximizar la productividad, y por tanto el rendimiento, incrementando las tasas de asimilación. De un incremento en la conductancia estomática se esperaría un incremento en la presión parcial de CO_2 dentro de la hoja, y por tanto, un incremento en la fotosíntesis, especialmente en las plantas C_3 , en las cuales el aparato fotosintético no está saturado con CO_2 .

En realidad, la co-adaptación de los componentes del sistema fotosintético tiende a mantener la presión parcial intercelular de CO_2 estable. Lo anterior puede bloquear los intentos de mejoramiento en la asimilación, de tal forma que pudiera resultar más factible promover incrementos paralelos en las conductancias estomática e intracelular.

b) La segunda razón es mejorar la tolerancia a la sequía. Los mecanismos de conservación del agua, tales como una baja conductividad estomática, constituyen para las plantas una forma importante para sobrevivir a las sequías, aunque al mismo tiempo limitan su potencial productivo. Por tal razón, poseer estomas que cierren en respuesta a un agobio severo puede ser más adecuado para un cultivo que tener estomas capaces de mantener consistentemente una baja conductancia.

Similarmente, el cierre estomático en respuesta a un creciente déficit de humedad tendería a mejorar la eficiencia de uso del agua y la capacidad de tolerancia a la sequía al restringir la apertura estomática a las primeras horas de la mañana y últimas horas de la tarde, en las que ocurre una menor demanda evaporativa. Otra ventaja de una baja conductancia es que la tasa reducida de transpiración disminuye la depresión del potencial de agua en las hojas, pudiendo mejorarse la eficiencia de uso del agua. También se pueden obtener otras ventajas a partir de otros criterios en la selección de ciertos caracteres estomáticos, como la resistencia a las heladas (una conductancia baja puede evitar la deshidratación por congelamiento) o tolerancia a altas temperaturas (conductancias elevadas aumentan la tasa de enfriamiento evaporativo).

Por otro lado, existen evidencias de que los genotipos con menos estomas son más tolerantes a los contaminantes atmosféricos, aunque otros factores pudieran ser más relevantes. Además, se ha sugerido la posibilidad de mejorar especies arbóreas que absorban y reduzcan los contaminantes atmosféricos al seleccionar para aperturas estomáticas grandes y baja tendencia al cierre estomático. Por otro lado, dado que numerosas enfermedades (royas, mildiús), infectan directamente los estomas, ha aumentado el interés por seleccionar para cierre estomático o para obtener menos estomas por área foliar, para elevar la resistencia a enfermedades similares.

Genética del Aparato Estomático.

Un requerimiento esencial en cualquier programa de fitomejoramiento es que exista la variación genética adecuada o que pueda ser inducida mutagénicamente para los caracteres bajo consideración. Se sabe que existen diferencias heredables entre especies en relación con el tamaño de los estomas, su distribución y morfología, pero ellas estarán disponibles a los fitomejoradores sólo cuando las técnicas de transferencia de genes interespecíficos se hayan desarrollado y validado. Existen también numerosos estudios sobre la genética de caracteres estomáticos (principalmente frecuencia y tamaño) en diferentes especies, pero tales trabajos se han prestado a confusión por la variación debida al ambiente.

Caracteres morfológicos de los estomas. Un problema en el análisis genético de los caracteres estomáticos es que frecuentemente están ligados entre sí y a otros caracteres. La frecuencia estomática por unidad de área, por lo común está inversamente relacionada con el tamaño de las células guardianes (Rajendra y col., 1978) o con el tamaño de la hoja (Jones, 1977), de tal manera que el área de poros por unidad de lámina foliar puede permanecer más o menos constante. Además de los factores ambientales que incrementan el tamaño de las células y el vigor general, los factores genéticos como la heterosis y el aumento en el número cromosómico, que redundan en los niveles de ploidía, también tienden a disminuir la frecuencia estomática. El efecto de la ploidía sobre el tamaño y frecuencia de los estomas está documentado para varias especies, como el trigo, en el que la frecuencia de estomas en especies $6n$ es la mitad de la observada en especies $2n$ (Dunstone y col., 1973), la alfalfa (Chandler y Lyrene, 1982), y otras.

Fitomejoramiento basado en la conductividad estomática. El esfuerzo del mejorador en incrementar la productividad y tolerancia a la sequía debe hacer mayor énfasis en la conductividad estomática que en las variables morfológicas, las cuales sólo reflejan indirectamente el estado fisiológico. Aún cuando la frecuencia de los estomas, puede en algunos casos correlacionarse con la conductividad (Nerkar *et al.*, 1981), en otros, tal relación no es evidente (Jones, 1977). Lo anterior se presenta dada la relación inversa entre la frecuencia y el tamaño de los estomas, dos de los principales determinantes de la conductividad por unidad de área.

Por lo anterior, la conductividad puede tener mayor correlación con el producto algebraico del tamaño y frecuencia. En realidad, el determinante más relevante de la conductividad es la apertura, la cual varía con el ambiente y el estado de desarrollo de la planta (Percy *et al.*, 1989). A pesar de las variaciones debidas al ambiente, se han encontrado diferencias genéticas en relación con la conductancia en numerosas especies (Jones, 1987); sin embargo, se ha observado que la conductividad de una gama importante de cultivos evaluados en base a esta variable cambia con la hora del día (Lea y col., 1977), etapa de desarrollo (Singh *et al.*, 1982), y año con año (Gaskell y Pierce, 1983).

La heredabilidad de la conductancia no está del todo entendida; un estudio realizado con cruza entre dos líneas de algodón contrastantes, reveló el efecto de la varianza de ambos componentes: el aditivo y el dominante, habiendo dominado la baja conductancia (Roark y Quisenberry, 1977); desafortunadamente, los efectos sobre la conductancia no pudieron separarse de los relacionados con el potencial hídrico de las hojas.

Evaluación de la respuesta al estrés. Aún cuando una alta conductividad (adecuada para una alta tasa fotosintética) o baja conductividad (relevante para la conservación del agua), presenten ciertas ventajas, se ha señalado que el mejoramiento para sequía debe involucrar más bien la selección de genotipos con una adecuada respuesta estomática al estrés (Jones, 1987).

En varias especies se han observado diferencias genotípicas en la respuesta al estrés hídrico, entre las que se encuentran el sorgo (Henzell y col., 1976), trigo (Quarrie y Jones, 1979) y mijo-perla (Henson y col., 1981). Desafortunadamente, no en todos los casos ha sido posible comparar suficientes genotipos dado el gran número de mediciones requerido (al menos, se necesitan las conductividades de las plantas control y de aquellas bajo estrés). Además, es necesario medir el estatus hídrico de la planta con el objeto de separar las verdaderas diferencias entre la respuesta estomática bajo *iguales potenciales hídricos* de aquellas resultantes de otros factores (tales como el área foliar), que influyen en la respuesta al estrés y por tanto afectan el cierre estomático.

Es bien sabido que el ácido abscísico (ABA), fitorregulador del crecimiento, está involucrado en el cierre estomático en respuesta al estrés, y hay evidencias de que la respuesta estomática está, al menos parcialmente, determinada por diferencias genéticas en la acumulación de ABA. La variedad de sorgo-milo Serere 39, que tiene alta capacidad de acumulación de ABA, mostró mayor sensibilidad al estrés hídrico que dos líneas con baja acumulación de ABA (Henson y col., 1981). Por otro lado, el análisis de una segregación transgresiva en una cruce entre líneas con alta y baja acumulación de ABA sugirió la participación de más de un gen. Aunque existen evidencias sobre la heredabilidad de la capacidad de acumulación de ABA

en maíz (Larqué-Saavedra y Rodríguez, 1979), en trigo y sorgo-milo las cruces entre líneas con alta y baja acumulación de ABA produjeron una F_1 con valores intermedios entre los progenitores (Quarrie y Henson, 1982).

Contribución potencial de los caracteres estomáticos en fitomejoramiento.

En este punto, cabe la discusión sobre las posibilidades de mejoramiento, que pudieran alcanzarse mediante la modificación de características estomáticas.-

a) En relación con la fotosíntesis.

Es claro que el motivo para incrementar la tasa fotosintética mediante el mejoramiento de caracteres estomáticos, es elevar el rendimiento. Desafortunadamente, se ha observado que altas tasas fotosintéticas por unidad de área generalmente no producen altos rendimientos, dado que otros procesos, como la distribución de carbohidratos y el desarrollo de área foliar, compensan los cambios en la asimilación (Jones, 1987). Más aún, en trigo (Dunstone y col., 1973) y otros cultivos, la asimilación por unidad de área tiende a estar relacionada negativamente con el rendimiento. No debe sorprender, por tanto, que la producción no muestre alta correlación con los caracteres estomáticos. Además, aquellos casos en los que el rendimiento esté correlacionado positivamente con caracteres estomáticos, tales como la longitud del estoma, pudieran ser coincidentales.

Existen razones para esperar una alta relación entre la fotosíntesis y los caracteres estomáticos, sin embargo, debemos reconocer que la asociación entre variables fisiológicas con la morfología tiende a ser vaga. También existen evidencias de que la conductividad es un indicador pobre de la capacidad fotosintética (Gaskell y Pierce, 1983). A pesar de lo poco alentador de los indicios observados por varios investigadores, no deben apagar la posibilidad de que los caracteres estomáticos constituyan una opción para elevar la producción, pero sí nos indican la necesidad de encontrar cómo evitar los cambios compensatorios que ocurren al seleccionar varios caracteres a la vez.

b) En relación con los mecanismos estomáticos de tolerancia a la sequía.

La capacidad de las plantas para producir cierto rendimiento durante la sequía está determinada, al menos parcialmente, por la forma en que los estomas actúan para controlar la pérdida de agua y por sus efectos sobre la eficiencia del uso del agua. El control estomático sobre la evaporación depende de la conductividad de la capa límite (g_a) y de la conductividad fisiológica (g_l), determinadas en una magnitud importante por el comportamiento estomático. Para el caso de una hoja, g_l tiende a ser mucho menor que g_a , por lo que la conductividad total de vapor de agua y la tasa de evaporación están determinadas por los cambios en la conductividad estomática. Para el dosel, la sensibilidad de la tasa de evaporación al cambio de la conductividad foliar depende de g_a .

Puede concluirse, por tanto, ...que el fitomejoramiento basado en caracteres estomáticos para minimizar las pérdidas de agua puede tener mayor posibilidad de éxito en los casos en que se pueda alterar el tiempo total de cierre estomático, y no en aquellos donde ocurran pequeños cambios cuantitativos en la conductancia.

Cabe hacer énfasis, que los cambios de un cultivo en relación con el área foliar, incluyendo los cambios relativos a la duración del ciclo del cultivo, pueden ser más importantes para el uso de agua global que los cambios en la conductancia estomática instantánea. Para tolerancia a sequía, es difícil determinar el balance óptimo entre los caracteres involucrados en la conservación del agua (baja conductividad) y los que maximizan la producción (alta conductividad). Tal balance depende de cada caso y clima particular (principalmente de la probabilidad de las precipitaciones).

Aunque frecuentemente se argumenta que el aparato estomático que cierra en respuesta al estrés sería ideal en muchos casos, se ha encontrado que un aparato estomático relativamente insensible puede ser preferible ya que permitiría una asimilación continua durante la sequía (Henzell y col., 1976).

4.4. BIOLOGIA Y ECOLOGIA DEL FRIJOL GANDUL Cajanus cajan.

4.4.1. UBICACION SISTEMATICA Y CARACTERISTICAS BOTANICAS.

Sistemática. *Cajanus cajan* es una leguminosa arbórea que puede ser de hábito determinado o indeterminado y es semi-perenne; su clasificación taxonómica es la siguiente:

Clase: Angiospermae, Subclase: Dicotyledonae
Familia: Leguminosae
Subfamilia: Faboideae
Género y especie: Cajanus cajan

Características morfológicas. El frijol gandul es un arbusto perennifolio, con hojas trifoliadas, de tipo arbóreo, de hábito erecto con un tallo principal, el cual se lignifica con el tiempo hasta formar un tronco bien constituido desde los 5 o 6 meses de edad. El tronco desde temprana edad muestra una coloración verde por lo cual aparentemente tiene cierta participación en el proceso de la fotosíntesis; con respecto a esta característica, Singh y colaboradores (1984), encontraron mayores concentraciones de nitrógeno total en el tallo que en otras partes de la planta. Del tronco se derivan de 10 a 20 ramas primarias dependiendo del estado nutricional y edad de la planta. Cada rama primaria sostiene alrededor de 10 ramas secundarias las cuales sostienen las hojas. Las hojas son elípticas y semilanceoladas y se presentan en grupos de tres, conformando los denominados trifolios.

4.4.2. ORIGEN, DISTRIBUCION Y ECOLOGIA DE ZONAS PRODUCTORAS.

Cajanus cajan es una leguminosa de distribución pantropical originaria de la India que fué introducida al continente americano posiblemente en el primer siglo de la conquista. Mundialmente los "**pigeonpeas**" han sido reconocidos como recurso potencial por sus características ecológicas y nutricionales. Se le cultiva en Asia, principalmente en la India, Pakistán, Indochina y Bangladesh; en algunos países del norte de Africa, en países de Centro América y del Caribe, como Costa Rica, Puerto Rico, Las Bahamas, Jamaica y República Dominicana, y en algunos

países de sudamérica, como Brasil, Colombia y Venezuela. La India es el principal productor y consumidor mundial, produciendo más del 50% del volúmen mundial.

En México se encuentra distribuido en la vertiente del golfo de la Sierra oriental, y está siendo utilizada por diversos grupos indígenas de la zona. En Baja California Sur, ha sido localizada tanto en la vertiente del golfo de California, en las poblaciones de Santiago y Miraflores, como en la vertiente del Pacífico, en las localidades de Todos Santos, El Pescadero y la Colonia Plutarco Elías Calles.

Cabe aclarar que en nuestro país en todos los casos sólo se tienen pequeñas poblaciones, y se le aprovecha principalmente como grano para alimentar aves de corral, y también como forraje para alimentar ganado menor. En épocas de escasez se le usa como sustituto de frijol común, o como chícharo, en la alimentación humana.

4.4.3. ADAPTABILIDAD Y CARACTERISTICAS AGROECOLOGICAS.

4.4.3.1. Adaptabilidad.

De acuerdo a su origen y a su distribución pantropical, el gandul se ha adaptado a través del tiempo a las condiciones imperantes en los trópicos abarcando un intervalo de humedad promedio que va desde el trópico húmedo hasta el subtrópico seco, incluyendo algunas zonas semiáridas donde el componente aleatorio de la precipitación es más elevado.

En diversas regiones de la India, donde ocurren los monzones, evolucionaron ecotipos en condiciones de temporal.

De acuerdo con Sidhu y colaboradores (1988), el gandul presenta adaptación a diversas microrregiones en los subtrópicos con regímenes de humedad variables o deficitarios y suelos pobres y con bajo contenido de materia organica; afirman que la leguminosa en estudio soporta un 35% en la disminución del rendimiento entre cinco y siete meses de sequía moderada, esto es, no recibiendo precipitaciones mayores de 20 mm mensuales, lo que representa un aporte hídrico de menos de 1 mm diario en tales épocas deficitarias.

4.4.3.2. Características agroecológicas.

Cajanus cajan es una leguminosa semiperenne de porte medio, cuya altura puede oscilar desde 0.7 hasta 2.5 m, con el tallo lignificado a tronco, por lo que de acuerdo a su forma de vida puede considerarse como árbol; sin embargo, algunos ecotipos comunes en las Bahamas crecen en forma de arbusto, con numerosas ramificaciones desde la base del tronco, alcanzando alturas promedio de 70 cm. Por su arquitectura y por su simbiosis con *Rhizobium*, la planta en estudio se utiliza frecuentemente para diseñar y cultivar explotaciones mixtas, asociado con otro cultivo, generalmente gramínea, como el sorgo, maíz, mijo perla y otros. Las tendencias de su aprovechamiento parecen enfocarse hacia esta forma de agricultura: los policultivos. La razón de ello obedece a que en numerosas zonas marginales tanto en países de Asia, África y Centroamérica, la parcela disponible por campesino o por familia es de reducidas dimensiones, por tanto, se intenta mediante estos sistemas obtener la máxima producción posible de la combinación proteína-carbohidratos (National Academy of Sciences, 1979).

4.4.1. USOS TRADICIONALES Y POTENCIALES DEL FRIJOL GANDUL.

Tradicionalmente en los países asiáticos el gandul se cultiva con fines de producción de grano seco, dentro de la variedad de granos de leguminosas conocidos como "pulses" (granos de leguminosas); sin embargo, también se cosecha y se consume en estado inmaduro a manera de chícharo. Además de la producción de grano, también existen líneas orientadas hacia la producción de forraje. Otras alternativas de uso que presenta a la producción de grano son para restaurar la fertilidad de suelos sobreexplotados por el cultivo de gramíneas, y también se utiliza como cultivo nodriza asociado a hortalizas.

Dado el contenido de aminoácidos esenciales presentes en el grano seco (Cuadro 1) y sus volúmenes de producción, potencialmente constituye un cultivo alternativo o sustituto del frijol común o del frijol soya, en caso de que sea socioeconómicamente viable.

Cuadro 1. Composición de aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína) en grano seco de cuatro líneas genéticas de frijol gandul y una de soya (adaptado de Singh *et al.* , 1984a).

AMINOACIDOS	LINEAS				SOYA
	ICPL-12	ICPL-6997	ICPL-7035	C-11	
Lisina	6.90	6.20	6.73	6.95	6.90
Treonina	3.59	3.52	3.65	3.21	4.30
Valina	4.03	3.07	3.78	3.92	5.40
Metionina	1.30	1.40	1.39	1.18	1.60
Isoleucina	3.23	3.13	3.14	3.34	5.10
Leucina	7.02	6.81	6.35	6.82	7.70
Fenilalanina	9.22	9.19	9.54	8.18	5.00
Triptofano	0.86	0.73	0.67	0.86	1.30

V. MATERIAL Y METODOS.

5.1. UBICACION DE LOS SITIOS DE ESTUDIO Y CRONOLOGIA.

Localización geográfica de los sitios de establecimiento.

La presente investigación forma parte del proyecto institucional "Nuevos Cultivos" (T2) dentro del programa operativo de la División de Biología Terrestre y el Programa Académico de Agrobiología, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR, S.C.). Las instalaciones del CIBNOR se encuentran ubicadas en los terrenos costeros de El Comitán, poblado suburbano que se localiza en la porción meridional de la Península de Baja California, a 24°08'N y 110°24'W, 17 Km al oeste de la Cd. de La Paz, B.C.S., México, en el extremo suroccidental de la Bahía de La Paz (DETENAL, 1982a) (Figura 3). El estudio de campo para la caracterización y comparación agroecológica se realizó en tres sitios: a) Campo Experimental del CIBNOR, anexo a los edificios del mismo (Figura 3a); b) Colonia Ejidal Plutarco Elías Calles, ubicada al sur del Municipio de La Paz por la vertiente del Océano Pacífico, en las coordenadas 23°15'N y 110°07'W, localizándose dentro del área de influencia de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de La Laguna B.C.S y al sur-suroeste de la zona núcleo (DETENAL, 1982b); y c) Ejido Santiago, al norte del Municipio de Los Cabos, colindando con el Municipio de La Paz por la vertiente del Mar de Cortés, ubicado en las coordenadas 23°29'N y 109°42'W, en la porción limítrofe del área de influencia y al este de la zona núcleo de la mencionada Reserva de la Biosfera (DETENAL, 1982c) (Figura 3b).

Cronología del trabajo observacional y experimental.

El desarrollo de la investigación en todas sus etapas, tanto de campo como de laboratorio y gabinete, se llevó a cabo de octubre de 1989 a noviembre de 1993, para un total de cuatro años. La medición y registro de variables climáticas y ecofisiológicas se realizó cubriendo todas las estaciones del año, durante los primeros tres años, y se dedicó el último año para realizar observaciones en laboratorio y realizar los análisis estadísticos pertinentes e integración final.

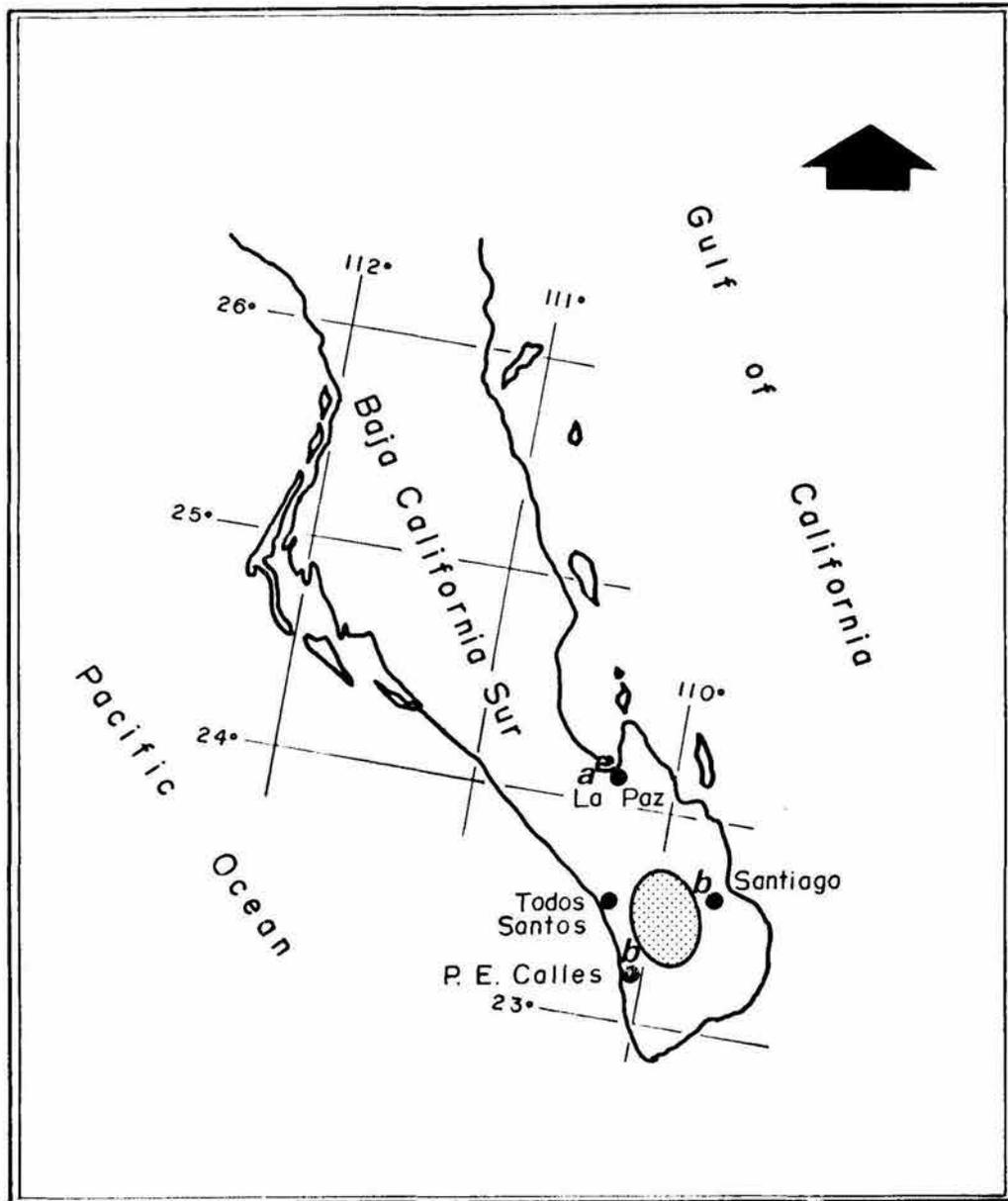


Fig. 3. Ubicación de sitios de establecimiento del frijol gandul en la Región del Cabo de la Península de Baja California. **a)** Ubicación del CIBNOR, S.C. en El Comitán, Municipio de La paz, B.C.S. **b)** Localización de las Colonias Ejidales Plutarco E. Calles y Santiago, en la porción meridional de la Región del Cabo.

5.1.1. METODOS PARA LA DESCRIPCION AGROCLIMATOLOGICA.

Diversos modelos numéricos de aridez, o índices de aridez, como el de Budyko (Budyko, 1974) y otros, han resultado funcionales y prácticos al aplicarlos en diversas zonas áridas del mundo; por tal razón, inicialmente se llevó a cabo una evaluación de la aridez del área de estudio aplicando el mencionado Modelo. Una vez identificadas las tendencias agroclimáticas, sobre todo en relación con el déficit de agua, y al observar ciertas deficiencias cuantitativas que presentó el modelo de Budyko, mediante un análisis de componentes principales y el método de mínimos cuadrados, se procedió a seleccionar los descriptores climáticos más apropiados para el área de estudio, con los cuales se construyó un modelo que reflejara con mayor resolución la condición de deficiencia de agua.

Un modelo de aridez agroclimatológica más apropiado para la región de estudio se construyó mediante el método de los mínimos cuadrados y posteriormente se efectuaron iteraciones empíricas, de acuerdo con la metodología y razonamiento sugeridos por Box *et al.* (1978). En el modelo propuesto se plantea que las principales variables indicadoras de la aridez son la precipitación y la evaporación; lo anterior se fundamenta conceptualmente en que el mismo término "aridez" es una expresión que debe indicar con suficiente amplitud la deficiencia natural de agua. Los datos climatológicos empleados para el mencionado análisis agroclimatológico fueron tomados de las bases de datos disponibles, las cuales fueron compiladas por Salinas y Leyva (1988 y 1989).

Para evaluar las zonas agroecológicas en las que se estableció el frijol gandul, desde el punto de vista agroclimatológico, se formuló la siguiente ecuación:

$$A = N(1 - F) \quad (14)$$

donde.-

A : índice de aridez propuesto

F : cociente precipitación/evaporación ($F = P/E$) para un período de tiempo

N : número de categorías establecidas de acuerdo a las condiciones agroclimatológicas. N coincide numéricamente con el máximo valor de aridez en un determinado análisis.

Aplicando la ecuación anterior (Ecn. 14) para la estación climatológica más cercana a El Comitán B.C.S., si $P = 0$, entonces $A = N$. Si $P > 0$, entonces A resulta en un valor negativo que deberá interpretarse como una condición de aridez nula (humedad óptima). Considerando $N = 4$, y la evaporación promedio mensual como un parámetro que tiende a ser constante (176 mm/mes), de acuerdo con el Cuadro A1 (Anexo 9.1), la ecuación 14 puede ser simplificada y reexpresada mediante la siguiente igualdad:

$$A_{ipz} = 4 - (0.02273)(P) \quad (15)$$

donde.-

A_{ipz} : índice de aridez propuesto para la región de La Paz (base mensual)

P : precipitación media mensual en mm.

Para obtener un valor positivo de aridez (condición de sequía o humedad deficitaria), la desigualdad condicionante $0 \leq P < 176$ debe cumplirse. De acuerdo con la última ecuación (Ecn. 15), si $P = 176$ mm/mes, entonces $A = 0$; como la precipitación balancea o contrarresta la evaporación promedio mensual ($P/E = 1$), entonces el valor resultante describe una condición no árida.

5.1.2. EDAFOLOGIA Y ANALISIS DEL SUELO Y AGUA DE RIEGO.

El origen, formación y desarrollo del suelo es similar en las zonas áridas del planeta, lo cual es atribuible a numerosas condiciones y fenómenos compartidos por tales zonas, entre los que pueden mencionarse los siguientes: escasez de humedad edáfica y ambiental la mayor parte del año, precipitaciones escasas, erráticas y torrenciales, y la amplitud de temperaturas extremas (oscilación térmica) a través del día y de las estaciones. En Baja California Sur, la influencia de eventos de naturaleza marina y tectónica es evidente por la presencia de terrazas marinas, y la diversidad de abanicos aluviales evidentes a lo largo de las franjas costeras en ambas vertientes.

La humedad en el suelo y aire, así como la evaporación y la temperatura ambiental adquieren en las zonas secas un papel importante en el flujo vertical de sales minerales y nutrientes disueltos en el suelo. Los suelos de las mencionadas zonas son en general relativamente jóvenes y sin horizontes diferenciados, presentando frecuentemente una elevada erodabilidad. Por su granulometría, estructura y poca retención de humedad, presentan una alta capacidad de intercambio gaseoso que pueda realizarse entre las raíces y la atmósfera. Tales condiciones pudieron constatarse en los suelos de los tres sitios de establecimiento de las poblaciones experimentales de frijol gandul.

Es discutible cuales de los nutrientes en los suelos de las zonas áridas representan factores limitantes importantes, por lo cual se realizaron análisis químicos rutinarios de los principales indicadores de la fertilidad del suelo en las localidades de estudio.

A. Muestreo y análisis del suelo.

Se muestreó aproximadamente 1 Kg de suelo a una profundidad de 15 a 30 cm para realizar los análisis químicos; en todos los casos el suelo se encontraba con un contenido de humedad muy bajo, cercano a sequedad.

Los análisis físicos y químicos del suelo se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Delegación Estatal de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (determinación de aniones y cationes) y en el Laboratorio de Ecología Aplicada del CIBNOR (Textura, pH, materia orgánica, C.E. y Relación de Adsorción de Sodio). Para el análisis de los suelos se emplearon métodos convencionales de uso generalizado, de los cuales se mencionan los siguientes:

a) Secado y tamizado.- Las muestras de suelo debidamente etiquetadas, después de haber sido pesadas para evaluar el contenido de humedad al momento del muestreo, fueron secadas al aire por un período de 72 h. Posteriormente fueron tamizadas con una malla de 2 mm para las determinaciones físicas, y de 0.85 mm para las determinaciones químicas (Hernández *et al.*, 1991).

b) Textura.- Se empleó el método del hidrómetro (densímetro) de Bouyoucous (1951), en el cual la densidad de la suspensión agua-suelo depende de la cantidad de material temporalmente suspendido por lo que, siguiendo la evolución de dicha densidad con el tiempo de sedimentación, puede calcularse la distribución por tamaños de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) para determinar la clase textural del suelo, auxiliándose del Triángulo de Texturas elaborado por el personal del Departamento de Agricultura (USDA, 1951).

c) Materia Orgánica.- Por el método de Walkley-Black, de reacción del dicromato de potasio con ácido sulfúrico, que consiste en la formación de un agente oxidante fuerte, el ácido crómico, que oxida el carbono de la materia para convertirlos en CO (Jackson, 1982).

d) pH.- Se midió por lectura directa en el potenciómetro, modelo Beckman 21 pH Meter (Richards, 1973).

e) Conductividad Eléctrica (C.E).- Por el método del conductímetro o Puente de Wheatstone, por medio del cual se miden indirectamente las sales solubles; se basa en la reciprocidad de la resistencia eléctrica. Modelo PM-70 CB (Conductivity Bridge). La lectura se efectuó directamente del extracto de saturación (Jackson, 1982).

f) Determinación de Na^{+1} .- Mediante el espectrofotómetro de absorción atómica, Modelo 200 A (Hernández *et al.*, 1991; Jackson, 1982).

g) Determinación de Ca^{+2} y Mg^{+2} .- Se cuantificaron por el método de valoración del versenato (sal disódica y de hidrógeno del ácido etilendiaminotetraacético o EDTA). Se basa en la gran capacidad que tiene el versenato para la formación de complejos con varios cationes polivalentes (Jackson, 1982).

h) Relación de Adsorción de Sodio (RAS).- Se basa en los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego que reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son el Na^{+1} , Ca^{+2} y Mg^{+2} , con pequeñas cantidades de K^{+1} . Los aniones principales son el CO_3^{-2} , HCO_3^{-1} , SO_4^{-2} y Cl^{-1} y, en menor proporción, NO_3^{-1} . El peligro de la sodificación que entraña el uso de agua de riego con una elevada concentración de Na^{+1} , está determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la concentración de Na^{+1} es alta

comparándola con las del calcio y magnesio, será mayor el peligro de sodificación y, por el contrario, si predominan el Ca^{+2} y el Mg^{+2} , el riesgo será menor. El RAS, como índice estimador del peligro de sodificación, se calculó mediante la siguiente ecuación (Richards, 1973):

$$\text{RAS} = [\text{Na}^{+1}] \cdot [(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2]^{-1/2} \quad (16)$$

donde, Na^{+1} , Ca^{+2} y Mg^{+2} representan las concentraciones en $\text{meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de los cationes respectivos.

i) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).- Se calculó mediante la siguiente ecuación (Richards, 1973):

$$\text{PSI} = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 \cdot \text{RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \cdot \text{RAS})} \quad (17)$$

j) Carbonatos (CO_3^{-2}) y bicarbonatos (HCO_3^{-1}).- Se utilizó el método de determinación de carbonatos o carbono "inorgánico" de suelos, que se basa en la titulación de la solución alcalina obtenida cuando los carbonatos y bicarbonatos, que son sales de bases fuertes y ácidos débiles, sufren hidrólisis (Jackson, 1982).

k) Sulfatos.- Se suantificaron por el método de gravimetría, basado en la precipitación de la sal BaSO_4 (Jackson, 1982).

B. Monitoreo de la humedad del suelo.

El porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco (**Ps**) se determinó gravimétricamente en dos ciclos de producción consecutivos, muestreando a una profundidad 0 a 30 cm en dos puntos de las parcelas bajo tratamientos de humedad, para posteriormente trasladar en frascos de vidrio o aluminio de cierre hermético las muestras al laboratorio. Las muestras húmedas fueron pesadas antes de secarse en el horno a 105°C durante 24 h. Posteriormente al proceso de secado se pesaron nuevamente las muestras y se calculó el contenido de

humedad en base a peso seco mediante la siguiente ecuación (Aguilera y Martinez, 1980):

$$Ps = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} * [100] \quad (18)$$

En la parcela ubicada en El Comitán, se instalaron bloques de yeso calibrados, por lo que en este sitio se obtuvo un seguimiento del proceso de abatimiento de humedad más preciso.

C. Muestreo y análisis del agua disponible para riego.

En el área bajo estudio, y de hecho, en todo el Estado de Baja California Sur, la calidad del agua de riego disponible es discutible, desde el punto de vista de su salinidad. Por lo mismo, en varias localidades de la Región del Cabo en particular, y de Baja California Sur en general, el agua subterránea disponible en ellas no es recomendable su empleo para la agricultura, dada su mala calidad. Por lo anterior, antes de emprender cualquier actividad agrícola, debe analizarse el agua, para que a partir de una adecuada interpretación se pueda decidir el uso más adecuado de tal recurso.

Para el análisis del agua de riego disponible, se colectaron muestras en los pozos agrícolas de cada una de las áreas de trabajo. La profundidad al nivel estático del agua subterránea osciló desde 6 (El Comitán y Colonia P.E. Calles), hasta 30 m (Santiago). El muestreo se llevó a cabo empleando el mismo equipo de bombeo instalado para el riego.

La determinación de los indicadores químicos de salinidad pH y C.E., así como de los iones Na^{+1} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^{-1} , CO_3^{-2} , HCO_3^{-1} y SO_4^{-2} fue realizada empleando los mismos métodos que se citan para el análisis del suelo, en la sección precedente. Dada la aparente pureza que presentó el agua, en relación con la presencia de contaminantes orgánicos, no se realizaron análisis microbiológicos ni de las propiedades organolépticas.

5.2. EVALUACION ECOFISIOLOGICA Y AGROECOLOGICA.

5.2.1. ETAPA DE CAMPO.- DEFINICION DE VARIABLES Y MUESTREO.

El trabajo experimental en campo consistió en realizar una serie de determinaciones ecofisiológicas, morfológicas y de producción en individuos representativos de las poblaciones establecidas en los tres sitios evaluados, así como las variables microclimáticas comúnmente registradas en estudios ecofisiológicos. Tales determinaciones se efectuaron cubriendo las cuatro estaciones del año durante el período de la investigación, monitoreando en los meses de enero, marzo, mayo, junio y septiembre. Previamente se realizaron análisis físicos y químicos del suelo de los sitios de estudio. A continuación se enumeran dichas variables; se expone la forma en que fueron medidas y recabadas y los análisis estadísticos a que fueron sometidas. El equipo y los aparatos de trabajo empleados se describen brevemente en el Anexo 9.1.

5.2.1.1. Variables Ecofisiológicas y Morfológicas.

A. Variables ecofisiológicas.

a) Variables de flujo hídrico: Conductividad Estomática (g), Resistencia Estomática (R) y Transpiración Unitaria (Tr).

Se realizaron registros diurnos de g , R , y Tr en las hojas haciendo circular el flujo de aire creado por la turbina interna del porómetro del haz hacia el envés; es decir, colocando el anillo opresor del porómetro sobre el haz de la hoja, para medir en la superficie abaxial (envés) de las hojas. Se tomaron cuatro individuos en cada hora de medición, en las tres poblaciones bajo estudio y en cada lote de plantas. En cada población se sometió un lote de plantas bajo riego oportuno ($HD > 30\%$) y otro lote bajo riego deficitario ($7\% HD$). Los cuatro individuos de cada lote se eligieron al azar y fueron etiquetados un día anterior a la medición del ciclo diurno; también se etiquetaron las tres hojas por medir en cada planta. Al efectuar el

sorteo se descartaron las plantas con tallas extremas. Fueron seleccionadas hojas que habían terminado su crecimiento, sin daños causados por vientos o por plagas/enfermedades u otro tipo de disfunción vegetal.

En cada planta se seleccionaron tres trifolios a la misma altura, a 2/3 de la altura total medida a partir del suelo; cada trifolio estaba en un plano horizontal a 120° uno de otro. En cada trifolio se midió la hoja central. Durante las mediciones se procuró que el área foliar que haya quedado dentro del opresor del porómetro estuviese libre de daños mecánicos, de polvo y de humedad; asimismo, se evitó que la nervadura central quedase dentro del área del opresor. De acuerdo a lo anterior, en cada hora de medición se muestreó un total de 24 hojas (ocho plantas): cuatro plantas de cada tratamiento de humedad. Los registros de g , R y Tr se llevaron a cabo cada hora y media desde instantes antes de la salida del sol (alba) hasta inmediatamente después de la puesta del sol (ocaso); esto es, durante un ciclo lumínico diurno. Se utilizó un porómetro autoestabilizado de flujo continuo LI-Cor 1600 para determinar r , Tr así como otras variables; los componentes y detalles relacionados con su construcción y funcionamiento, así como su calibración, se exponen brevemente en el Anexo 9.1. Las lecturas de g y Tr se tomaron del digital del porómetro cuando el indicador del balance de flujo se estabilizó hacia el centro de la escala. Las unidades de g son $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$; por su parte r está dada en $\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$, y Tr en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Del valor obtenido de r se obtuvo recíprocamente el valor correspondiente a la conductividad estomática (g):

$$R = 1/g \quad (19)$$

b) Potencial hídrico (Ψ).

El potencial hídrico de las plantas se determinó utilizando una cámara de presión PMS-Corvalis (Anexo 9.1). Los horarios de medición correspondieron a los mismos de las variables de flujo, realizándose sobre los individuos etiquetados. Por las limitaciones de disponibilidad de N_2 , sólo se muestró una hoja por planta, apartándola de la misma con un bisturí, para un total de ocho hojas por horario de medición: cuatro de las plantas bajo riego óptimo y cuatro bajo riego deficitario.

c) Variables microclimáticas.

Existen cuatro variables climáticas que ejercen una decidida influencia sobre el proceso transpiratorio en las plantas: la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y el déficit de presión de vapor. Otra variable de suma importancia para las estimaciones de evapotranspiración, principalmente en zonas áridas y semiáridas, es la velocidad del viento; desafortunadamente, las estaciones termopluviométricas cercanas a los sitios de estudio no contaron con anemómetro en funcionamiento durante el transcurso de la presente investigación. Si bien es generalmente aceptada la influencia de tales variables, en el presente trabajo se cuestiona cuál de ellas es más relevante para la regulación de la transpiración en las hojas del frijol gandul. Cabe mencionar que dichas variables interactúan entre sí ejerciendo un efecto global sobre los procesos fisiológicos de las plantas, y que bajo ciertas circunstancias una variable puede ejercer mayor efecto que otra.

Los registros de la radiación solar fotosintéticamente activa (PAR) se efectuaron simultáneamente a la lectura de las variables de conductividad y flujo transpirativo (**g**, **R** y **Tr**), dado que el modelo de porómetro empleado cuenta con un sensor de PAR integrado. Se tuvo la precaución de que no existieran cerca de los individuos bajo estudio plantas altas, edificaciones u otros objetos que pudieran obstruir la radiación.

Las unidades de PAR calculadas por el microprocesador interno del porómetro son $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; en los análisis donde fue necesario, las unidades de PAR proporcionadas por el porómetro fueron transformadas a $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ mediante la siguiente equivalencia:

$$1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} = 0.2174 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (20)$$

La temperatura del aire (**Ta**), en grados C, y la humedad relativa ambiental (**HR**), expresada en porcentaje, también fueron medidas simultáneamente a las variables de flujo y a la radiación PAR, dado que en el porómetro empleado también se encuentran integrados los sensores de dichas variables. Los valores de **HR** fueron transformados a unidades de déficit de presión de vapor (**dpv**) en KiloPascales, KPa, mediante la siguiente ecuación:

$$dpv = e_s - e_a \quad (21)$$

donde:

$$e_s = 0.6108 e^{[17.2674 \cdot T / (T + 237.28)]} \quad (22)$$

$$e_a = e_s \cdot (HR/100) \quad (23)$$

En todos los casos se evitó que la radiación solar incidiera directamente sobre el aparato de medición, protegiéndolo al mismo tiempo del efecto del viento, ya que las variaciones producidas hubiesen podido causar errores de medición. En el apéndice 9.0 se expone brevemente el funcionamiento de los sensores integrados en el porómetro.

B. Variables morfológicas.

La etapa del presente trabajo de investigación referente a las comparaciones morfológicas y ecofisiológicas entre las poblaciones de los tres sitios bajo estudio, fue iniciada mediante el análisis de las características foliares. Las variables foliares fueron el número de hojas por planta, área foliar por hoja, área foliar por planta, diámetro de proyección de copa y altura de planta; fueron determinadas para una muestra de 10 plantas por surco, el cual constaba con 30 plantas \pm 5 individuos, con un total de 20 surcos en cada ambiente. En las poblaciones de frijol gandul establecidas en El Comitán y P.E. Calles se muestrearon 16 surcos útiles, y en Santiago 12.

Los objetivos de llevar a cabo la medición y análisis de datos de los caracteres área foliar e índice de área foliar fueron:

a) obtener un modelo numérico ajustado mediante el cual se obtenga en una forma expedita el área foliar de *Cajanus cajan*; **b)** evaluar las diferencias estadísticas entre las poblaciones para esta variable; y, **c)** obtener información básica para la determinación subsecuente de la transpiración unitaria.

La medición del área foliar se realizó con un medidor de área foliar Li-Cor. Se obtuvo suficiente información para desarrollar una ecuación paramétrica útil para determinar el área foliar *in situ* a partir de un par de variables, las cuales resultaron ser la longitud y el ancho medio de la hoja; en total se muestrearon 200 hojas (20 hojas x 10 plantas) para cada localidad.

Durante 1990 y 1991 se efectuaron mediciones de área foliar, número de hojas, diámetro de proyección de la copa y altura de planta, información que es importante para el estudio subsecuente del flujo y balance del agua.

Para el estudio de la eficiencia en el uso del agua, así como para otros aspectos agroecológicos, el índice de área foliar (IAF) es un adecuado estimador para el estudio ecofisiológico entre tratamientos y entre poblaciones, parámetro que adicionalmente es requerido para las determinaciones de la evapotranspiración real (Bauer *et al.*, 1984; Sinclair, 1984). En cada caso, los valores medidos del IAF una vez ajustados estadísticamente, proveen la información necesaria para calcular los coeficientes de desarrollo, **Kd** (Wright, 1982), los cuales son numéricamente multiplicadores de la evaporación potencial, de enorme utilidad para efectuar los cálculos reales de demanda de agua. Por otro lado, los coeficientes de desarrollo son de amplia utilización en modelos funcionales para calendarizar la irrigación de cultivos (Ritchie y Johnson, 1990).

Procedimiento.- Un día antes de cada serie diurna de mediciones ecofisiológicas se midieron las siguientes variables morfológicas en las cuatro plantas etiquetadas en cada tratamiento de humedad:

a) Número de hojas por planta (Nh).

Se enumeraron todas las hojas de las plantas etiquetadas en cada sitio y tratamiento de humedad.

b) Área foliar (Af).

Se estimó muestreando diez hojas representativas provenientes de los mismos individuos etiquetados para la medición de variables ecofisiológicas; se empleó un integrador de área LI-Cor, modelo LI-300, el cual mide el área directamente, proporcionándola en pantalla digital, en cm^2 .

c) Area foliar total (Aft).

Se obtuvo multiplicando el área foliar promedio estimada para una hoja representativa, por el número total de hojas de la planta correspondiente, descartando las hojas significativamente más pequeñas para evitar que la estimación sea sesgada o influenciada por tales valores. El Aft se midió en las mismas plantas seleccionadas para la determinación de variables ecofisiológicas.

d) Area de cobertura (Ac).

Se calculó promediando el diámetro menor con el diámetro menor de proyección de copa (dosel) de las plantas bajo estudio. El área se estimó aplicando la fórmula del círculo ($A = \pi \cdot r^2$).

e) Índice de área foliar (Iaf).

Se estimó a partir de los promedios de las áreas foliares y su relación con el área del círculo proyectado por la cobertura:

$$Iaf = \frac{Aft}{Ac} \quad (24)$$

f) Altura total (At).

Se midió con un flexómetro desde la base del tallo (superficie del suelo) hasta la porción vegetativa más alta (ápice distal). Se midieron las plantas etiquetadas para las determinaciones ecofisiológicas. At constituye una variable simple de uso generalizado en métodos de fitomejoramiento.

5.2.1.2. Variables de Producción.

La estimación de la producción y del rendimiento por unidad de superficie de las poblaciones evaluadas se basó en la cosecha de la producción de grano maduro de las plantas establecidas en cada sitio; una vez estimada la producción obtenida se extrapola a la superficie correspondiente a una hectárea (Ha), en la forma que se realiza comúnmente.

El número de vainas producido por planta fue determinado en tres plantas por sitio y por tratamiento de humedad, en dos ciclos de producción. Finalmente se estimó la producción total de grano por tratamiento de humedad en dos ciclos

consecutivos, así como la producción global de las parcelas establecidas por sitio. Las tendencias de producción para otras regiones agroclimáticas del estado se obtuvieron mediante modelos de regresión, considerando la temperatura y aridez.

5.2.2. ETAPA DE LABORATORIO Y GABINETE.

5.2.2.1. Mediciones y determinaciones en laboratorio.

A. Definición de variables y métodos para su medición.

En cada estación muestreada, y para cada sitio de establecimiento, las variables ecofisiológicas que se midieron en laboratorio consistieron en la determinación del potencial hídrico y sus componentes:

- 1) Potencial hídrico.
- 2) Potencial osmótico.
- 3) Potencial de turgencia.
- 4) Contenidos de agua simplástica y apoplástica.

Método para la medición del potencial hídrico y sus componentes.

El potencial hídrico (Ψ) en laboratorio, al igual que en campo, fue determinado en forma estacional; sin embargo, dada la intensidad de las mediciones, no se determinó a lo largo de un ciclo diurno, sino a la hora crítica del día (14:00 PM). Ψ se midió empleando la técnica de la cámara (bomba) de presión de Dixon (1914), citado por Kramer (1974), mejorada por Scholander *et al.* (1964); el aparato empleado fue una bomba marca PMS Corvalis, Oregon.

La cámara de presión consiste en un recipiente construido de paredes metálicas gruesas, sellado por el extremo superior con una tapa con un orificio circular que cierra herméticamente. Los tapones porta-hojas ensamblan herméticamente en el orificio de la tapa, de tal forma que la hoja queda dentro de la cámara. El recipiente, que constituye propiamente la "cámara", está conectado

a un tanque de nitrógeno el cual le sirve para incrementar gradualmente la presión dentro del recipiente, mediante una válvula de cierre lento. La cámara posee un manómetro que mide la presión interna. Mayores detalles son descritos en el Anexo 9.0.

De acuerdo con el principio en que se basa el diseño y operación de dicha cámara, la cantidad de presión que debe ejercerse para impulsar el agua de las células foliares nuevamente xilema adentro se considera igual al potencial hídrico de las células foliares (Kramer, 1974).

La determinación de los componentes del potencial hídrico empleando la técnica de la cámara de presión se efectuó mediante el siguiente método secuencial:

a) Corte de la hoja con pecíolo empleando un bisturí.

b) Transporte de las hojas al laboratorio dentro de un recipiente empleado como cámara húmeda, para evitar pérdidas por transpiración y abatimientos drásticos del contenido relativo de agua y del Ψ .

c) Imbibición de las hojas, colocando el pecíolo sumergido en agua destilada, en frascos vial tipo entomológico hasta alcanzar la saturación de agua (Fanjul y Barradas, 1987). El tiempo de inmersión del pecíolo fue determinado en base a ensayos previos por medio de los cuales se midieron los pesos de las hojas cada hora después de la inmersión del pecíolo. El peso constante de la hoja se logró a las 24 horas, por lo que se infiere que es el tiempo requerido para alcanzar turgencia total; se emplearon diez hojas para el ensayo del tiempo de saturación. Por lo anterior, la determinación del potencial hídrico y sus componentes se llevó a cabo después de llevar a saturación las hojas durante 24 h.

d) Una vez transcurrido el tiempo de saturación, se pesa cada hoja en una balanza analítica, y se coloca en la cámara de presión con las debidas precauciones de manejo, para no dañar el pecíolo. Previamente se colocó en el fondo de la cámara un papel absorbente humedecido con el fin de evitar el abatimiento del Ψ que pudiera ocurrir a consecuencia de una disminución drástica de la humedad relativa.

e) Se aumenta gradualmente la presión del gas N_2 dentro de la cámara hasta que aparezca sobre la superficie cortada del pecíolo una gota o un conjunto de micro-gotas de agua, registrando la presión aplicada a la que emergió la gota.

f) Una vez registrada la presión aplicada, se extrae la hoja de la cámara y se pesa nuevamente; así, se obtienen dos pesos en cada medición que son empleados posteriormente para calcular el contenido relativo de agua (CRA) y el déficit hídrico (Robichaux, 1984)

g) Posteriormente se permite que transcurran dos minutos para permitir el equilibrio del Ψ interno de la hoja, y se repite el método desde (c) continuamente hasta llegar a un potencial hídrico bajo constante, o que deje de disminuir significativamente ante iguales incrementos de la presión aplicada. Los valores del potencial hídrico abatido puede oscilar entre -6.5 a -7.0 MPa (Fanjul y Barradas, 1987). Lo anterior puede verificarse gráficamente, al adquirir una tendencia asintótica la curva del potencial hídrico con el eje de las abscisas, lo que significa que en tal segmento de la curva, el potencial osmótico (P_o) constituye el único componente del Ψ , al hacerse la turgencia mínima o tendiendo a cero.

h) Una vez alcanzada la turgencia cero, las hojas evaluadas se pesan (último peso fresco) y se secan en el horno a 70 C durante 24 h; con ello se obtendrán los pesos frescos y seco para calcular el CRA.

B. Construcción de las curvas volumen-presión.

Se grafican con el inverso del Ψ en el eje de las ordenadas, y el contenido relativo de agua o el déficit hídrico sobre el eje de las abscisas. El déficit hídrico para la construcción de la curva se calculó empleando la Ecuación 11 (Pág. 32). Una vez obtenidos los datos de $1/\Psi$ y el déficit hídrico, obtenido a partir de los pesos frescos en cada paso, así como el peso seco, se graficaron sobre ejes cartesianos, como se observa en la Figura 5.

Cabe hacer mención que la razón para emplear el inverso del Ψ y no su valor directo, obedece a que se obtiene una curva con mejor definición y resolución, de suma utilidad para el análisis gráfico de los componentes del Ψ .

Mediante el mencionado método gráfico, la determinación del valor o intervalo crítico, del déficit hídrico en el cual pueda inferirse una plasmólisis incipiente, es en principio un procedimiento expedito; tal intervalo crítico en el cual ocurre la pérdida de turgencia no puede establecerse claramente en la curva de valores de Ψ no transformados, como puede observarse al comparar las Figuras 4 y 5.

En la Figura 5, la curva de abatimiento del inverso del Ψ consta de dos segmentos principales: En la primera sección de la curva (**a**), Ψ está determinado por P_o (potencial osmótico) y P_t (potencial de turgencia), y se describe con suficiente resolución por una función exponencial negativa. En el intervalo diferencial de la curva donde el cambio de pendiente es súbito, tornándose asíntótica en la segunda sección (**b**), se infiere plasmólisis incipiente con P_t aproximándose a cero, lo que significa pérdida de turgencia.

En la sección **b**, Ψ depende únicamente de los valores de π , aproximándose a una relación lineal. Dada la relación directa entre $1/\Psi$ y $1/\pi$, se pueden estimar los valores de π a cualquier déficit hídrico o **CRA**, por la extrapolación del segmento **b** hasta intersectar los ejes de las ordenadas y de las abscisas. La intersección del segmento extrapolado con el eje de las ordenadas proporciona π a turgencia total (π_{100}).

De manera similar, gráficamente el valor de π al inicio de la plasmólisis se obtiene al intersectar una recta paralela desde el punto medio del cambio de pendiente de la curva con el eje de las ordenadas. Por su parte, la intersección del mencionado segmento **b** con el eje de las abscisas proporciona una estimación del volumen de agua en el simplasto y apoplasto (Turner y Jones, 1980).

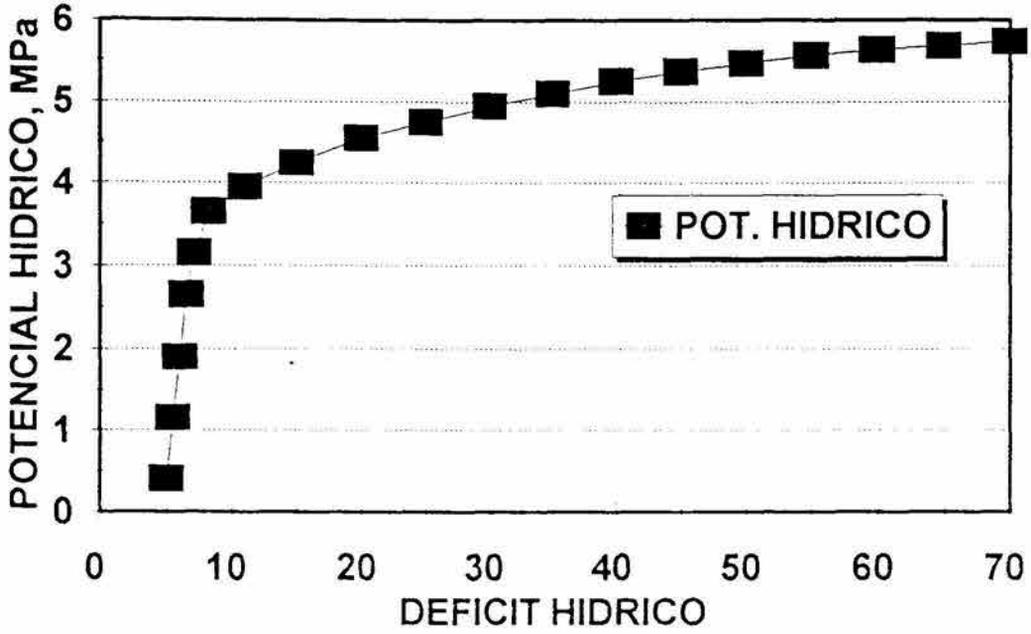


Fig. 4. Tendencia típica del potencial hídrico en respuesta al aumento del déficit hídrico.

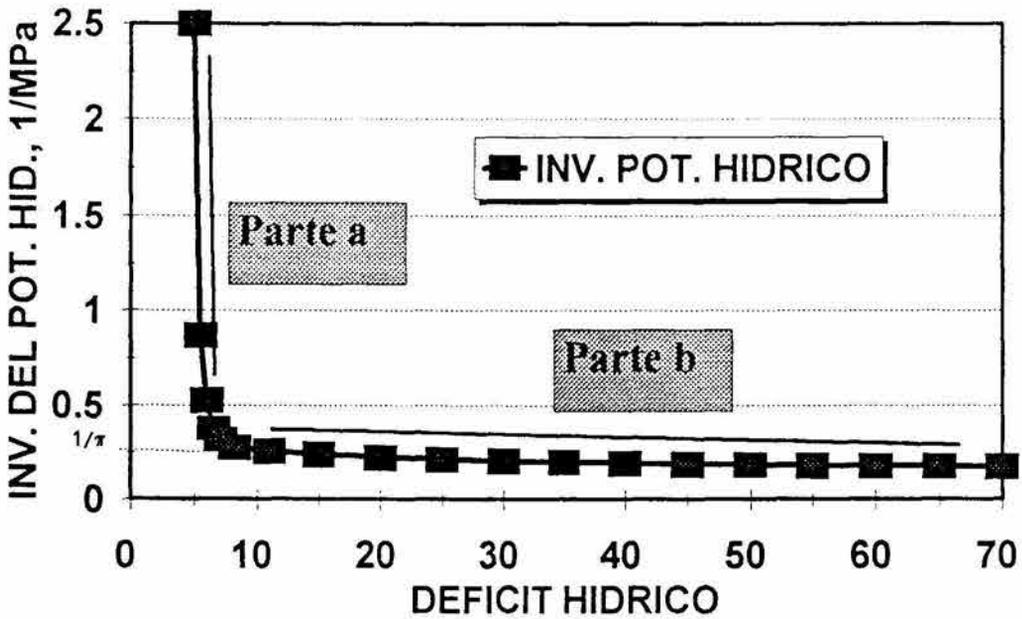


Fig. 5. Curva teórica del inverso del potencial hídrico, mostrando las secciones a y b, y $1/\pi$.

De acuerdo con el procedimiento anterior, puede estimarse gráficamente el π del tejido, dado que al relacionar el abatimiento de Ψ con la pérdida de masa hídrica, entonces ello implica que π se calcule como una función de Ψ y del peso en el intervalo total del contenido de agua o déficit hídrico. Finalmente, el P_t del tejido se calcula a partir de la diferencia de los valores de Ψ y π estimados, aplicando la Ecuación 10 (pág. 30). Otras variables relevantes que fueron determinadas a partir de la gráfica descrita anteriormente son los contenidos porcentuales de agua simplástica y apoplástica, al estimar el valor en el cual la extrapolación del segmento b intersecta el eje de las abscisas. El CRA indicado por el intercepto, es el valor porcentual estimado del agua simplástica del tejido; el porcentaje faltante para 100%, es el valor porcentual del agua apoplástica (Tyree y Jarvis, 1982).

5.2.2.2. Análisis estadísticos e integración en gabinete.

La información numérica obtenida para cada variable fue sometida a análisis de varianza de un factor (ANOVA), comparando los promedios mediante la prueba DMS (diferencia mínima significativa). Para una serie de análisis el factor de variación fue el sitio de establecimiento, ejecutándose una segunda serie en la cual el factor de variación fue el tratamiento de humedad disponible. Asimismo, se evaluó la interacción *sitio-tratamiento de humedad*.

Por otro lado, se realizaron pruebas de regresión lineal y correlación, para determinar la relación entre las variables analizadas dependientes y las causales.

Derivados de la medición de variables relacionadas con el área foliar, quedaron establecidos parámetros de superficie, largo y ancho de hoja, con suficiente precisión para ser empleados en estudios posteriores.

Un análisis cualitativo de las variables ecofisiológicas y microambientales se obtuvo graficando las tendencias del ciclo diurno de los valores de cada una de ellas, y fue de utilidad para diferenciar las horas críticas en los sitios de establecimiento y bajo los tratamientos de humedad disponible.

En el caso de las variables de radiación solar, el análisis de la distribución de horas-luz teóricas en los sitios de establecimiento se llevó a cabo empleando el Programa para computadora *Sunlight*, desarrollado por el autor del presente trabajo (ver el Anexo 9.3).

Para un análisis de las relación causa-efecto de las mencionadas variables, y con el fin de establecer el factor que tuvo mayor influencia sobre r (resistencia estomática) y Tr (transpiración), se efectuó un análisis de regresión secuencial múltiple, el cual consiste en relacionar una por una cada variable independiente (T_a , PAR , HR , d_{pv} , y Ψ) con la variable dependiente, r en la primera serie de análisis, y Tr en la segunda serie, de acuerdo con un intervalo establecido de tolerancia (F) que asegura que las variables independientes estén significativamente correlacionadas con la dependiente.

El primer paso de la secuencia es una regresión múltiple que, de acuerdo al valor de F de una ecuación parcial, describe r en función de una variable (la de mayor F) asignándose. El valor de F obtenido del primer paso entra al paso 2, en el cual se obtiene la ecuación que describe r en función de dos variables independientes y el valor de F de la variable que entra al tercer paso. El procedimiento se repite hasta que el intervalo de tolerancia establecido lo permite; se basa en calcular correlaciones parciales entre la variable dependiente (r) y las independientes. Existe una condición para que cada una de las variables independientes entren a los pasos consecutivos del análisis: que se asigne el mejor valor de F .

La variable independiente así condicionada entra al paso 1; el coeficiente de correlación múltiple corresponde a la r de esa variable. La r y F de las otras variables se modifican. El paso 2 y los posteriores se presentan bajo las condiciones anteriores. Sin embargo, la mejor correlación parcial no representa necesariamente el F más alto. A partir de entonces, el coeficiente de correlación múltiple se modifica elevándose siempre.

No todos los análisis estadísticos se incluyeron en el presente trabajo; únicamente se presentan los de mayor relevancia para una mejor reconstrucción e interpretación del agroecosistema del frijol gandul en la Región del Cabo.

Para la captura, elaboración de gráficas y ejecución de los análisis estadísticos mencionados se emplearon los programas para computadora AT que se mencionan a continuación, con la debida licencia institucional:

Programas estadísticos: *Statgraphics* y *MS Stat*.

Hojas de Cálculo: *Lotus 123* y *Quattro Pro*.

La integración y redacción del manuscrito final se llevó a cabo empleando el procesador de Textos WordPerfect 5.0, en ambiente D.O.S., y editado finalmente mediante el programa Ventura en ambiente Windows, igualmente con las licencias debidas para el uso de software.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. CARACTERIZACION EDAFO-AGRICOLA Y AGROCLIMATICA DE LOS SITIOS DE ESTABLECIMIENTO DEL FRIJOL GANDUL.

6.1.1. Descripción edafo-agrícola de los sitios de establecimiento.

1) El Comitán, B.C.S.

Los suelos en el área de influencia del Campo Experimental del CIBNOR son profundos, con horizontes A y B diferenciados, de buen drenaje, y de color claro. La textura del suelo del sitio experimental se clasifica como arena-migajosa, con pH neutro en la superficie y ligeramente alcalino (pH = 7.5) a 20-60 cm de profundidad. Es un suelo con muy bajo porcentaje de materia orgánica (menor de 1%).

Su capacidad volumétrica de retención de humedad es de 12.5% a Capacidad de Campo (CC), y de 5% a Punto de Marchitamiento Permanente (PMP), para una humedad máxima disponible de 7.5%. En épocas de elevadas temperaturas (julio a septiembre), los primeros 5 cm llegan a alcanzar temperaturas de hasta 55 C, convirtiéndose la temperatura en un factor que incrementa exponencialmente la evapotranspiración, llegando a colapsar cultivos en tales épocas, principalmente hortalizas anuales.

De acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO, modificada por DETENAL (1980), en la cuenca hidro-agrícola de La Paz-El Carrizal predominan los Yermosoles, Xerosoles y Regosoles, aunque en el área del Campo Experimental del CIBNOR, el suelo se clasifica como Yermosol. La descripción anterior concuerda con la señalada por Maya y Arriaga (*en prensa*). En el Cuadro 2 se señalan los grupos de suelo y tipo de agua presentes en zonas aledañas al Campo Experimental y en el sitio de establecimiento.

En cuanto a la salinidad, se clasifica como no-salino a la profundidades 0-30 cm; sin embargo, el segundo horizonte (30 a 40 cm de profundidad) es salino, mostrando un valor de RAS=9 (clase según el riesgo de sodicidad **S1**) y CE=730 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ (=0.73 dS m^{-1}), correspondiendo a la clase de salinidad **C2**, según el método descrito por Richards (1962). En algunos sitios, como en los puntos 2 y 5 (Cuadro 3), el índice RAS señala un alto riesgo de sodicidad. En los Cuadros 4 y 5 se indican los promedios de los parámetros de salinidad y de los iones analizados, del suelo y agua respectivamente.

Fisiográficamente, la región del comúnmente conocido como "Valle de La Paz", es en realidad una planicie costera, y desde el punto de vista geológico es un graben o valle tectónico, cuya hidrografía es dispersa y desemboca en la Bahía de La Paz. Existen abanicos aluviales que favorecieron la formación de suelos profundos (SAHOPE-BCS, 1984). Los tipos de vegetación dominantes son el matorral sarcocaulé y el matorral xerófilo, con una abundancia relativa de cactáceas y leguminosas subinermes. La práctica de la tumba-quema de cactáceas en parcelas marginales para el cultivo de maíz, sorgo y otras anuales, ha propiciado que al abandonarse tales parcelas, frecuentemente se establezcan especies como el mezquite (*Prosopis articulata*). Tales especies colonizadoras son capaces de desplazar las especies nativas, como las cactáceas, bajo dichas condiciones; algunas parcelas al abandonarse persisten como parches expuestos a la acción del viento y agua meteórica, con riesgo de desertificarse en el mediano plazo.

Algunos sitios costeros, como El Comitán, presentan horizontes con restos de organismos marinos que sugieren la ocurrencia de procesos de regresión-transgresión, los cuales pueden ser la causa de la concentración relativamente elevada de bicarbonatos. Además, la salinidad cíclica es un proceso que afecta los suelos cercanos a la costa, por lo que frecuentemente presentan al menos una capa salina. Es notoria asimismo la variabilidad de la profundidad al nivel freático, oscilando desde 6 a 10 m en El Comitán y también en los primeros 500 m de franja costera, mientras que en otras rancherías y colonias agrícolas alejadas de la costa oscila desde 20 hasta 60 m. La presencia de bicarbonatos sugiere la existencia de minerales en las formaciones acuíferas, debida posiblemente más a su naturaleza petrológica que a la intrusión marina, proceso al que se le pretende atribuir la salinización gradual del agua en numerosos pozos agrícolas, aunque en realidad no existen suficientes estudios que lo confirmen.

Desde el punto de vista agroecológico, los suelos de La Paz son aptos para el establecimiento de agroecosistemas, ya que aunque son pobres en elementos esenciales y con escasa retención de humedad, presentan algunas ventajas como drenaje adecuado, friabilidad y profundidad, debiéndose siempre considerar que el factor limitante es el agua: su disponibilidad y aporte oportuno. El frijol gandul mostró adaptarse a los suelos de El Comitán, desarrollando raíces fuertes y medianamente profundas, que llegaron a alcanzar los 70 cm de profundidad.

Cuadro 2. Grupos de suelo y tipos de agua en 6 puntos del área de influencia del Campo Experimental del CIBNOR, en El Comitán, B.C.S. El frijol gandul estuvo sujeto a las condiciones del pozo 1 "CIB".

Código del Pozo	Localización Geográfica	Profundidad al NE (m)	No. de Muestras	Tipo de Agua	Grupo Edáfico
1 (CIB)	24°08'N 110°24'W	8	4	Cl-Na-HCO ₃	Yermosol
2 (J)	24°04'N 110°22'W	30	4	Cl-Na-Mg-Ca	Regosol
3 (L1)	24°05'N 110°23'W	18	4	Na-Cl	Yermosol
4 (F)	24°06'N 110°22'W	12	4	Cl-Ca	Yermosol
5 (C)	24°07'N 110°24'W	12	4	Cl-Na-HCO ₃	Xerosol
6 (L2)	24°07'N 110°25'W	26	4	Cl-Na	Regosol
Promedio zonal para el área de El Comitán:				Cl-Na-HCO ₃	Yermosol

Nota.- NE : Nivel Estático.

Cuadro 3. Uso actual del suelo y parámetros de salinidad edáfica en El Comitán y puntos aledaños, cuenca hidroagrícola La Paz-Carrizal, B.C.S. México.

Código del Pozo	Uso Actual del Suelo	CE S·m ⁻¹	RAS	PSI %	Clase de salinidad	Riesgo de sodio
1 (CIB)	Experimental	0.070	2.10	1.8	C2	S1
2 (J)	Cereales	0.500	6.1	6.8	C4	S1
3 (L1)	Sin uso	0.130	15.87	18.1	C4	S2
4 (F)	Sin uso	0.046	1.61	1.0	C4	S1
5 (C)	Cultivos anuales	0.080	6.10	7.2	C3	S1
6 (L2)	Pastoreo	0.067	16.40	18.6	C3	S1

Nota.- CE: Conductividad Eléctrica; RAS: Relación de adsorción de Sodio; PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; clase de salinidad y riesgo de sodio de acuerdo con Richards (1977).

Cuadro 4. Composición química del suelo del área de influencia de El Comitán y del Campo Experimental del CIBNOR, La Paz, B.C.S.

Código del Pozo	pH pasta saturada	Ca ^{**}	Mg ^{**}	Na [*]	HCO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	NO ₃
		meq·l ⁻¹ del extracto de saturación				Kg·Ha ⁻¹	mg·l ⁻¹
1 (CIB)	6.96	2.2	1.6	2.9	2.6	84.5	1059
2 (J)	7.26	36	22	32.2	8	112	930
3 (L1)	7.20	3	2.5	9.4	6	38.5	1206
4 (F)	7.13	25	14	7.1	5	16	1344
5 (C)	7.14	4.6	3.4	12.2	3.8	103	1011
6 (L2)	7.45	4	3	16.2	5.5	106	980

Nota.- En todas las muestras las concentración de CO₃ fue baja e insignificante para el presente trabajo de Tesis.
meq·l⁻¹: miliequivalentes por litro.

Cuadro 5. Composición química del agua subterránea de seis pozos en la zona semiárida de El Comitán, La Paz B.C.S. México.

Código del Pozo	pH	Ca ^{**}	Mg ^{**}	Na [*]	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl ⁻	SDT	CE	RAS
					mg l ⁻¹					S m ⁻¹
CIB	7.21	8.0	7	27.1	11.0	0.0	31.2	2645	0.7	9.9
J	6.47	33.0	37	37.7	10.0	0.0	98.0	6063	1.0	6.4
L1	6.35	2.0	3	13.6	6.4	1.0	11.0	1219	0.2	8.6
F	6.51	22.0	10	6.2	10.0	0.0	28.4	2323	0.3	1.6
K	6.64	10.0	11	17.2	12.0	0.0	26.4	2399	0.5	5.3
L2	7.17	1.8	5	9.3	4.6	1.2	10.6	999	0.1	5.2

Nota.- meq·l⁻¹: miliequivalentes por litro; S·m⁻¹: Siemens/m; SDT: sólidos disueltos totales; CE: conductividad eléctrica; RAS: relación de adsorción de sodio.

2) Colonia Plutarco Elías Calles, B.C.S.

Fisiográficamente la Colonia P.E. Calles está emplazada en una unidad geoambiental la cual incluye las localidades: Migriño, P.E. Calles, Los Médanos, y Agua Escondida. Está emplazada sobre rocas ígneas intrusivas ácidas de los períodos Terciario y Cretácico; también se tienen varios depósitos aluviales y conglomerados del Cuaternario. Los suelos desarrollados a partir de los materiales parentales son Regosoles asociados a otras unidades edafológicas, principalmente a suelos de tipo Xerosol háplico y Regosol calcárico (Cuadro 6); tal clasificación concuerda con Maya (1988). La textura edáfica es media y media-gruesa, con escasa retención de humedad.

La vegetación está compuesta por matorral xerófilo subinermes, y hacia las partes bajas de la Sierra de La Laguna por selva baja caducifolia. Aunque la calidad del agua subterránea es adecuada para la agricultura, no encontrándose pozos cuya agua rebase las 800 ppm de SDT (Cuadro 9), la potencialidad para aumentar las extracciones de agua es baja, por lo que difícilmente se podrá aumentar el número de pozos de agua. La agricultura sólo se podrá expandir en forma limitada dada la abundancia de lomeríos, el contenido esporádico de cal en algunos suelos, la irregular disponibilidad de agua y la cercanía a los centros turísticos de Cabo San Lucas, demandantes de mayores cantidades de agua. Sin embargo, sí presenta posibilidades para cultivos intensivos horto-frutícolas en áreas reducidas; otra opción factible sería la agricultura orgánica.

La región consiste en un pie de monte (pedillanura) que abarca desde Todos Santos hasta San José del Cabo, que se encuentra disectado por varios arroyos, algunos de ellos más o menos profundos. Su escasa pendiente se proyecta desde las partes bajas de la Sierra de La Laguna hacia las playas, encontrándose interrumpida por varios grupos de lomeríos y cadenas pequeñas de montes bajos.

Debido al arrastre de partículas fértiles, por su tamaño, durante la bajada de arroyos estacionales, la deposición de capas aluviales ha favorecido la formación de suelos fértiles, por su estructura y granulometría, en algunas de las microcuencas de la región, presentando la mayoría de las parcelas agrícolas y ejidales el tipo de suelo adecuado para la práctica de la horto-fruticultura. De hecho, la calidad del suelo no es una limitante para la agricultura (Cuadros 7 y 8) en el sur del Estado, incluyendo la porción sur del Municipio de La Paz y el Municipio de Los Cabos.

P.E. Calles es una cuenca agrícola de productividad relativamente elevada y aparentemente estabilizada, emplazada hacia el oeste y oeste-sur de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de La Laguna, en el límite suroeste del municipio de La Paz. Es una colonia agrícola ejidal que se ha dedicado desde hace unos 30 años al cultivo de hortalizas principalmente, y algunos cultivos básicos; fue colonizada en los inicios de los 60's por inmigrantes de los estados de Michoacán, Jalisco y otros.

Los agricultores y campesinos de P.E. Calles tradicionalmente siembran año con año el cultivo del chile, principalmente las variedades Verde San Juan (*ancho poblano*) y California (*largo semidulce*), por lo que han adquirido vasta experiencia en su producción y manejo.

En la mencionada cuenca, la problemática agroecológica ha adquirido otros matices, diferentes a la del centro y norte del Estado. La falta de una planeación estratégica de control integral ha ocasionado en los últimos años la explosión de plagas de primer orden para el chile. Entre las que se presentan como más importantes deben mencionarse el picudo o barrenillo (*Anthonomus eugenii*) y el grupo de plagas conocido como mosquita blanca (*Bemisia tabacii* y *Trialeurodes vaporariorum*). Los niveles de infestación de las mencionadas plagas se han vuelto intolerables a tal grado que los agricultores tienen que efectuar hasta dos aplicaciones de insecticidas por semana, frecuentemente no solamente de un tipo, sino inclusive mezclas de ellos. Por ello, el riesgo de contaminación por agroquímicos se ha elevado en la región sustancialmente en la última década.

Desde el punto de vista agroecológico, los suelos de los valles del suroeste, incluyendo la Colonia Plutarco Elías Calles, son aptos para las prácticas hortícolas y frutícolas. Presentan calidad óptima, tanto en su composición granulométrica como estructural, además de ser friables, profundos y con buen drenaje; por otro lado, no están afectados por problemas de salinidad ni sodicidad.

Bajo las condiciones agroecológicas de la Colonia P.E. Calles, el frijol gandul manifestó su máximo potencial fenotípico y productivo, mostrando un notorio desarrollo con elevada producción de grano seco. Presenta además, características que le favorecen para ser considerado como cultivo nodriza protector de hortalizas, e inclusive como barrera contra el viento en parcelas reducidas.

3) Santiago, B.C.S.

El ejido agrícola de Santiago abarca las comunidades El Zacatal, San Jorge, Santiago, Las Cuevas, y Aguacaliente, las cuales en su conjunto constituyen una unidad geoambiental, conformada por aluviones del Cuaternario. Los suelos en el área son Fluvisoles éutricos, con posibilidades de uso agrícola bajo riego, Regosol éutrico con Xerosol calcárico y Regosol éutrico con Feozem háplico y Regosol calcárico, suelos de mediana a alta fertilidad, predominando en general los Regosoles (Cuadro 6).

Se encuentra emplazado en un valle largo y amplio que se extiende desde la Bahía de Las Palmas, hasta la costa sur de la Península. La región oeste del mencionado valle, presenta amplias mesetas que se han formado a partir de antiguos pies de monte, los cuales han sido fuertemente disectados por los arroyos que escurren de la Sierra de La Laguna.

Existen varios tipos de comunidades vegetales entre las que destacan el bosque de galería y la selva baja caducifolia, así como el matorral xerófilo; la cobertura de la vegetación cubre entre un 25 y 30% de la superficie terrestre.

Los aluviones presentes, por no estar consolidados, tienen altas posibilidades para incrementar las explotaciones de agua subterránea; por otro lado, la calidad del agua subterránea es adecuada para las prácticas agropecuarias. Existen 16 pozos de agua registrados, y 15 pozos irregulares. Las extracciones de agua subterránea presentan posibilidad de aumentar, ya que la cuenca San José-Santiago es de las pocas en Baja California Sur que no presenta sobreexplotación.

Aunque el agua es de buena calidad (Cuadro 9) y existe la posibilidad de ampliar el número de captaciones, sin embargo, no existen estudios sistemáticos que avalen tal posibilidad. Por otro lado, la información existente es contradictoria e insuficiente, por lo que no se puede llegar a una conclusión definitiva en cuanto al uso y ampliación de los aprovechamientos hidráulicos para fines agrícolas. La cuenca hidrológica de Santiago presenta una disponibilidad estimada en 25 millones de m³; aunque la información existente sobre las recargas se basan en estimaciones hidrológicas y climatológicas.

La agricultura en Santiago ha sido próspera y presenta factibilidad de expansión, al igual que la ganadería. La citricultura es una de las opciones que empieza a considerarse en el ámbito agrícola.

Tradicionalmente se cultivan frutales, hortalizas y forrajes, con rendimientos aceptables, aunque algunas deficiencias resultan evidentes, tanto en el sistema de cultivo y manejo como en el almacenamiento y transporte. Por otro lado, las aplicaciones de agroquímicos son irregulares, dependiendo del tipo de cultivo y la época del año. Definitivamente la agricultura representa una importante opción económica para la región de Santiago, sin embargo, deberá mejorarse el manejo de las prácticas culturales y agropecuarias inadecuadas, dentro de las que debe mencionarse la ineficiencia en el uso del agua para riego en canales de tierra. Otra opción es la agricultura orgánica, que, aunque en un porcentaje bajo, ya ha producido dividendos importantes en el Ejido San José. Cabe aclarar que para afianzar tal tipo de agricultura primero deberá consolidarse el mercado, el cual es especializado.

Cuadro 6. Grupos de suelo y tipos de agua en las localidades de P.E. Calles (vertiente del Océano Pacífico) y Santiago (vertiente del Mar de Cortés), Región del Cabo BCS, asociados a frijol gandul.

Sitio del Pozo	Localización Geográfica	Profundidad al NE (m)	No. de Muestras	Tipo de Agua	Grupo Edáfico
1 (PEC)	23°15'N 110°09'W	12	2	Potable/agrícola	Regosol
2 (STG)	23°29'N 109°42'W	20	2	Mg-Ca	Regosol

Nota.- PEC: Colonia Plutarco Elías Calles, BCS. STG: Ejido Santiago, BCS.

Cuadro 7. Uso actual del suelo y parámetros de salinidad edáfica en la colonia P.E. Calles y Santiago, B.C.S. Los Cabos, México.

Código del Pozo	Uso Actual del Suelo	CE S·m ⁻¹	RAS	PSI %	Clase de salinidad	Riesgo de sodio
1 (PEC)	Horto-frutícola	0.005	1.5	3.9	C1	S1
2 (STG)	Forrajes/Hortal	0.009	5.7	8.0	C2	S1

Nota.- CE: Conductividad Eléctrica; RAS: Relación de adsorción de sodio; PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable; clase salina y riesgo de sodificación de acuerdo con Richards (1977).

PEC: Col. agrícola Plutarco Elías Calles, B.C.S. STG: Ejido Santiago, B.C.S.

Cuadro 8. Composición química del suelo en la Colonia P.E. Calles y Santiago, B.C.S. Los Cabos, México.

Código del Pozo	pH pasta saturada	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	NO ₃
		meq·l ⁻¹ del extracto de saturación				Kg·Ha ⁻¹	mg·l ⁻¹
1 (PEC)	7.00	4.3	1.6	3.0	2.6	84.5	955
2 (STG)	7.10	16	28	9.1	7.2	75.3	780

Nota.- En todas las muestras las concentración de CO₃ fue baja e insignificante para el presente trabajo de Tesis.
meq·l⁻¹: miliequivalentes por litro.

Cuadro 9. Composición química del agua subterránea de dos pozos en las cuencas de P.E. Calles y Santiago, Los Cabos, BCS. México.

Código del Pozo	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	Cl ⁻	SDT	CE	RAS
		mg l ⁻¹								S m ⁻¹
1 (PEC)	6.80	10.1	14	3.1	8.2	0.0	9.0	730	0.1	6.4
2 (STG)	6.65	9.7	12	5.6	9.3	2.0	13.5	1030	0.2	8.6

Nota.- meq·l⁻¹: miliequivalentes por litro; S·m⁻¹: Siemens/m; SDT: sólidos disueltos totales; CE: conductividad eléctrica; RAS: relación de adsorción de sodio.

6.1.2. Caracterización agroclimática de los sitios de establecimiento.

1) El Comitán.

a) Clasificación climática.

Una primera aproximación al estudio del clima de una localidad, con aplicaciones en las ciencias biológicas, se basa generalmente en la interpretación de mapas y símbolos empleados comúnmente en los sistemas convencionales de clasificación climática.

El Sistema de Köppen, modificado por García (1964) para las condiciones de la República Mexicana, es ampliamente utilizado en México, así como en otros países. De acuerdo con el mencionado sistema de clasificación, el clima de La Paz, B.C.S. queda representado por el código BW(h')hw(e), que significa clima muy seco, con una principal época de lluvias en verano, y una secundaria en invierno; la precipitación en general es muy escasa a lo largo del año; la precipitación invernal es menor que la ocurrida durante el verano; clima cálido, con una oscilación térmica anual de 7 a 14°C (García y Mosiño, 1968).

Cabe hacer hincapié, sin embargo, en que frecuentemente la información sumariada mediante el uso de demasiados códigos puede resultar inadecuada para determinados propósitos de planeación agroecológica, en los cuales, pudieran demandarse intervalos agroclimáticos más estrechos, además de que los usuarios pudiesen no estar familiarizados lo suficiente para interpretar adecuadamente la simbología.

b) Evaluación de la aridez meteorológica.

Para la evaluación de la aridez se consideraron dos series de datos de precipitación, de 1906 a 1911 y de 1917 a 1987 (Salinas y Leyva, 1988), y una serie de datos de temperatura, de 1921 a 1986 (Salinas y Leyva, 1989). No se encontraron series de datos disponibles para el período 1912 a 1916.

Según los registros históricos, la máxima precipitación ocurrida en la estación climatológica de La Paz en un mes fue de 381.6 mm en septiembre de 1943, y la máxima precipitación ocurrida en un día fue de 137 mm el día 30 de septiembre de 1976 (por

efecto del huracán tropical "Lisa"). Los promedios mensuales de temperatura, precipitación y evaporación, así como la aridez, determinada por dos métodos, se muestran en los Cuadros A1 y A2 del Anexo 9.1. En la Figura 6 puede observarse que el período más cálido ocurre de julio a octubre, mientras que el más frío ocurre de diciembre a febrero.

La caracterización global de la aridez fue realizada sobre las bases de promedios mensuales. El cálculo de la aridez **D**, o índice irradiacional de sequía, fue efectuado aplicando la ecuación propuesta por Budyko (1974), de acuerdo con el procedimiento sugerido por Joseph y Ganor (1986). Los valores de radiación solar total fueron obtenidos de los trabajos de Galindo y Chávez (1977) y Fernandez-Zayas (1987); dicha información fue complementada con datos de otras fuentes (Hastings, 1964; Hastings y Humphrey, 1969), y fue analizada por medio del programa estadístico *Statgraphics*.

La ecuación para el cálculo de **D** es la siguiente:

$$D = R_n / [(b - cT)(P)] \quad (25)$$

donde.-

D : índice irradiacional de sequía, adimensional

R_n : radiación neta media en cal·cm⁻²·día⁻¹

b : calor total de vaporización en cal·g⁻¹ (b = 595.5)

c : factor empírico que varía con la temperatura en °C (c = 0.609)

T : temperatura en °C

P : lámina de precipitación en mm para un período de estudio (p. ej. anual)

Para resolver **D**, la radiación neta **R_n** a su vez fue estimada numéricamente aplicando la ecuación:

$$R_n = (1 - a)(R_t) \quad (26)$$

donde.-

a : albedo (para la presente investigación a = 0.25)

R_t : radiación solar total en cal·cm⁻²·día⁻¹

Al resolver la Ecuación 25 para la región de La Paz, considerando los siguientes valores: $R_n = 379.69$; $T = 23.6$, y $P = 180.6$, resultó $D = 0.04$ como resultado de la influencia de los valores relativamente mayores de P que se presentaron en agosto y septiembre (Cuadro A2 del Anexo 9.1). Por lo anterior, es claro visualizar que el índice D es altamente sensible a la precipitación y puede resultar extremadamente bajo, subestimando la aridez meteórica, por lo que no muestra tener la resolución apropiada para representar adecuadamente las fluctuaciones de la aridez en la zona semiárida bajo estudio. En este sentido, los ecotipos de frijol gandul en estudio pudieran emplearse en investigaciones posteriores para evaluar las variaciones microzonales de la aridez, ya que presenta una gran plasticidad ante las mismas.

La variación anual de D al igual que el patrón de la precipitación se presentan en la Figura 7, en la cual puede observarse que el valor mínimo y máximo del índice de sequía D ocurren en septiembre y mayo, respectivamente, valores que son opuestos a los de la precipitación. El patrón del índice de sequía presenta una tendencia creciente hacia el mes de abril, y se manifiesta gráficamente inversa al patrón de la precipitación. Sin embargo, al resolver para D , debe observarse que si $P = 0$, entonces D se torna numéricamente indefinido. Lo anterior debe tomarse en cuenta al estudiar la agroclimatología de la Región del Cabo, ya que en numerosas estaciones existen períodos de sequía.

En la estación de La Paz, los períodos de febrero a junio y de octubre a diciembre son estaciones secas con precipitación nula (p_p efectiva = 0), aunque debido a la práctica del riego sean importantes ciclos agrícolas. Condiciones similares a la anterior le restan utilidad al modelo de Budyko en zonas áridas y semiáridas, donde períodos de 'cero' precipitación son comunes. De hecho, tal modelo debería aplicarse exclusivamente para evaluar tendencias de promedios anuales de series de datos históricos; análisis mes por mes no resultan confiables, dada la ocurrencia de meses con cero precipitación.

El valor anual de D resultante de la Ecuación 25 es bajo ($D = 0.036$), muy similar al valor del mismo índice obtenido para septiembre ($D = 0.011$), el mes con la mayor lámina de precipitación (60 mm). En consecuencia, los resultados obtenidos pudieran interpretarse erróneamente, debido a que la magnitud anual de la precipitación

representa la suma de los valores individuales de los meses. Por tanto, el valor del índice de sequía resultante, **D**, sobre la base de un análisis anual es en realidad una extrapolación de valores acumulados, y no un índice que pondere los valores mensuales; por lo anterior, el índice **D** *subestima* la aridez en la región bajo estudio, y seguramente la subestimaría en cualquier región semiárida del mundo si es empleado similarmente.

Una vez analizadas las tendencias que presentó el índice irradiacional de sequía **D**, se propuso el índice modificado **A** (ver Ecuación 14, pág. 54, sección Material y Métodos), el cual se basó en el análisis de la tendencia de la relación precipitación/evaporación, como estimador del déficit de agua meteórica; la variación mensual del índice **A** puede observarse en la Figura 7. Para el caso del área de influencia de la estación climatológica de La Paz, en la cual se encuentra El Comitán, la evaporación media diaria fue de 5.87 mm/día, aproximadamente 176 mm/mes (Cuadro A2 del Anexo 9.1).

Desde el enfoque agrohidrológico, la condición de balance óptimo (aridez nula) se consideró cuando la precipitación igualó la evaporación; en tal caso el índice de aridez $A = 0$ (que es el mínimo valor posible de aridez). Un valor elevado de aridez implica que la precipitación es cero o nula, o también que la evaporación es muy alta, para un determinado período de tiempo. Considerando las condiciones de la Región del Cabo, se propuso una escala de aridez para proporcionar al análisis un matiz objetivo y de utilidad hidroagrícola. Sin embargo, para otras condiciones se pueden adoptar otras escalas, que pudieran ser de mayor utilidad para otras actividades, como en el caso de la acuacultura, donde se pudiera requerir una escala del balance precipitación/evaporación con mayor resolución para evitar incrementos súbitos en la salinidad del agua en los estanques.

La fluctuación anual de **A** (Ecuación 14, pág. 54, sección Material y Métodos) comparándola con la de **D** puede observarse en la Figura 7. Resulta evidente como el índice propuesto **A** estima valores relativamente elevados durante un período más largo, que el obtenido al aplicar el índice **D**. Por otro lado, **A** señala claramente el período húmedo (agosto-septiembre), mientras que **D** pierde resolución al tratar de identificar tal época, ya que la función aparentemente se estabiliza, oscilando con poca amplitud alrededor de valores cercanos a cero, desde julio hasta enero.

El patrón geográfico de la aridez en la Región del Cabo de Baja California Sur se presenta claramente en un gradiente; se estima una menor aridez mientras más meridional sea un determinado sitio o localidad de interés; asimismo, se observará mayor aridez meteórica y fito-fisiográfica conforme mayor sea la latitud. Una información más detallada de la aridez en la región de La Paz, B.C.S., se encuentra descrita en la Publicación No. 1 (Anexo 9.3).

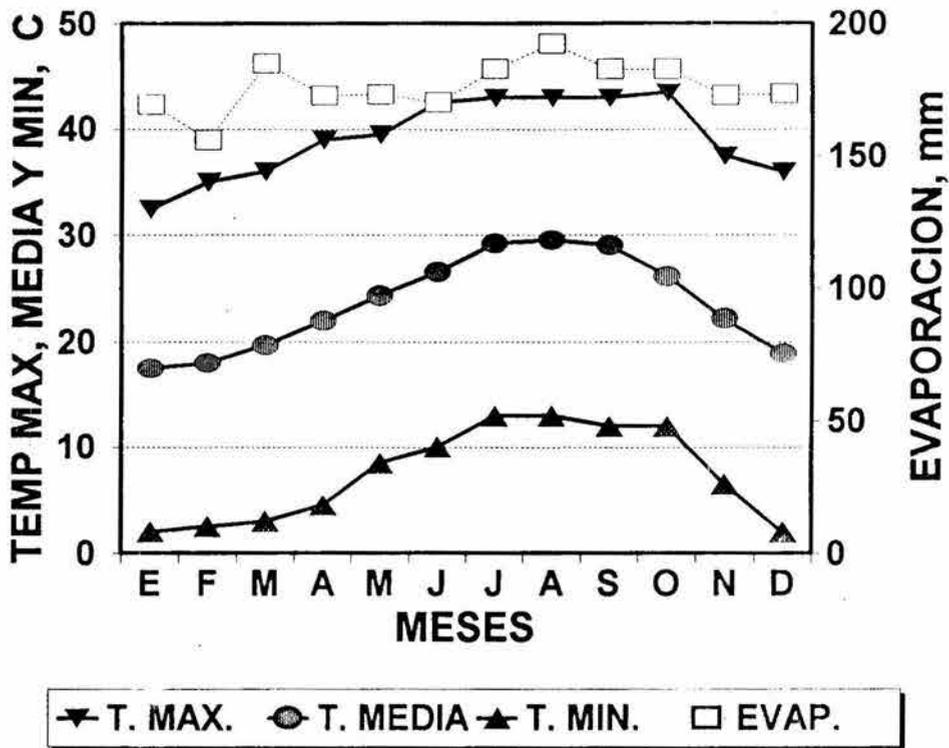


Fig. 6. Variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima (en °C), y de la lámina evaporativa en El Comitán, B.C.S.

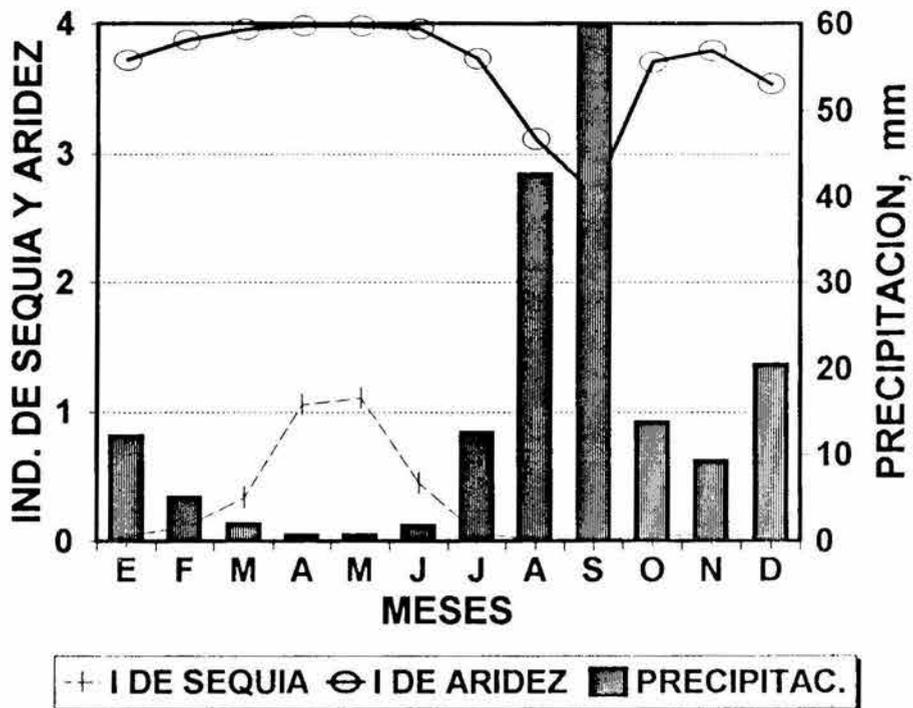


Fig. 7. Variación mensual de la precipitación (en mm), y de los índices de sequía D y aridez A, en El Comitán, B.C.S.

2) Colonia Plutarco Elías Calles.

a) Clasificación climática.

De acuerdo con el sistema de Köppen, modificado por García (1964), el clima puede describirse mediante el código BW(h')w(x')(e): clima seco, cálido muy árido, con lluvias de verano y extremoso; la precipitación es muy escasa a lo largo del año; la precipitación invernal es menor que la del verano; la temperatura media anual es mayor de 22°C, con una oscilación térmica anual de 7 a 14°C. La zona también está expuesta a tormentas tropicales. La temperatura máxima extrema se presenta en el mes de julio (39.5°C) y la máxima lámina de evaporación (172.4 mm) en el mes de agosto (Figura 8).

b) Evaluación de la aridez meteorológica y balance hidrológico.

Los promedios mensuales de temperatura y radiación, así como los de precipitación, evaporación y aridez, determinada por dos métodos, se muestran en los Cuadros A3 y A4 (Anexo 9.1).

Aplicando la Ecuación 25 (pág. 84) para la Colonia P.E. Calles, considerando los valores: $R_n = 379.7$, $T = 22.3$, y $P = 209.6$ mm, se obtuvo para el índice irradiacional de sequía $D = 0.037$, y para el propuesto índice de aridez $A = 3.5$ (Figura 9 y Cuadro A4 del Anexo 9.2). De acuerdo con los valores que proporciona el índice A , el patrón de aridez de la Colonia Calles es similar al del Comitán, aunque la aridez aparentemente se interrumpe antes en la Colonia Calles. Asimismo, el período húmedo se define similarmente al del Comitán, de julio a septiembre. Por otro lado, la temperatura media en la Colonia Calles queda estabilizada a manera de una zona templada de tipo mediterráneo, oscilando alrededor de los 20°C desde enero hasta mayo, debido posiblemente a la influencia de los vientos del O. Pacífico. A causa de la irregularidad de las lluvias invernales, frecuentemente el período de sequía se extiende desde octubre hasta junio (Figura 9), para unos 9 meses de déficit de agua, por lo cual la situación ganadera suele tornarse dramática para los campesinos y ejidatarios que dependen de tal actividad. Asimismo, las posibilidades para desarrollar agricultura de temporal, o de humedad residual, son mínimas, teniéndose que perforar pozos de agua para el desarrollo agrícola.

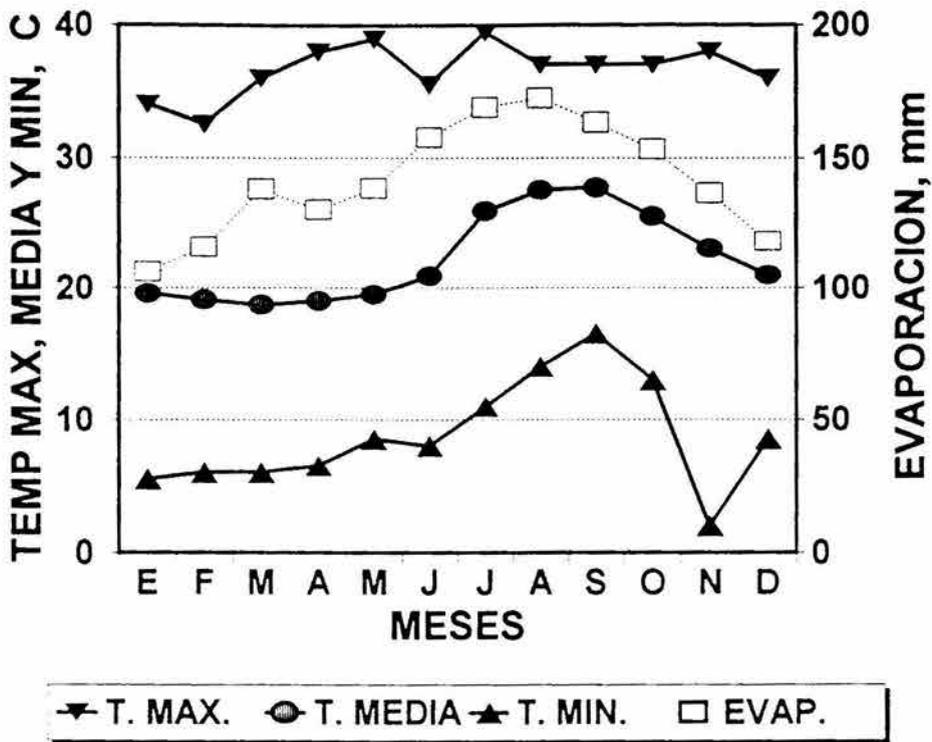


Fig. 8. Variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima (en °C), y de la lámina evaporativa en P.E. Calles, B.C.S.

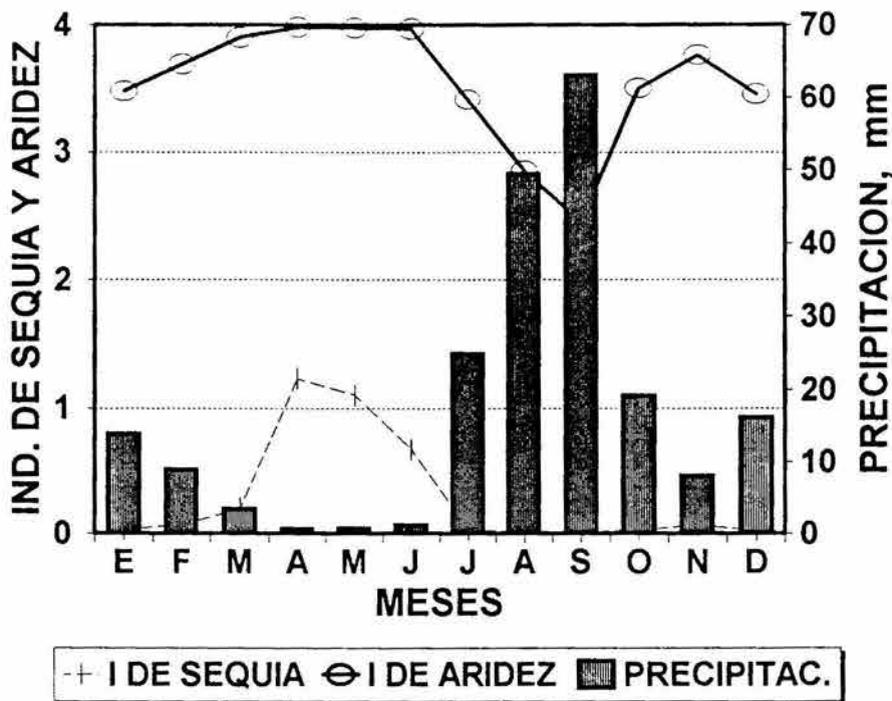


Fig. 9. Variación mensual de la precipitación (en mm), y de los índices de sequía D y aridez A, en P.E. Calles, B.C.S.

3) Ejido Santiago.

a) Clasificación climática.

El código de Köppen para la zona es BW(h')hw(e), el cual es idéntico al sugerido para las estaciones climatológicas de La Paz y San José del Cabo (García, 1964), debiéndose interpretar de manera similar: clima seco, cálido muy árido, con lluvias de verano y extremoso, con precipitaciones en general muy escasas a través del año. La similitud posiblemente se debe a la influencia cálida del Mar de Cortés a lo largo de la costa, con una humedad relativa ambiental relativamente menor que en la vertiente del Océano Pacífico.

Existen evidentemente diferencias microambientales, aunque no están documentadas. Resaltan algunas diferencias fundamentales en la vegetación: la presencia de selva baja caducifolia es evidente en Santiago, mientras que en el área de La Paz el tipo de vegetación principal es el matorral sarcocaul, con dominancia de cactáceas y leguminosas micrófilas caducifolias. En el Ejido Santiago la temperatura máxima extrema (44°C) y la máxima lámina de evaporación (180.2 mm/mes) se presentan en el mes de agosto (Figura 10).

b) Evaluación de la aridez meteorológica.

Los promedios mensuales de temperatura y radiación, así como los de precipitación, evaporación y aridez, se muestran en los Cuadros A5 y A6 (Anexo 9.1). La variación anual de **D** y **A**, y el patrón de la precipitación se presentan en la Figura 11, en la cual se observa que el valor mínimo y máximo del índice de sequía **D** ocurren en septiembre y junio, respectivamente, valores opuestos a los de la precipitación. Es notorio el aumento súbito de la aridez en el mes de junio, de acuerdo con el índice de Budyko **D**. Cabe hacer hincapié en que la tendencia de la magnitud de la sequía y aridez debe ser más bien gradual, dado que el déficit hidrometeorológico en realidad ocurre desde febrero, persistiendo la sequía durante 5 meses, hasta principios del mes de julio (Cuadro A6 del Anexo 9.1). Finalmente, debe mencionarse que tanto el índice **D** como el índice **A** manifiestan una clara aridez la mayor parte del año, a excepción de un breve período húmedo (julio a septiembre) en los tres sitios de establecimiento de frijol gandul.

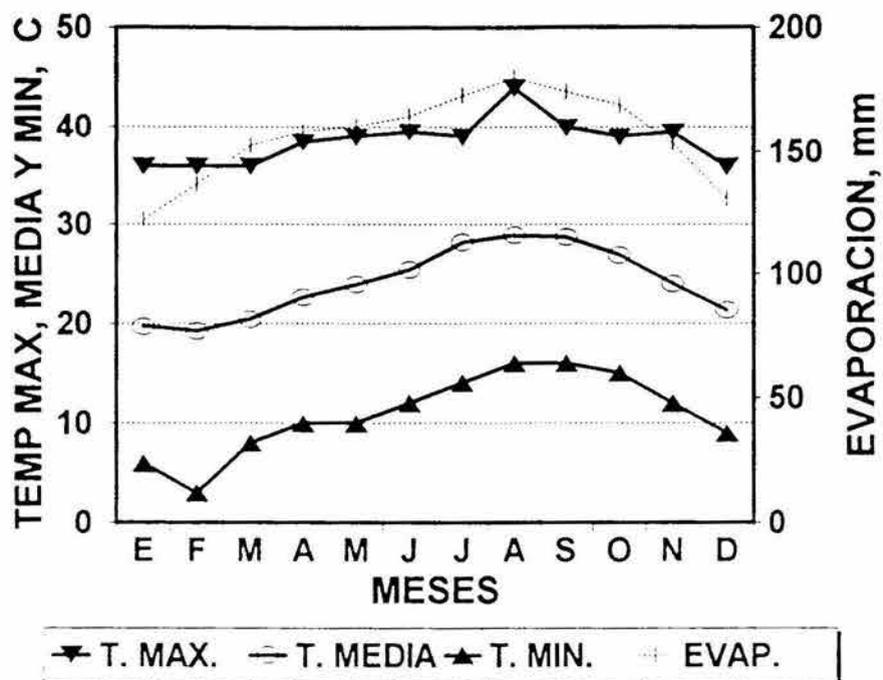


Fig. 10. Variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima (en °C), y de la lámina evaporativa en Santiago, B.C.S.

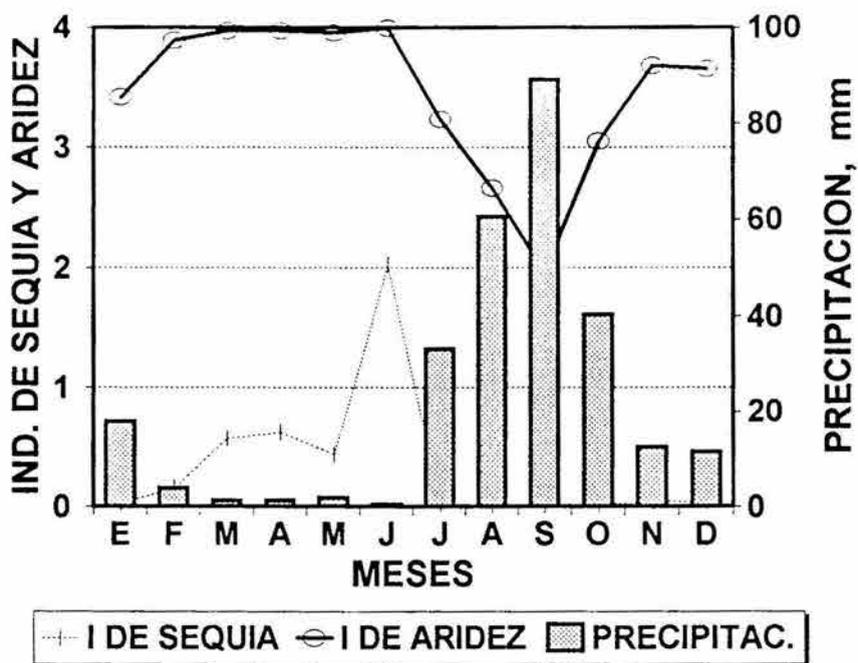


Fig. 11. Variación mensual de la precipitación (en mm), y de los índices de sequía D y aridez A, en Santiago, B.C.S.

6.2. DESCRIPCION DEL GERMOPLASMA Y CAPACIDAD DE GERMINACION.

6.2.1. Origen y descripción de las semillas.

El germoplasma progenitor fué colectado originalmente en el año de 1986 en la región meridional de Baja California Sur, en el poblado ejidal denominado El Pescadero, a 13 Km al sur de Todos Santos y 17 Km al norte de la Colonia P.E. Calles. De acuerdo a diversas comunicaciones personales con los mismos campesinos y agricultores del pescadero, se cree que el frijol gandul fue introducido a Baja California Sur durante la década de los 50's, época en que se desarrollaron los ejidos del sur del Estado. La semilla original es de color pardo muy claro, con algunos puntos rojizos o café-rojizos. Las semillas de Santiago, BCS, presentan el mismo color pero sin los puntos rojizos. El peso promedio del grano de frijol gandul fue de 0.21 g, ligeramente más pesado que el frijol yorimón blanco o chícharo de vaca "black eye cowpea" *Vigna unguiculata* (0.15 g) y que el frijol yorimón pardo 'frijol reata' o "dark pink cowpea" *Vigna sinensis* (0.17 g), ambos también producidos en el Campo Experimental del CIBNOR; por otro lado, mostró menos peso que el frijol pinto mexicano (0.23 g) (Figura 12). Los valores promedio de peso por semilla del frijol gandul y su grado de dispersión se ilustran en las Figuras 13 y 14; las estadísticas descriptivas y el concentrado de las comparaciones múltiples del ANOVA se encuentran en los Cuadros B1 y B2 del Anexo 9.2.

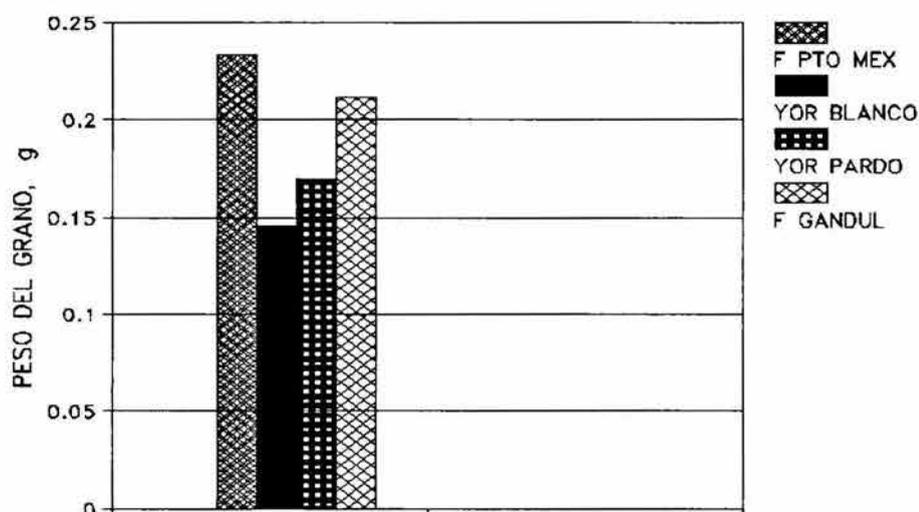


Fig. 12. Peso de grano del frijol común "Pinto Mexicano", frijol yorimón blanco (*Vigna unguiculata*), *V. sinensis* y frijol gandul.

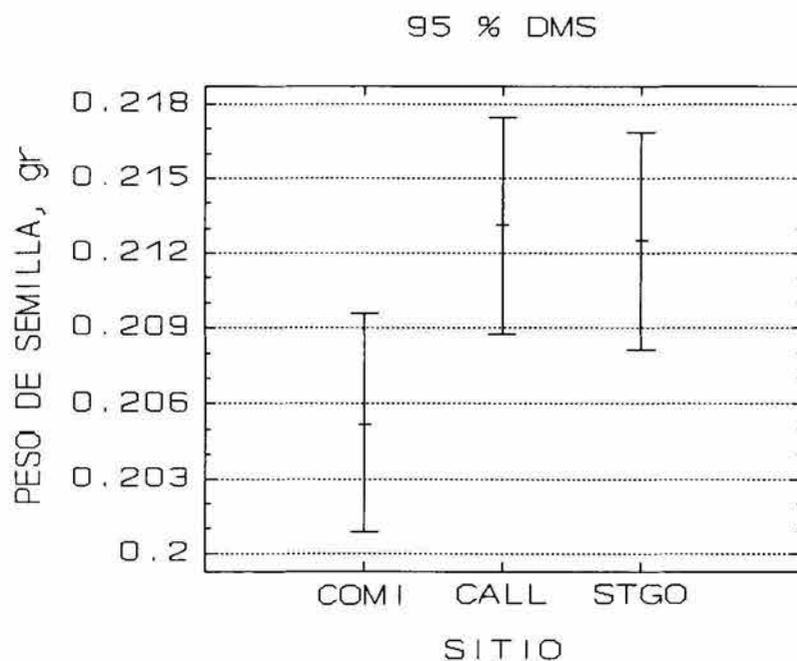


Fig. 13. Peso promedio de granos de frijol gandul en tres sitios de estudio; Región del Cabo, B.C.S.

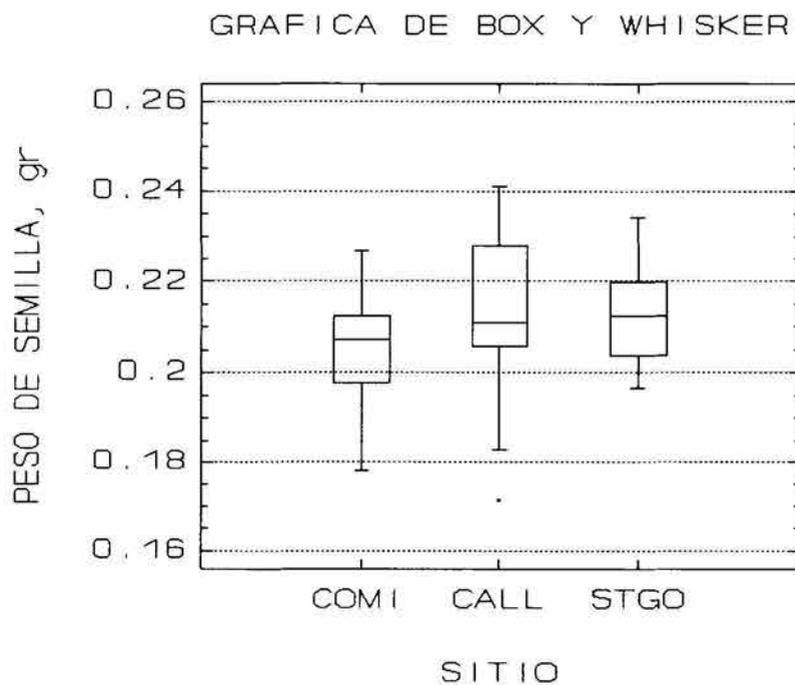


Fig. 14. Dispersión de los valores del peso de grano de frijol gandul en tres sitios; Región del Cabo, B.C.S.

6.2.2. Capacidad de germinación, viabilidad y establecimiento.

El éxito de la producción de granos se basa en gran medida en el uso de semillas de alta calidad. La investigación agrícola del país ha generado semillas mejoradas de cultivos básicos (maíz, trigo, sorgo, etc.) que permiten una notable homogeneidad de plantas en el campo, y una cosecha de mayor cantidad del producto económicamente importante por unidad de superficie. La capacidad de las semillas para germinar y producir una planta normal, es el principal atributo a considerar para evaluar su calidad y potencial. Para la República Mexicana no existen antecedentes documentados acerca de la semilla de frijol gandul, dado que no es un cultivo que a la fecha se haya adoptado como extensivo o básico, por lo que no ha sido considerado en los programas de mejoramiento del país. Lo anterior contrasta con otros países latinoamericanos y del Caribe, como Costa Rica, Colombia, Puerto Rico y Las Bahamas, donde ya existen programas de investigación y desarrollo para su mejoramiento. Los resultados que se presentan resultan válidos para la Región del Cabo de la Península de Baja California, y dada la carencia de experiencias previas en el país, no se podrán comparar en el corto plazo con otras regiones de México, aunque sí de Latinoamérica.

La capacidad de germinación del frijol gandul resultó ser elevada, oscilando el porcentaje entre 80 y 90% bajo condiciones apropiadas de humedad y salinidad, siendo más uniforme hacia la porción meridional de Baja California Sur, en la cual, en las poblaciones de P.E. Calles y Santiago mostró un porcentaje de germinación promedio de 88%. Dada la problemática de salinidad que se viene agudizando en la cuenca hidroagrícola de La Paz, se evaluó la germinación y el establecimiento de plántulas en una parcela salinizada y en otra no salinizada (testigo), en el Campo Experimental del CIBNOR, en El Comitán. En la parcela salinizada se observó un máximo de 66.7% y un mínimo de 38.9% de germinación, mientras que en la no salinizada tales valores críticos fueron 83.3 y 72.2%, respectivamente; los datos obtenidos provinieron de cuatro repeticiones, cada una con 80 semillas. Los porcentajes de germinación fueron transformados a valores de $\text{arc sen } (\% \text{ de germ.}/100)^{1/2}$, para la normalización de los datos, de acuerdo con Sokal y Rohlf (1981) y Steel y Torrie (1960). De acuerdo con los Cuadros B3 y B4 (Anexo 9.2), de ANOVA y comparación entre medias por el método DMS respectivamente, se encontraron diferencias altamente significativas, la cuales

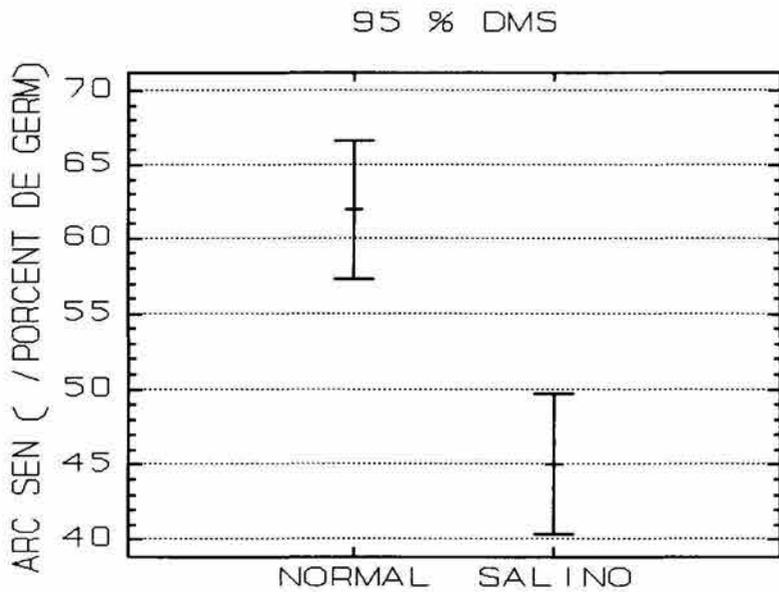
sugieren que la salinidad abate la capacidad de germinación; los valores promedio y la dispersión de datos pueden observarse en las Figuras 15 y 16.

Aún cuando fue notorio el abatimiento de la germinación, debe destacarse la posibilidad de desarrollar líneas adaptadas a la salinidad, ya que aunque la germinación fue comparativamente menor en la parcela salinizada, la respuesta observada fue promisoria: en promedio, **50%** de germinación en la parcela salinizada contra **72%** en la parcela no salinizada (datos retransformados a sus valores originales). Lo anterior le confiere ventaja sobre los cultivos tradicionales, como el frijol común 'pinto mexicano' (*Phaseolus vulgaris*), el cual es altamente susceptible a la salinidad.

En cuanto al porcentaje de establecimiento de plantas a los 30 días de la siembra, puede observarse en las Figuras 17 y 18 que las tendencias indican igualmente que la salinidad ejerce un impacto adverso sobre tal evento: mientras que el **72.2%** de las plántulas se establecieron adecuadamente en la parcela no salinizada, en la que se encontraba afectada por salinidad se estableció el **20.8%** del total de las semillas originales. Tal diferencia resultó ser estadísticamente significativa, como lo indican el análisis de varianza y la comparación entre medias realizados (Cuadros B5 y B6 del Anexo 9.2).

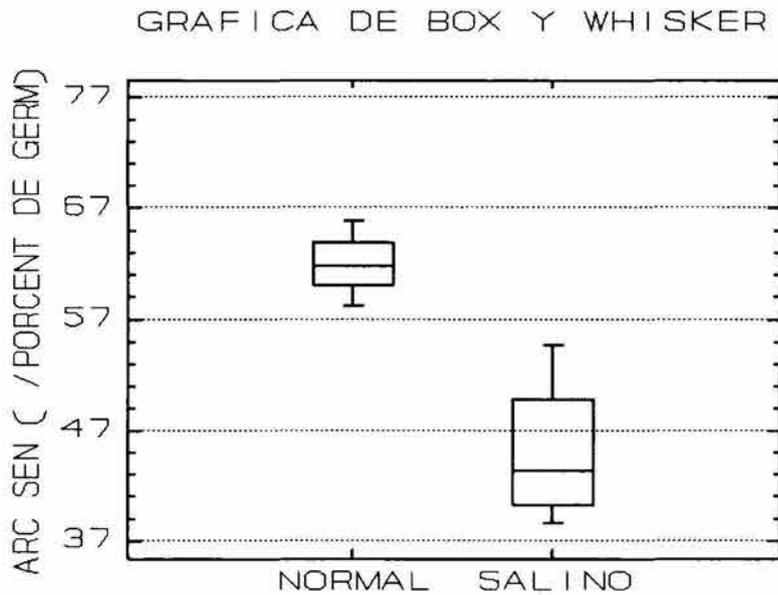
No obstante los resultados anteriormente descritos, las evidencias encontradas en cuanto a la germinación y establecimiento del frijol gandul en parcelas salinizadas no representan en sí resultados adversos, sino un indicativo alentador acerca de la potencialidad del frijol gandul para el aprovechamiento de suelos marginales, empobrecidos o en proceso de salinización.

Los resultados obtenidos, aún cuando son de baja magnitud, contrastan con las experiencias que se tienen en la región en relación con los cultivos tradicionales que se han tratado de establecer en terrenos salinizados, donde han mostrado una germinación y establecimiento mínimos, notoriamente menores en magnitud que los ofrecidos por el frijol gandul.



TRATAM DE SALINIDAD EDAFICA

Fig. 15. Germinación del frijol gandul en un suelo normal y en uno salino, El Comitán, BCS. (Datos transformados).



TRATAM DE SALINIDAD EDAFICA

Fig. 16. Dispersión de los datos de germinación de frijol gandul en un suelo normal y en uno salino (El Comitán, BCS).

Nota: CE suelo normal = 700 μ mhos; CE suelo salino = 5000 μ mhos.

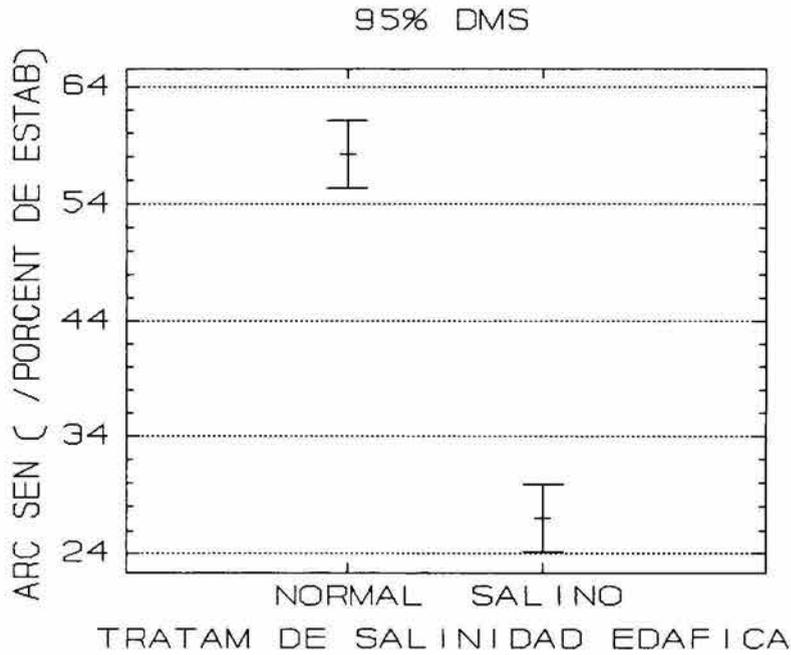


Fig. 17. Establecimiento del frijol gandul en suelo normal y salino, a los 30 días de siembra; El Comitán, BCS.

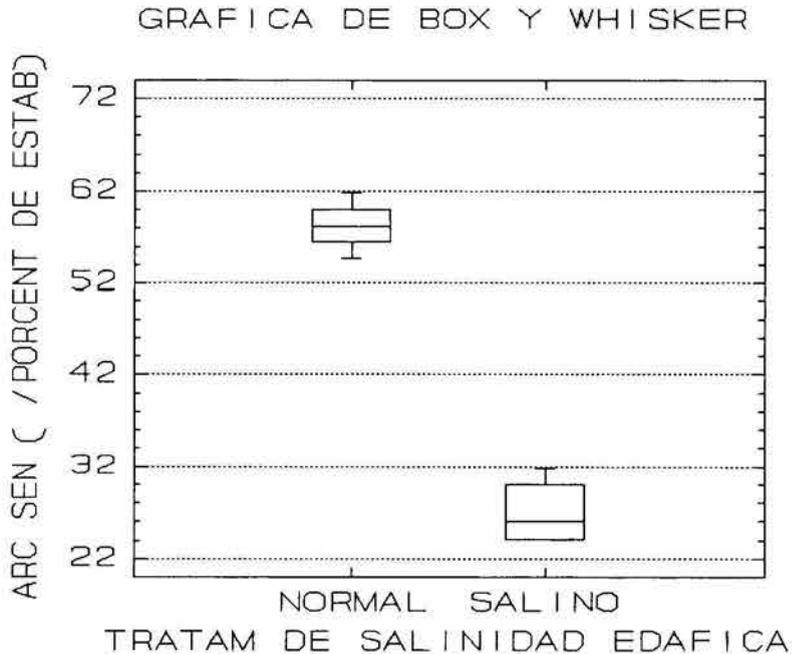


Fig. 18. Dispersión de los datos de establecimiento del frijol gandul en suelo normal y salino; El Comitán, BCS.
Nota: CE suelo normal = 700 μ mhos; CE suelo salino = 5000 μ mhos.

6.3. EVALUACION FITOTECNICA Y DE PRODUCCION POR MICRORREGIONES .

Los descriptores fitotécnicos que se muestran en el Cuadro 10, se basan en los resultados de la evaluación de las poblaciones de frijol gandul establecidas para su estudio en el campo. Aunque se trata de poblaciones relativamente reducidas, como sucede en la mayoría de los casos de experimentación agrobiológica, puede observarse su elevada productividad, comparable con algunas leguminosas de importancia económica, a las que supera en producción por unidad de superficie.

Mediante salidas de campo a los sitios de estudio, emplazados en la región de La Paz y en los valles del sureste y suroeste de Baja California Sur, se efectuaron observaciones fitotécnicas en las poblaciones de frijol gandul establecidas. En todos los casos se observó que las plantas presentaban un estado de desarrollo favorable con un aspecto de sanidad óptimo. El rendimiento de grano para la microrregión del Comitán BCS fue de 160 g/planta/cosecha, equivalente a $4 \text{ Mg}\cdot\text{Ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$; en la Colonia P.E. Calles fue de 200 gr/planta/cosecha, equivalente a $6 \text{ Mg}\cdot\text{Ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, y en la microrregión de Santiago BCS se observó una producción de 268 gr/planta/cosecha, equivalente a $7 \text{ Mg}\cdot\text{Ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, de acuerdo con las cosechas realizadas (Cuadro 10). A la fecha se ha observado que el cultivo bajo estudio puede utilizarse favorablemente en aprovechamientos agrosilvícolas, agroforestales o agrohortícolas, pudiendo asociarse con especies silvestres de la localidad como el mezquite y palo verde, en diseños de explotaciones mixtas, donde pueda ser factible la producción de proteína vegetal con la extracción de leña, actividad tradicional en la región bajo estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el rendimiento de grano del frijol gandul excede al menos en cinco veces el rendimiento del frijol común, el cual produce en promedio $1.2 \text{ Mg}\cdot\text{Ha}^{-1}$ al año bajo las condiciones propias de las regiones productoras de Baja California Sur, tanto en la Región del Cabo (porción meridional de Baja California Sur) como en el valle agrícola de Santo Domingo y el Desierto del Vizcaíno, al norte del Estado. Cabe mencionar que por diversas causas, varias de ellas debidas al tipo de agricultura extensiva y de alta tecnología, el rendimiento del frijol común a partir de los 70's ha decrecido, por lo que desde entonces no representa una opción económicamente importante para la población ocupada en el sector agrícola (Figura 19).

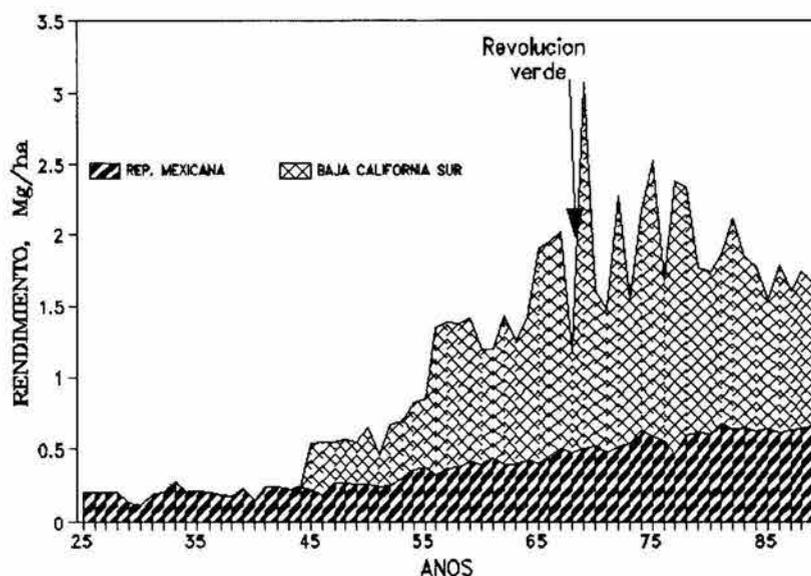


Fig. 19. Tendencia del rendimiento del frijol común en México y Baja California Sur (período 1925-1988).

Cuadro 10. Factores fitotécnicos y resultados de producción del frijol gandul, en tres sitios de establecimiento de la Región del Cabo, B.C.S.

FACTOR	Magnitud ó Recomendación		
	(1)	(2)	(3)
1. ALTURA DE PLANTA (A LOS 120 DIAS), m	1.50	1.70	1.80
2. No. DE VAINAS/PLANTA/COSECHA	340	460	570
3. No. DE COSECHAS/AÑO	3	4	4
4. RENDIMIENTO DE GRANO, Mg/ha	4	6	7
5. FECHAS DE SIEMBRA	AGO-NOV	<Todo el año>	
6. FECHAS DE COSECHA	DIC-MAY	DIC-JUN	DIC-JUN
7. PERIODO VEGETATIVO	JUN-OCT	MAY-NOV	MAY-NOV
8. PERIODO DE FLORACION.-	INICIA: 15/NOV	NOV	NOV
	TERMINA: 30/MZO	ABR	ABR
9. DISTANCIA RECOMENDADA ENTRE PLANTAS	70 cm	70 cm	90 cm
10. DISTANCIA RECOMENDADA ENTRE SURCOS	70 cm	90 cm	90 cm
11. DENSIDAD DE POBLACION (plantas/ha)	20,000	15,000	12,000

Nota: (1) El Comitán, B.C.S.; (2) P.E. Calles; (3) Santiago.

6.4. CARACTERIZACION MORFOLOGICA Y ECOFISIOLOGICA.

6.4.1. Variables Morfológicas.

Los resultados obtenidos indican que no hay diferencias significativas para el caracter área foliar por hoja entre las poblaciones bajo estudio. Las diferencias en el contenido de humedad edáfica, temperatura ambiental y otros factores climáticos parecen reflejarse en el número total de hojas, área foliar total e índice de área foliar, no habiendo diferencias en el área promedio de hojas representativas.

En todas las muestras las variables longitud y ancho medio de la hoja tuvieron alta correlación con el área foliar de la hoja. Los resultados de las correlaciones se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Coeficientes de correlación de las variables *longitud* , *ancho medio* y *ancho tercio* de la hoja con la variable independiente *área foliar* para todas las muestras de frijol gandul (n=200); ciclos 1990-92.

Variable	r	r ²	Error Std.	F
Longitud	0.965	0.931	0.41	2041.39
Ancho Medio	0.968	0.937	0.18	2264.15
Ancho Tercio	0.952	0.906	0.20	1456.97

Se ensayaron diversos coeficientes de ajuste para elevar los coeficientes de determinación, con el objeto de determinar las magnitudes de área foliar con suficiente precisión. El análisis de los ensayos numéricos indica que el producto **(Longitud)*(Ancho medio)*0.75** es un estimador preciso del área foliar por hoja, ya que mediante tal relación multiplicativa se elevaron los coeficientes de correlación y determinación con el área foliar observada, obteniéndose valores de $r = 0.977$ y $r^2 = 0.955$. Las tendencias pueden observarse en la Figura 20; los análisis de regresión y correlación efectuados se muestran en los Cuadros B7, B8, B9 y B10 del Anexo 9.2.

La expresión que relacionó las variables Longitud y Ancho Medio con mayor ajuste para la determinación del área foliar (Cuadro B10 del Anexo 9.2) en las

poblaciones estudiadas y que constituye el modelo numérico que se empleará subsecuentemente en el presente estudio es:

$$Af = 0.75(L)(Am) \quad (27)$$

donde: Af es el área foliar en cm,
 L es la longitud de la hoja en cm, y
 Am es el ancho de la hoja medido transversalmente por el centro geométrico de L.

Dado que las variables analizadas presentaron la misma tendencia para las poblaciones estudiadas, se presentan las tendencias globales de la información acumulada.

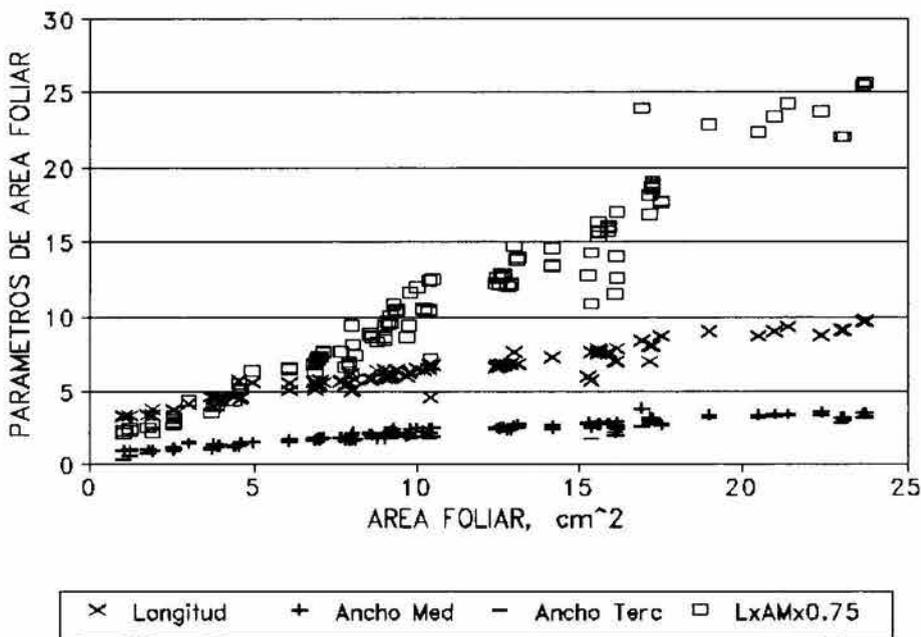


Fig. 20. Ajuste de la lámina foliar mediante la correlación de parámetros foliares para la determinación del área *in situ*.

Determinación y significancia del IAF. El objetivo principal que se persigue al llevar a cabo las determinaciones del IAF y variables relacionadas es el de evaluar las diferencias entre las poblaciones, así como alimentar el banco de datos de la especie en la presente investigación; dicha información fue empleada para el cálculo de los coeficientes de desarrollo regionales.

Las variables altura de la planta, diámetro de proyección de copa e IAF, mostraron una relación estadísticamente significativa para las poblaciones en estudio, siendo los valores menores para las muestras obtenidas de El Comitán, y las mayores magnitudes para las poblaciones de P.E. Calles y Santiago, no habiendo diferencia significativa entre las dos últimas. (Los promedios de las mencionadas variables morfológicas ordenados de menor a mayor magnitud se muestran en las Figuras 6 y 7). Las magnitudes promedio del diámetro de proyección de copa, índice de área foliar (IAF) y valores cualitativos de vigorosidad se enlistan en la Tabla 2.

Cuadro 12. Diámetro de proyección de copa, IAF y asignaciones cualitativas de vigor en frijol gandul, en tres sitios de estudio (promedios del período 1990-1993).

Sitio	Diámetro proy. copa (cm)	IAF	Vigor	
			O-I	P-V
El Comitán	75	2.85	4	3
P.E. Calles	87	3.90	5	4
Santiago	95	3.82	5	4

Nota: Escala para calificar el vigor aparente.-

5 : Muy vigorosa; 4 : Vigorosa; 3 : Vigor regular o aceptable;

2 : Plantas poco vigorosas o deficientes; 1 : Muy deficientes.

O-I: Epoca otoño-invierno; P-V: Epoca primavera-verano.

La información proporcionada en el Cuadro anterior indica que las mayores magnitudes se obtienen hacia el Sur del Estado, principalmente bajo los ambientes de la Costa del Pacífico, donde la influencia transicional tropical es más marcada; tal tendencia también se manifestó en otras variables como el número de cosechas por año y el rendimiento de grano.

6.4.2. Variables Ecofisiológicas.

6.4.2.1. Variables de conducción estomática. Las fluctuaciones diurnas de las variables ecofisiológicas r , Tr y Th , así como los resultados de las determinaciones de las variables microclimáticas **PAR** (radiación fotosintéticamente activa), **Ta** (temperatura del aire), H.R. (humedad relativa) y **dpv** (déficit de presión de vapor) correspondientes a las localidades de establecimiento del frijol gandul se presentan en las Figuras 21 a la 27 [donde en (a) se grafican las variables ecofisiológicas y en (b) las var climáticas]. Se describen principalmente los resultados obtenidos en los meses críticos (mayo y junio), aunque también se cuenta con la información registrada para enero, marzo y septiembre.

Para la época crítica (mayo y junio), en la mayoría de los casos la r fue baja durante las horas de mayor intensidad de radiación solar (hacia el medio día), elevándose al acercarse el momento del ocaso. El valor más bajo de r se observó en plantas establecidas en El Comitán bajo riego óptimo ($r \rightarrow 0$) estando el suelo con una humedad aprovechable de 36%. Tal valor de r se registró simultáneamente con el valor más elevado de transpiración unitaria, $Tr = 24 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 22). En contraste, en la Figura 21 puede observarse una respuesta estomática diferente en El Comitán, en la parcela en la cual el suelo se encontraba con un contenido de humedad de 20% (PS) de la humedad disponible (HD), definida HD como la diferencia entre los parámetros de humedad del suelo Capacidad de campo (CC) menos el Punto de Marchitamiento Permanente (PMP), que para El Comitán es de $12.5_{cc} - 5_{pmp} = 7.5\%$. En este caso, el estado hídrico del suelo ya se aproximaba al valor de PMP, considerando que no toda la humedad almacenable en el suelo esta fácilmente disponible para la planta; se presentó un máximo de transpiración hacia las 12:00 del medio día, cuyo valor fue la mitad del observado en las plantas de la parcela más húmeda (36% de HD). Se observó que a partir de dicha hora crítica Tr disminuyó gradualmente hasta la hora del ocaso, elevándose simultáneamente la resistencia estomática. En la parcela con mayor HD (Figura 22), PS=36%, el incremento en la transpiración unitaria se prolonga hasta el medio día, presentando una baja resistencia estomática durante el fotoperíodo (de 8:00 AM hasta 5:30 PM). Una tendencia similar se observó en el segundo mes crítico (junio), en ambas parcelas con diferente humedad edáfica (Figuras 23a y 24a).

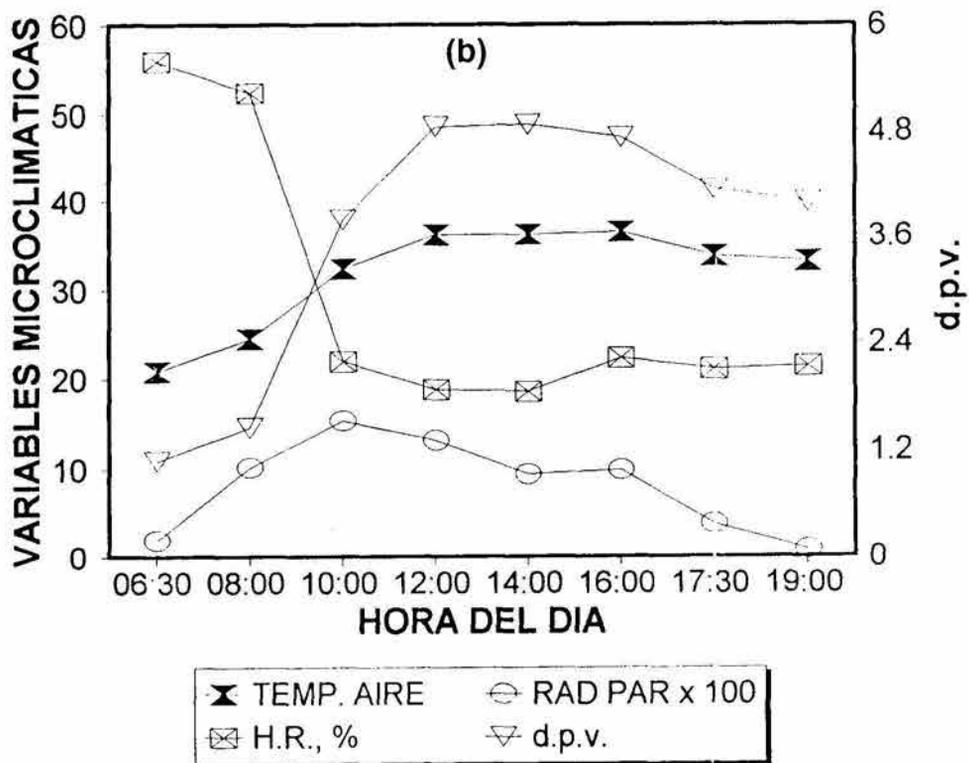
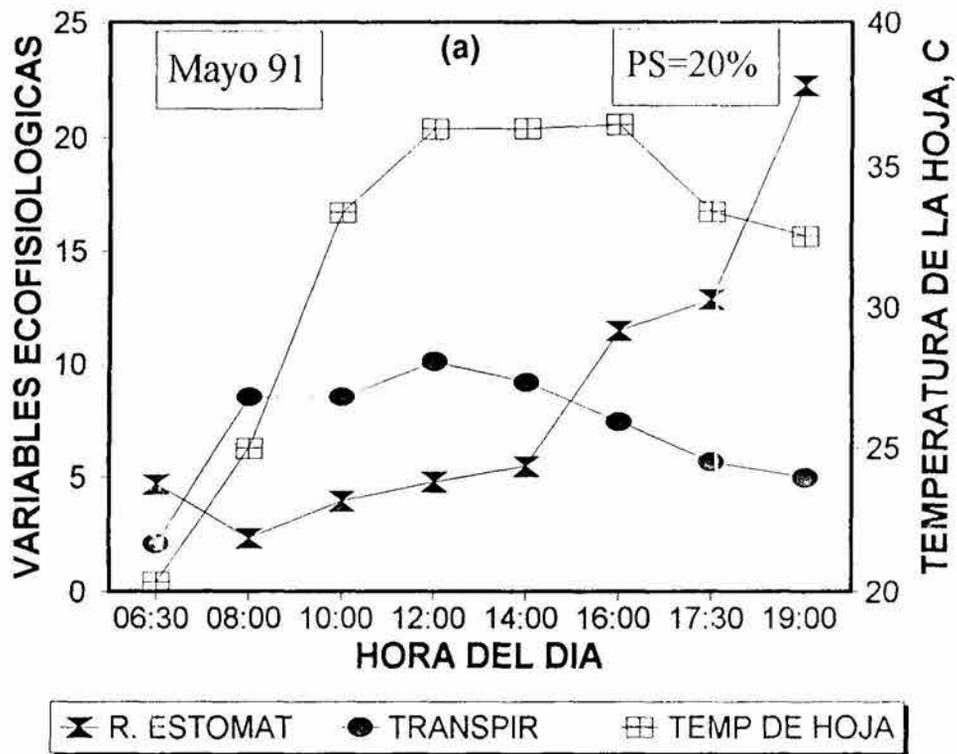


Fig. 21. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (mayo). PS = 20% HD.

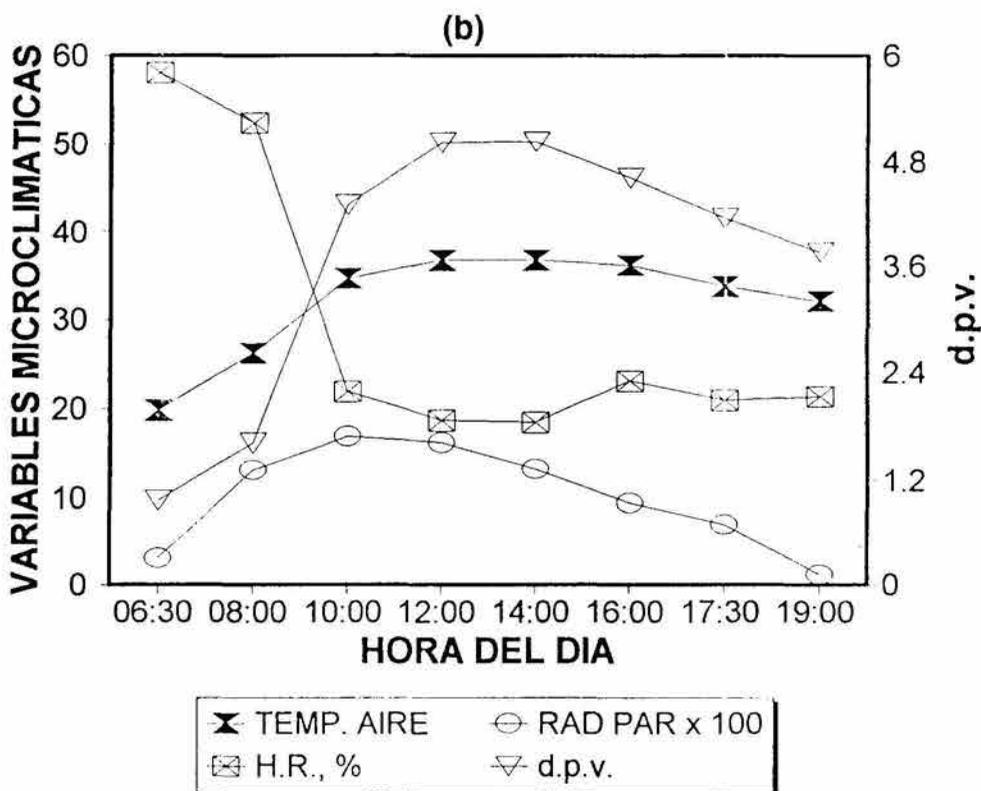
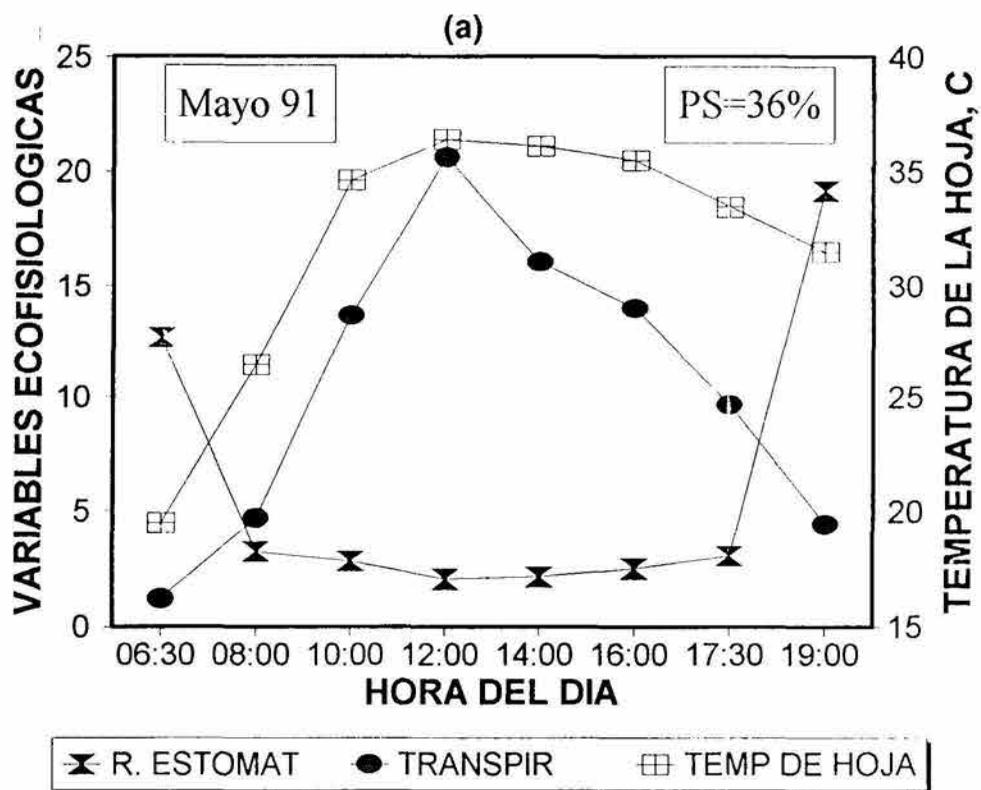


Fig. 22. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (mayo). PS = 36% HD.

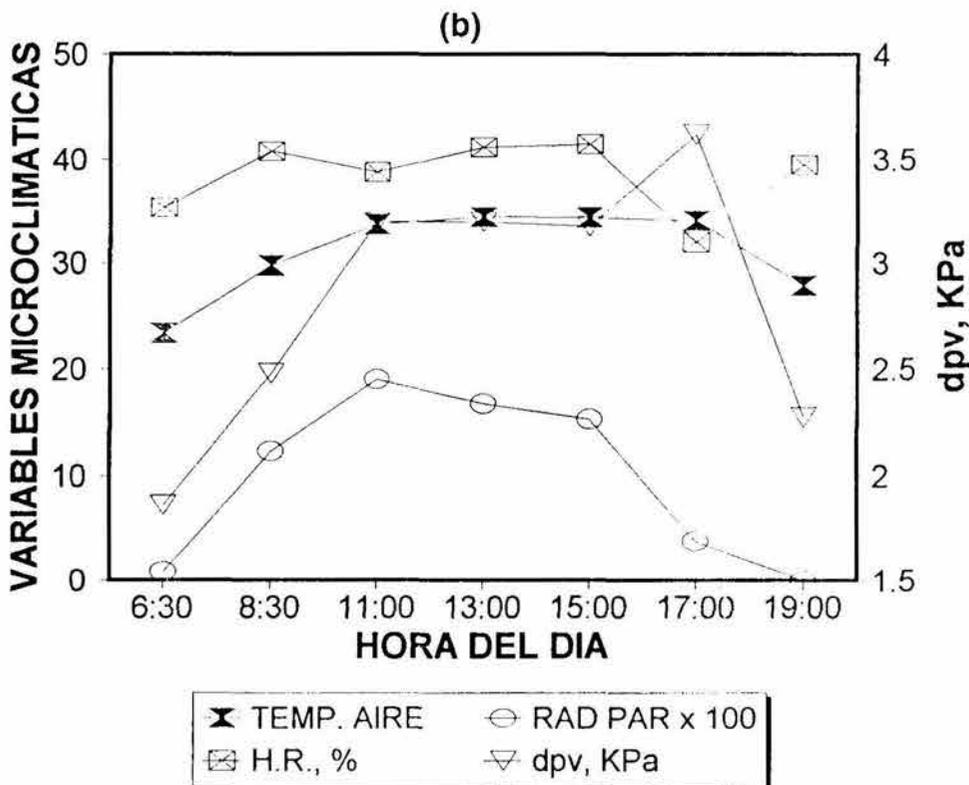
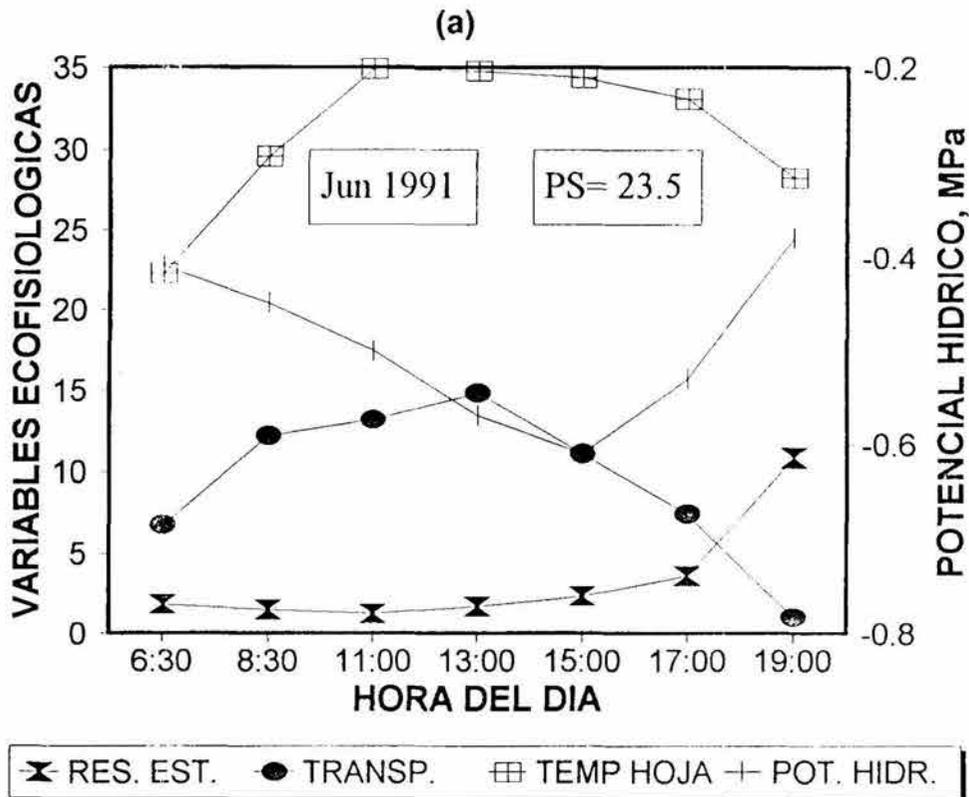


Fig. 23. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (junio). PS = 23.5% HD.

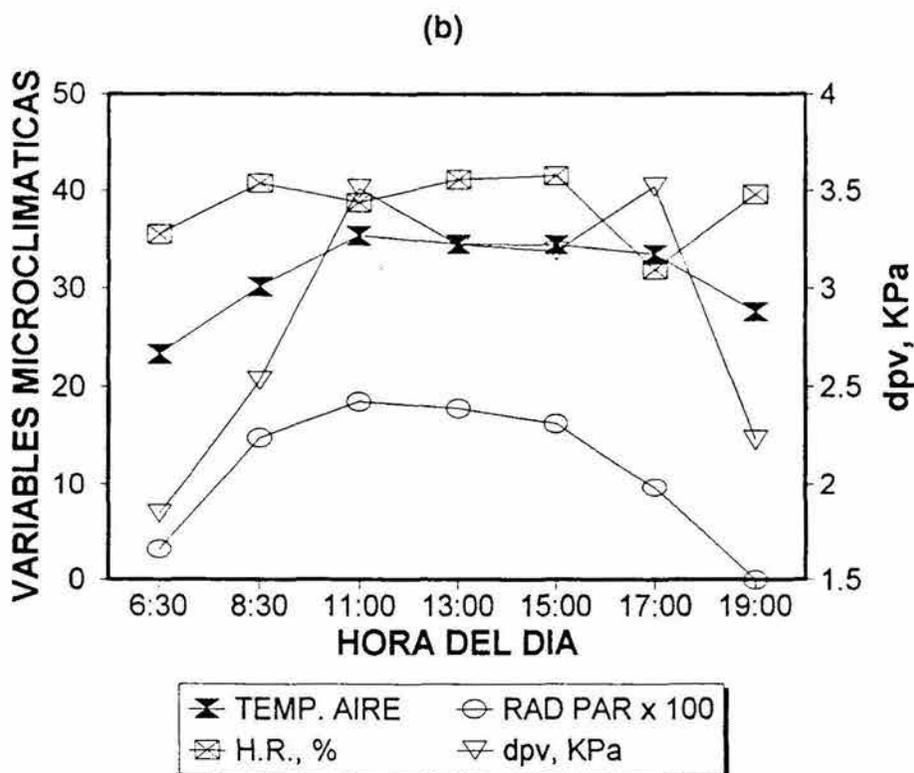
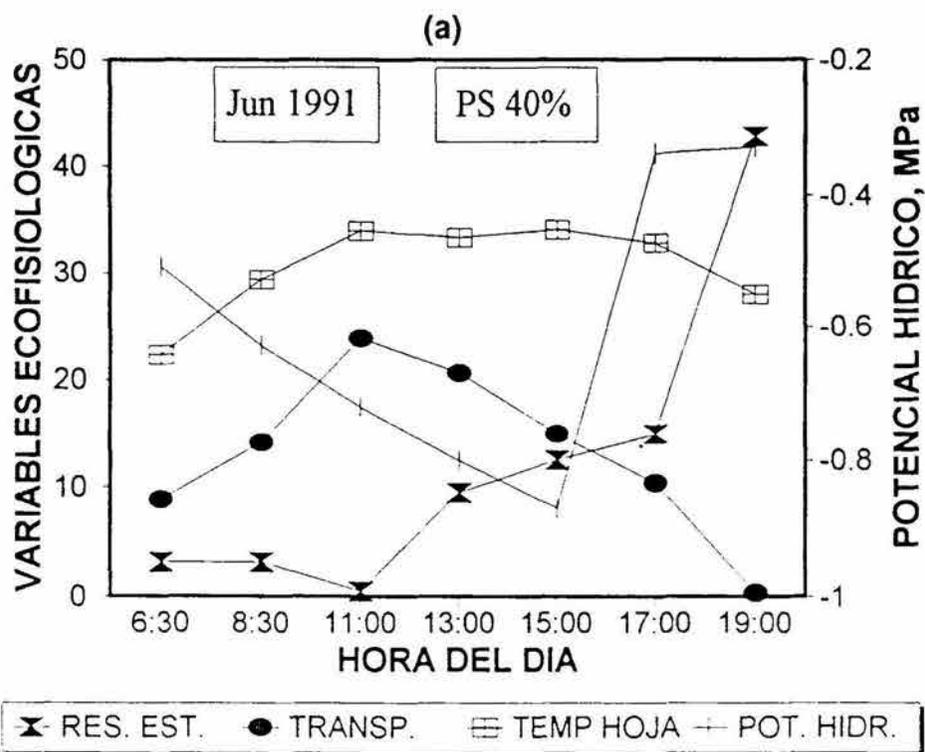


Fig. 24. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la parcela de El Comitán para la época crítica (junio). PS = 40% HD.

La información de la porción el sur de la Región del Cabo fue integrada, dado que los datos colectados en ambas localidades (P.E. Calles y Santiago) no presentaron diferencias significativas, observándose en general una mayor transpiración unitaria que el valor promedio de El Comitán, alcanzando un valor de $20 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Sin embargo, fue similar a la obtenida en la parcela bajo las mejores condiciones de humedad en El Comitán. En las localidades estudiadas en el sur de la Región del Cabo se evaluaron tres parcelas bajo diferente humedad edáfica: **1)** 38% de HD (Figura 25); **2)** 29.3% de HD (Figura 26); y, **3)** 7% de HD (sequía temporal) (Figura 27).

Se observó que la tasa transpirativa decrece simultáneamente al incremento en la resistencia estomática, a una hora más temprana en la parcela con menor contenido de humedad del suelo disponible para las plantas; por lo anterior, la mayor apertura estomática se relacionó con las mejores condiciones hídricas. Aunque las condiciones climáticas fueron estrictamente diferentes en los sitios evaluados, la tendencia del movimiento de apertura y cierre estomático fue similar con relación a las variables microclimáticas.

Las Figuras 25 y 26, humedad disponible 38 y 29.3% respectivamente, muestran que la tasa de transpiración fue similar en ambas parcelas ($\text{Tr} \approx 22 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), así como la tendencia al cierre, de acuerdo con el patrón gráfico mostrado por la resistencia estomática ($2.5 < r \text{ mín} < 5$).

Para fines comparativos fue establecida una parcela bajo riego deficitario, simulando condiciones de secano, con un contenido de humedad volumétrico $\text{PS} = 7\% \text{ HD}$, cerca del límite PMP; los datos colectados en tal parcela se observan en la Figura 27. En las plantas monitoreadas en dicha parcela, el período en que r permaneció baja fue ligeramente más corto que en las parcelas con mayor humedad, aunque la diferencia fue poco perceptible, lo que sugiere una apertura gradual y parcial bajo tales condiciones. Para analizar las diferencias evidenciadas por las variables r y Tr , se efectuaron análisis de varianza para la hora crítica, en el mismo día de medición; los resultados están representados por las Figuras 28 a la 31, y se encuentran tabulados en los Cuadros B17 a B22 del Anexo 9.2 (promedios, análisis de varianza y comparaciones entre medias).

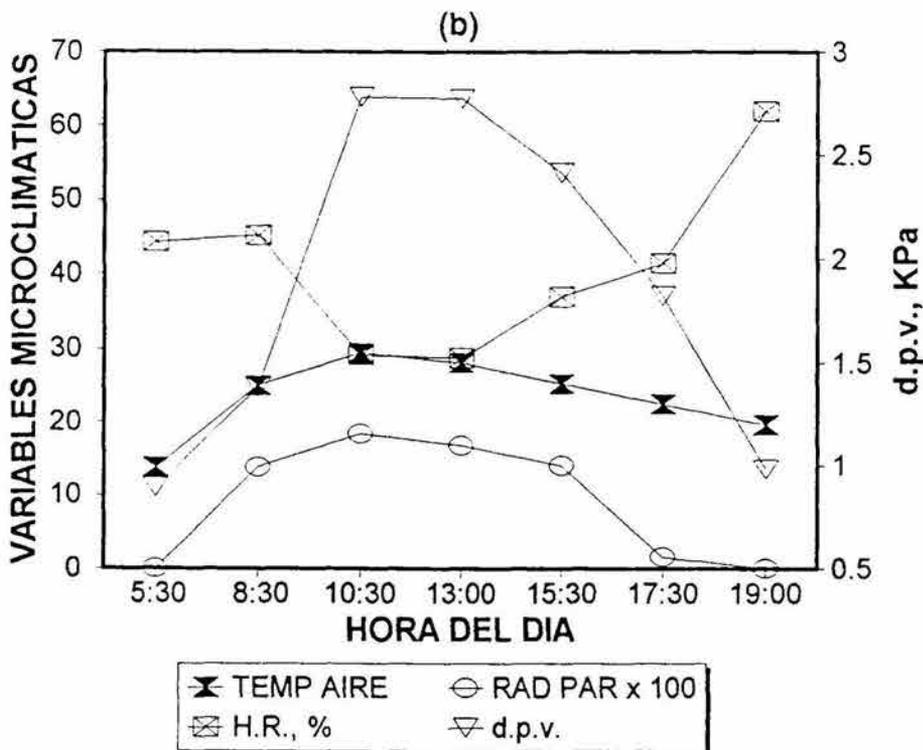
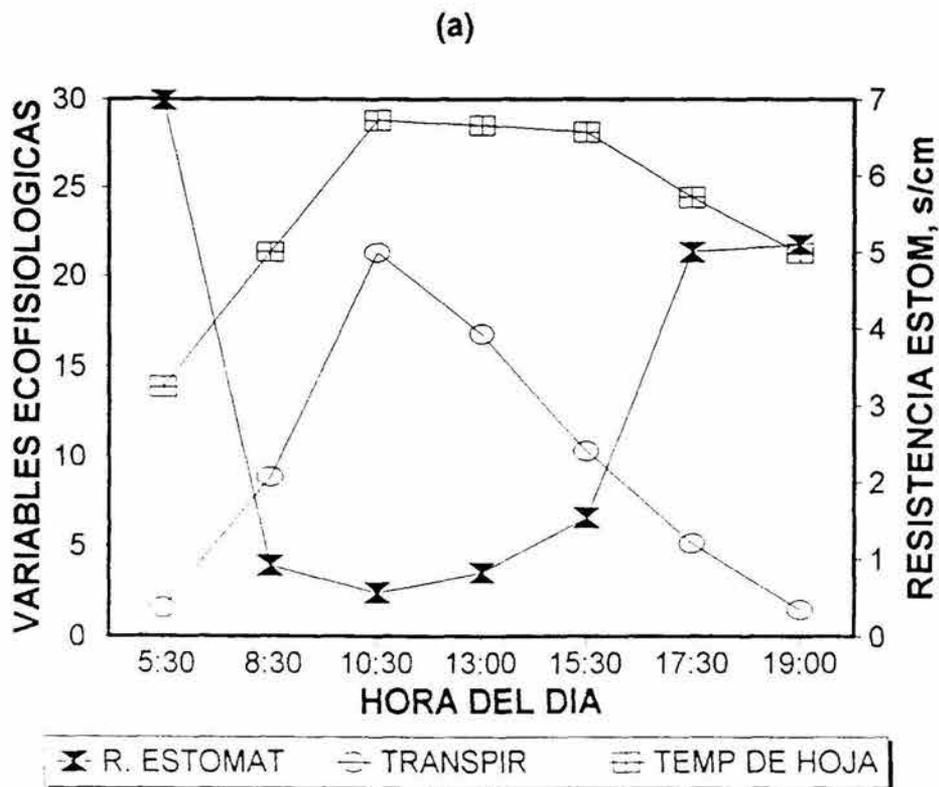


Fig. 25. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la porción sur de la Región del Cabo para la época crítica (junio). PS = 38% HD.

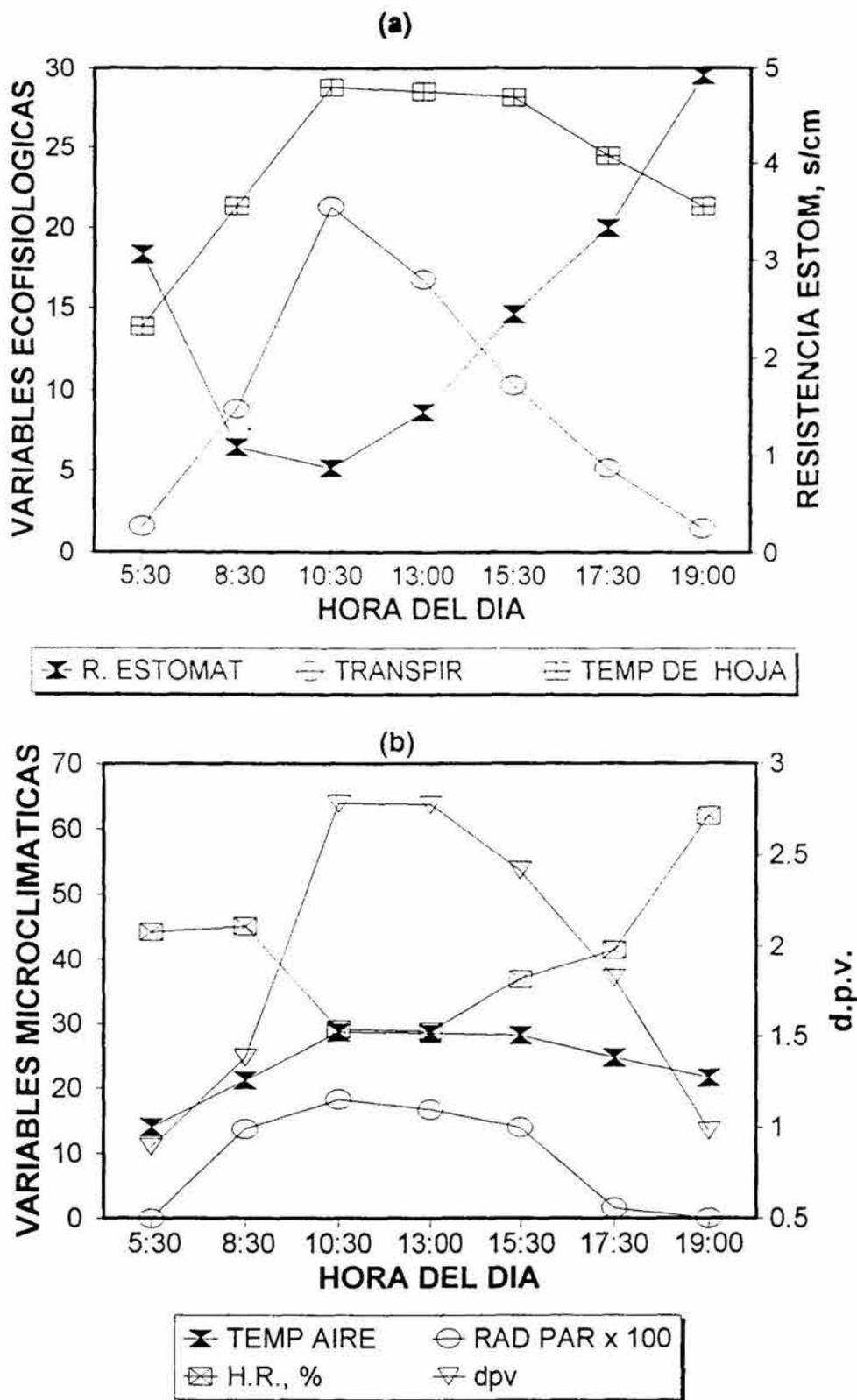


Fig. 26. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la porción sur de la Región del Cabo para la época crítica (junio). PS = 29.3% HD.

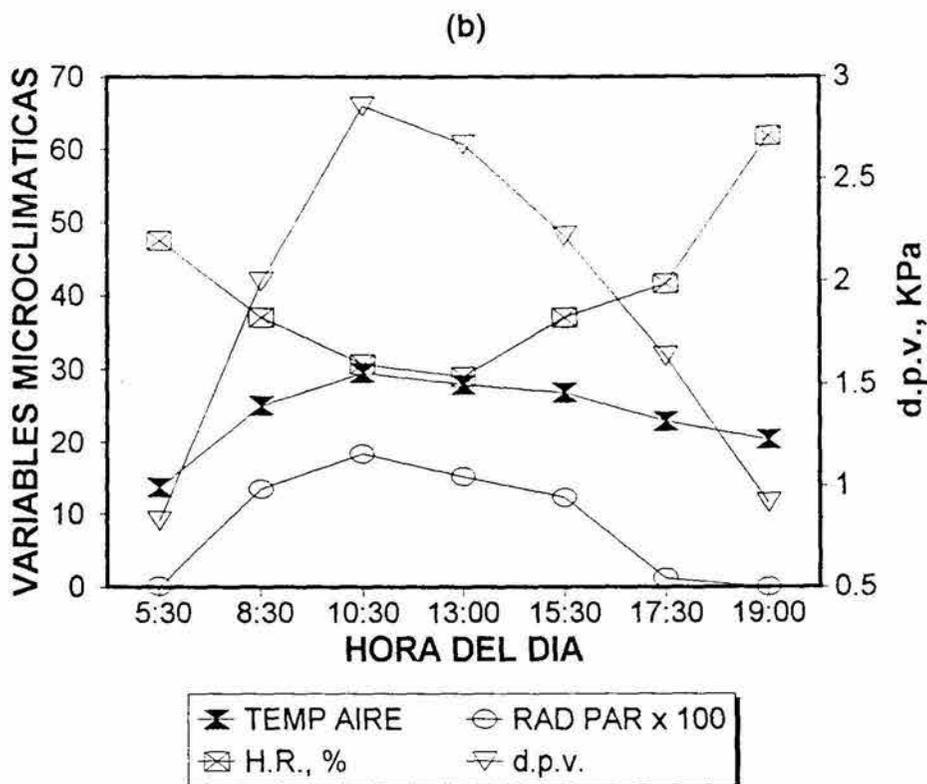
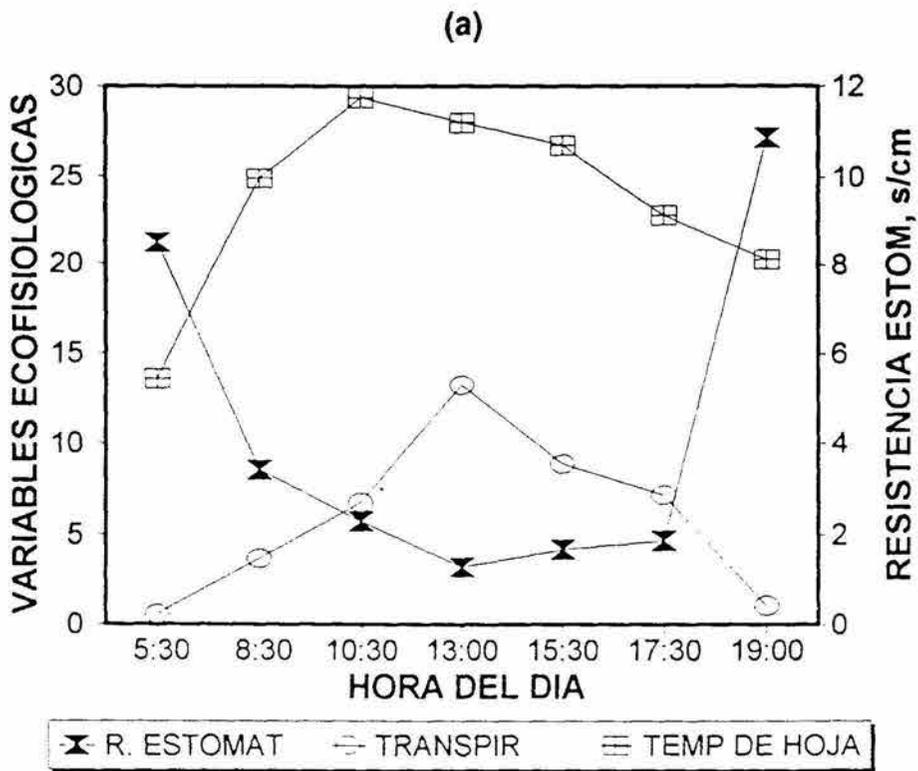


Fig. 27. Secuencia de las variables ecofisiológicas (a) y microclimáticas (b) en la porción sur de la Región del Cabo para la época crítica (junio). PS = 7% HD.

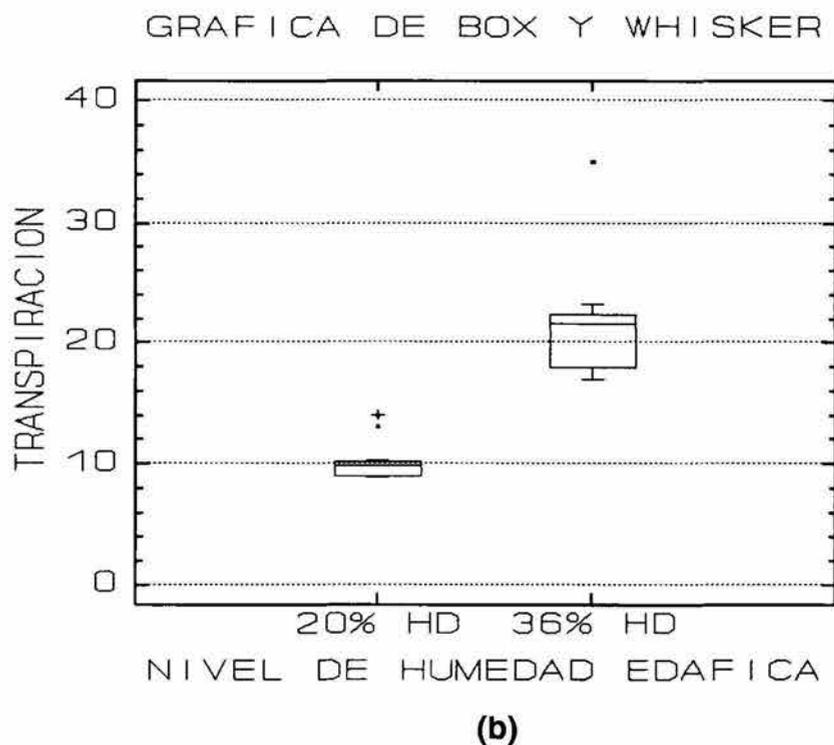
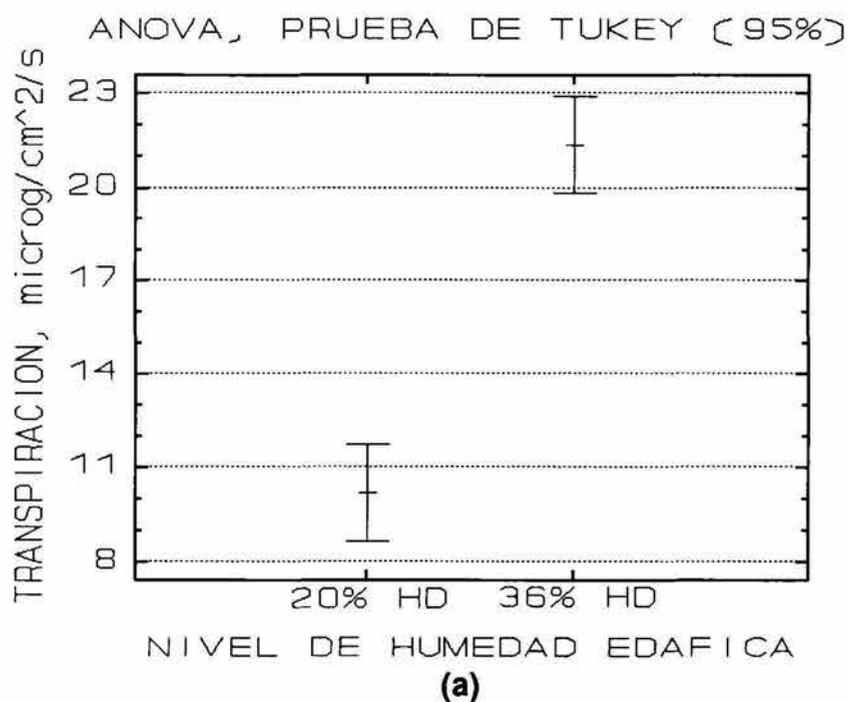
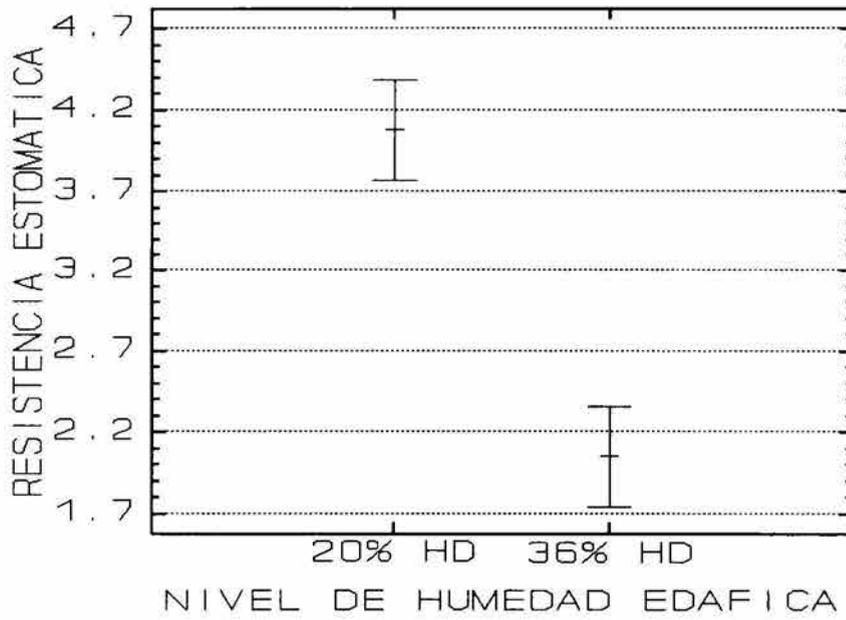


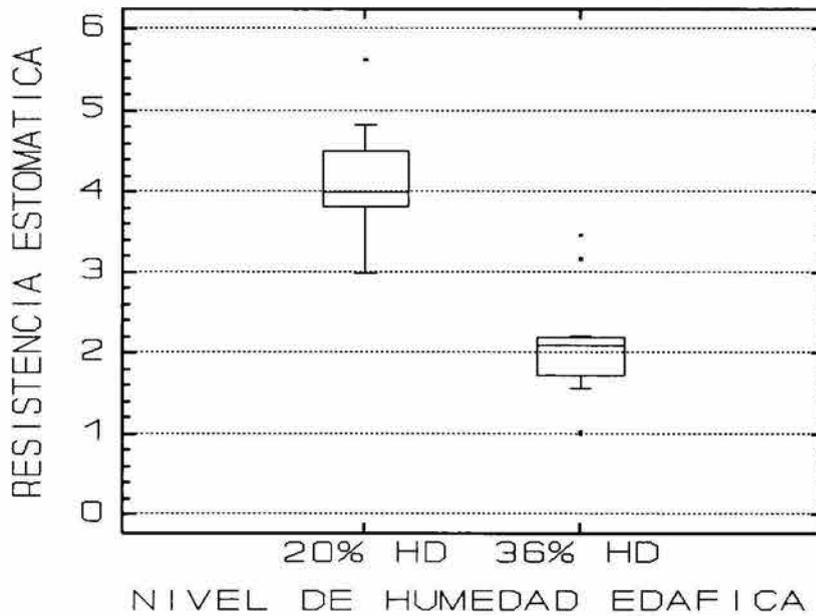
Fig. 28. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la transpiración T_r bajo dos niveles de humedad en El Comitán.

PRUEBA DE ANOVA, TUKEY 95%



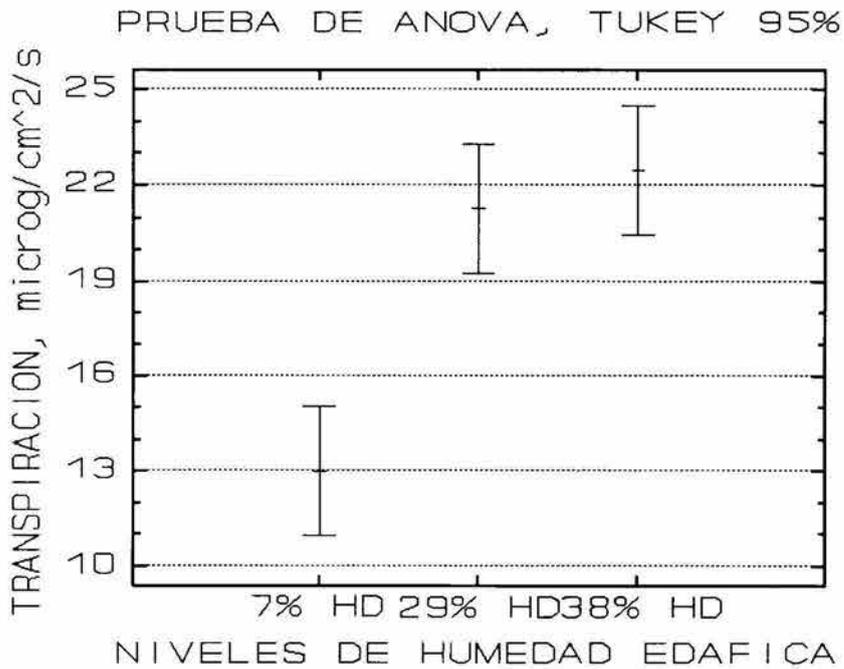
(a)

GRAFICA DE BOX Y WHISKER

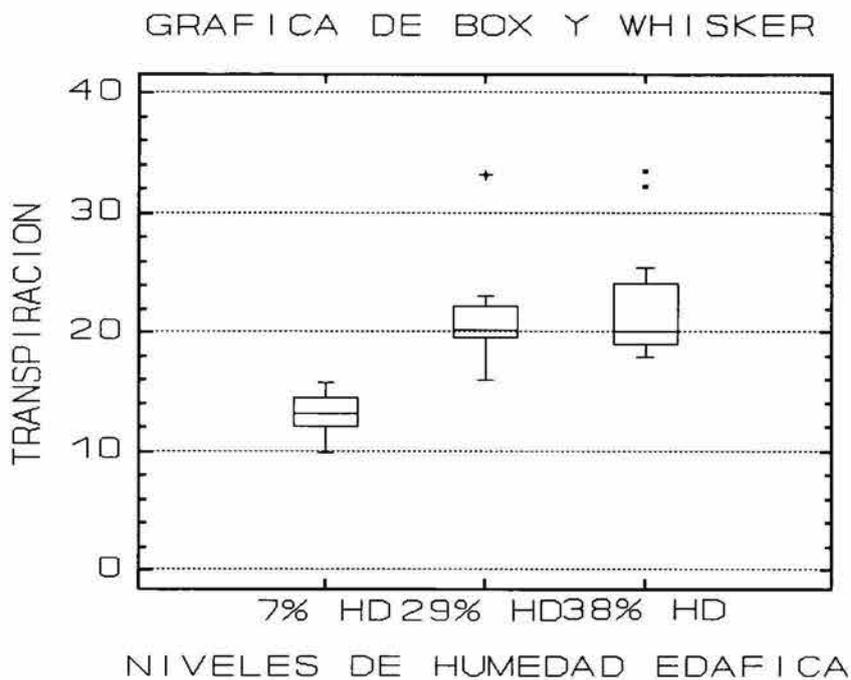


(b)

Fig. 29. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la resistencia estomática r bajo dos niveles de humedad en El Comitán.



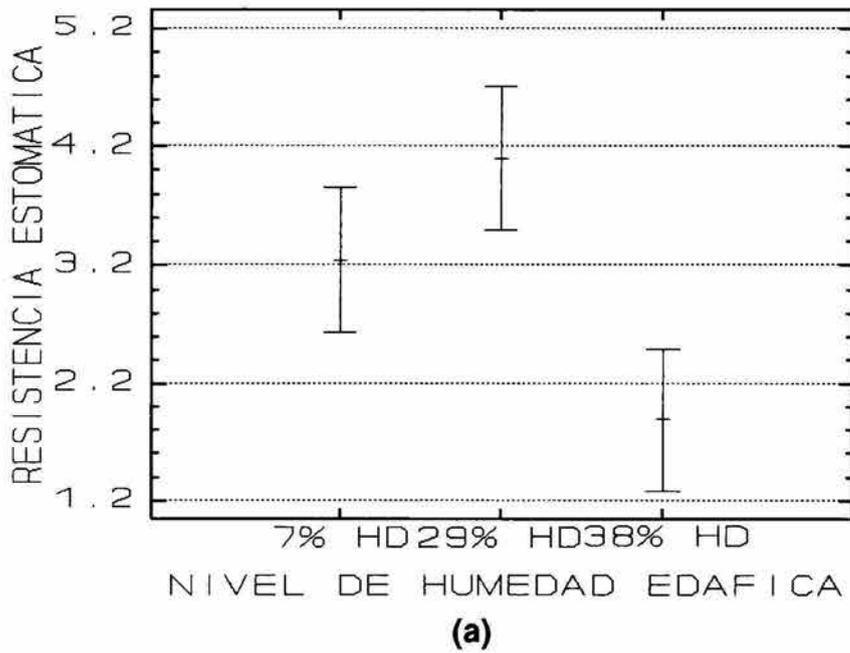
(a)



(b)

Fig. 30. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la transpiración T_r en la porción sur de la Región del Cabo.

PRUEBA DE ANOVA, TUKEY 95%



GRAFICA DE BOX Y WHISKER

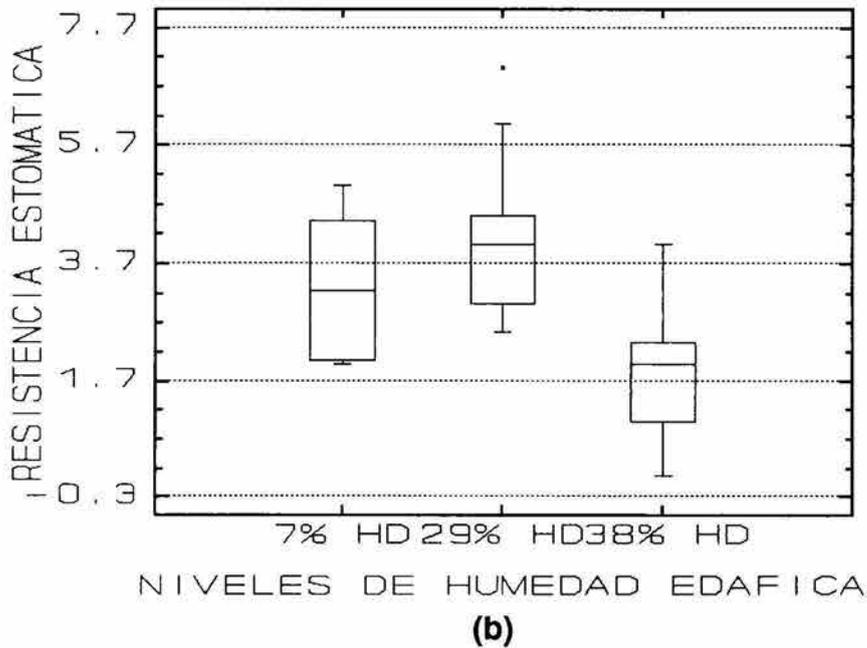


Fig. 31. Valores promedio (a) y estimadores de dispersión (b) de la resistencia estomática r en la porción sur de la Región del Cabo.

6.4.2.2. Potencial hídrico Ψ . Una de las variables más interesantes para evaluar el estado hídrico interno de la planta y que refleja el agobio al que están sometidos los tejidos conductores de la planta, es el Ψ , cuyo análisis aunado a la información que puedan proporcionar otros parámetros, es de enorme utilidad para evaluar y caracterizar las adaptaciones de las poblaciones estudiadas, muestreadas en subzonas dentro del área de introducción del germoplasma de frijol gandul.

Las Figuras 32 a 35 muestran las curvas tipo volumen-presión, las cuales fueron ajustadas mediante el modelo exponencial, ya que fue el que ofreció el mejor ajuste entre los datos apareados *déficit hídrico-inverso del potencial hídrico*:

$$y = ae^{bx} \quad (28)$$

donde

x : déficit hídrico,

y : inverso del potencial hídrico, MPa^{-1} .

e : número base de los logaritmos naturales ($e = 2.71828$).

De acuerdo con los análisis de regresión y correlación efectuados, se obtuvieron para **x** e **y** coeficientes de correlación r de 0.90, 0.98, 0.937 y 0.99, los cuales sugieren una estrecha asociación entre tales variables. Como se mencionó en la sección de Material y Métodos, mediante dichas curvas se puede obtener el valor del contenido de agua simplástica, apoplástica, potencial osmótico a turgencia cero y potencial osmótico a turgencia total.

En las Figuras 36 y 37 se encuentran trazadas las curvas obtenidas para el potencial de turgencia, potencial hídrico y potencial osmótico, obtenidos en la época crítica para los sitios de establecimiento. Los valores críticos, que pueden considerarse como característicos de las poblaciones evaluadas, se muestran en el Cuadro 13. A partir de los resultados obtenidos, pueden establecerse las siguientes consideraciones:

a) El potencial osmótico π se mantuvo por debajo del potencial hídrico, lo cual fue más notorio en las plantas bajo sequía, en El Comitán, que fueron las que presentaron el potencial hídrico más bajo (Figura 36a, Cuadro 13);

b) Los tres potenciales mostraron una tendencia similar en relación con el déficit hídrico; y ,

c) En todos los casos el potencial de turgencia disminuyó gradualmente hasta tornarse cero, momento en el cual el potencial osmótico se convirtió en el único componente del potencial hídrico.

Fue notorio que el valor máximo de déficit hídrico (32.5%) correspondió a la parcela en condiciones de sequía, y como era de esperarse, la misma tendencia se observó para el contenido de agua apoplástica. Tales respuestas sugieren un precondicionamiento ecofisiológico de las plantas al déficit de agua, llegando a tolerar un potencial hídrico Ψ marcadamente bajo (-0.94 MPa).

Cuadro 13. Valores críticos de los potenciales hídrico, osmótico y de turgencia, en MPa, determinados en las poblaciones evaluadas; época crítica, Región del Cabo, B.C.S.

Fig.	Sitio y Condición	Ψ Turg máx.	Ψ Turg mín.	π Turg máx.	π Turg mín.	Pt Turg máx.	Pt Turg mín.
36a	El Comitán Humedad óptima	-0.23*	-0.73	-0.45	-0.75	0.22*	0.005*
36b	El Comitán Sequía	-0.15	-0.94	-0.50	-0.96	0.35	0.013*
37a	P.E. Calles Humedad óptima	-0.17	-0.97	-0.60	-1.06	0.43	0.090
37b	Santiago Humedad óptima	-0.11	-0.74	-0.41	-0.76	0.30	0.020

Cuadro 14. Valores críticos de Déficit Hídrico y % de agua apoplástica, correspondientes al potencial osmótico mínimo (plasmólisis incipiente), cuando $\Psi \approx \pi$. (Figuras 36 y 37).

Fig.	Sitio y Condición	π Turg mín.	Déficit Hídrico Turg mín.	Contenido de agua apoplástica
36a	El Comitán Humedad óptima	-0.75	27.5%	72.5%
36b	El Comitán Sequía	-0.96	32.5%	67.5%
37a	P.E. Calles Humedad óptima	-1.06	32.0%	68.0%
37b	Santiago Humedad óptima	-0.76	29.5%	70.5%

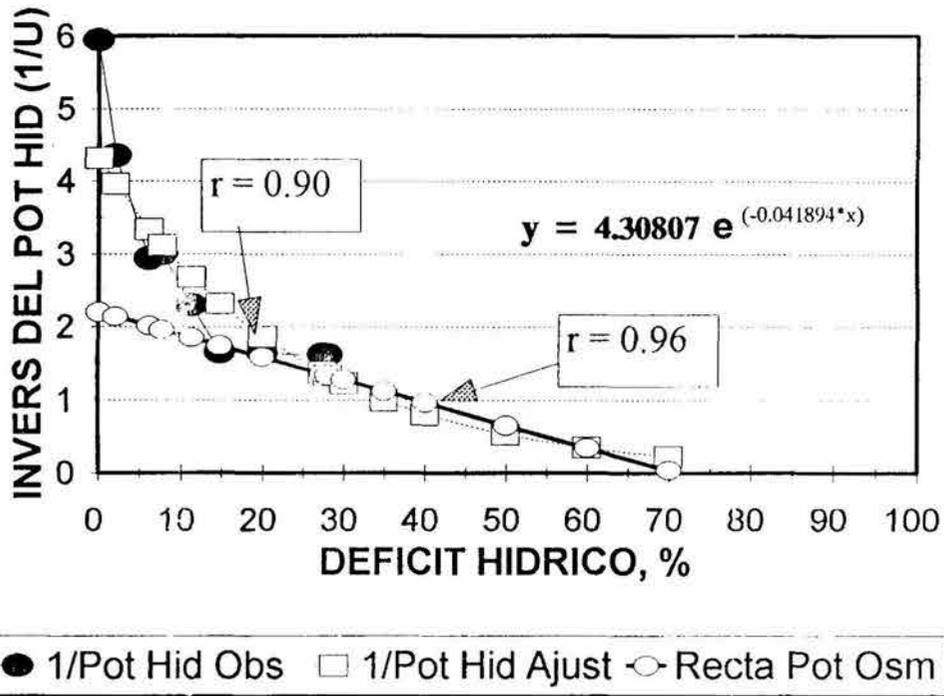


Fig. 32. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en El Comitán, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica óptima.

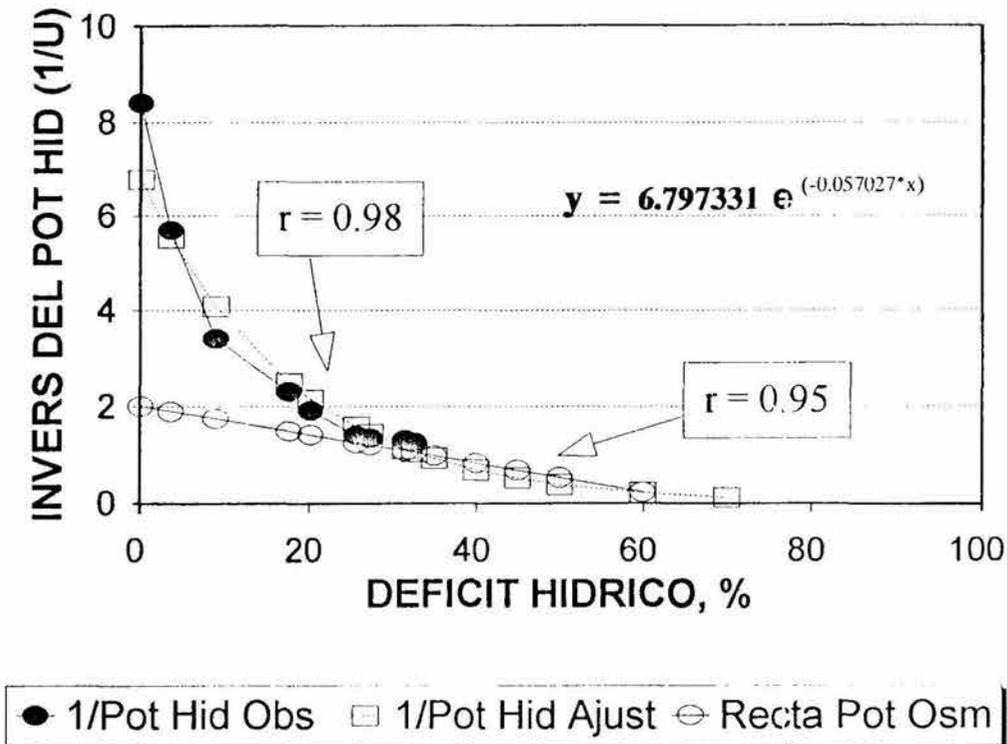


Fig. 33. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en Santiago, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica óptima.

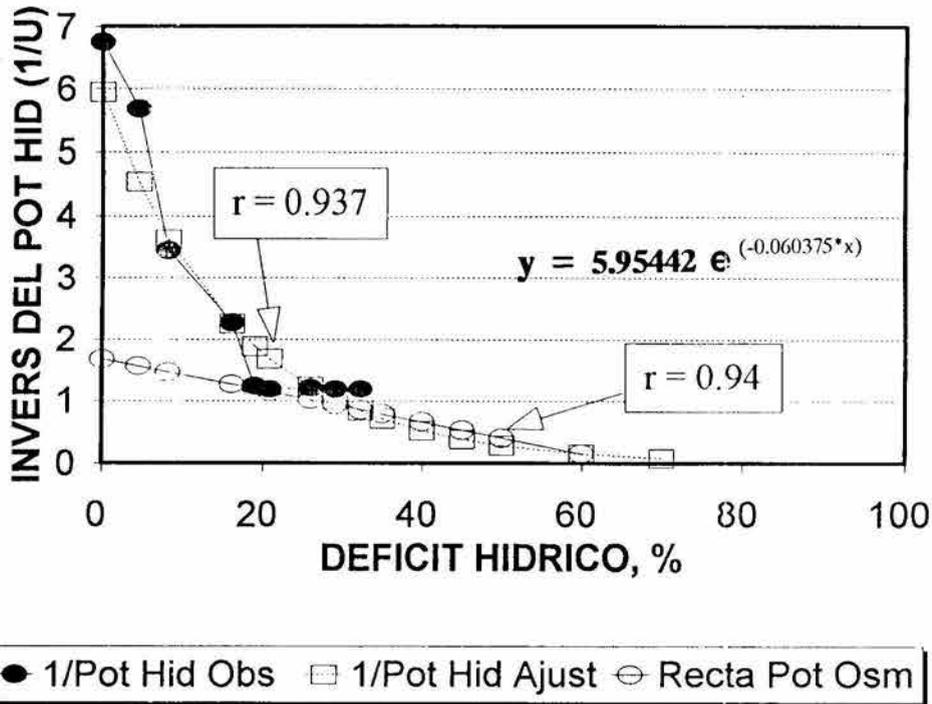


Fig. 34. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en P.E. Calles, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica óptima.

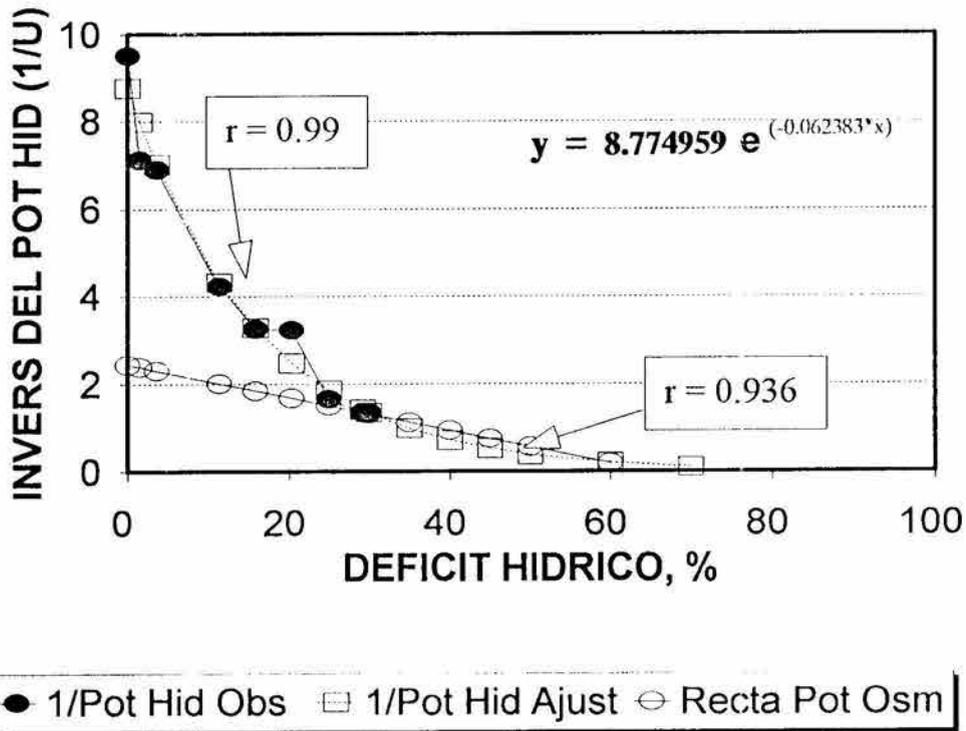


Fig. 35. Curvas de las tendencias del potencial hídrico y osmótico del frijol gandul establecido en El Comitán, B.C.S., bajo condiciones de humedad edáfica deficitaria.

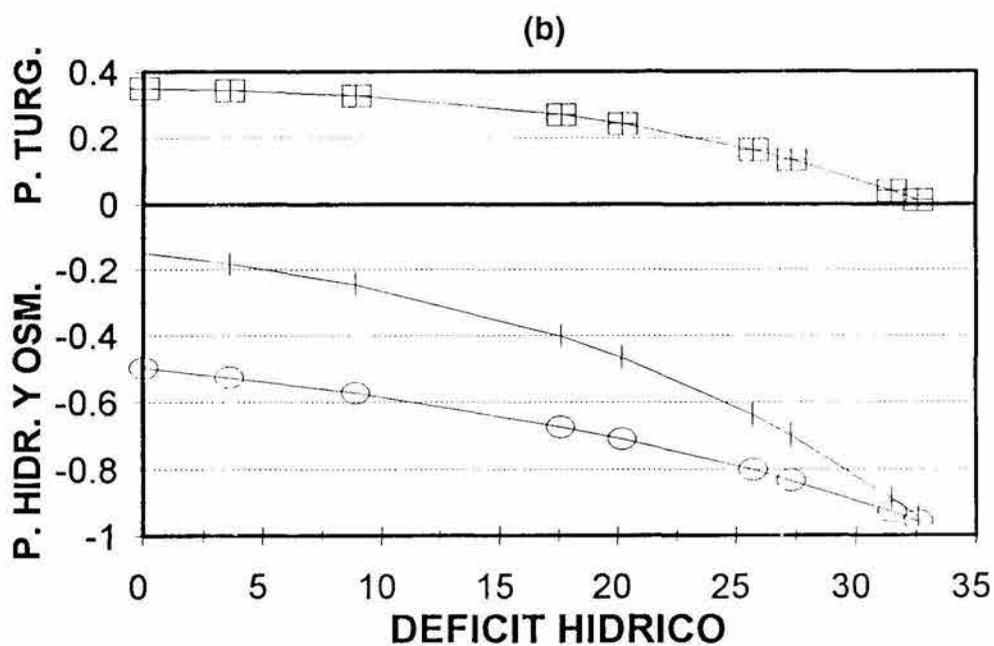
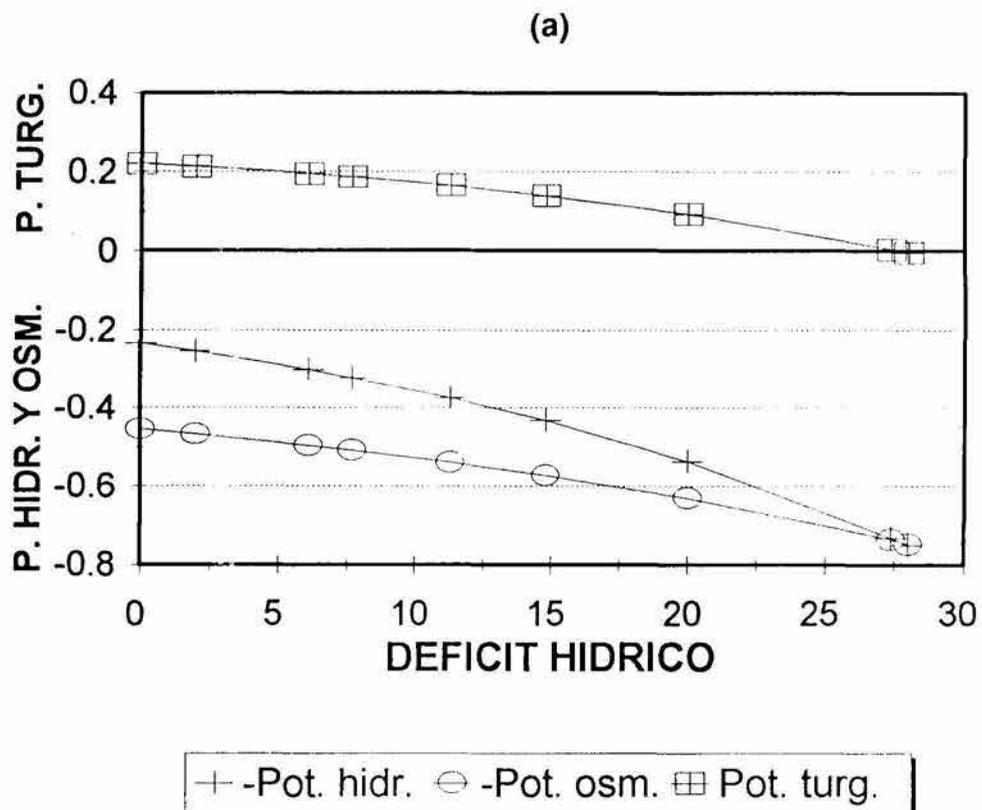


Fig. 36. Curvas Déficit Hídrico-Presión donde se muestra el potencial hídrico y sus componentes. **(a)** El Comitán, humedad óptima; **(b)** El Comitán, sequía.

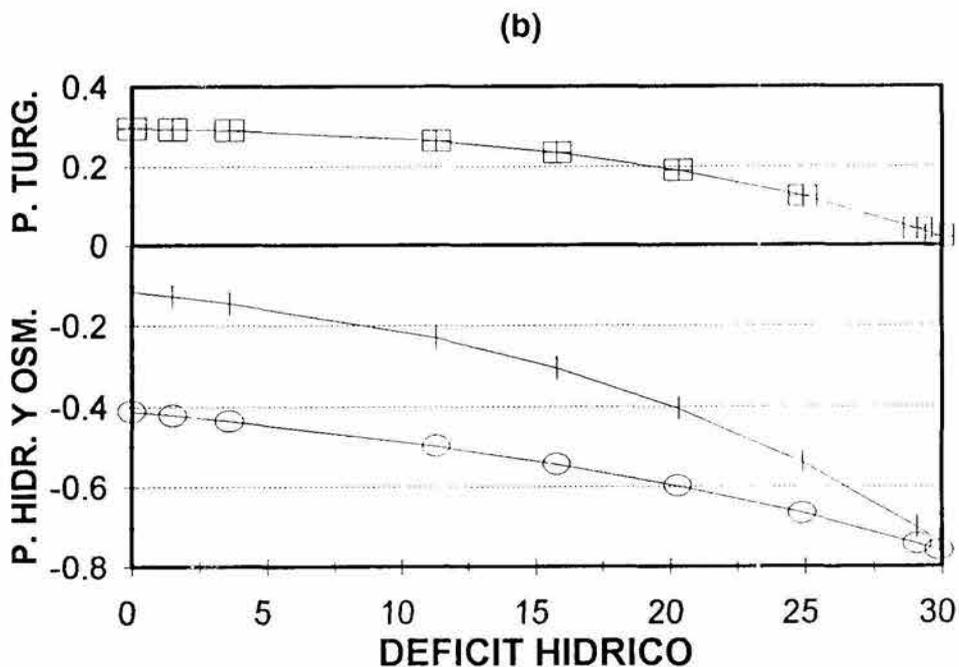
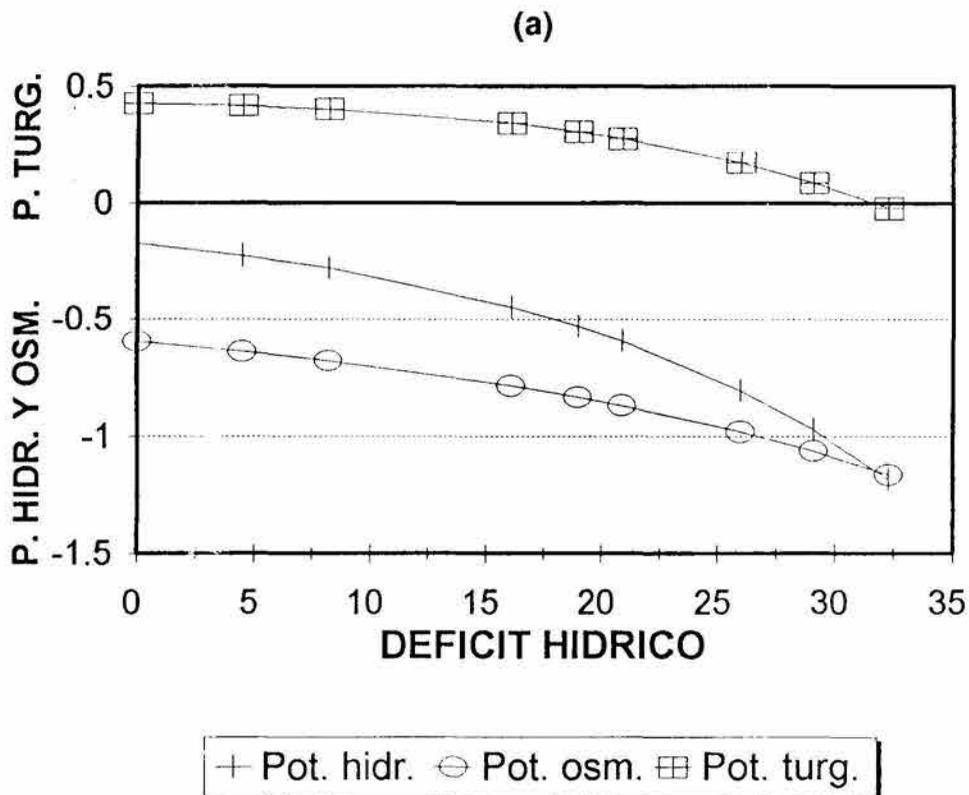


Fig. 37. Curvas Déficit Hídrico-Presión donde se muestra el potencial hídrico y sus componentes. Porción sur de la Región del Cabo: **(a)** PE Calles; **(b)** Santiago.

6.5. DEMANDA DE AGUA E IRRIGACIÓN.

6.5.1. Modelación empleando variables climáticas.

Por lo que respecta a las necesidades de irrigación, diversos monitoreos de humedad llevados a cabo en las parcelas experimentales demuestran que la especie en estudio puede mantenerse bajo condiciones de humedad comparativamente deficitaria. Para llevar a cabo una calendarización y dosificación del riego adecuada, se incluyen los cálculos de evapotranspiración para el frijol gandul (Cuadros A7 y A9 del Anexo 9.1), de acuerdo con el métodos de Blaney-Criddle, descrito por Israelsen y Hansen (1965) y Withers y Vipond (1974). Tal método fue sistematizado mediante programación por computadora con fines de planeación.

Sin embargo, la optimización del uso del agua en agricultura requiere no únicamente de la aplicación de modelos de planeación de uso generalizado, sino de la determinación oportuna y precisa de los requerimientos diarios de ET, lo cual pudiera ser de gran beneficio para una mejor planeación y manejo del agua (Paloscia y Pampaloni, 1986); en este sentido, se ha mencionado en diversos foros que la predicción de eventos y fluctuaciones climatológicas relacionadas con los cultivos será de enorme trascendencia para la producción alimentaria en el futuro inmediato (Wittwer, 1980). Por lo anterior, se requiere desarrollar métodos, como el que se propone en la presente sección, basados y calibrados en información climatológica fácilmente disponible, para estimar la cantidad de agua mínima requerida por el frijol gandul, de acuerdo a sus características ecofisiológicas. Métodos como el que se presenta serían útiles en estudios comparativos de productividad. El objetivo parcial que se persigue en la presente sección es evaluar la asociación entre la transpiración y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y establecer una relación numérica que exprese dicha relación para incorporarla a un modelo empírico que calcule los requerimientos mínimos de riego del frijol gandul.

6.5.1.1. Importancia de la radiación PAR en relación con el riego.

Las longitudes de onda de la radiación solar que son de primera importancia en Ecología Vegetal se encuentran entre los 300 nm and 100 μm , e incluyen parte de la

radiación ultra-violeta (UV), la fracción fotosintéticamente activa de la radiación solar (PAR, que es similar a la visible), y la radiación infra-roja (IR). La radiación fotosintéticamente activa se define como la fracción del espectro solar entre las longitudes de onda 400 a 700 nm (0.4 to 0.7 μm) (Monteith, 1973; Stamper and Allen, 1979; Rao, 1984). La radiación PAR es de suma importancia dado que está relacionada con los procesos de fotosíntesis y transpiración. El estudio de procesos ecológicos y de productividad como el establecimiento de semillas, el crecimiento y la producción de cultivos en campo o invernadero, requiere la determinación y registro de la radiación PAR (Barradas, 1991).

Los diferentes métodos disponibles para la estimación de los requerimientos de agua, o evapotranspiración, pueden ser evaluados mediante los coeficientes de correlación observados entre la E_t calculada y la E_t real. De acuerdo con lo anterior, los métodos basados en la radiación solar ofrecen los resultados más aproximados a la E_t real. En segundo lugar, deben mencionarse los métodos que incluyen datos de tanque evaporímetro y/o velocidad del viento, los cuales se han encontrado adecuados cuando el intervalo entre riegos es mayor de una semana. Los métodos que incluyen la temperatura no son del todo confiables, a pesar de que es la variable más fácilmente disponible, a menos que se trate de períodos mensuales o de mayor intervalo. Todos ellos son empleados fundamentalmente como guía para diseñar y operar los sistemas de riego, y para predecir los requerimientos de agua para un medio o largo plazo (Fuchs, 1973).

Resulta conveniente enfatizar, que los métodos basados en datos meteorológicos estiman la *evapotranspiración potencial* (E_{tp}). Las recomendaciones resultantes implican que los rendimientos óptimos, desde el punto de vista de la irrigación, se obtienen cuando el estado hídrico del suelo "*permite*" la evapotranspiración potencial; sin embargo, los resultados también pueden expresarse como una fracción de la E_{tp} mediante el empleo adecuado de coeficientes regionales específicos para cada cultivo.

6.5.1.2. Datos de Radiación.

Para la localidad El Comitán, BCS, se consideraron valores de radiación total (G_M) para los períodos de medición de la transpiración (Galindo y Chávez, 1977). El valor

máximo de G_M para la cuenca hidroagrícola de La Paz, BCS, ocurre en junio (0.540 kW m^{-2}), al inicio del verano, mientras que el mínimo ocurre en diciembre (0.387 kW m^{-2}); de acuerdo con los datos disponibles, la media anual para G_M es 0.487 kW m^{-2} , entre las más elevadas de México (Cuadro 15).

Estimación de la Radiación PAR. La fracción PAR de la radiación solar, es la parte "más energética" de la radiación solar total para la biomasa vegetal y tiene una distribución temporal diferente a la de la radiación solar total. Si G representa la radiación total recibida sobre un plano horizontal, estimada para un instante en $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$, la fracción PAR puede ser expresada como $\Phi(G)$, Φ , o simplemente PAR.

Símbolos y abreviaciones

G	: Radiación Total, kW m^{-2}
G_M	: Valor Máximo de G , kW m^{-2}
$g(t)$: Variación Temporal de G
L	: Longitud del día solar (alba-ocaso), s
N	: Número efectivo de horas luz por día, N < L
n, m	: Exponentes en las ecuaciones (4) and (6) respectivamente
PAR	: Radiación Fotosintéticamente activa, kW m^{-2}
PAR_M	: Valor Máximo de PAR, al medio día, kW m^{-2}
t	: Tiempo, iniciando al medio día, s
α	: Absorbancia de radiación
β	: Exponente en la ecuación (31), $\beta > 1$
Γ	: $\Gamma = \pi(t)/L$
τ	: Factor de ajuste empírico
Φ	: Fracción PAR de G
Φ_M	: Máximo valor de Φ
$f(t)$: Variación Temporal de Φ
q	: Frecuencia o intervalo de riego
Ir	: Requerimientos de riego

Mediciones y Cálculos.

Como **PAR** se aproxima al intervalo 0.4 a $0.7 \mu\text{m}$ de longitud de onda del ancho de banda de radiación (Rao, 1984), y su intensidad espectral varía a lo largo del día, se espera en todos los casos que: **a)** $0 \leq \Phi < 1$; y, **b)** aunque **G** fluctúa a lo largo del día [$G=g(t)$], la variación temporal de **Φ** es diferente a la de **G** [**$\Phi \approx f(t)$** , donde **$f(t) \neq g(t)$**]. Dado que la variación **G(t)** es conocida (Fernández-Zayas, 1987), en la presente sección

se pretende describir $f(t)$ y estimar el factor proporcional de ajuste Φ_M , en una forma analoga a $G(t)$; tal ecuación podría estar representada mediante la expresión:

$$\Phi(t) = \Phi_M f(t) \quad (29)$$

Se propone relacionar la radiación solar incidente con el proceso de demanda de agua, asociándola con la integral definida de $\Phi(t)$ según la ecuación:

$$I_r = \tau \int_0^q \Phi(t) G(t) dt \quad (30)$$

Donde I_r es la lámina de irrigación requerida por el frijol gandul para el intervalo de tiempo q , y τ es el factor regional de ajuste; τ se convierte en un parámetro constante para cada cultivo y región particular.

Una distribución típica de $\Phi(t)$ se presenta en la Figura 38. Los puntos fueron obtenidos a partir de mediciones de campo mediante un piranómetro integrado al porómetro LI-1600; puede notarse fácilmente que las curvas obtenidas se ajustan adecuadamente a la curva sinusoidal, similar a la función $G(t)$:

$$G(t) = G_M \cos^\beta (\pi t/L) \quad (31)$$

$$\beta = 1.2$$

En la anterior Ecuación, G_M es el valor máximo de la radiación al medio día; tal valor se considera como una constante numérica para un determinado mes y localidad. Similarmente, el valor de L , número de horas luz astronómica, puede obtenerse a partir de cartas astronómicas, Cuadros en referencias bibliográficas, programas de computadora, o calcularse para cualquier mes u otro período de tiempo, y determinado sitio de estudio (Monteith, 1973; Fernández-Zayas, 1987; Troyo-Diéguez, 1992). Valores adimensionales de PAR están representados en la Figura 38, mediante la función:

$$\text{PAR} = \text{PAR}_M \cos^n [\pi t/L] \quad (32)$$

Donde PAR_M es el valor máximo de PAR , al medio día, y el exponente $n \approx 5$.

Para el período de estudio, $G_M = 0.52 \text{ kWm}^{-2}$ y $L = 12.8 \text{ h}$ (46080 s) (Cuadro 15). La función $\Phi(t)$ fue obtenida al dividir la curva sinusoidal con mejor ajuste a los datos medidos de PAR entre la función $G(t)$ para el mismo período de tiempo. Si Φ_M se considera como el máximo valor de $\Phi(t)$ al medio día, en este caso 0.313 kW m^{-2} , $f(t)$ entonces puede ser descrita mediante el cómputo de la expresión:

$$f(t) = K_1(\cos^n \Gamma / \cos^{1.2} \Gamma) \quad (33)$$

Después de haber simplificado las ecuaciones (29) a la (32), K_1 es calculado como $\text{PAR}_M / (\Phi_M G_M)$. Asimismo, el argumento Γ es $[\pi(t)/L]$. En una manera sintética, la función $f(t)$ puede expresarse como:

$$f(t) = K_2(\cos^m \Gamma) \quad (34)$$

Las expresiones anteriores están representadas en la Figura 39. Frecuentemente varios parámetros meteorológicos, como la radiación solar, son ajustados numéricamente a una función de tipo sinusoidal, por lo que la Ecuación (34) se obtiene a partir de metodologías de uso generalizado. Resolviendo la Ecuación (30) para el intervalo 0 a q , y estimando el coeficiente regional para el frijol gandul K_c , el procedimiento anterior puede ser simplificado numéricamente en el modelo:

$$I_r = 24(K_c)(G_{\max})(\Phi_{\max}) \quad (35)$$

$$K_c = Tr_{\max} / \Phi_{Tr\max}$$

Donde I_r es el requerimiento mínimo de riego en $\text{mmH}_2\text{O/day}$; G_{\max} es el valor máximo de G en KW m^{-2} ; Φ_{\max} es el valor máximo de PAR en KW m^{-2} ; 24 es la constante para convertir las unidades por h en unidades por día; K_c es el coeficiente de cultivo

adimensional, en este caso $K_c = 0.7$; Tr_{max} es el valor máximo registrado de la tasa de transpiración, convertida a $g\ h^{-1}\ m^{-2}$; y, PAR_{Trmax} es el valor simultáneo de PAR.

Modelo para el cálculo y calendarización del riego.

Al aplicar las ecuaciones propuestas para el cálculo y calendarización del riego del frijol gandul en el área de estudio, se encontró que la lámina de riego estimada para un intervalo determinado mediante la Ecuación (35), se aproxima al requerimiento de agua calculado mediante el modelo de *Uso Consumptivo* de Blaney-Criddle method (Blaney-Criddle, 1950). Una vez verificado el ajuste de la Ecuación (35), la misma fue re-expresada incorporando un coeficiente de ajuste por temperatura, obteniéndose la siguiente ecuación final:

$$I_{rt} = 24(K_c)(K_t)(G_M)(\Phi_M) \quad (36)$$

Donde I_{rt} representa los requerimientos mínimos de riego ajustados y K_t es un factor de ajuste por temperatura; K_t es adimensional y se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$K_t = 0.495(t)^{0.26} \quad (37)$$

Donde t es la temperatura observada en $^{\circ}C$; la naturaleza de K_t es empírica y fue calibrado mediante observaciones de campo en el área de estudio. La cantidad de agua requerida por día, estimada mediante la Ecuación (36) comparada con la obtenida según el modelo de Blaney-Criddle model, y los valores acumulados, se muestran en las Figuras 40 y 41, respectivamente.

De acuerdo con el análisis de datos experimentales, se encontró que existe una estrecha relación entre la radiación PAR y la transpiración, que puede ser determinada para cualquier cultivo y sitio particular. Dado que la transpiración es un estimador directo de la cantidad de agua requerida, por tanto es de esperarse que una estrecha y particular asociación, medible y registrable, entre la radiación PAR y los requerimientos mínimos de agua para riego puede ser establecida.

Cuadro 15. Cálculos para la estimación del riego (**Irt**) del frijol gandul, para el área de La Paz, BCS. (Datos de los períodos 1906-11 y 1917-92).

Mes	Temp media °C	Long. del día solar h	Rad Total Kwm ⁻²	Fracción PAR Kwm ⁻²	Factor Temp. Kt	Irt mmH ₂ O por día
K_c = 0.7						
ENE	17.5	10.69	0.422	0.253	1.042	1.87
FEB	18.0	11.18	0.468	0.281	1.049	2.31
MAR	19.7	11.86	0.515	0.309	1.074	2.87
ABR	22.0	12.58	0.532	0.319	1.106	3.15
MAY	24.3	13.17	0.530	0.318	1.135	3.21
JUN	26.5	13.47	0.540	0.324	1.161	3.41
JUL	29.2	13.33	0.524	0.314	1.190	3.29
AGO	29.5	12.81	0.522	0.313	1.193	3.27
SEP	29.0	12.12	0.504	0.302	1.188	3.04
OCT	26.1	11.40	0.472	0.283	1.156	2.59
NOV	22.2	10.81	0.431	0.259	1.108	2.08
DIC	18.9	10.53	0.387	0.232	1.063	1.60
Media	23.6	12.00	0.487	0.292	1.123	2.72
Mín	17.5	10.53	0.387	0.232	-	1.60
Máx	29.5	13.47	0.540	0.324	-	3.41

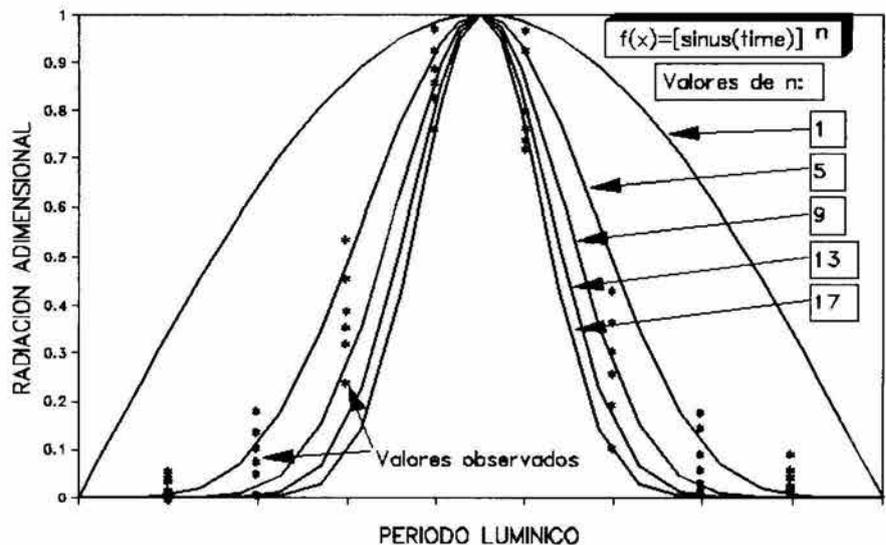


Fig. 38. Representación gráfica de las mediciones de PAR sobrepuestas a un conjunto de curvas sinusoidales.

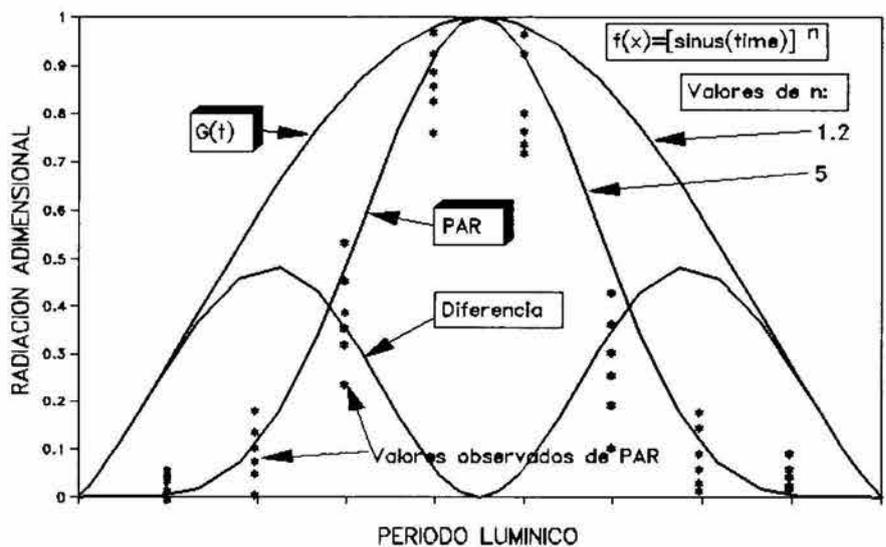


Fig. 39. Comparación entre la distribución de $G(t)$ y la función propuesta para la radiación PAR.

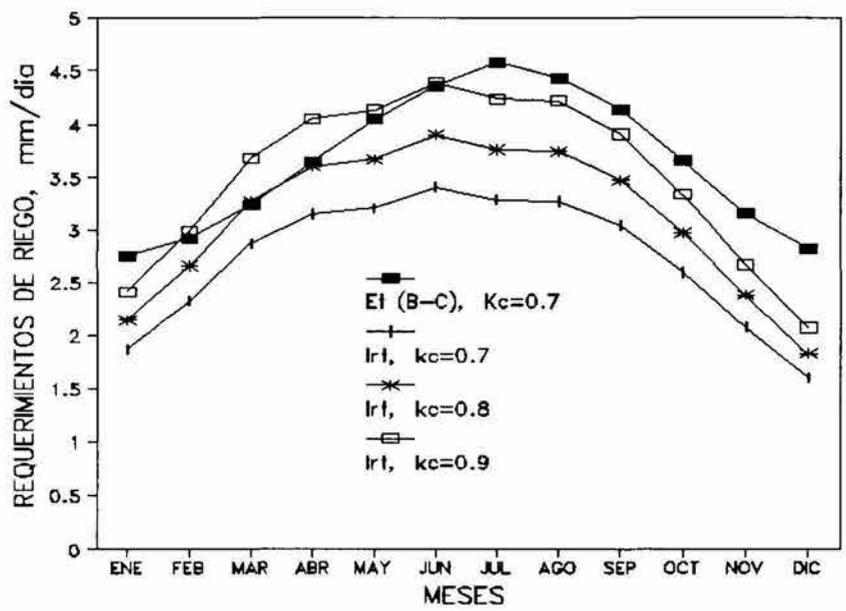


Fig. 40. Cantidad de agua requerida por día estimada mediante el modelo propuesto, y la estimada según el modelo de Blaney-Cridde.

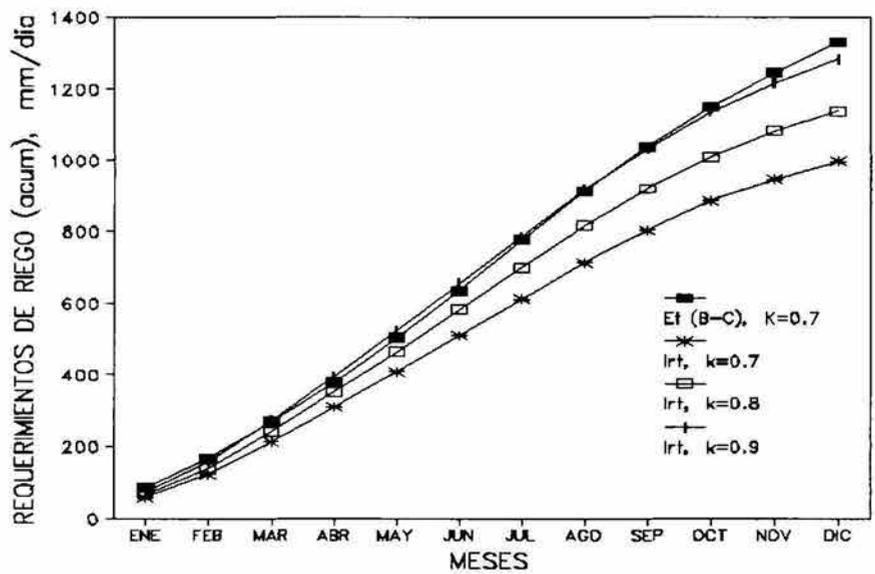


Fig. 41. Cantidad de agua requerida (acumulada) estimada por el modelo propuesto, y la estimada según el modelo de Blaney-Cridde.

6.5.2. Estimación de la evapotranspiración real.

La evapotranspiración real se midió en los meses de enero, mayo, junio y septiembre, cubriendo las estaciones y la época crítica (mayo-junio). Se obtuvo la evapotranspiración diaria para cada sitio y condición de humedad por el método gravimétrico (muestreo de suelo a 10-30 cm de profundidad). Los datos se analizaron por medio de una prueba de Tukey, para determinar las posibles diferencias, tanto entre sitios como entre la condición de humedad.

Estadísticamente no se observaron diferencias significativas entre la Colonia P.E. Calles y Santiago, pero sí entre El Comitán y las dos mencionadas en primera instancia. Se observó una clara tendencia al abatimiento drástico de la humedad en el suelo, con una evapotranspiración media de 0.68 mm/día, contra una E_a de 0.33 mm/día en promedio para P.E. Calles y Santiago.

Los resultados indicaron que el suelo en el mes de mayo y junio presentó la mayor tasa de evapotranspiración, siendo El Comitán el sitio de mayor demanda de agua, con valores máximos de 2.3 mmH₂O por día. Es notorio que los mencionados meses de mayor demanda de agua corresponden a los meses de las máximas temperaturas y los mayores índices de aridez (Cuadros A1 a A6 del Anexo 9.1).

Cabe mencionar asimismo que la magnitud de siembras de especies anuales se reduce al mínimo de mayo a julio, dadas las altas temperaturas y las excesivas tasas de demanda de agua en las microcuencas agrícolas de la Región del Cabo, y en general de todo el Estado de Baja California Sur.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. Posibilidades de establecimiento y capacidad de producción del frijol gandul en el área de estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, resulta evidente que las características ambientales diferenciales de la costas del Pacífico y del Mar de Cortés, tales como una temperatura relativamente menor y mayor humedad relativa que en el área de El Comitán (cuencha hidroagrícola de La Paz), ejercen una influencia positiva sobre el frijol gandul, lo cual se refleja en un mayor rendimiento, que en esta parte de la Región del Cabo alcanza valores por arriba de 250 gr por planta por cosecha.

En cuanto al número de cosechas, la información hasta el momento indica que se obtiene una cosecha más en la Costa del Pacífico, extendiéndose la época de cosecha hasta el mes de junio, mientras que en El Comitán termina el mes de mayo; cabe hacer notar que hacia el sur del Estado, la reactivación del crecimiento vegetativo se traslapa por algún tiempo con la última cosecha del ciclo correspondiente.

Se observa en el frijol gandul una gran capacidad de adaptación tanto a suelos arenosos como a suelos de textura más fina (migajones o suelos francos).

Los resultados de producción obtenidos en el presente trabajo indican que *C. cajan* tiene un mejor desarrollo y mayor productividad hacia el sur del Estado, abarcando las bandas geográficas que comprenden las poblaciones P.E. Calles y Santiago, con una posible influencia hacia Todos Santos (Costa del Pacífico) y San Bartolo (Costa del Mar de Cortés) (Figura 42), donde se cultivan tradicionalmente con éxito diversas clases de hortalizas.

Cabe señalar que las respuestas obtenidas en el área de El Comitán son significativas, aún cuando la producción fue comparativamente menor que la obtenida hacia el sur del Estado; la tendencia observada se explica ya que al tener condiciones más extremas y deficitarias, la producción de vegetales resulta ser más riesgosa. El desarrollo de opciones que incluyan especies de mayor rusticidad, como el frijol gandul, es una de las pocas alternativas con que van a contar las tierras marginales bajacalifornianas para su desarrollo y aprovechamiento.

En lo que respecta al análisis de su adaptabilidad a condiciones de estrés hídrico, puede decirse, como afirma Kramer (1988), que los aspectos de campo, y su variabilidad implícita, deben recibir mayor atención, y deben analizarse metódicamente las diferencias encontradas entre el laboratorio y campo, para evitar llegar a conclusiones erróneas. Por otro lado, siempre debe tenerse en cuenta que, los métodos destructivos, y el uso de sensores que modifican o ajustan las variables climáticas, conducen a la obtención de valores en cierta medida sesgados (Passioura, 1988).

Cabe aclarar que los modelos de evapotranspiración basados en índices climáticos (Blaney y Criddle, 1962; Thornthwaite, 1948), aún los desarrollados en zonas áridas, son de utilidad para la planeación del agua y la elaboración de cartografía, y no para determinar de manera precisa el uso de agua de cultivos, a menos que se determinen suficientes coeficientes particulares de ajuste, para cada especie y sitio específicos.

7.2. Usos potenciales en sistemas agroforestales y recomendaciones para al sustentabilidad de la agricultura.

El arquetipo desarrollado por el frijol gandul le confiere un posible uso como cultivo nodriza-protector de hortalizas (chile, melón, calabaza, pepino, tomate), y especias, que en los últimos años han adquirido una relevancia importante en los esquemas agrícolas de la porción sur del estado de Baja California Sur. Con base en los estudios realizados en la Región del Cabo, es posible concluir que el frijol gandul constituye una alternativa para el desarrollo de diversas actividades agropecuarias, que incluyen su aprovechamiento como grano para consumo humano y como ingrediente para elaborar raciones balanceadas para alimentación animal.

A pesar de las dificultades encontradas, aún existen horizontes por explorar las opciones de un mejoramiento basado en la selección de caracteres estomáticos, el cual puede alcanzar mayores posibilidades cuando el papel del estoma en la adaptación de las plantas al medio sea mejor entendido. Para ello, dentro de diversas opciones metodológicas a seguir, el uso de líneas isogénicas con diferentes caracteres estomáticos constituye una técnica valiosa para elucidar el papel fisiológico de los estomas (Passioura, 1988).

7.3. Perspectivas y recomendaciones finales.

El cultivo del frijol gandul, de acuerdo a sus características ecofisiológicas, produce al menos 3.5 veces más que el frijol común, bajo las condiciones de la Región del Cabo y mediante un manejo tradicional, y puede llegar a producir hasta 5 veces más que el mencionado cultivo básico, bajo condiciones de alta tecnología (riego presurizado). La calidad proteica de su grano, con un contenido importante de aminoácidos esenciales, lo convierten en una de las escasas alternativas viables para Baja California Sur, dada la escasez de agua de buena calidad y la progresiva salinización edáfica. Por su tolerancia a la sequía y a los suelos salinos donde otros cultivos no prosperan, pudieran recuperarse para la agricultura al menos 5000 ha en Baja California Sur, las cuales han sido abandonadas por la baja productividad y deterioro que presentan.

En cuanto a la investigación de *C. cajan*, y de otras especies novedosas, además del empleo sistemático en laboratorio y campo de equipo científico sofisticado por parte de fitomejoradores y fisiólogos, para la realización de numerosas y detalladas pruebas en laboratorio y campo, el desarrollo de estrategias que alivien las deficiente e insuficiente producción agrícola también pudieran basarse en un enfoque global multidisciplinario. Lo anterior incluye la integración de científicos y técnicos con diferentes formaciones académicas, dedicados a una meta común, partiendo de la colección y evaluación de germoplasma, nativo e introducido, realizando abundante y cuidadosa labor integrativa y evaluadora, empleando parcelas de diferente calidad y bajo diferentes condiciones de humedad y fertilidad para los ensayos, y con disponibilidad de agua de diversas calidades, nunca perdiendo los objetivos trazados tanto a nivel personal como de grupo. Se reitera que la agricultura de alta tecnología puede poner en riesgo la calidad del ambiente (agua, suelo, vegetación natural), y que la problemática relacionada con la disponibilidad de agua, principalmente en zonas áridas y semiáridas, puede agravarse en un futuro próximo. Todavía es tiempo de optimismo para depositar la confianza requerida en los recursos humanos del país, y en los agricultores y campesinos, quienes mejor conocen la tierra que cultivan. El pesimismo y la falta de confianza no deben tener cabida en el esfuerzo para compaginar el nivel de productividad que el país requiere con la conservación del ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales.

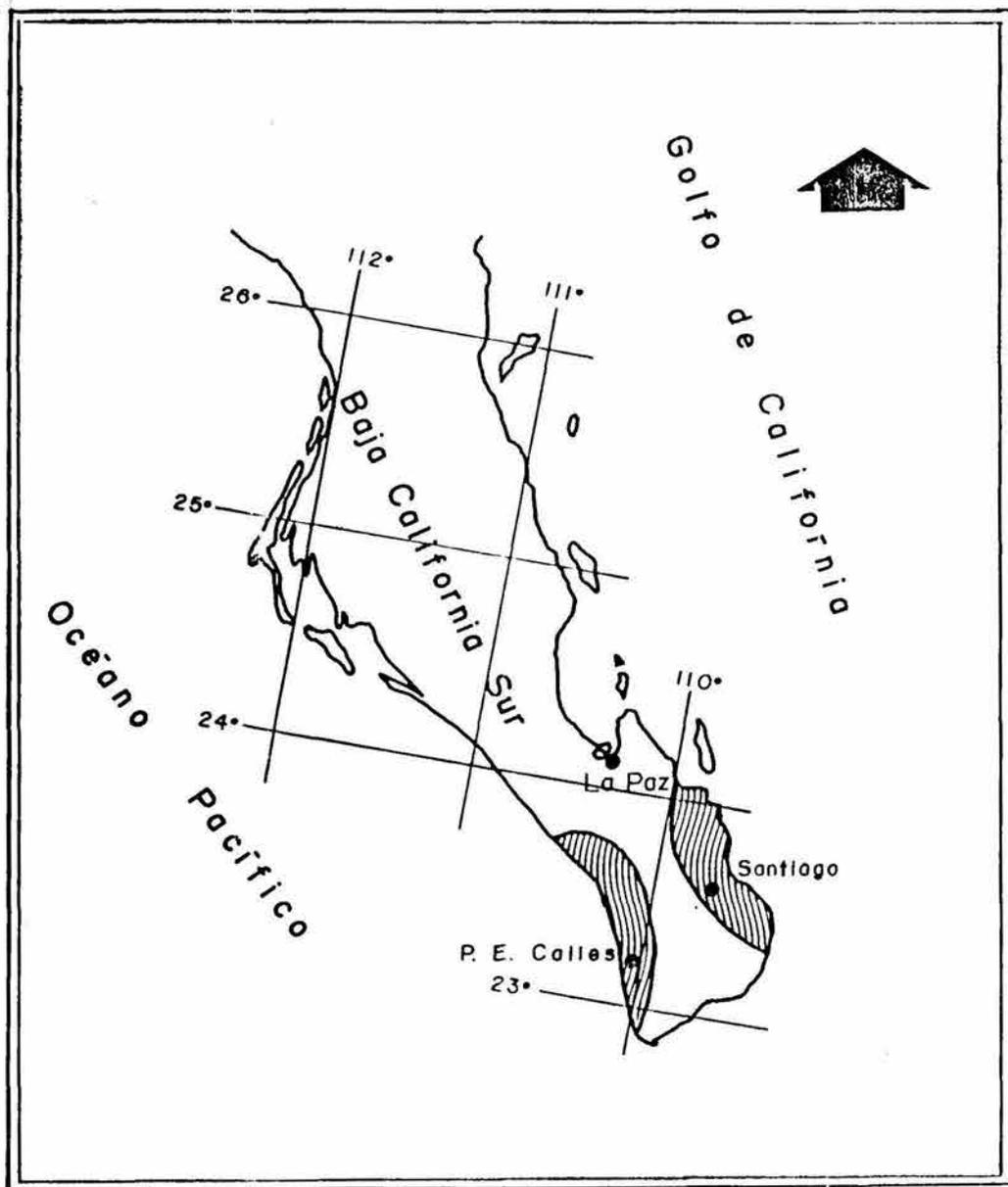


Fig. 42. Areas geográficas de la Región del Cabo con mayor posibilidad de establecimiento y de éxito del cultivo de frijol gandul (*Cajanus cajan*) .

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Ahlawat, A.** 1986. Effect of planting geometry and nitrogen fertilization in pegeonpea based intercropping systems. *Indian Journal of Agronomy*, 31(1):112-114.
- Arnon, I.** 1972. Crop production in dry regions. Vol. I: Background and principles. Ed. Barnes and Noble Books. New York.
- Bauer, A., Frank, A.B. y A.L. Black.** 1984. Estimation of spring wheat leaf growth rates and anthesis from air temperature. *Agronomy Journal*, 76:829-835.
- Bailey, H.P.** 1979. Semi-arid climates: their definition and distribution. En: Hall, A.E., G.H. Cannell y H.W. Lawton. (Eds.). *Agriculture in Semi-Arid Environments*. Ed. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York. 340 pp.
- Barradas, V.L.** 1991. Radiation regime in a tropical dry deciduous forest in western Mexico. *Theoretical and Applied Climatology*, 44: 57-64.
- Batchelor, C.H.** 1984. The Accuracy of Evapotranspiration Estimated with the FAO Modified Penman Equation. *Irrigation Science*, 5: 223-233.
- Begg, J.E.** 1980. Morphological adaptations of leaves to water stress. En: Turner, N.C. y P.J. Kramer. (Eds.). *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley and Sons. New York. pp 33-41.
- Berry, J.A., Ting, I.P. y E. Zeiger.** 1983. The biology of desert plants: opportunities and needs for basic research. Conference Report. American Society of Plant Physiologists. Ed. Waverly Press, Baltimore, MD. 35 pp.
- Bidwell, R.G.S.** 1979. Plant physiology. 2nd. Edition. MacMillan Publishing Co. Inc. New York.
- Bjorkman, O., Mahall, B., Nobs, M., Ward, W., Nicholson, F. y H. Mooney.** 1974. Growth responses of plants from habitats with contrasting thermal environments: an analysis of the temperature dependence of growth under controlled conditions. Carnegie Institute of Washington. Year Book 73, pp 757-767.
- Blaney, H.F. y W.D. Criddle.** 1950. Determining consumptive use and irrigation water requirements. U.S. Dep. Agr. Tech. Bul. 1275. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. USA.
- Bleasdale, J.K.A.** 1984. Plant Physiology in relation to Horticulture. The Royal Horticultural Society. Macmillan Press. London, U.K. 143 pp.
- Bouyoucous, G.J.** 1951. A recalibration of the hidrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 438-442.
- Box, G.E.P., Hunter, W.G. y J.S. Hunter.** 1978. Statistics for Experimenters. John Wiley & Sons. New York. 653 pp.
- Budyko, M.I.** 1974. Climate and Life. New York y Londres. Academic Press. *International Geophysics Series*, 18: 525 pp.
- Chandler, C.K. y P.M. Lyrene.** 1982. Relationship between guard cell length and ploidy in *Vaccinium*. *HortScience*, 17: 53-54.
- Chollet, R. y W. Ogren.** 1975. Regulation of photorespiration in C₃ and C₄ species. *Botanical Review*, 41: 137-148.

Comisión Nacional del Agua. 1992. Programa de Aprovechamiento del Agua. Delegación Estatal de la CNA. Dirección de Administración del Agua. La Paz, B.C.S. México.

Corelli, G. L. y D.C. Coston. 1988. A photosynthetically active radiation sensor. *HortScience*, **23**(1): 215-217.

Dancette, C. y A.E. Hall. 1979. Agroclimatology Applied to Water Management in the Sudanian and Sahelian Zones of Africa. En: Hall, A. E., Cannell, G. H., Lawton, H. W. (Eds.). *Agriculture in Semi-Arid Environments. Ecological Studies Vol 34.* Springer-Verlag, New York. 340 pp.

DETENAL. 1980. Metodología para la elaboración de la carta edafológica escala 1: 250,000. S.P.P. México, D.F. 28 pp.

Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. 1975. Crop Water Requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 24.* FAO. Rome.

Dunstone, R.L., Gifford, R.M. y L.T. Evans. 1973. Photosynthetic characteristics of modern and primitive wheat species in relation to ontogeny and adaptation to light. *Australian Journal of Biological Sciences*, **26**: 295-307.

Ehrler, W.L. y C.H.M. van Bavel. 1968. Leaf diffusion resistance, illuminance, and transpiration. *Plant Physiol.*, **43**: 208-214.

Evenari, M., Schulze, E.-D., Kappen, L., Buschbom, U. y O.L. Lange. 1975. Adaptative mechanisms in desert plants. En: Physiological adaptation to the environment. Vernberg, F.J. (Ed.). New York: Intext Educational Publishers. pp 111-129.

Fanjul, L. y V. Barradas. 1987. Diurnal and seasonal variation in the water relations of some deciduous and evergreen trees in a deciduous dry forest of the western coast of México. *Journal of Applied Ecology*, **24**: 289-303.

Fernández-Zayas, J.L. 1987. Introducción al estudio de los sistemas solares activos. *Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM*, No. D-26.

Fischer, R.A. y N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology*, **29**: 277-317.

Fitter, A.H. y R.K.M. Hay. 1987. Environmental Physiology of Plants. Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich Publ. London - New York. 423 pp

Fuchs, M. 1973. The estimation of evapotranspiration. En: Yaron, B., Danfors, E. y Y. Vaadia. (Eds.). *Arid Zone Irrigation. Ecological Studies, Vol 5.* Springer Verlag, Berlin. 434 pp.

Galindo, I.G. y A. Chávez. 1977. *Estudio del clima solar en la República Mexicana.* I.- Radiación solar total. Instituto de Geofísica, UNAM. México. 17 charts.

García, E. 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana.* Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 pp.

García, E. y P.A. Mosiño. 1968. Los climas de la Baja California. In: Del Arenal, R. (Ed.). *Memorias 1966-1967 del Comité Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional*, pp 29-56. UNAM, México.

Gaskell, M.L. y R.B. Pierce. 1983. Stomatal frequency and stomatal resistance of maize hybrids differing in photosynthetic capability. *Crop Science*, **23**: 176-177.

Gliessman, S.R. 1990. Agroecology.- Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture. Ed. Springer-Verlag. New York-Berlin-Heidelberg. 380 pp.

Gobierno del Edo. de B.C.S. 1980. Ecoplán del Estado de Baja California Sur. Dirección General de Ecología Urbana. La Paz, B.C.S. México. 221 pp.

Golley, F. y H. Lieth. 1972. Bases of Organic Production in the Tropics. *En: Tropical Ecology. The New Dehli Symposium 1972.* Athens, Georgia. USA.

Gutierrez, M., Gracen, J.E. y G.E. Edwards. 1974. Biochemical and cytological relationships in C4 plants. *Planta*, 119: 279-283.

Hall, A.E., Cannell, G.H. y H.W. Lawton. 1979. Agriculture in Semi-Arid Environments. Ed. Springer-Verlag. New York-Berlin-Heidelberg. 340 pp.

Hastings, J.R. (Ed.). 1964. Climatological data for Baja California. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions, 14: 1-141. Institute of Atmospheric Physics, University of Arizona. Tucson, USA.

Hastings, J.R. y R.R. Humphrey. 1969. Climatological data and statistics for Baja California. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions, 18: 1-96. Institute of Atmospheric Physics, University of Arizona. Tucson, USA.

Hatch, M.D., Kagawa, T. y S. Craig. 1975. Subdivision of C4 pathway species based on differing C4 acid decarboxylating systems and ultrastructural features. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2: 111-116.

Hay, R.K.M. 1981. Chemistry for Agriculture and Ecology. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Heath, O. V. S. y T.A. Mansfield. 1971. The movement of stomata. *En: Wikins, M.B. (Ed.). The physiology of plant growth and development.* McGraw-Hill. New York. pp 302-332.

Heichel, G.H. 1971. Stomatal movements, frequencies, and resistances in two maize varieties differing in photosynthetic capacity. *Journal of Experimental Botany*, 22: 644-649.

Henson, I.E., Mahalaskshmi, V., Bidinger, F.R. y G. Alargarswamy. 1981. Stomatal responses of pearl millet (*Pennisetum americanum* [L.] Leeke) genotypes, in relation to abscisic acid and water stress. *Journal of Experimental Botany*, 32: 1211-1221.

Henzell, R.G., McCree, K.J., van Bavel, C.H.M. y K.F. Schertz. 1976. Sorghum genotype variation in stomatal sensitivity to leaf water deficit. *Crop Science*, 16: 660-662.

Hernández, D., Escoppinichi, R. y B. León. 1991. Manual Operativo del Laboratorio de Suelos y Aguas. UABCS. La Paz, BCS. 91 pp.

Hounam, C.E., Burgos, J.J., Kalik, M.S., Palmer, W.C. y J. Rodda. 1975. Technical Note 138. World Meteorological Organization. Ginebra. pp 51-58.

Hsiao T.C., Allaway, W.G. y L.T. Evans. 1973. Action spectro for guard cell Rb^+ uptake and stomatal opening in *Vicia faba*. *Plant physiol.* 51: 82-88.

Humble G.D. y T.C. Hsiao. 1970. Light-dependent influx and efflux of potassium of guard cells during stomatal opening and closing. *Plant Physiol.*, 46: 483-487.

Israelsen, O. y V. Hansen. 1965. Irrigation, principles and practices. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. pp 232-250.

Jackson, M.L. 1982. Análisis Químico de Suelos. Edit. Omega. Barcelona. 662 pp.

Jarvis, P.G. 1975. Water transfer in plants. *En:* de Vries, D.A., Afgan, N.H. Eds.). *Heat and Mass Transfer in the Biosphere*. 1. Transfer processes in plant environment. Scripta Book Co. Washington, D.C. pp 369-94.

Jarvis, P.G. y J.I.L. Morison. 1981. The control of transpiration and photosynthesis by the stomata. *En:* Jarvis, P.G., Mansfield, T.A. (Eds.). *Stomatal physiology*. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 295 pp.

Jennings, P.R. 1974. Rice breeding and world food production. *Science*, 1085-1088.

Jones, H.G. 1977. Transpiration in barley lines with differing stomatal frequencies. *Journal of Experimental Botany*, 28:162-168.

Jones, H.G. 1983. *Plant and Microclimate*. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 323 pp.

Jones, H.G. 1987. Breeding for stomatal characters. *En:* Zeiger, E., Farquhar, G.D. e I.R. Cowan. Stomatal function. Cap. 19. Stanford University Press. Stanford. USA.

Joseph, J.H. y E. Ganor. 1986. Variability of climatic boundaries in Israel, use of modified Budyko-Lettau aridity index. *Journal of Climatology*, 6: 69-82.

Kathju, S., Aggarwal, R.K. y A.N. Lahiri. 1987. Evaluation of diverse effects of phosphate application on legumes of arid areas. *Tropical Agriculture*, 64(2): 91-96.

Kramer, P.J. 1974. Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas. Traducción al Castellano por Leonor Tejada. Edutex, S.A. México. 538 pp.

Kramer, P.J. 1983. *Water relations of plants*. Academic Press, Inc. London. 489 pp.

Kramer, P.J. 1988. Changing concepts regarding plant water relations. *Plant, Cell and Environment*, 11: 565-568.

Larqué-Saavedra, A. y G.M.T. Rodríguez. 1979. Material inheritance of abscisic acid (ABA) in *Zea mays* L. Abstracts of the 10th International Conference on Plant Growth Substances: 23. Madison, WI. USA.

Lea, H.Z., Dunn, G.M. y D.W. Koch. 1977. Stomatal diffusion resistance in three ploidy levels of smooth brome grass. *Crop Science*, 17: 91-93.

Leighly, J. 1953. Dry climates: their nature and distribution. Research Council of Israel. Special Publication No. 2. Bet-Dagan, Israel. pp 3-18.

León de la Luz, J.L. y R. Coria. 1993. Flora Iconográfica de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Publicación No. 3. La Paz, B.C.S. México.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. II. Water, Radiation, Salt and other Stresses. Academic Press. London, New York. 606 pp.

Louis, J.F. 1974. Mean meridional circulation. En: U.S. Department of Transport., Climatic Impact Assess. Prog., Working Paps.: The natural stratosphere of 1974. CIAP Monograph, 6-21 a 6-29. Washington, D.C.

Lydolph, P.E. 1957. A comparative analysis of the dry western litorals. American Association of Geographers Annals, 47:213-230.

Marshall, K.C. 1964. Survival of root nodule bacteria in dry soils exposed to high temperatures. Australian Journal of Agricultural Research, 15:227-281.

Maya, Y. 1988. Edafología. En: La Sierra de La Laguna de Baja California Sur. Publicación No. 1. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. La Paz, BCS.

Maya, Y. y L. Arriaga. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in Northwestern México. *Journal of Arid Environments*. En Prensa.

Mayer, A.M. y M.A. Poljakoff. 1975. The germination of seeds. Pergamon Press. Oxford, U.K. 2a. Ed. 191 pp.

Medina, E. 1977. Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Serie de Biología. Monografía No. 16. Departamento de Asuntos Científicos. OEA. Washington, D.C. 102 pp.

Meidner, H. y T.A. Mansfield. 1968. *Physiology of stomata*. McGraw-Hill. London. 179 pp.

Milthorpe, F.L. y J. Moorby. 1974. An Introduction to Crop Physiology. Cambridge University Press. London, U.K. 202 pp.

Monteith, J.L. 1973. *Principles of Environmental Physics*. Ch. 3. 24-25. Edward Arnold Editors. London. 241 pp.

Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35: 299-319.

National Academy of Sciences. 1975. Underexploited tropical plants with promising economic value. Board on Science and Technology for International Development. National Academy of Sciences. Washington, D.C. USA. 190 pp.

National Academy of Sciences. 1979. Tropical legumes: Resources for the future. Board on Science and Technology for International Development. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 332 pp.

Nerkar, Y.S., Wilson, D. y D.A. Lawes. 1981. Genetic variation in stomatal characteristics and behaviour, water use and growth in five *Vicia faba* L. genotypes under contrasting soil moisture regimes. *Euphytica*, 30:335-345.

Nielsen, E.T., Sharafi, M.R. y P.W. Rundel. 1984. Comparative water relations of phreatophytes in the Sonoran Desert of California. *Ecology*, 69(3): 767-773.

Nobel, P.S. 1983. Biophysical Plant Physiology and Ecology. W.H. Freeman and Company. New York.

Pair, C.H., Hinz, W.W., Reid, C., y K.R. Frost. 1975. *Sprinkler Irrigation*. 4th Edition. The Irrigation Association. Silver Spring, Maryland. 615 pp.

Paloscia S. y P. Pampaloni. 1986. The measurement of evapotranspiration using infrared remote sensing methods. *Alta Frequenza*, 55(6), 395-400.

Pampaloni, P. y S. Paloscia. 1986. Microwave emission and plant water content: A comparison between field measurements and theory. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-24, No. 6, 900-905.

Pasian, C.C. y J.H. Lieth. 1989. Analysis of the response of net photosynthesis of rose leaves of varying ages to photosynthetically active radiation and temperature. *Journal of the Amer. Society for Horticult. Sci.*, 114(4):581-586.

Passioura, J.B. 1988. Response to Dr. P.J. Kramer's article, 'Changing concepts regarding plant water relations, Volume 11, Number 7, pp. 565-568. *Plant, Cell and Environment*, 11: 569-571.

Park, Y.M. 1990. Effects of drought on two grass species with different distribution around coastal sand-dunes. *Functional Ecology*, 4(6):735-742.

Pearcy, R.W., Detlef-Schulze, E. y R. Zimmermann. 1989. Measurement of transpiration and leaf conductance. En: Pearcy, R.W., J. Ehleringer, H.A. Mooney y P.W. Rundel (Eds.). *Plant Physiological Ecology, Field Methods and Instrumentation*. Chapman & Hall.

Penman, H.L. 1963. *Vegetation and hydrology*. Technical Report No. 53. Commonwealth Bureau of Soils. Harpenden, U.K.

Plaut, Z. y S. Moreshet. 1973. Transport of water in plant-atmosphere system. In: Yaron, B., Danfors, E., Vaadia, Y. (Eds.). *Arid Zone Irrigation. Ecological Studies, Vol. 5*. Springer Verlag, Berlin. 434 pp.

Poljakoff-Mayber, A. y J. Gale. 1972. Physiological basis and practical problems of reducing transpiration. En: Water deficits and plant growth. Vol. III. Kozłowski, T.T. (Ed.). Ed. Academic Press. New York. pp 277-306.

Quarrie, S.A. e I.E. Henson. 1982. Biparental inheritance of drought-induced accumulation of abscisic acid in wheat and pearl millet. *Annals of Botany*, 49: 265-268.

Quarrie, S.A. y H.G. Jones. 1979. Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. *Annals of Botany*, 44: 323-332.

Rajendra, B.R., Mujeeb, K.A. y L.S. Bates. 1978. Relationships between 2x *Hordeum* sp., 2x *Secale* sp. y 2x, 4x, 6x *Triticum* spp. for stomatal frequency, size and distribution. *Environmental and Experimental Botany*, 18: 33-37.

Rao, C.R.N. 1984. Photosynthetically active components of global solar radiation: Measurements and model computations. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B.*, 34, 353-364.

Richards, L.A. (Ed.). 1973. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos* (traducción al español del Manual No. 60 del USDA, por: Sánchez-Durón, N., Ortega-Torres, E., Vera, R., Chena-González, R.). Edit. Limusa, México. 172 pp.

Richter, G. 1972. *Fisiología del Metabolismo de las Plantas*. Ed. C.E.C.S.A. México. 417 pp.

Ritchie, J.T. y B.S. Johnson. 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. In: Stewart, B.A. y D.R. Nielsen (eds.). *Irrigation of agricultural crops*. p. 363-390. Agronomy monograph 30. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA. 1218 pp.

Roark, B. y J.E. Quisenberry. 1977. Environmental and genetic components of stomatal behavior in two genotypes of upland cotton. *Plant Physiology*, 59: 354-356.

Robichaux, R.H. 1984. Variation in the tissue water relations of two sympatric hawaiian *Dubautia* species and their natural hybrid. *Oecologia*, 65: 75-81.

Rodriguez-Suppo, F. 1982. *Riego por goteo, conceptos y aplicaciones*. A.G.T. Editor, S.A. México. 158 pp.

Salinas, C. y A. Leyva. 1988. Totales Mensuales de Precipitación Pluvial en Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. (CIB) y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Informe Técnico del CIB. La Paz, BCS, México. 211 pp.

Salinas, C. y A. Leyva. 1989. Promedios Mensuales de Temperatura en Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. (CIB) y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Informe Técnico del CIB. La Paz, BCS, México. 215 pp.

Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1978. *Plant Physiology*. Wadsworth Publ. Co., Inc. Belmont, California. 422 pp.

Sidhu, B.S., Baruah, R. y V. Beri. 1988. Establishment and effectiveness of added pigeonpea (*Cajanus cajan*) rhizobia in different soils of narrow abiotic variability. *Biol. Fertil. Soils*, 6:84-88.

Sinclair, T.R. 1984. Leaf area development in field-grown soybeans. *Agronomy Journal*, 76:141-146.

Singh, D.P., Singh, P. y M. Singh. 1982. Screening of genotypes of *Brassica juncea* L. for leaf conductance under field conditions. *Journal of Experimental Botany*, 33: 381-387.

Singh, U., Jain, K.C., Jambunathan, R. y D.G. Faris. 1984a. Nutritional Quality of Vegetable Pigeonpeas [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: Dry matter accumulation, carbohydrates and proteins. *Journal of Food Sci*, 49(3): 799-802.

_____. 1984b. Nutritional Quality of Vegetable Pigeonpeas [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: Mineral and trace elements. *J Food Sci*, 49(2): 645-646.

_____, **K. L. Sahrawat, R. Jambunathan y J. R. Burford.** 1984c. The use of hydrogen peroxide for the digestion and determination of total nitrogen in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and pigeonpea (*Cajanus cajan* L.). *J Sci Food Agric*, 35: 640-646.

Slack, E.M. 1974. Studies on stomatal distribution on the leaves of four apple varieties. *HortScience* 49:95-105.

Slatyer, R. 1961. Internal water balance of *Acacia neura* F. Muell. in relation to environmental conditions. *En: Arid zone research XVI, plant-water relationships in arid and semi-arid conditions*. UNESCO. Paris. pp 137-146.

Slatyer, R. 1967. *Plant-water Relationships*. Academic Press. Londres. 366 pp.

Snedecor, G.W. y W.G. Cochran. 1980. *Statistical Methods*. 7th. edition. Ames, IA. Iowa State University Press.

Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 2nd. edition. New York. McGraw-Hill Book Co.

Stamper, J. H. y J.C. Allen. 1979. A model of a daily photosynthetic rate in a tree. *Agricultural Meteorology*, 20: 459-481.

- Sutcliffe, J.** 1974. Plants and Water. Studies in Biology No. 14. Edward Arnold Publ. Ltd. London. 81 pp.
- Taylor, E.** 1975. Optimal Leaf Size. *En: Gates, D.M. y R.B. Schmerl. (Eds.). Perspectives in Biophysical Ecology. Ecological Studies No. 12. Springer Verlag. Berlín. 609 pp.*
- Thornthwaite, C.W.** 1948. An approach toward the rationale classification of climate. *Geographical Review, 38:55-94.*
- Ting, I.** 1985. Crassulacean acid metabolism. *Annual Review of Plant Physiology, 54: 76-81.*
- Tinoco-Ojanguren, C. y C. Vázquez-Yanez.** 1983. Diferencias en poblaciones de *Piper hispidum* bajo condiciones de luz contrastante en una selva alta Perennifolia. *Biótica 8(3):281-293.*
- Troyo-Diéguez, E.** 1992. SUNLIGHT, A program to calculate sunshine duration parameters for evapotranspiration models. *Agronomy Journal, 84, 542-545.*
- Troyo-Diéguez, E. y J.L. León.** 1992. Estimation of actual and potential evapotranspiration of mango in Baja California Sur, México. *HortScience, 27(6): 580.*
- Turner, N.C. y H.G. Jones.** 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. *En: Turner, N.C. y P.J. Kramer. (Eds.). Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. John Wiley and Sons. New York. pp 97-103.*
- Tyree, M.T. y P.G. Jarvis.** 1982. Water in tissues and cells. *En: Pearson, A. y M.H. Zimmerman. (Eds.). Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 12B. Springer-Verlag. Berlín. pp 35-77.*
- USDA.** 1951. Soil Survey Manual. USDA Handbook 18. Washington, D.C. pp. 205-213.
- Wallace, A. y A. Deutsch.** 1968. Phosphorus deficiency decreases stomatal activity and water use of plants. *California Agriculture, 22(8):15.*
- Walter, H.** 1973. Vegetation of the earth. Ed. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York.
- Weatherly, P.E.** 1970. Some aspects of water relations. *Advances in Botanical Research, 3: 171-206.*
- Wiggins, I.L.** 1980. Flora of Baja California. Stanford University Press. Stanford, Ca. USA. 1025 pp.
- Withers, B. y S. Vipond.** 1974. *El Riego: diseño y práctica* (traducción al español de "Irrigation: Design and Practice" por: Cotin, A.). Editorial Diana, México. 350 pp.
- Wittwer, S.H.** 1980. The shape of things to come. *In: Carlson, P.S. (Ed.) The Biology of Crop Productivity. Academic Press, Inc., London. 471 pp.*
- Wolk, W.D., Dillon, P.F., Copeland, L.F. y D.R. Dilley.** 1989. Dynamics of imbibition in *Phaseolus vulgaris* L. in relation to initial seed moisture content. *Plant*
- Wright, J.L.** 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *Am. Soc. Civil Eng. (ASCE) J. Irrigation and Drainage Division, 108(IA1):57-74.*
- Xue, Y., Sellers, P.J., Kinter, J.L. y J. Shukla.** 1991. A climate studies. *Journal of Climate, 4, 345-364.*

IX. ANEXOS

9.1. INFORMACION CLIMATOLOGICA Y DE DEMANDA DE AGUA.

Cuadro A1. Temperatura y radiación neta en El Comitán (Estación La Paz, BCS). (65 AÑOS).

MES	TEMP EN C			RDCN. NETA cal/cm ² /día
	Máxima	Media	Mínima	
ENE	32.5	17.5	2.0	290.6
FEB	35.0	18.0	2.5	337.5
MZO	36.0	19.7	3.0	393.8
ABR	39.0	22.0	4.5	431.3
MYO	39.5	24.3	8.5	450.0
JUN	42.5	26.5	10.0	468.8
JUL	43.0	29.2	13.0	450.0
AGO	43.0	29.5	13.0	431.3
SEP	43.0	29.0	12.0	393.8
OCT	43.5	26.1	12.0	346.9
NOV	37.5	22.2	6.5	300.0
DIC	36.0	18.9	2.0	262.5
MEDIA		23.6		379.7
MAX	43.5	29.5		468.8
MIN		17.5	2.0	262.5
TOTAL		23.6		4556.5

Cuadro A2. Datos hidrometeorológicos y de aridez en El Comitán (Estación La Paz, BCS).

MES	PRECIP	EVAP	INDICES DE ARIDEZ	
	mm	mm	D	A
ENE	12.1	169.2	0.041	3.714
FEB	5.0	155.9	0.115	3.872
MZO	2.0	184.8	0.337	3.957
ABR	0.7	172.8	1.058	3.984
MYO	0.7	173.2	1.107	3.984
JUN	1.8	170.2	0.450	3.958
JUL	12.5	182.9	0.062	3.727
AGO	42.6	192.3	0.018	3.114
SEP	59.9	182.8	0.011	2.689
OCT	13.7	182.8	0.044	3.700
NOV	9.2	172.9	0.056	3.787
DIC	20.4	173.5	0.022	3.530
MEDIA	15.05	176.1	0.277	3.668
MAX	59.9	192.3	1.107	3.980
MIN	0.7	155.9	0.011	2.690
TOTAL	180.6	2113.3	0.043	3.660

Cuadro A3. Datos de temperatura y radiación neta en la Colonia P.E. Calles, B.C.S.

(Estación climatol. San Jacinto, 34 años).

MES	TEMP EN C			RDCN. NETA cal/cm ² /día
	Máxima	Media	Mínima	
ENE	34.0	19.6	5.5	290.6
FEB	32.5	19.1	6.0	337.5
MZO	36.0	18.7	6.0	393.8
ABR	38.0	19.0	6.5	431.3
MYO	39.0	19.5	8.5	450.0
JUN	35.5	20.9	8.0	468.8
JUL	39.5	26.0	11.0	450.0
AGO	37.0	27.6	14.0	431.3
SEP	37.0	27.8	16.5	393.8
OCT	37.0	25.6	13.0	346.9
NOV	38.0	23.1	2.0	300.0
DIC	36.0	21.0	8.5	262.5
MEDIA		22.3		379.7
MAX	39.5	27.8		468.8
MIN		18.7	2.0	262.5
TOTAL		22.3		4556.5

Cuadro A4. Datos hidrometeorológicos y de aridez en la Colonia Calles (San Jacinto).

MES	PRECIP	EVAP	INDICES DE ARIDEZ	
	mm	mm	D	A
ENE	13.9	106.4	0.036	3.477
FEB	8.9	115.9	0.065	3.693
MZO	3.4	138.3	0.198	3.902
ABR	0.6	130.5	1.231	3.982
MYO	0.7	138.7	1.101	3.980
JUN	1.2	157.8	0.670	3.970
JUL	24.9	168.9	0.031	3.410
AGO	49.5	172.4	0.015	2.852
SEP	63.1	163.3	0.011	2.454
OCT	19.2	153.4	0.031	3.499
NOV	8.0	137.0	0.064	3.766
DIC	16.2	118.4	0.028	3.453
MEDIA	17.5	141.8	0.290	3.536
MAX	63.1	172.4	1.231	3.980
MIN	0.6	106.4	0.011	2.450
TOTAL	209.6	1701.0	0.037	3.507

Cuadro A5. Datos de temperatura y radiación neta en el Ejido Santiago, B.C.S. (48 años).

MES	TEMP EN C			RDCN. NETA cal/cm ² /día
	Máxima	Media	Mínima	
ENE	36.0	19.7	6	290.6
FEB	36.0	19.2	3	337.5
MZO	36.0	20.4	8	393.8
ABR	38.5	22.6	10	431.3
MYO	39.0	23.9	10	450.0
JUN	39.5	25.4	12	468.8
JUL	39.0	28.2	14	450.0
AGO	44.0	28.9	16	431.3
SEP	40.0	28.7	16	393.8
OCT	39.0	26.9	15	346.9
NOV	39.5	24.0	12	300.0
DIC	36.0	21.3	9	262.5
MEDIA		24.1		379.7
MAX	44.0	28.9		468.8
MIN		19.2	3	262.5
TOTAL		24.1		4556.5

Cuadro A6. Datos hidrometeorológicos y de aridez en el Ejido Santiago, B.C.S.

MES	PRECIP	EVAP	INDICES DE ARIDEZ	
	mm	mm	D	A
ENE	17.8	122.0	0.028	3.416
FEB	3.8	136.5	0.152	3.889
MZO	1.2	152.4	0.563	3.969
ABR	1.2	158.2	0.618	3.970
MYO	1.8	160.3	0.430	3.955
JUN	0.4	164.5	2.021	3.990
JUL	33.2	173.0	0.023	3.232
AGO	60.5	180.2	0.012	2.657
SEP	89.0	174.5	0.008	1.960
OCT	40.2	169.0	0.015	3.049
NOV	12.2	153.7	0.042	3.682
DIC	11.4	130.5	0.040	3.651
MEDIA	22.7	156.2	0.329	3.452
MAX	89.0	180.2	2.021	3.990
MIN	0.4	122.0	0.008	1.960
TOTAL	272.7	1874.8	0.029	3.418

Cuadro A7. Cálculos de Evapotranspiración mensual (cm) para el frijol gandul, por el Método de Blaney-Criddle; El Comitán, BCS.

MES	% lumínico	Factor evaporante	U.C. ajustado
ENE	7.58	12.27	8.59
FEB	7.17	11.77	8.24
MZO	8.40	14.45	10.11
ABR	8.60	15.70	10.99
MYO	9.30	17.96	12.57
JUN	9.20	18.69	13.09
JUL	9.41	20.29	14.20
AGO	9.05	19.63	13.75
SEP	8.31	17.84	12.49
OCT	8.09	16.29	11.40
NOV	7.43	13.63	9.54
DIC	7.46	12.56	8.79
TOTAL	100.00	191.10	133.77 cm

Cuadro A8. Cálculos de Evapotranspiración mensual (cm) para el frijol gandul, por el Método de Blaney-Criddle; Col. Calles, BCS.

MES	% lumínico	Factor evaporante	U.C. ajustado
ENE	7.62	13.04	9.13
FEB	7.19	12.17	8.52
MZO	8.40	14.06	9.84
ABR	8.57	14.47	10.13
MYO	9.24	15.81	11.07
JUN	9.12	16.19	11.33
JUL	9.35	18.79	13.15
AGO	9.02	18.78	13.15
SEP	8.30	17.36	12.15
OCT	8.11	16.15	11.30
NOV	7.47	14.01	9.81
DIC	7.50	13.35	9.34
TOTAL	100.00	184.18	128.93 cm

Cuadro A9. Cálculos de Evapotranspiración mensual (cm) para el frijol gandul, por el Método de Blaney-Criddle; Santiago, BCS.

MES	% lumínico	Factor evaporante	U.C. ajustado
ENE	7.62	13.11	9.18
FEB	7.19	12.20	8.54
MZO	8.40	14.72	10.30
ABR	8.57	15.88	11.12
MYO	9.24	17.67	12.37
JUN	9.12	18.07	12.65
JUL	9.35	19.73	13.81
AGO	9.02	19.32	13.53
SEP	8.30	17.70	12.39
OCT	8.11	16.63	11.64
NOV	7.47	14.32	10.03
DIC	7.50	13.45	9.42
TOTAL	100.00	192.82	134.97 cm

Anexo 9.2. MEMORIA DE DATOS Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS.

Cuadro B1. Promedios de la variable peso de semilla por sitio de estudio.

Sitio	n	Media	Error Std. (interno)	Error Std. (ponderado)	95 % DMS intervalos	
COMITN	50	.2052150	.0014665	.0020834	.2008480	.2095820
CALLES	50	.2131250	.0020832	.0020834	.2087580	.2174920
SANTGO	50	.2125050	.0014014	.0020834	.2081380	.2168720
Total	150	.2102817	.0011802	.0011802	.2077604	.2128030

Cuadro B2. Comparaciones múltiples del peso de semilla de frijol gandul.

Método: DMS 95 %			
Sitio	n	Promedio	Grupos Homogéneos
COMITN	50	0.2052150	X
SANTGO	50	0.2125050	X
CALLES	50	0.2131250	X
<u>Comparaciones</u>		<u>diferencias</u>	<u>+/- límite</u>
COMITN - CALLES		-0.00791 ns	0.00873
COMITN - SANTGO		-0.00729 ns	0.00873
CALLES - SANTGO		0.00062 ns	0.00873

Nota.- ns denota diferencias estadísticamente no significativas.

Cuadro B3. Análisis de Varianza para la variable **arc sen (porcent de germ)^{1/2}**, bajo dos niveles de salinidad edáfica. Cultivo de frijol gandul; El Comitán BCS.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrad.	gl	Cuadrado Medio	F	Nivel Sign.
Tratamientos (salinidad)	573.08051	1	573.08051	19.495	.0045
Error	176.37448	6	29.39575		
Total (corregido)	749.45499	7	Nivel de confianza: 95%		

0 valores perdidos fueron excluidos.

Cuadro B4. Análisis de comparaciones múltiples para **arc sen (porc de germ)^{1/2}**, bajo dos niveles de salinidad edáfica. Cultivo de frijol gandul; El Comitán BCS.

Método: DMS 95%

Tratam	n	Medias	Grupos Homogéneos		
SALINO	4	45.032500	X		
NORMAL	4	61.960000	X		
Comparaciones:			<u>diferencia</u>	<u>+/- límite</u>	
NORMAL - SALINO			16.9275	9.38377 *	

Cuadro B5. Análisis de Varianza para la variable **arc sen (porcent de establ)^{1/2}**, bajo dos niveles de salinidad edáfica (% de establecimiento a los 30 días).

Causas de variación	Suma de Cuadrad.	gl	Cuadrado Medio	F	Nivel Sign.
Tratamientos (salinidad)	1948.1282	1	1948.1282	175.809	.00001
Error	66.4856	6	11.0809		
Total (corregido)	2014.6137	7	Nivel de confianza: 95%.		

0 valores perdidos fueron excluidos.

Cuadro B6. Análisis de comparaciones múltiples para **arc sen (porc de establ)^{1/2}**, bajo dos niveles de salinidad edáfica. Cultivo de frijol gandul; El Comitán BCS.

Método: DMS 95%

Tratam	n	Medias	Grupos Homogéneos		
SALINO	4	27.042500	X		
NORMAL	4	58.252500	X		
Comparaciones:			<u>diferencia</u>	<u>+/- límite</u>	
NORMAL - SALINO			31.2100	5.76133 *	

* denota diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro B7. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (en cm²) (variable independiente) y Longitud de hoja (en cm) (var. dependiente).

<u>Parámetro</u>	<u>Valor Calculado</u>	<u>Error Estándar</u>	<u>Valor T</u>	<u>Nivel Probabil.</u>
Intercepto	3.49074	0.0670923	52.029	.00001
Pendiente	0.26196	5.79792E-3	45.1818	.00001

Análisis de Varianza					
Fuentes de Var.	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	Nivel Probabil.
Modelo	340.0469	1	340.0469	2041.393	.0001
Residual	25.31954	152	.16658		
Ausencia-de-ajuste	24.85417	133	.18687	7.6296	.0001
Error	.465371	19	.024493		
Total (Corr.)	365.36641	153			
Coef. de Correlación	= 0.964728			R-cuadrada = 93.07 percent	
Error Estándar	= 0.408137				

Cuadro B8. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (en cm²) (variable independiente) y Ancho Medio de hoja (en cm) (var. depend.).

<u>Parámetro</u>	<u>Valor Calculado</u>	<u>Error Estándar</u>	<u>Valor T</u>	<u>Nivel Probabil.</u>
Intercepto	0.855179	0.0296913	28.8023	.00000
Pendiente	0.122091	2.56584E-3	47.5831	.00000

Análisis de Varianza					
Fuentes de Var.	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	Nivel Probabil.
Modelo	73.8638	1	73.8638	2264.153	.0001
Residual	4.95872	152	.03262		
Ausencia-de-ajuste	4.79881	133	.03608	4.2870	.00032
Error	.159912	19	.008416		
Total (Corregido)	78.82256	153			
Coef. de Correlación	= 0.968034			R-cuadrada = 93.71 porciento	
Error Estándar	= 0.180619				

Cuadro B9. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (en cm²) (variable independiente) y Ancho Tercio de hoja (en cm) (var. depend.).

<u>Parámetro</u>	<u>Valor Calculado</u>	<u>Error Estándar</u>	<u>Valor T</u>	<u>Nivel Probabil.</u>
Intercepto	0.898053	0.0326812	27.4791	.00001
Pendiente	0.107801	2.82422E-3	38.1703	.00001

Análisis de Varianza					
Fuentes de Var.	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	Nivel Probabil.
Modelo	57.5857	1	57.5857	1456.969	0.0001
Residual	6.00770	152	.03952		
Ausencia-de-ajuste	5.91481	133	.04447	9.0964	0.0001
Error	.092891	19	.004889		
Total (Corr.)	63.59340	153			
Coef. de Correlación	= 0.951593			R-cuadrada = 90.55 percent	
Error Estándar	= 0.198807				

Cuadro B10. Análisis de Regresión (Modelo Lineal) para los caracteres Area Foliar (en cm²) (var. independ.) y el producto Long. \times Ancho Medio \times 0.75 (var. depend.).

<u>Parámetro</u>	<u>Valor Estimado</u>	<u>Error Estándar</u>	<u>Valor T</u>	<u>Nivel Probabil.</u>
Intercepto	0.164673	0.2057	0.800552	0.42464
Pendiente	1.01297	0.017776	56.9856	0.00010

Análisis de Varianza					
Fuentes de Var.	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	Nivel Probabil.
Modelo	5084.6934	1	5084.6934	3247.354	0.0001
Residual	238.00094	152	1.56580		
Ausencia-de-ajuste	235.83687	133	1.77321	15.5684	0.0001
Error	2.164062	19	0.113898		
Total (corregido)	5322.6944	153			
Coef. de Correlación	= 0.977387			R-cuadrada = 95.53 porciento	
Error Estándar	= 1.25132				

Cuadro B11. Valores promedio de la transpiración unitaria (**Tr**) bajo dos niveles de humedad edáfica en El Comitán, para la época crítica (mayo) y hora crítica.

Nivel de Humedad	n	Medias	Error Est. (interno)	Error Est. (ponderado)	95 % Tukey HSD intervalos	
20% HD	12	10.178333	.4745250	1.0491068	8.639157	11.717510
36% HD	12	21.366667	1.4057298	1.0491068	19.827490	22.905843
Total	24	15.772500	.7418305	.7418305	14.684138	16.860862

Cuadro B12. Análisis de varianza para la variable transpiración (**Tr**) bajo dos niveles de humedad, en El Comitán, para la época crítica (mayo) y hora crítica.

Nivel de Confianza: 95 Prueba de comparación entre medias: Tukey.

Análisis de Varianza

Causas de variación	Suma de Cuadr.	gl	Cuadr. Medio	F	Nivel Sign.
Tratamiento (entre grup)	751.07282	1	751.07282	56.867	.0001
Error (dentro de grupos)	290.56503	22	13.20750		
Total (corregido)	1041.6379	23			

0 valores perdidos fueron excluidos.

Cuadro B13. Comparación entre medias de la variable transpiración, bajo dos niveles de humedad disponible, en El Comitán, para la época y hora crítica.

Método: 95% Tukey HSD

Nivel	n	Medias	Grupos Homogéneos
HD20	12	10.178333	X
HD36	12	21.366667	X

<u>Comparación</u>	<u>diferencia</u>	<u>+/- límite</u>
20% HD - 36% HD	-11.1883	3.07835 *

* denota diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro B14. Valores promedio de la resistencia estomática bajo dos niveles de humedad edáfica en El Comitán, para la época crítica (mayo) y hora crítica.

Nivel de Humedad	n	Medias	Error Est. (interno)	Error Est. (ponderado)	95% Tukey HSD Intervalos	
20% HD	12	4.0756667	.2110823	.2094629	3.7683573	4.3829761
36% HD	12	2.0483333	.2078309	.2094629	1.7410239	2.3556427
Total	24	3.0620000	.1481127	.1481127	2.8446994	3.2793006

Cuadro B15. Análisis de varianza para la variable res. estomática (r) bajo dos niveles de humedad, en El Comitán, para la época crítica (mayo) y hora crítica.

Nivel de Confianza: 95 Prueba de comparaciones: Tukey
Análisis de varianza

Causas de Variación	Sum. de Cuadr.	gl	Cuadr. Medio	F	Nivel Sig.
Tratamientos (entre grup)	24.660483	1	24.660483	46.839	.00001
Error (dentro de grupos)	11.582925	22	.526497		
Total (corregido)	36.243408	23			

0 valores perdidos han sido excluidos.

Cuadro B16. Comparación entre medias de la r estomática, bajo dos niveles de humedad disponible, en El Comitán, para la época y hora crítica.

Método: 95% Tukey HSD

Nivel	n	Medias	Grupos Homogéneos
36% HD	12	2.0483333	X
20% HD	12	4.0756667	X

Comparación	diferencia	+/- límite
20% HD - 36% HD	2.02733	0.61462 *

* denota diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro B17. Valores promedio de la *Tr* bajo tres niveles de humedad edáfica en la porción sur de la Región del Cabo, para el mes (mayo) y hora críticos.

Nivel de Humedad	n	Medias	Error Est. (interno)	Error Est. (ponderado)	95% Tukey HSD intervalos	
7% HD	12	12.979167	.5512320	1.1659656	10.955694	15.002639
29% HD	12	21.256667	1.2216943	1.1659656	19.233194	23.280139
38% HD	12	22.460833	1.5106403	1.1659656	20.437361	24.484306
Total	36	18.898889	.6731706	.6731706	17.730636	20.067141

Cuadro B18. Análisis de Varianza para la variable *Tr* bajo tres niveles de humedad, en la porción sur de la Región del Cabo; época (mayo) y hora críticos.

Nivel de Confianza: 95

Prueba: Tukey

Análisis de Varianza

Causas de Variación	Suma de Cuadr.	gl	Cuadr. Medio	F	Nivel Sig.
Tratamientos (entre grup)	639.47611	2	319.73805	19.599	.0001
Error (dentro de grupos)	538.35245	33	16.31371		
Total (corregido)	1177.8286	35			

0 valores perdidos fueron excluidos.

Cuadro B19. Comparación entre medias de la *Tr*, bajo tres niveles de humedad disponible, en el sur de la Región del Cabo, para la época y hora crítica.

Método: 95% Tukey HSD

Nivel	n	Medias	Grupos Homogéneos
7% HD	12	12.979167	X
29% HD	12	21.256667	X
38% HD	12	22.460833	X

Comparaciones	diferencias	+/- límites
7% HD - 29% HD	-8.27750	4.04695 *
7% HD - 38% HD	-9.48167	4.04695 *
29% HD - 38% HD	-1.20417	4.04695

* denota diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro B20. Valores promedio de la *r* estom. bajo tres niveles de humedad edáfica en el sur de la Región del Cabo, para la época crítica (mayo) y hora crítica.

Nivel	n	Medias	Error Estand. (interno)	Error Est. (ponderado)	95 % Tukey HSD Intervalos	
7% HD	12	3.2416667	.3497571	.3499628	2.6343244	3.8490089
29% HD	12	4.0975000	.3864252	.3499628	3.4901578	4.7048422
38% HD	12	1.8858333	.3094630	.3499628	1.2784911	2.4931756
Total	36	3.0750000	.2020511	.2020511	2.7243508	3.4256492

Cuadro B21. Análisis de Varianza para la variable *r* bajo tres niveles de humedad, en el sur de la Región del Cabo; mes (mayo) y hora críticos.

Nivel de Confianza: 95 Prueba: Tukey

Análisis de Varianza

Causas de Variación	Suma de Cuadr.	gl	Cuadr. Medio	F	Nivel Sign.
Between groups	29.848817	2	14.924408	10.155	.0004
Within groups	48.499683	33	1.469687		

Total (corregido) 78.348500 35

0 valores perdidos fueron excluidos.

Cuadro B22. Comparación entre medias para *r*, bajo tres niveles de humedad disponible, en la porción sur de la Región del Cabo; época y hora críticas.

Method: 95 % Tukey HSD

Nivel	n	Medias	Grupos Homogéneos
38% HD	12	1.8858333	X
7% HD	12	3.2416667	X
29% HD	12	4.0975000	X

Comparaciones	diferencias	+/- límites
7% HD - 29% HD	-0.85583	1.21468
7% HD - 38% HD	1.35583	1.21468 *
29% HD - 38% HD	2.21167	1.21468 *

* denota diferencias estadísticamente significativas.

9.3. PUBLICACIONES Y OTRAS CONTRIBUCIONES.

A simple aridity equation for agricultural purposes in marginal zones

Enrique Troyo-Diéguez*, Francisco de Lachica-Bonilla* & José L. Fernández-Zayas†

Accepted 30 November 1989

Analysis of the widely used dryness index proposed by Budyko reveals its limited usefulness in evaluating aridity of regions with very low precipitation coupled with high evaporation rates. Such is the case of a region in Baja California Sur, México, where a better aridity index is needed to describe weather during months of limited, or null, rainfall. An improved aridity index is proposed, retaining the physical meaning of null precipitation, a typical condition of many deserts. This is attained by preserving the inverse relationship of aridity and precipitation. A regionalization of La Paz, Baja California Sur, illustrates the quality of the proposed index. Subranges of aridity can be defined with a better fitting according to desertic needs.

Introduction

Agriculture is a technological activity through which matter is transformed from several sources, employing various forms of energy (solar, chemical and mechanical). Its main purpose is to produce biomass of economical importance. This activity is guided by different types of information, such as the genetic code of each kind of plant, cultural practices, soil properties and the climatological character of each region. This definition implies that agriculture depends on biotic and abiotic factors that explain the processes involved, either in an isolated or a connected way. The more relevant abiotic factors are solar radiation, water in the form of rain, or through irrigation, and soil, the substrate and nutrients reservoir for biotic factors. These factors are usually studied separately, although they interact with each other in several ways.

Relationship between climate and agriculture

The elements of climate that have the most important effects on agriculture are solar radiation, and rain in rain-fed agriculture. Both contribute to the formation and development of soils in continental regions as well as in microregions, through a number of processes that operate even in microscale dimensions. Of these processes, climate is of primary importance. While the parent rock, plants and edaphon contribute the materials from which soils are made, climate determines the process of soil development (Cargo & Mallory, 1977). There is a causal relationship between the world-wide distribution of

* Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, Apartado Postal 128, La Paz, Baja California Sur, México, C.P. 23000.

† Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D. F., C.P. 04510.

USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA SIERRA DE LA LAGUNA BAJA CALIFORNIA SUR



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DE BAJA CALIFORNIA SUR A.C.



CAPITULO 4

EL CULTIVO DEL FRIJOL GANDUL

Enrique Troyo Diéguez y Federico Salinas Zavala

Resumen

Se presentan los resultados experimentales del cultivo del frijol gandul evaluado en parcelas ubicadas en la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de La Laguna. El potencial agrícola del gandul fue evaluado en localidades de las vertientes del Océano Pacífico y del Mar de Cortés. En ambos casos el sitio experimental se ubicó en una área árida de matorral xerófilo con baja fertilidad del suelo. La semilla empleada se originó a partir de una línea avanzada para resistencia a sequía obtenida en el Centro de Investigaciones Biológicas. Los resultados obtenidos indican que el gandul se adapta favorablemente a las condiciones predominantes en las partes bajas de la Sierra de La Laguna, teniendo una mayor producción en la vertiente del Pacífico. No se presentaron plagas ni enfermedades en las parcelas experimentales. El rendimiento promedio para la zona sur del Estado se estimó en 6 Ton/Ha. El arquetipo desarrollado en aquella zona le confiere un posible uso en cultivos múltiples. Se recomienda intensificar la investigación de esta especie, así como de especies relacionadas, las cuales además de tener potencialidad productiva, diversifican el agroecosistema y mejoran la fertilidad del suelo.

The effect of environmental conditions of the growth and development of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. in arid Baja California Sur, Mexico

Enrique Troyo-Diéguez, Alfredo Ortega-Rubio,
Yolanda Maya & José Luis León

Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur,
A.C. Apartado Postal 128, La Paz, B.C.S. México, C.P. 23000

(Received 9 January 1993, accepted 16 March 1993)

Due to its geographical situation, Baja California Sur is the most arid Mexican state, with the longest length of coast in the country. Hence, the study of halophytes for incorporation into rural agriculture is a priority for this region. In this research, the growth and development of a natural population of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. as affected by environmental factors are analysed. Four transects were traced in the field, with sample sites of 1 m² every 3 m along each transect from which samples of soil and plants for laboratory analysis were taken, starting at the lowest seashore tide line. Edaphic and environmental factors as well as biomass, plant density, size, and dry matter were analysed through multivariate statistical methods. Three edaphic factors showed correlation with growth and development of individuals: growth was positively correlated with soil organic matter, and negatively correlated with the percentage of sand as a component of texture and with the balance of sodium (SAR parameter) in the soil saturated paste. Part of the results are unexpected because most of the previous work had dealt only with the salinity factor. The results will enable us to determine the next steps to promote the economic use of this species in the study region.

Key words: *Salicornia bigelovii*; halophytes; salt marsh vegetation; growth success; soil factors; new crops; Baja California Sur

Introduction

Baja California Sur is one of the most arid states of Mexico, with an average of 80 mm of annual precipitation; other arid states in northwest Mexico are Sonora and Baja California. All these states contain large areas that may not receive any rain for several years; they are also without lakes, rivers or other surface hydrological resources. Hence, in this zone, it is of considerable importance to introduce halophyte plants into the local agriculture, not only as alternative crops to ensure the economic development of the region, but also for fresh water conservation and social development. On the other hand, the Mexican state of Baja California Sur can almost be considered as an island surrounded by two seas: the Sea of Cortés (Gulf of California) and the Pacific Ocean; this State takes up 20% of the total Mexican shore line. The combination of large areas of coastline irrigated with saline water

GERMINACION DE *SALICORNIA BIGELOVII* TORR.
(CHENOPODIACEAE) BAJO DIFERENTES
CONCENTRACIONES DE AGUA MARINA

ENRIQUE TROYO-DIÉGUEZ AND AURORA M. BRECEDA SOLIS-CÁMARA

Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, Apartado Postal 128, La Paz, Baja California Sur, México.
C/P 23000

ABSTRACT—The germination rate of seeds from two local populations of *Salicornia bigelovii* Torr. are evaluated. Seed samples were obtained from Sonora and Baja California Sur, México, and were germinated under various salinity concentrations of diluted sea water. The seeds from Sonora germinated at a faster rate than the ones from Baja California. Highest percentage of germination was obtained under non-saline water conditions together with a considerable reduction in germination as concentrations were increased; germination rates were reduced considerably when salinity concentrations were increased for both populations. No statistical differences were found between the mean values of germination after the nineteenth day of the experiment for both ecotypes. A positive correlation was found between low levels of salinity (9 ppm of total dissolved solids) with total length and dry matter of seedlings. It is concluded that salinity levels which are equal to or higher than 18 ppm (50% of sea water) inhibit and reduce the germination rate of both populations. These results explain the high emergence of seedlings found in field conditions just after the rainy season occurs.

RESUMEN—En este trabajo se evalúa la tasa de germinación de semillas de dos poblaciones de *Salicornia bigelovii* Torr. provenientes de Sonora y Baja California Sur, México. Las semillas fueron sometidas a un gradiente de salinidad obtenido a partir de diluciones de agua marina. El germoplasma de Sonora presentó germinación más rápida que el de Baja California Sur. El porcentaje de germinación más elevado para ambas poblaciones tuvo lugar bajo condiciones de agua destilada y decreció con el aumento de salinidad. La comparación entre medias (DMS) muestra que a los 19 días de siembra la germinación es estadísticamente igual para ambos casos. Concentraciones bajas de salinidad (9 ppm de sólidos disueltos totales) tuvieron un efecto positivo sobre la longitud de plántulas y la acumulación de materia seca. Se concluye para ambas poblaciones, que la salinidad igual o mayor a 18 ppm (50% de agua marina) retarda e inhibe la germinación, lo cual explica la mayor emergencia de plántulas en el campo inmediatamente después de la época de lluvias.

La escasez de agua dulce es uno de los factores limitantes para el desarrollo de actividades productivas en las zonas áridas y semiáridas. Este es el caso de Baja California Sur, México, donde la precipitación media anual oscila entre 100 y 200 mm y la evaporación potencial media anual es de 2,000 mm, con un déficit hídrico anual promedio de 1,800 mm (plan de desarrollo agropecuario y forestal para Baja California Sur entre 1982 y 1988, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). Tales condiciones de aridez limitan seriamente las actividades agropecuarias y agroindustriales, de ahí el interés por aprovechar los recursos regionales adaptados a estas condiciones.

Algunas plantas halófitas, como *Salicornia veropaea* L., sirven de alimento para ganado bovino

y ovino (Jensen, 1985); en Baja California Sur se ha observado que *Salicornia bigelovii* Torr. es ocasionalmente consumida por este tipo de ganado, por lo que existe el interés por estudiar la biología y posible utilización de esta planta a mayor escala. *Salicornia bigelovii* Torr. es una herbácea anual suculenta que se distribuye en las costas del noroeste de México y habita en las zonas sujetas a inundaciones periódicas debidas al ciclo de mareas.

La germinación de halófitas ha sido un tema estudiado por numerosos investigadores para diferentes especies y localidades. En este tema destacan los estudios realizados por Ungar (1977, 1982) y McGraw y Ungar (1981) quienes observaron que el mayor porcentaje de germinación se obtiene con agua destilada y que conforme

Efectos del decremento instantáneo de la salinidad sobre la germinación de *Salicornia bigelowii* Torr. en laboratorio

Héctor García-Tiburcio* y Enrique Troyo-Diéquez*

Resumen. Se colectaron semillas de plantas vigorosas de *Salicornia bigelowii* Torr. de una población natural ubicada en una marisma inundable de "El Comitán", a 17 Km al noroeste de la Cd. de La Paz, BCS (México), y se seleccionaron las de mayor tamaño a color uniforme. Las semillas se sembraron en cajas Petri con agua marina y 0, 9, 18, 27 y 36 PPM (partes por mil) de SDT (sólidos disueltos totales). El objetivo fue evaluar la germinación a diferentes tiempos de sumersión de la semilla en los tratamientos de agua salina, y al disminuir las diluciones para obtener condiciones de agua destilada, en los mencionados tiempos. El mayor porcentaje de germinación se obtuvo con 0 PPM y disminuyó conforme aumentó la concentración salina, permaneciendo las semillas latentes en los tratamientos de alta salinidad. Al disminuir la concentración salina de los tratamientos hasta dejarlos en condiciones de agua destilada [0 PPM de sólidos disueltos totales (SDT)], todas las tasas, y todos los porcentajes de germinación aumentaron aceleradamente durante las primeras 48. Las semillas de *S. bigelowii* inmersas en un medio altamente salino permanecen latentes, pero al contacto con agua a 0 PPM de salinidad se rompe la latencia, explicándose lo que sucede en su habitat natural, donde al momento en que las lluvias abaten la salinidad se inicia la germinación de las semillas de esta especie; por lo que se concluye que en esta planta, la germinación es una etapa sensible a la salinidad. Por lo tanto, el factor salinidad debe ser tomado en cuenta en la etapa de germinación al establecer la halófito *Salicornia bigelowii* Torr. como nuevo cultivo.

Palabras clave: *Salicornia bigelowii*, salinidad, decremento de salinidad, halófitas, habitat, germinación.

* Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C., Apartado Postal # 128, La Paz, B. C. S. México 23000 Fax: (682)-536-25

Los autores agradecen al CONACYT y SEP el financiamiento otorgado

Recibido 13.11.1992; aprobado 18.12.1992; aceptado 19.8.1993