

Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate t3 incorporado a la agricultura de temporal, Texcoco (México)

Aurelio BÁEZ, Eduardo ASCENCIO,
Christian PRAT, Alfonso MÁRQUEZ

Abstract

The purpose of this study is to precise the conditions of agricultural reclamation of tepetate in the eastern part of the Mexico valley (Texcoco). The tepetate is a compact and sterile material. The lack of nitrogen, carbon and the poor biological activity limit the possibility of plant development. But after the use of heavy machinery and terracing, it is possible, under certain conditions, to use this new soil for agriculture. From 1993 until 1996, we compared native soil and different treatments applied to the tepetate reclaimed, such as the deepness of the reclamation, the use of chemical/biological fertilisers, the monoculture/associated cultures, the tillage practices of the new soil on 6 different terraces of 700 m². One of our goals was to find the best ways to use the new tepetate soils as real agricultural soils.

The conclusions complete those of previous works. It is necessary to use a cereal of small seeds (wheat, barley...) in association with a leguminous, especially the Medicago polymorfa, the first year of cultivation. The use of corn is possible since the second year, but with a high quantity of fertilisers, especially of nitrogen. It is also important to supply those elements in two or three applications instead of one. It is always better to use association than monoculture. In the case of corn, the association with string bean is excellent, while it is possible but risky with red bean. The action of the manure is not very effective if it is not complemented at the moment of the seeding with some synthetical fertilisers. The best deep for tepetate reclamation is 40-45 cm. In fact, in this regions, the main problem is not really the condition of reclaiming of the tepetates but the poor quantities and the unpredictable distribution of precipitations during the rainy season.

Keywords: Tepetate - Phaeozem Vertic - Mexico - Tillage Systems - Mineral Fertilization - Organic Fertilization - Corn - String Bean - Medicago polymorfa - Bean - Barley - Soil Reclamation

INTRODUCCIÓN

Los tepetates en México cubren, a lo largo del eje neovolcánico, una superficie superior a 30.000 km² (Zebrowski *et al.*, 1992). Estos materiales, de 10 a 40.000 años de edad, son tobas originadas de materiales piroclásticos. El afloramiento de estas capas

duras, compactas y estériles desde el punto de vista agrícola, se debe a la erosión hídrica, proceso que en su mayor parte ha sido inducido por el hombre desde épocas precolombinas (Navarro y Prat, 1996). En la actualidad, esta problemática conduce al abandono de las tierras por parte de los campesinos y a un mayor índice de agostadero de mala calidad que sigue favoreciendo la erosión. Para incorporar el tepetate a la agricultura es necesario roturarlo, lo cual implica un alto costo, ya que la única forma de hacerlo es con un bulldózer. Por otra parte, la ausencia casi total de nitrógeno, fósforo y carbono, así como una baja actividad microbiana constituyen serias limitaciones agronómicas. Sin embargo, estas deficiencias pueden ser corregidas con fertilizantes químicos y/o orgánicos.

Aun cuando se conoce cierta tecnología para incorporar los tepetates a la agricultura, hay desconocimiento en cuanto al manejo agronómico para su pronta habilitación agrícola. Por esta razón, el programa de investigación UE-ORSTOM-CP-UAT-UG sobre rehabilitación de tepetates en México elaboró un protocolo experimental con base en experiencias de programas anteriores, para definir las condiciones de un manejo agronómico más adecuado que permita un aprovechamiento óptimo del recurso tepetate. Para ello, después de haber roturado un tepetate t3 aflorante, se efectuó un seguimiento agronómico durante 4 años (1993 a 1996) a fin de comparar el efecto de distintos modos de roturación y de manejo agronómico. Paralelamente a las evaluaciones agronómicas, se realizó un seguimiento de la erosión, de los estados de superficie y de la cobertura vegetal.

METODOLOGÍA

Características del tepetate

El tepetate del área de estudio presenta las características físico-químicas de un duripán (Peña y Zebrowski, 1992). Es un tanto calcáreo ($\text{CaCO}_3 < 6\%$), con un pH en agua de 7,7. No es fértil desde el punto de vista agrícola, pues contiene $< 0,02\%$ de materia orgánica, muy escasas raíces, P Olsen $< 2,5$ ppm y N $< 0,02$ ppm. Tiene un espesor de 1 a 1,5 m.

En la comunidad de San Miguel Tlaixpan (Edomex), zona oriente del valle de México, se establecieron cinco terrazas experimentales (T2, T3, T4, T5 y T6) en un tepetate t3 roturado (cuadro 1). A partir de 1995, la T6 fue dividida en dos (T6a y T6b). La maquinaria empleada para esta labor fue un Caterpillar D7 de dos dientes. Se realizaron dos pasadas cruzadas y después se formaron las terrazas (80 x 20 m) siguiendo las curvas de

Tratamiento	Ref.	Área (m ²)	Sustrato	Profundidad* (m)	Pendiente (%)
Efecto profundidad roturación	T2	470	Tepetate roturado	0,60	4,7
Referencia monocultivo	T3	773	"	0,46	3,2
Efecto estiércol	T4	732	"	0,43	3,4
Efecto preparación de la tierra y plana (fina)	T5	792	"	0,44	2,5
Efecto preparación de la tierra (gruesa)	T6	733	"	0,40	4,4
Sin residuo a partir de 1995	T6b	419	"	0,40	4,4
Referencia suelo	T7	713	Suelo arcilloso	0,53	5,9

*: Profundidad promedio de roturación

Cuadro 1 - Características de las terrazas después de la roturación

nivel. Dos pasos de rastra afinaron la preparación del terreno. Se trazó además una terraza en suelo vértico (T7) como referencia para las mediciones agronómicas.

Características de las terrazas

Para los ciclos agrícolas de 1993 a 1996, se establecieron una serie de cultivos en diferentes condiciones cada año (cuadro 2). Se trataba de comparar los siguientes parámetros: asociación gramíneas + leguminosas vs. monocultivo, roturación normal vs. roturación profunda, aplicación de estiércol vs. abonos minerales, pendiente de 5 a 10 por ciento vs. pendiente plana y tepetate vs. suelo.

Ref.	1993	1994	1995	1996
T2	cebada + veza	maíz + haba + frijol	maíz + haba	cebada + medicago p.
T3	cebada	maíz	maíz	cebada
T4	cebada + veza	maíz + haba + frijol	maíz + haba	cebada + medicago p.
T5	"	"	"	maíz + haba
T6	"	"	"	"
T7	"	"	"	cebada + medicago p.

Cuadro 2
Condiciones de las
terrazas de estudio
de 1993-1996

Los cultivos

Para la selección de los cultivos, se tomó en cuenta que el maíz, los cereales de grano pequeño y los cultivos de haba y frijol cuentan entre las plantas más cultivadas por los agricultores que practican sistemas de producción tradicionales en las regiones donde se han llevado a cabo ensayos agronómicos con tepetate, en los estados de Tlaxcala y México. La semilla utilizada en el caso de la cebada fue la variedad «esmeralda», desarrollada por el INIFAP, tolerante frente a la sequía y que produce un rendimiento de 3,6 t/ha. En cuanto al maíz, el haba y el frijol, se emplearon semillas criollas utilizadas en los pueblos de los alrededores. Las semillas de Medicago polimorfa proporcionadas por el CIMMYT, fueron recogidas en la región.

Con el antecedente de que el cultivo de maíz no produce rendimiento de grano en tepetates recién roturados (Navarro y Zebrowski, 1992), se incluyó este cultivo hasta el segundo año. Por ello se sembró cereal de grano pequeño, como la cebada (se habría tenido el mismo resultado con el trigo, la avena, etc.).

Diseño experimental

Las terrazas se dividieron longitudinalmente en tres partes, identificándose la parte aguas arriba como A, la parte media como M y la parte aguas abajo como B. Esta división está relacionada con la diferencia de profundidad del tepetate roturado así como con la capacidad potencial de recibir más agua y más abonos por arrastre. Globalmente, la parte A es la menos profunda mientras que la B es la más profunda y la que recibe mayor cantidad de agua y abonos, y cada una de ellas representa aproximadamente el 10 % de la superficie total de cada terraza. La parte M corresponde al 80 % de la superficie, es relativamente homogénea y representativa del tratamiento correspondiente.

Para la determinación de los rendimientos, se llevó a cabo el seguimiento de la floración, la altura, la materia seca, la biomasa y el peso de 100 granos principalmente. Para la comparación entre tratamientos, se definió un muestreo aleatorio en cada parte.

En 1993 se cosecharon 4 pequeñas parcelas de 1 m² en cada terraza (1 en A, 2 en M y 1 en B) y se determinó el valor medio para cada bloque. En 1994 y 1995 se tomaron 8 pequeñas parcelas de 16 m² en cada terraza (2 en A, 4 en M y 2 en B) en T3, T4, T5, T6 y T7, mientras que en T2 y T6b se tomaron 1 en A, 3 en M y 1 en B. Por último, se determinó el valor medio para cada bloque.

Procedimiento de trabajo

Durante los años de experimentación, se preparó el terreno (chaponeada, rastra, surcado) con un tractor, mientras que las labores posteriores (limpieza) se efectuaron manualmente y/o con una yunta de caballos.

El cuadro 3 presenta la composición de los estiércoles incorporados durante los tres ciclos agrícolas.

	1993		1994		1995	
	%	kg	%	kg	%	kg
Total de estiércol	100	40.000	100	20.000	100	20.000
Humedad	66	26.400	65	13.080	62	12.274
Peso seco	44	13.600	35	6.920	39	7.726
M,O	64	8.704	64	4.417	64	4.417
N	1,4	190,4	2,3	159,2	1,8	137,5
P	0,4	54,4	0,8	56,1	0,6	47,9
K	0,4	54,4	0,1	5,5	0,4	34
Ca	2,6	353,6	4,2	290,6	4,5	350,8
Mg	0,7	95,2	0,1	9	0,3	24
Fe	0,3	120	0,3	58	0,4	80
Na	-	-	0,5	31,1	0,4	33,2
		ppm		ppm		ppm
Cu	t	0,1	t	0,4	t	0,2
Mn	t	1,3	t	1,6	t	1,7
Zn	t	0,5	t	1,0	t	0,9

Cuadro 3
Composición química del estiércol de bovino utilizado de 1993 a 1995

t: trazas, -: No se hizo el análisis.

En 1993, se sembró al voleo la variedad de cebada «esmeralda». Se utilizaron 105 kg/ha por 21 kg/ha de veza común, y 150 kg/ha en T3 como monocultivo. La dosis de fertilización empleada fue de 80-60-00 aplicada en dos fracciones, una a la siembra y otra al 50 % de floración, en todas las terrazas. En T4 se incorporaron además 40 t/ha de estiércol húmedo de bovino.

En 1994, se sembró la asociación maíz azul + frijol + haba y maíz como monocultivo en T3. En las terrazas con asociación, la distancia entre matas fue de 33 cm. Se sembraron 3 semillas por hoyo de maíz y frijol y 2 semillas por hoyo de haba. En T3, la separación entre matas fue de 40 cm. Se sembraron 4 semillas por hoyo y posteriormente se hizo un aclareo dejando 3 plantas por mata. La fertilización empleada fue 70-60-00 aplicada en dos fracciones, una a la siembra y la segunda a la primera labor en todas las terrazas, salvo en T4 donde solamente se incorporaron 20 t/ha de estiércol semi-húmedo de bovino.

En 1995, se sembró la asociación maíz + haba, con un procedimiento similar al del año anterior, con la única diferencia de que la separación entre matas fue de 40 cm.

Seguimiento agronómico

En las áreas de muestreo se evaluaron los siguientes parámetros: número de matas y plantas, días hasta el 50 % de floración, altura de planta, peso de materia seca, peso de grano, número de granos y biomasa aérea. Como humedad estándar se tomó el 14 %.

También se realizó un análisis comparativo entre los sistemas de cultivos asociados y el monocultivo, para lo cual se determinó el índice de eficiencia (IE) mediante la siguiente fórmula:

$$IE = A1/U1 + A2/U2 + \dots$$

donde A corresponde al cultivo asociado y U al cultivo solo. Los valores de rendimiento que corresponden a los monocultivos fueron tomados de otras parcelas cultivadas a la par de las terrazas, en las mismas condiciones (Márquez *et al.*, 1995).

Cosecha

Las cosechas se efectuaron manualmente. La trilla de la cebada se realizó en parte con una trilladora manual y en parte con una trilladora mecánica (gracias a la ayuda del CIMMYT y del INIFAP).

Se determinaron dos tipos de rendimientos: por un lado, los relacionados con cada pequeña parcela donde se efectuaron los seguimientos agronómicos a lo largo del crecimiento del cultivo, y por otro, los correspondientes a cada parte A, M y B de cada terraza. De esta manera, se obtuvo el rendimiento estimado a partir de las pequeñas parcelas y el rendimiento real obtenido de forma directa. La comparación entre estos dos factores (rendimientos estimados y totales) permite medir el error experimental y la variabilidad de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1993

En 1993, la precipitación registrada fue de 421 mm, distribuida durante los meses de mayo a octubre que es la temporada agrícola (figura 1). Tal cantidad de agua corresponde a un año seco, pues normalmente en esta zona se registran volúmenes anuales de más de 700 mm. Durante mayo (época de siembra), apenas cayeron 17 mm por lo que no fue posible sembrar en ese mes. Después de la siembra, que se efectuó el 9 de junio, no hubo suficiente humedad en el terreno, lo que afectó la emergencia de las plantas y fue necesario efectuar una nueva siembra el 29 de junio cuando se normalizaron las condiciones climáticas. Entre los meses de julio y agosto, se presentó otro periodo de sequía en el cual durante 25 días cayeron apenas 35 mm y se registraron 12 días lluviosos.

Los rendimientos de cebada (cuadro 4) son más elevados en la T6 que en el testigo con suelo agrícola. En las demás terrazas (exceptuando la T2), los rendimientos son similares a los del testigo.

Con respecto a la veza (cuadro 5), es interesante anotar que el número de plantas no explica las diferencias de rendimientos. Ello se debe al tipo de crecimiento de esta leguminosa. Las tendencias en la producción de materia seca son las mismas que las

observadas en el caso de la cebada: T6 registra los mejores resultados, T2 y T7 los más bajos, mientras que en las demás terrazas, se obtienen resultados entre estos dos extremos.

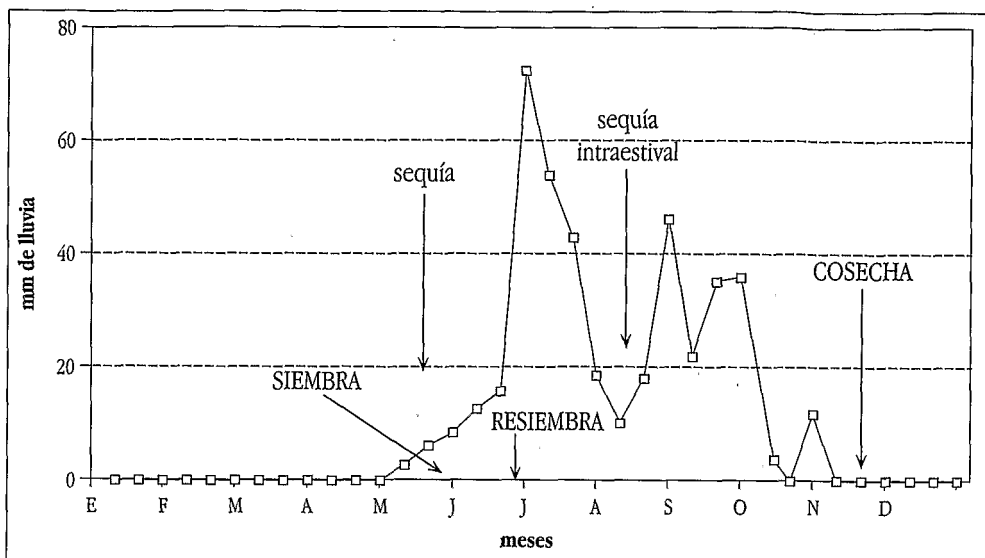


Figura 1 - Pluviometría durante 1993 (cada punto indica el cúmulo de 10 días)

Tratamiento	Ref.	Plantas/ m ²	Tallos/ m ²	Amac.	Días (50 % flor)	Altura (m)	Materia seca		
							Materia seca	Rend. estimado	Rend. real
Roturación profunda + asoc.	T2	191	353	2,0	61	0,39	2,1	1,6	1,6
Roturación normal + monoc.	T3	245	429	1,8	58	0,53	3,5	2,7	2,0
Roturación normal + aso. + M.O.	T4	125	334	3,0	60	0,50	2,8	2,6	2,6
Roturación doble + asoc.	T5	132	275	2,3	58	0,57	2,9	2,5	2,2
Roturación normal + asoc.	T6	107	309	3,1	55	0,68	3,7	3,5	3,1
Testigo suelo	T7	152	305	2,1	57	0,45	2,3	2,2	2,5

Cuadro 4 - Resultados de la cebada obtenidos en las áreas de estudio en 1993

Tratamiento	Ref.	Nº plantas/ m ²	Nº vainas/ m ²	Materia seca (t/ha)	Rend. grano (t/ha)
Roturación profunda + asoc.	T2	31	83	0,2	0,15
Roturación normal + monoc.	T3	*	*	*	*
Roturación normal + aso. + M.O.	T4	30	187	0,5	0,39
Roturación doble + asoc.	T5	36	382	0,8	0,67
Roturación normal + asoc.	T6	42	399	1,1	0,88
Testigo suelo	T7	6	132	0,3	0,23

Cuadro 5 - Resultados de la veza obtenidos en las áreas de estudio en 1993

El cuadro 6 presenta los cuadrados medios y la significancia estadística a nivel de los tratamientos y los bloques, que permiten apreciar diferencias significativas entre las variables días hasta el 50 % de floración, altura de planta, rendimiento de grano y biomasa aérea. La comparación de medias según Tukey ($\alpha = 0,05$) reúne las diferencias estadísticas para la variable rendimiento de grano en dos grupos estadísticos: A incluye las terrazas T3, T4, T5, T6 y T7, y B solamente la T2.

VARIABLES	Cuadrado medio	r ²	Coef. de variación	Nivel significativo tratamiento	Nivel significativo bloques	Media experimental
Cebada						
Días al 50% flor	139,24	0,84	4,98	0,007 **	0,001 **	83,50
Altura de planta (cm)	238,13	0,81	12,74	0,008 **	0,014 *	49,03
Peso paja (t/ha)	0,77	0,64	18,97	0,070 ns	0,170 ns	2,86
Rendimiento grano(t/ha)	0,84	0,70	20,19	0,025 *	0,270 ns	2,46
Biomasa aérea (t/ha)	2,77	0,67	19,05	0,050 *	0,200 ns	5,13
Peso 100 granos (g)	0,13	0,76	4,60	0,010 **	0,160 ns	3,62
Cebada + veza						
Biomasa aérea (t/ha)	6,15	0,79	17,54	0,005 **	0,110 ns	5,97

*: significativo, **: altamente significativo, ns: no significativo

Cuadro 6 - Cuadrados medios y significancia estadística para el conjunto de variables evaluadas

La relación existente entre los rendimientos reales y los estimados para los tratamientos es regular ($r^2 = 0,70$), mientras que entre los bloques es buena ($r^2 = 0,78$). No hay una tendencia clara de la producción de grano en función de la profundidad del suelo, ya que los valores más altos se presentan en cualquier bloque, aunque se registró una mayor frecuencia en las zonas bajas.

La variabilidad que se presenta al interior de cada terraza es la siguiente: T2 = 20 %, T3 = 29 %, T4 = 41 %, T5 = 20 %, T6 = 17 % y T7 = 20 %. T4 es la más heterogénea, lo que podría explicarse por la variación de la composición del estiércol así como por la dificultad de repartirlo de manera homogénea en la superficie de la terraza, debido a la estructura en bloques del estiércol. En cuanto a las variaciones en las demás terrazas, no se las puede atribuir en este caso a la variabilidad genética del cultivo, ya que este es seleccionado, sino a la variabilidad de las características de cada terraza, tales como pendientes, granulometría, compactación...

Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros experimentos realizados por Márquez *et al.* (1992) en tepetates roturados t3 del estado de Tlaxcala, donde se obtuvieron coeficientes de variación del orden del 24 al 42 % en rendimientos de grano de trigo y haba.

Los rendimientos obtenidos a nivel general son buenos, pues la producción está por encima de la media nacional que es de 2 t/ha, pero es inferior a los datos de referencia de esta variedad (3,5 t/ha). Sin embargo, este último valor corresponde a ensayos en pequeñas parcelas experimentales. Pese a una producción excelente en la T6 y una bastante deficiente en la T2, no se pueden establecer claramente los efectos de los diferentes tratamientos en las terrazas.

1994

La precipitación en 1994 fue de 692,4 mm con lluvias constantes, en algunas ocasiones muy intensas; principalmente durante los meses de julio y agosto (figura 2). Durante la temporada agrícola, cayeron 630 mm, lo que corresponde a un año normal para esta zona.

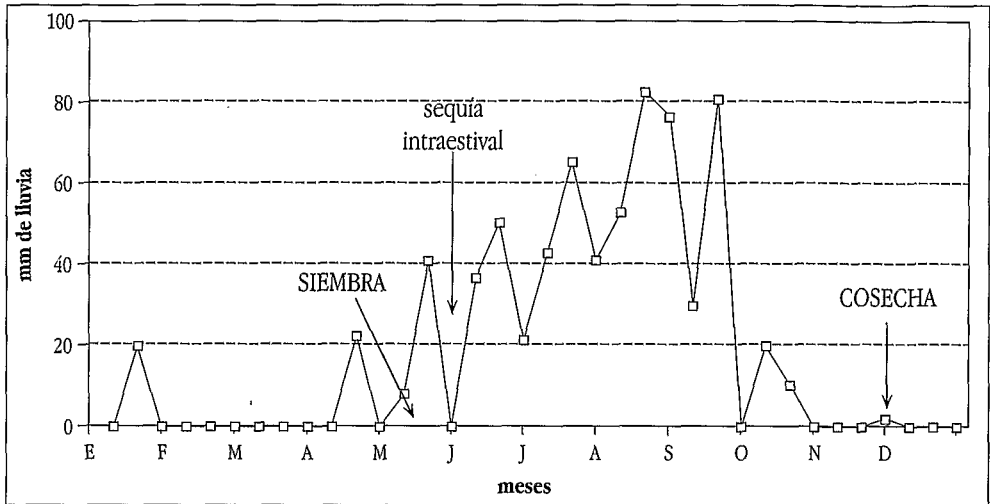


Figura 2 - Pluviometría durante 1994 (cada punto indica el cúmulo de 10 días)

La germinación de las plantas, que emergieron entre 10 a 15 días después de la siembra, fue relativamente homogénea. En cuanto al desarrollo de los cultivos, pese a que no se tomaron datos a la floración durante ese año, es notable que las plantas en T4 presentaron un desarrollo menor que en las demás terrazas (cuadro 7). En el caso de la T7, se pudo observar que en varias ocasiones, hubo áreas que fueron inundadas lo que provocó el pudrimiento de las plantas, en particular del frijol. Es importante señalar que una limpieza tardía de este cultivo provocó su enterramiento debajo de las adventicias. A

Ref.	Plantas			Altura			Días al 50 % de flor			Materia seca (Paja)		
	Maíz	Frijol	Haba	Maíz	Frijol	Haba	Maíz	Frijol	Haba	Maíz	Frijol	Haba
T2	2,3	1,2	3,4	1,8	-	1,32	-	-	-	3,10	0,13	1,93
T3	8,2	*	*	2,2	*	*	-	-	-	7,51	*	*
T4	2,9	1,5	2,9	1,3	-	1,36	-	-	-	1,18	0,08	1,21
T5	2,9	1,8	3,4	1,9	-	1,57	-	-	-	3,34	0,17	1,82
T6	2,9	1,2	4,2	1,9	-	1,49	-	-	-	3,61	0,12	1,98
T7	2,6	1,2	2,7	1,8	-	1,12	-	-	-	2,35	0,05	1,05

*: No existen por ser monocultivo. -: No se tomó este dato.

Cuadro 7 - Resultados obtenidos en las áreas de estudio en 1994

pesar del esfuerzo desplegado, las plantas fueron muy dañadas, lo que hace difícil formular conclusiones con respecto a este cultivo.

A nivel de las pequeñas parcelas, el comportamiento del haba es homogéneo, el de maíz regular y el de frijol sumamente heterogéneo debido al daño causado durante el manejo. La variabilidad al interior de cada terraza en relación a la producción total de grano es de: T2 = 16 %, T3 = 30 %, T4 = 52 %, T5 = 24 %, T6 = 26 % y T7 = 44 %. Como se puede observar, las más heterogéneas son T4 y T7, lo que se debe, en la primera, a una fertilización deficiente, y en la segunda, al exceso de humedad que provocó encharcamientos en algunas partes de la terraza y consecuentemente el pudrimiento de algunas plantas.

Los rendimientos de grano obtenidos en las pequeñas parcelas tienden, en la mayoría de los casos, a sobrestimar la producción en maíz y a subestimarla en frijol, mientras que en haba se aproximan más a la realidad (cuadro 8). La relación existente entre los valores estimados y los reales (r^2) es de 0,70 en maíz, 0,82 en frijol, 0,73 en haba y 0,80 para el rendimiento total.

Tratamiento	Réf.	Maíz		Frijol		Haba		Total	
		Real	Estimado	Real	Estimado	Real	Estimado	Real	Estimado
t/ha									
Roturación + asso. + prof.	T2	0,86	1,06	0,13	0,13	1,21	1,28	2,20	2,47
Roturación + mono. + prof.	T3	1,88	1,74	*	*	*	*	1,88	1,74
Roturación + asso. + M.O.	T4	0,52	0,57	0,08	0,10	1,01	0,87	1,61	1,55
Roturación doble + asoci.	T5	0,81	1,29	0,17	0,19	1,19	1,32	2,17	2,80
Roturación + asoci.	T6	0,94	1,46	0,12	0,08	1,09	1,37	2,15	2,90
Testigo	T7	0,93	1,19	0,05	0,03	0,97	0,66	1,95	1,88
Proporción		1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3/3	3/3

*: No existen por ser monocultivo

Cuadro 8 - Rendimiento de grano obtenido en 1994

En términos de rendimientos reales, en las asociaciones se obtiene una mayor producción en el cultivo de haba con alrededor de 1 t/ha, pero al comparar los tratamientos el comportamiento es similar. En maíz, salvo T4 que registra apenas media tonelada, también se tiene un comportamiento similar con rendimientos inferiores a 1 t/ha. Por último, el cultivo de frijol tuvo un rendimiento muy bajo con apenas unos cuantos kilos. Al compararse la producción total de grano por terraza, con excepción de T4 que registra media tonelada menos, las demás terrazas tienen un comportamiento similar. A nivel estadístico, no se encontraron diferencias significativas.

El rendimiento del cultivo de maíz solo (T3) se acerca a la media nacional (1,95 t/ha) —SARH, 1992— mientras que en asociación es un tanto menor a 1 t/ha. Sin embargo, en términos relativos, la producción es mayor en asociación ya que con una tercera parte del campo, se obtiene la mitad de la producción en monocultivo.

Se pueden hacer los mismos comentarios en el caso del haba: en 1/3 del terreno se logra obtener 1 t/ha, lo que está muy cerca de la media nacional que es de 1,33 t/ha.

En cuanto al frijol, su producción estuvo muy por debajo de la media nacional (0,9 t/ha) —SARH, 1992— con un rendimiento máximo de 0,17 t/ha. Eso se debe principalmente, como ya se señaló, a los daños por la limpieza tardía del cultivo.

1995

En 1995, la precipitación fue de 735 mm, con lluvias muy irregulares y periodos críticos de sequía durante la siembra y el crecimiento vegetativo (figura 3). Durante los meses de enero, marzo, abril, noviembre y diciembre, cayeron 190 mm fuera de la temporada agrícola. Por lo tanto, durante el ciclo agrícola se contó con menos de 545 mm, lo que corresponde a un año seco.

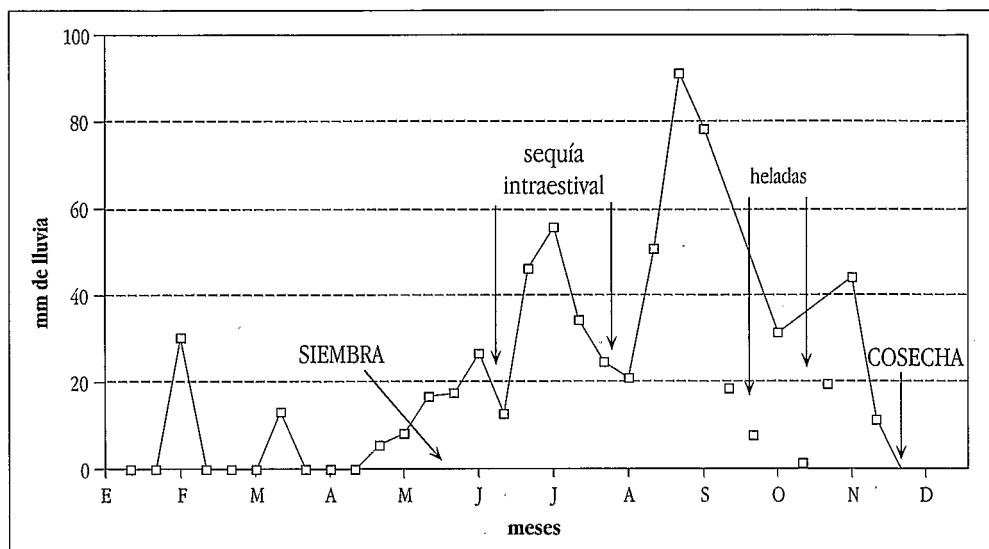


Figura 3 - Pluviometría durante 1995 (cada punto indica el cúmulo de 10 días)

Durante el mes de julio que normalmente es el más lluvioso junto con agosto, apenas se registraron 85 mm con 17 días de lluvia, de los cuales solamente 4 superaron los 10 a 15 mm. En septiembre, hubo otro período seco durante el cual solamente cayeron 13 mm en 7 días de lluvia.

También se presentaron 2 heladas a mediados de octubre, al momento en que el maíz se encontraba en su periodo de llenado de grano. Ello afectó la calidad del grano así como su peso, y por ende, los rendimientos.

Los resultados en 1995 muestran un desarrollo más rápido de los cultivos en T7, donde la emergencia de las plantas tuvo lugar 10 días después de la siembra, mientras que en las terrazas de tepetate, la emergencia ocurrió a los 25 días y de manera muy irregular. Este problema fue mayor en T4, donde las plantas tardaron 5 días más en emerger. En T7, el cultivo de maíz alcanzó el 50 % de floración masculina 74 días después de la siembra (cuadro 9), casi a la par de la floración femenina que llegó al 50 % solamente una semana más tarde. En las terrazas de tepetate, el 50 % de floración masculina ocurrió entre los 88 y 96 días, mientras que la floración femenina apenas se iniciaba en ese momento. La falta de coincidencia entre la floración masculina y femenina tuvo un impacto muy fuerte en términos de producción de granos. En haba, la floración se presentó casi a la par con la floración masculina en maíz.

Tratamiento	Ref.	Maíz	Haba	Maíz	Haba	Maíz		Haba	Maíz	Haba
		Plantas/m ²	Plantas/m ²	Altura (m)	Altura (m)	Días al 50 % masc.	Días al 50 % femen.	floración	Paja (t/ha)	Paja (t/ha)
Rotur. + asoc. + prof.	T2	2,7	1,4	1,86	1,16	90	105	92	3,1	1,1
Rotur. + mono. + prof.	T3	4,0	*	1,83	*	94	110	*	5,0	*
Rotur. + asoc. + M.O.	T4	3,3	1,4	1,76	1,23	96	111	93	2,7	1,2
Rotur. doble + asoc.	T5	4,2	1,4	1,96	1,30	89	105	92	3,4	1,3
Rotur. + asoc.	T6	3,7	1,4	2,06	1,22	87	103	91	2,6	1,4
Rotur. + asoc. sin paja	T6b	4,1	1,3	2,03	1,35	87	102	90	2,7	1,2
Testigo	T7	3,9	1,3	1,86	1,00	74	81	95	3,1	0,5

Cuadro 9 - Resultados obtenidos en las áreas de estudio en 1995

La relación existente entre los rendimientos estimados y los medidos es excelente ya que para el maíz se obtiene un r^2 de 0,88 y para el haba de 0,97. La variabilidad que se presenta al interior de cada terraza es la siguiente: T2 = 19 %, T3 = 27 %, T4 = 23 %, T5 = 26 %, T6 = 21 %, T6b = 15 % y T7 = 48 %. El importante valor en el caso de la T7 se debe a que las zonas A y B tuvieron rendimientos bajos, mientras la zona M presentó un rendimiento elevado. En cuanto a la variabilidad dentro de las demás terrazas, se sitúa en el mismo rango que en los años anteriores.

La comparación de medias según Tukey ($\alpha = 0,05$) reúne las diferencias estadísticas para la variable rendimiento de grano en 3 grupos estadísticos: A incluye la terraza T7 como mejor tratamiento, B incluye T2, T5, T6 y T6b, y por último C incluye T4 como el tratamiento menos productivo. En el cuadro 10 se observa el nivel de significancia para las principales variables.

Variables	Cuadrado medio	r^2	Coef. de variación	Nivel significativo tratamiento	Nivel significativo bloques	Media experimental
Maíz						
Nº plantas	0,88	0,68	14,6	0,05 *	0,13 ns	3,64
Altura de planta (cm)	0,33	0,68	5,33	0,04 ns	0,24 ns	1,93
Días al 50 % flor	126,15	0,90	3,48	0,00 **	0,02 **	87,05
Rendimiento grano (t/ha)	0,92	0,90	22,19	0,00 **	0,03 **	1,19
Peso paja (t/ha)	0,79	0,31	37,89	0,94 ns	0,24 ns	2,96
Haba						
Nº plantas	4,01	0,85	13,27	0,00 **	0,02 **	5,21
Altura de planta (cm)	0,64	0,93	4,58	0,00 **	0,00 **	1,24
Días al 50 % flor	13,26	0,65	2,41	0,14 ns	0,05 *	92,17
Rendimiento grano (t/ha)	0,04	0,89	13,3	0,00 **	0,32 ns	0,46
Peso paja (t/ha)	0,24	0,82	16,92	0,00 **	0,04 *	1,20
Maíz + haba						
Rendimiento grano (t/ha)	0,7	0,85	17,69	0,00 **	0,02 **	1,60

Cuadro 10 - Cuadrados medios y significancia estadística para el conjunto de variables evaluadas

Los rendimientos de grano en este año contrastan un tanto con los del año anterior, ya que el cultivo de maíz alcanzó un mayor rendimiento que el de haba (cuadro 11). En esta ocasión la terraza de referencia de suelo (T7) tuvo el mayor rendimiento, con el doble de producción que las demás. Al comparar los tratamientos de tepetate en maíz asociado (T2, T4, T5, T6 y T6b), se tienen rendimientos de grano muy similares que fluctúan alrededor de 1 t/ha, salvo en T4 que corresponde al tratamiento con materia orgánica y que rindió aproximadamente 40 % menos que los demás tratamientos de tepetate. En la T3 con monocultivo, el rendimiento de grano apenas superó en un 15 % a las otras parcelas de tepetate, pero representó un 34 % menos que la media nacional (1,95 t/ha) —SARH, 1992—. Esto muestra la ventaja de la asociación con relación al monocultivo.

Tratamiento	Ref.	Maíz		Haba		Total	
		Real	Estimado	Real	Estimado	Real	Estimado
Roturación + asso. + prof.	T2	1,14	0,84	0,58	0,60	1,72	1,44
Roturación + mono. + prof.	T3	1,29	1,40	*	*	1,29	1,40
Roturación + asso. + M.O.	T4	0,61	0,82	0,44	0,48	1,05	1,30
Roturación doble + asoci.	T5	1,06	1,20	0,51	0,50	1,57	1,70
Roturación + asoci.	T6	0,97	0,72	0,44	0,41	1,41	1,13
Roturación + asoci. sin paja	T6 b	1,11	0,94	0,60	0,60	1,71	1,50
Testigo	T7	2,56	2,67	0,26	0,24	2,72	2,91
Proporción		1/2	1/2	1/2	1/2	1	1

*: No existen por ser monocultivo

Cuadro 11 - Resultados obtenidos en 1995

En el cultivo de haba, en términos absolutos, se obtuvo un 60 % menos que la media nacional (1,33 t/ha) —SARH, 1992—. Sin embargo, se trata de una proporción del 50 % de planta, lo que implica que en términos relativos, la producción de haba fue similar a los rendimientos nacionales. En T7, que presentó el menor rendimiento de haba, se detectaron problemas de pudrimiento en la base del tallo, así como un ataque de pulgón y una enfermedad llamada «mancha de chocolate». En las terrazas de tepetate, se produjeron periodos críticos de sequía durante el desarrollo del cultivo de haba, el mismo que presentó consecuentemente síntomas de deshidratación severa.

Los bajos rendimientos en T4 se debieron a un mal manejo. Se puede ver que los rendimientos son, en cultivos asociados, globalmente superiores a los de un monocultivo. Es difícil apreciar el efecto de tal o cual tratamiento, ya que los resultados son bastante similares.

Índice de eficiencia

Los resultados demuestran que con siembras en asociación se puede obtener mayor rendimiento de grano que en monocultivo (cuadro 12). Frecuentemente, la eficiencia supera en un 0,5 al índice correspondiente del monocultivo. En el peor de los casos, se logra obtener el mismo valor que en el monocultivo.

Salvo en el caso de T4 donde se presentaron a menudo problemas de manejo, esta síntesis muestra la gran variabilidad de resultados entre las terrazas de un año a otro. Por

ejemplo, mientras en 1993, T2 registraba el menor rendimiento, en 1994 presentaba el mayor. Se puede considerar entonces que no hay realmente diferencias entre los diferentes tratamientos estudiados.

Ref.	1993			1994				1995		
	Cebada	Veza	C+V	Maíz	Frijol	Haba	M+F+H	Maíz	Haba	M+H
T2	0,80	0,13	0,93	0,46	0,13	0,85	1,44	0,88	0,76	1,64
T3	1,00	*	1,00	1,00	*	*	1,00	1,00	*	1,00
T4	1,30	0,37	1,67	0,28	0,08	0,71	1,07	0,47	0,57	1,05
T5	1,10	0,61	1,71	0,43	0,17	0,84	1,44	0,82	0,67	1,49
T6	1,55	0,80	2,35	0,50	0,12	0,77	1,39	0,75	0,58	1,33
T6b								0,87	0,77	1,64
T7	0,81	0,21	1,02	0,49	0,05	0,68	1,23	1,99	0,34	2,33

* No existen por ser monocultivo

Cuadro 12 - Índice de eficiencia del rendimiento de los cultivos asociados vs. monocultivo

CONCLUSIONES

El tepetate es productivo desde su primer año de incorporación agrícola al cultivarse cebada asociada con veza. En efecto, se obtuvieron rendimientos superiores a la media nacional, aun durante un año seco con 421 mm de lluvias. Sin embargo es recomendable utilizar otra leguminosa menos agresiva que la veza ya que esta compite demasiado con la cebada. Una buena opción es el Medicago polimorfa (carretilla) ya que en otros ensayos realizados paralelamente a esta experiencia, mostró un comportamiento muy satisfactorio.

En el segundo año de cultivo, el rendimiento de maíz es regular y el de haba es excelente. No se pueden considerar los resultados del frijol, ya que los bajos rendimientos tienen su explicación en un manejo inadecuado y no en una respuesta negativa del tepetate cultivado.

En el tercer año, el rendimiento del maíz es excelente y el de haba regular.

Aunque podemos considerar una variación promedio del 20 % entre los valores de rendimiento en grano obtenidos en parcelas de 1 m² de una misma terraza, esta variación puede fluctuar entre el 15 y el 30 % en terrazas de un mismo tipo de suelo (T2, T3, T5 y T6). La variabilidad genética de los cultivos puede explicar en una pequeña parte estas fluctuaciones, pero ellas se deben más que todo a las variaciones de factores como pendiente, granulometría, compactación, etc. dentro de la misma terraza. Estos porcentajes de variación en cada terraza son del mismo orden que aquellos entre las terrazas. Además, las tendencias no siempre siguen el mismo patrón. Por ello, es bastante difícil determinar la influencia de un factor con relación a otro.

Así, retomando las variables de cada terraza y su influencia en los rendimientos, se observa que en lo que se refiere a la profundidad de roturación, no hay diferencias significativas. Pese a que una mayor profundidad de roturación proporciona un mayor reservorio de agua, las alturas y la distribución en el tiempo de las precipitaciones así como la formación rápida de costras en la superficie del suelo que limitan la infiltración, hacen que tal reservorio casi nunca se llene. En la medida de que una roturación a gran profundidad

cuesta un 30 % más que una normal y que no se observan grandes diferencias en la producción agrícola, se recomienda roturar a 40-45 cm.

En cuanto a los cultivos, los sistemas asociados de gramíneas con leguminosas son mucho más productivos que los sembrados en monocultivo.

El papel del estiércol no es muy claro ya que su acción es muy tardía y no alcanza a satisfacer plenamente las necesidades nutrimentales de los cultivos. Por ello, es necesaria la aplicación de fertilizantes minerales por lo menos al inicio del ciclo. Igualmente, las dosis de estiércol aplicadas son insuficientes como para poder suplir los requerimientos nutritivos de las plantas, en especial del maíz que es muy exigente. Sin embargo, aumentar las dosis de estiércol implica no solamente un aumento en los costos de transporte y preparación en el campo, sino la imposibilidad de abastecer a todos los agricultores debido a las cantidades que superan en mucho la producción.

No se observan diferencias en el rendimiento de un año a otro en el caso de la comparación entre incorporación o no de rastrojos al suelo. Ello se debe probablemente al hecho de que los cambios en el suelo obedecen a lentos procesos.

Asimismo, es difícil evidenciar el papel de la preparación de la terraza (pendiente, tamaño de los agregados) en los rendimientos.

En realidad, los factores climáticos tales como la altura de precipitación, y sobre todo, la distribución de las lluvias a lo largo del periodo de cultivo, así como las heladas (aunque de manera secundaria en relación con la pluviometría) son finalmente los factores que más influyen en el crecimiento de las plantas, en mucho mayor medida que aquellos relacionados con la preparación del tepetate recién roturado y de las terrazas. El caso de la terraza con suelo de referencia (T7) es ejemplar desde este punto de vista: presenta uno de los peores resultados en 1993 y el mejor en 1995. Obviamente, estas observaciones en cuanto al clima son válidas en la medida en que se respeten ciertos criterios en el manejo del cultivo, en especial una dosis de fertilización adecuada y bien distribuida en el tiempo.

Estos trabajos muestran que no es necesario roturar a una profundidad mayor a 40 cm, pero que sí es importante respetar dicho valor. El tepetate bien trabajado es productivo desde el primer año siguiendo las siguientes recomendaciones: 1) sembrar durante el primer año la asociación cebada + Medicago; 2) durante los dos o tres años siguientes, la asociación maíz + haba y eventualmente frijol; 3) aplicar dosis de fertilización de 100-80-00, de ser posible en tres fracciones: al momento de la siembra, al primer laboreo y al 50 % de floración; 4) incorporar los rastrojos de la cosechas para limitar el encostramiento (proceso que ocurre rápidamente con estos tepetates) que disminuye la infiltración y aumenta el escurrimiento y la erosión; 5) en caso de utilizarse estiércol, aplicar, al momento de su incorporación al suelo, una dosis complementaria de fertilizantes minerales.

Referencias bibliográficas

- MÁRQUEZ R., A.; ZEBROWSKI, C.; NAVARRO, H., 1992: Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 465-473.
- MÁRQUEZ *et al.*, 1995: Rehabilitación agrícola de un tepetate café (t3). Caso II: Resultados de ensayos agronómicos en 1993 y 1994, en *XXVI Congreso de la Ciencia del Suelo*.

- NAVARRO, H.; PRAT, C., 1996: Habilitación agrícola de los tepetates de los valles de México y de Tlaxcala, en *El campo mexicano: una modernización a marchas forzadas*, P. Bovin (editor), CEMCA-ORSTOM, México, p 253-291.
- NAVARRO, H.; ZEBROWSKI, C., 1992: Análisis agronómico comparativo en tepetates, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 451-459.
- PENA, D.; ZEBROWSKI, C., 1992: *Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (tepetates) de las cuencas de México y Tlaxcala (México). Informe del mapa morfoedológico de la vertiente occidental de la Sierra Nevada*, anexo al informe final, Contrato CCE-ORSTOM N° TS2-0212, 101 p.
- SARH, 1992: *Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*.
- ZEBROWSKI, C.; PRAT, C.; ETCHEVERS, J.; ARIAS, H.; MIRANDA, M.E., 1992: *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, 572 p.