

Estudio de la productividad del maíz en la provincia de Santiago¹

Manuel J. Gandarillas I.², Edmundo Acevedo H.³ y Ramón García L.²

INTRODUCCION

La problemática con que el investigador en ciencias agronómicas se enfrenta continuamente, es la complejidad de los factores que determinan el rendimiento de una especie cultivada. Se ha tratado de aislar los diferentes fenómenos y estudiarlos por separado, con el fin de encontrar los mecanismos que los rigen y conocer su importancia en la producción. El método enunciado permite conocer los fenómenos en forma aislada, pero a su vez plantea la dificultad de reunir estos diferentes aspectos y de este modo aplicar los resultados de la investigación.

El rendimiento de un cultivo es función de los factores de productividad: suelo, planta, clima y manejo. Cada uno de los factores citados es compuesto y puede subdividirse en varios. Así, los suelos, por una parte, tienen diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas que provocan diferentes reacciones en la planta. El material vegetal reacciona a condiciones de clima, manejo y suelo, de manera

diferente, dependiendo de sus características genéticas. En consecuencia, el número de factores conducentes a un rendimiento determinado es inmenso y las relaciones entre ellos, de una magnitud notoriamente superior.

Es, por lo tanto, de vital importancia integrar los factores que intervienen en la producción y asignarle a cada cual su valor relativo, de manera de solucionar en orden causal las limitantes que el agricultor encuentra en la producción de los cultivos.

REVISION DE LITERATURA

Entre los factores de productividad de mayor importancia, el número de plantas por unidad de superficie es uno de los que influyen en mayor proporción la producción del maíz. Varios investigadores (8-12-16) han encontrado que el número de plantas por hectárea es una función directa del rendimiento. Dungan *et al.* (3) encontraron que la población óptima en diferentes partes de Estados Unidos varía entre 7.500 y 50.000 plantas por hectárea. Las densidades óptimas altas correspondían a suelos con fertilización alta en los Estados del norte. En Chile, San Cristóbal (14), en maíz, detectó una interacción positiva entre las dosis de nitrógeno y las densidades de plantas por hectárea. La población óptima fluctuaba entre 60.000 y 75.000 plantas por hectárea, correspondiendo a ello una dosis de nitrógeno variable entre 100 y 200 Kg/ha. Una interacción semejante fue encontrada por Norero en Chile (9). El efecto del nitrógeno era mayor a medida que la población de plantas aumentaba.

¹Los autores dejan especial constancia de la inestimable ayuda recibida en el planeamiento e interpretación del presente trabajo, de parte del Ing. Agr. Elías Letelier A.

Además agradecen la colaboración de los Ings. Agrs. Sres. Maximiliano Baeza, Marino Zaffanella y Raúl Barnier y a los Sres. Hernán Hernández V. y Jorge García Huidobro.

Recepción manuscrito: 11 de octubre de 1967.

²Ingenieros Agrónomos, Proyecto Suelos, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Proyecto Estudio y Reconocimiento de los Suelos Chilenos. Gobierno de Chile-Naciones Unidas.

³Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Profesor Auxiliar Cátedra de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.

Shalhevet y Zwerman (15) en un estudio efectuado en invernadero, en maíz, encontró que el nitrógeno podría compensar los efectos del mal drenaje. Así, al fertilizar con este elemento en condiciones de drenaje interno libre, restringido y con nivel freático fluctuante, no encontró diferencias en peso de materia seca en las plantas. Sin fertilización nitrogenada, el drenaje libre resultó el tratamiento con rendimientos superiores.

Zaffanella y Gemesio (19), trabajando en suelos de pradera en Argentina, determinan una dependencia entre el tenor de materia orgánica del suelo de los 40 cm. superficiales y los rendimientos del maíz. Sugieren, además, el uso de barbechos tempranos para elevar la cantidad de nitratos del suelo.

La evapotranspiración del maíz, según Fritschen y Shaw (5), es baja en los primeros estados de desarrollo, para alcanzar un máximo a los 40 días y mantenerse constante hasta los 90 días aproximadamente. Fritsch y Raczynski¹ determinaron el uso consumo del maíz para la zona de Santiago, encontrando que éste era de 5 mm. diarios a los 50 días de la siembra. El uso consumo total obtenido fue de 5.304 m³/ha.

Zaffanella *et al.* (20) estudiaron cinco factores —espesor del suelo con materia orgánica, años precedentes de agricultura, época de la primera labor, número de plantas por hectárea e índice de uniformidad de la plantación— en la región pampeana argentina, en relación a los rendimientos del maíz. Los resultados indican una dependencia entre los factores estudiados y los rendimientos del cultivo.

MATERIAL Y METODO

Durante la temporada 1966-67 se realizó una investigación en 38 lugares representativos de la provincia de Santiago, elegidos de acuerdo a la importancia del cultivo y a la gama de suelos de riego existentes. En cada sitio se ubicaron 2 parcelas en la siembra del agricultor; una de ellas contenía la dosis de fertilizante empleada por él, y por lo tanto variable de lugar en lugar, y en la segunda se completó un total de 217 Kg. de N/ha. y 141 Kg. de P₂O₅/ha.

En estas parcelas se efectuó un grupo de observaciones que comprendieron:

a) Factores permanentes, como profundidad del suelo, drenaje, % de arcilla más limo determinado por el método del hidrómetro

(1), densidad aparente del suelo², capacidad de uso (11), conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo analizada mediante las normas del U.S. Salinity Laboratory (17), reacción del suelo en relación suelo-agua 1: 2.5 (7), materia orgánica según el método de Walkley y Black (7), nitrógeno nítrico y potasio aprovechable por el método de Peach-English (10) y fósforo aprovechable por el método de Bray y Kurtz N^o 1. Las muestras analizadas fueron obtenidas de los primeros 18 cm. del suelo.

b) Factores controlables, como densidad de plantas por hectárea, fertilización nitrogenada y fosfatada, tiempo transcurrido entre la primera labor y la siembra, número de labores, fecha de siembra, distancia entre hileras, ataque de gusano (*Heliotis almigera*) a la mazorca, número de controles de maleza y déficit hídrico.

Si bien la conductividad eléctrica es un factor hasta cierto punto controlable —dependiendo de la calidad del agua de riego— en el presente trabajo se tomó como un factor permanente debido al alto contenido de sales que traen en solución las aguas del río Maipo, lo que impide efectuar un adecuado control de este factor.

La profundidad del suelo fue medida en base a la presencia de un nivel freático o una estrata de grava o piedra que ocupara un porcentaje mayor al 80% del volumen del suelo. La estimación del drenaje se basó en el moteado del perfil y en el nivel freático del suelo.

Mediante un muestreo del suelo, dos o tres días antes de cada riego, se controló la humedad disponible en ese momento. El déficit hídrico, factor considerado en el presente estudio, se refiere al número de días que el suelo estuvo en o bajo marchitez permanente, entre la emergencia y el estado de bandera floral.

El clima correspondiente a la provincia de Santiago, según los márgenes de Köepen (2), es templado cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada.

Los suelos en estudio son en su mayoría aluviales, estratificados, de profundidad variable y descansan en un substrato de gravas o piedras (13). Sin embargo, hay sectores de depósitos finos, que probablemente corresponden a un origen lacustrino.

El 67% de los ensayos fueron sembrados en suelos aluviales, el 28% en suelos lacustrinos y el resto en otros suelos.

La experiencia se efectuó bajo condiciones de riego.

¹Informe Técnico 1965-66. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inédito.

²Russi, E., Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. Comunicación personal.

Con el objeto de clarificar los resultados presentados más adelante, en el Cuadro 1 aparecen los factores considerados más importantes en la obtención de la cosecha de maíz y que fueron tomados en cuenta en este trabajo.

Los datos fueron procesados mediante el computador IBM-360 perteneciente a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, con el objeto de obtener correlaciones totales entre los rendimientos y las variables en estudio, correlaciones entre las variables y correlaciones parciales. Mediante este método se determinó el grado de dependencia e importancia de los factores considerados en el rendimiento del maíz.

Se propusieron diez alternativas de regresión múltiple, a fin de determinar los coeficientes de regresión entre el total o parte de los factores estudiados y los rendimientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos se separarán en tres capítulos principales a manera de simplificar la comprensión del trabajo:

1. Resultados físicos experimentales.
2. Factores que afectan la productividad del maíz en parcelas abonadas por el agricultor.
3. Factores que afectan la productividad del maíz con una fertilización alta constante.

1. RESULTADOS FÍSICOS EXPERIMENTALES

Los Cuadros 2 y 3 presentan los rendimientos y valores de las mediciones más importantes efectuadas en las parcelas del agricultor y con fertilización alta constante.

Para facilitar la comprensión visual de los cuadros anteriores, cada uno de los factores considerados ha sido dividido en 3 niveles, que se indican con diversos colores. El límite de estos niveles es arbitrario, pero ellos guardan una relación general con los rendimientos obtenidos. Así, un color rojo indica una limitante seria; el azul, una condición favorable y el amarillo, una condición intermedia.

De la comparación de los Cuadros 2 y 3 se desprende que el número de casos en el cual los rendimientos son altos, eran mayores en las parcelas con fertilización suplementaria; a su vez, éstos tienen proporcionalmente menor número de casos con rendimientos bajos. Existe, por lo tanto, un efecto positivo de la fertilización.

Si bien el presente trabajo considera 23 factores como posibles causantes del rendimiento (Cuadro 1), en los Cuadros 2 y 3 aparecen solamente los 10 factores que fueron los de mayor incidencia.

Los rendimientos considerados altos —marcados con azul en los cuadros anteriores— pre-

Cuadro 1 — Factores no controlables y manejables en el cultivo del maíz estudiado en 38 sitios de la provincia de Santiago.

FACTORES	DENOMINACION
Rendimiento	Y ₁
Densidad de plantas × hectárea	X ₁
Profundidad del suelo	X ₂
Drenaje del suelo	X ₃
Fertilización nitrogenada	X ₄
Fertilización fosfatada	X ₅
Nitrógeno nítrico del suelo	X ₆
Fósforo asimilable del suelo	X ₇
Potasio asimilable del suelo	X ₈
Porcentaje de materia orgánica del suelo	X ₉
Porcentaje de arcilla + limo del suelo	X ₁₀
Conductividad eléctrica del extracto saturado	X ₁₁
Reacción del suelo (pH)	X ₁₂
Densidad aparente del suelo	X ₁₃
Capacidad de uso	X ₁₄
Tiempo entre primera labor y siembra	X ₁₅
Número de labores	X ₁₆
Fecha de siembra	X ₁₇
Distancia entre hileras	X ₁₈
Cantidad de pesticida al suelo	X ₁₉
Ataque de gusano a la mazorca	X ₂₀
Nº de control de malezas	X ₂₁
Control de humedad del suelo	X ₂₂

sentan gran cantidad de factores no limitantes; sin embargo, los rendimientos bajos, coloreados de rojo, presentaron siempre factores limitantes.

El déficit hídrico y la conductividad eléctrica, al parecer, fueron factores de bastante importancia, dado que no aparecen rendimientos altos si estos factores eran limitantes.

2. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ EN LAS PARCELAS FERTILIZADAS POR EL AGRICULTOR

En el Cuadro 4 se presentan los valores correspondientes a las correlaciones totales entre las parcelas fertilizadas por el agricultor y los rendimientos de maíz.

De los diez factores que resultaron significativos, siete de ellos son controlables; esto significa que pueden ser mejorados con prácticas culturales adecuadas. En orden de importancia los factores controlables de mayor peso en los rendimientos, según los resultados de la correlación total, fueron: densidad de plantas por hectárea, ataque de gusano (*Heliothis*) a la mazorca, fertilización nitrogenada, tiempo entre rotura y siembra, déficit hídrico, fecha de siembra y fertilización fosfatada.

Cuadro 2 — Rendimiento y los factores más importantes que lo afectan en las parcelas fertilizadas por el agricultor.

Color rojo indica una limitante seria; azul, una condición favorable; amarillo, una condición intermedia.

RENDIMIENTO QO/HA.	DENSIDAD PLANTAS/HA.	DRENAJE *	CONDUCTI- VIDAD MMHOS/CM ²	NITROGENO AGREGADO KG/HA.	DÍAS ROTURA SIEMBRA	PROFUN- DIDAD SUELO **	DEFICIT HIDRICO ****	FECHA SIEMBRA ***	ATAQUE HELIOTHIS %	DISTANCIA ENTRE HILERAS M
133	58.560	2	0,7	119	79	2	0	4	40	1,00
130	39.844	3	0,6	233	137	3	0,9	17	65	1,00
124	62.500	3	0,5	33	30	3	1,85	5	70	1,00
118	48.125	3	1,7	98	190	3	0	26	35	1,00
116	51.250	3	1,5	180	72	3	0	17	25	1,00
112	55.000	3	1,1	96	181	3	0	16	80	1,00
106	42.500	3	1,3	243	77	3	1,5	0	60	1,00
101	37.329	2	1,2	15	24	3	1,25	5	80	1,00
101	36.329	3	0,9	233	129	3	0	9	25	0,80
101	43.751	3	1,6	123	37	1	1,5	2	80	0,80
96	37.110	3	0,7	116	37	1	0	28	60	1,00
96	30.625	3	1,5	243	107	3	0	21	40	1,00
92	36.563	1	1,4	41	35	2	1,7	41	90	1,00
87	51.250	3	1,5	61	124	3	3,3	25	90	1,00
84	59.375	2	1,2	90	33	3	0	24	15	1,00
76	41.148	1	0,2	0	50	2	0	15	85	0,80
75	35.000	2	1,1	79	78	3	2,9	53	90	0,80
71	32.099	3	1,5	195	76	3	2,4	0	90	0,80
70	35.938	2	1,9	0	35	3	2,7	71	70	1,00
65	45.000	3	0,7	179	62	3	5,2	35	95	0,80
62	34.688	3	1,1	131	58	3	7,9	29	90	0,80
59	25.000	3	2,1	98	60	3	6,7	29	70	1,00
55	31.563	3	1,8	13	20	3	6,5	66	80	1,00
54	38.125	2	1,3	96	30	3	8	36	100	0,80
50	37.313	2	3,9	92	48	3	9	5	95	0,80
50	27.273	3	3,9	160	35	1	0	5	80	0,80
48	16.786	3	0,8	82	90	1	10,3	33	90	0,70
47	35.313	3	0,6	113	70	3	0	35	30	0,80
45	44.285	1	1,6	147	146	2	1,6	10	65	0,70
44	34.063	3	0,7	134	53	1	9,5	28	60	0,80
43	45.938	2	1,5	102	62	3	9,7	22	100	0,80
41	40.982	1	2,4	53	63	2	0	29	100	0,80
40	31.563	2	0,7	96	75	3	9,3	25	100	0,80
39	26.500	2	1,9	33	47	3	4,6	8	60	0,80
38	18.730	1	3,4	0	21	1	0	57	95	0,80
27	22.813	1	5,0	0	26	1	0	51	100	0,80
24	30.555	1	3,9	33	28	1	0	36	100	0,80
10	7.083	1	1,5	0	20	1	0	36	100	1,00

*3 Bueno; 2 regular; 1 malo.

**— 0,40 m. = 1; 0,40—0,80 m. = 2; + 0,80 m. = 3.

***Días a partir del 15 de octubre.

****Días entre emergencia y bandera floral en o bajo porcentaje de marchitez permanente (0-30 cm.).

Cuadro 3 — Rendimiento y factores más importantes que lo afectan en parcelas fertilizadas con una dosis considerada adecuada.

Color rojo indica una limitante seria; azul, una condición favorable; amarillo, una condición intermedia.

RENDIMIENTO QQ/HA.	DENSIDAD PLANTAS/HA.	DRENAJE *	CONDUCTI- VIDAD MMHOS/CM ²	NITROGENO AGREGADO KG/HA.	DIAS ROTURA SIEMBRA	PROFUN- DIDAD SUELO **	DEFICIT HIDRICO ****	FECHA SIEMBRA ***	ATAQUE HELIOTHIS %	DISTANCIA ENTRE HILERAS M
142	48.438	3	1,7	217	190	3	0	26	30	1
126	50.500	3	1,1	217	181	3	0	6	80	1
124	52.188	3	1,9	217	72	2	0	17	20	1
118	40.972	2	0,7	217	79	2	0	4	40	1
114	57.500	3	1,2	217	33	2	0	24	15	1
113	41.563	3	1,3	217	77	1	1,5	0	50	1
112	39.062	3	0,7	217	137	3	0,9	17	70	1
110	37.672	2	1,2	217	24	3	0,0	5	80	1
108	43.322	1	0,2	217	50	2	0	15	55	0,8
104	58.571	1	1,6	217	146	2	1,6	10	80	0,7
103	55.448	3	0,5	217	30	3	1,9	5	70	1
103	50.391	3	1,6	217	37	1	1,5	2	80	0,8
100	39.063	3	0,7	217	37	1	0	28	60	1
100	37.813	1	1,4	217	35	2	1,7	41	80	1
98	41.358	3	1,5	217	76	3	2,4	0	90	1
93	27.313	3	1,5	217	107	3	0	21	40	1
92	36.250	2	1,1	217	78	3	2,9	53	85	0,8
88	35.157	2	1,9	217	35	3	2,8	75	90	0,8
86	51.563	3	1,5	217	33	3	3,3	25	90	1
82	27.500	2	1,9	217	47	3	4,6	8	60	0,8
78	43.666	1	0,7	217	62	3	5,3	35	100	0,8
74	44.933	3	2,2	217	63	2	0	29	35	0,8
69	29.063	3	2,1	217	60	3	6,7	29	80	1
67	33.125	3	1,8	217	20	3	6,5	66	80	1
64	37.813	3	1,1	217	58	3	7,0	29	100	0,8
60	34.688	2	1,3	217	30	3	3,0	36	100	0,8
58	26.313	3	0,9	217	129	3	0	9	25	0,8
54	39.179	2	3,9	217	48	3	9,1	5	45	0,8
52	32.188	2	0,8	217	15	3	9,3	25	100	0,8
51	30.625	3	0,7	217	53	1	9,5	28	55	0,8
49	19.375	1	3,4	217	20	1	0	57	75	0,8
47	26.364	3	3,9	217	35	1	0	5	80	0,8
46	35.625	3	0,6	217	70	3	0	35	15	0,8
44	18.214	3	0,8	217	90	1	10,3	33	90	0,8
43	34.063	2	1,5	217	62	3	9,8	22	100	0,8
42	23.438	1	5,0	217	26	1	0	51	100	0,8
20	10.000	1	1,5	217	20	1	0	25	100	1

*3 Bueno; 2 regular; 1 malo.

**— 0,40 m. = 1; 0,40 — 0,80 m. = 2; + 0,80 m. = 3.

***Días a partir del 15 de octubre.

****Días entre emergencia y bandera floral en o bajo porcentaje de marchitez permanente (0-30 cm.).

La densidad de plantas por unidad de superficie fue el factor más importante que afectó los rendimientos. En promedio, las parcelas del agricultor presentaron una densidad de 37.000 plantas por hectárea, valor bajo el óptimo indicado para nuestras condiciones.

Los agricultores que obtuvieron densidades altas de plantas, fertilizaban con dosis mayores de nitrógeno que el promedio. Dadas las necesidades de este elemento fertilizante en el maíz y su interacción con el número de plantas (9), era posible esperar que la fertilización nitrogenada tuviera correlación con los rendimientos.

Otro factor significativo y probablemente relacionado indirectamente con el nitrógeno, es el tiempo transcurrido entre la primera labor y la siembra, ya que la mineralización de la materia orgánica experimenta un aumento en la estación que se efectúa la preparación del suelo, debido al aumento de temperatura y humedad. En investigaciones efectuadas por el Departamento de Edafología de la Universidad Católica de Chile¹, se determinó una curva de nitrificación característica en condiciones de suelo desnudo a través del año. Al no consumirse los nitratos por un cultivo, posiblemente el barbecho o el laboreo anticipado del suelo tiene un efecto positivo en la acumulación de ellos.

Se encontró una relación negativa entre la fecha de siembra y los rendimientos; las siembras tardías tendrían bajos rendimientos. En el Cuadro 3 se observa que la densidad de plantas está correlacionada con la fecha de siembra y otros factores. Es probable que esta sea la razón del hecho señalado.

Los factores no manejables, en orden de importancia, que afectan significativamente los rendimientos son: el drenaje, la conductividad eléctrica y la profundidad del suelo.

El drenaje del suelo correlacionó significativamente con los rendimientos; así, suelos bien drenados tenían rendimientos mayores que suelos con exceso de agua. Por otra parte, este factor tuvo una correlación positiva con la cantidad de nitrógeno agregado, en el caso de parcelas con la fertilización utilizada por el agricultor. Sin embargo, al poner una alta fertilización no hubo esta correlación.

La profundidad del suelo también correlacionó significativamente con los rendimientos, en el caso de las parcelas fertilizadas con las dosis usualmente agregadas por el agricultor, esto es, a mayor profundidad se obtendría un rendimiento más alto. Al comparar estos resultados con los de las parcelas fertilizadas a

Cuadro 4 — Correlaciones entre rendimiento de parcelas fertilizadas por el agricultor y factores controlables y no controlables en 38 ensayos en la provincia de Santiago.

FACTOR	r
Densidad de plantas por hectárea	0,686***
Drenaje	0,502**
Ataque gusano a la mazorca	-0,468**
Conductividad eléctrica del suelo	-0,461**
Fertilización nitrogenada	0,444**
Tiempo entre rotura y siembra	0,419**
Profundidad del suelo	0,378*
Déficit hídrico	-0,370*
Fecha de siembra	-0,369*
Fertilización fosfatada	0,343*
Nivel de significación	
	1‰ 0,519 ***
	1% 0,418 **
	5% 0,325 *

un nivel óptimo, vemos que en las últimas no habría correlación con rendimientos. Se concluiría de este hecho que la fertilización nitrogenada puede "reemplazar", hasta cierto punto, la profundidad del suelo (4), debido a una mayor concentración del elemento en la solución del suelo.

El déficit hídrico del suelo fue una medida que presentó correlación con los rendimientos a un nivel de 5% de significación. Esto parece indicar que en los primeros 60 días de crecimiento, este factor es importante para el maíz. Una posible explicación de este fenómeno podría ser que, en general, los agricultores siembran el maíz con una baja humedad en el suelo, demorando bastante el primer riego (con el objeto de efectuar ciertas labores como escardas o aplicación de herbicida); de esta manera, el porcentaje de germinación es bajo, obteniéndose una población inadecuada de plantas. Esta situación se agravaría al existir una conductividad eléctrica alta debido a que la aprovechabilidad del agua del suelo es menor por la mayor presión osmótica generada.

Es necesario destacar el efecto negativo de la conductividad eléctrica en el cultivo del maíz. Esta planta es considerada semitolerante (17), o sea, sus rendimientos no bajarían con una conductividad menor de 4 mmhos. por centímetro a 25°C. Sería de interés efectuar un estudio sistemático de la salinidad en el maíz, viendo los posibles efectos de ella en la germinación y en la aprovechabilidad del agua.

En el Cuadro 5 se presentan los valores de las correlaciones significativas entre las variables consideradas en el presente trabajo.

¹Departamento de Edafología. Universidad Católica de Chile. Investigación inédita.

Los agricultores de la zona estudiada efectúan ciertas prácticas de manejo características; así cuando aran el suelo temprano efectúan un número mayor de labores que si roturaran cerca del período de siembra del maíz. De esto se desprende la relación encontrada entre el tiempo transcurrido entre la primera aradura y el número de labores a que se somete el suelo. Esto reflejaría una conducta del agricultor.

Por otra parte, el Cuadro 5 sugiere ciertas relaciones entre los factores aludidos que serían interesantes de estudiar, como el ataque de *Heliothis* en función del drenaje o fertilización nitrogenada.

Las relaciones entre variables permitiría explicar la mayoría de los rendimientos encontrados en la presente experiencia. La densidad de plantas, por ejemplo, sería función de la fecha de siembra, de la conductividad eléctrica y de la densidad aparente; por lo tanto, en los suelos que presentaron estos factores desfavorables sería difícil obtener una población de maíz óptima.

Cuadro 5 — Correlaciones obtenidas en 38 ensayos de maíz, entre variables estudiadas, para las parcelas fertilizadas por el agricultor.

VARIABLES RELACIONADAS		r
Densidad aparente	Ataque de <i>Heliothis</i>	0,654***
Drenaje	Fertiliz. Nitrogenada	0,589***
Fertilización nitrogenada	Ataque de <i>Heliothis</i>	-0,513**
Drenaje	Ataque de <i>Heliothis</i>	-0,472**
Densidad de plantas	Profundidad	0,443**
Densidad de plantas	Ataque de <i>Heliothis</i>	-0,436**
Tiempo de rotura a siembra	Nº de labores	0,417*
Densidad de plantas	Fecha de siembra	-0,415*
Densidad de plantas	Conductividad	-0,365*
Profundidad	Conductividad	-0,354*
Densidad de plantas	Densidad aparente	-0,344*
Nivel de significación		
	1%	0,519 ***
	1%	0,418 **
	5%	0,325 *

El Cuadro 6 presenta los valores de correlación parcial significativos, obtenidos al comparar los diferentes factores de la producción y los rendimientos.

Al efectuar este cálculo, la densidad de plantas continuó siendo el factor más importante que afecta los rendimientos ($r = 0,576$ ***), sin embargo, hubo un reordenamiento de la importancia de los factores. La conductividad

eléctrica ($r = -0,517$ **) pasó a ocupar el segundo lugar de importancia, desplazando el drenaje al cuarto lugar ($r = 0,364$ *). Entre ellos se ubicó el déficit hídrico con un coeficiente de correlación parcial de $-0,434$ **.

Cuadro 6 — Valores de las correlaciones parciales obtenidas en 38 ensayos de maíz, entre las variables y los rendimientos, para las parcelas fertilizadas por el agricultor.

VARIABLE	r	
Densidad de plantas	0,576***	
Conductividad eléctrica.	-0,517**	
Déficit hídrico	-0,434**	
Drenaje	0,364*	
Número de labores	0,333*	
Nivel de significación		
	1%	0,519 ***
	1%	0,418 **
	5%	0,325 *

La profundidad de suelos, la fecha de siembra y otros factores bajaron su coeficiente de correlación y no fueron significativos en la correlación parcial.

En el Cuadro 7 se presentan los coeficientes obtenidos en la regresión con los 22 factores estudiados, los rendimientos y las principales alternativas.

La regresión múltiple y_{22} presenta la totalidad de factores que se tomaron en cuenta en el presente trabajo, siendo su coeficiente de correlación de 0,922. En la proposición y_1 , que considera solamente 10 variables, el coeficiente de correlación es de 0,858, indicando que los factores dejados de lado no son relevantes en la regresión múltiple.

Los factores controlables representados por la alternativa y_2 fueron más importantes ($r = 0,857$) que los no manejables ($r = 0,733$) de acuerdo a la regresión múltiple.

Cuadro 7 — Regresiones múltiples más importantes y sus coeficientes de correlación, en las parcelas fertilizadas por el agricultor.

FACTORES CONSIDERADOS*	r
$y_{22} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{22})$	0,922
$y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_{11}, x_{15}, x_{17}, x_{18}, x_{20}, x_{22})$	0,858
$y_2 = f(x_1, x_4, x_5, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{21}, x_{22})$	0,857
$y_3 = f(x_2, x_3, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13})$	0,733

*El significado del factor que interviene en la regresión (xn) se encuentra en el cuadro 1.

3. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ CON UNA FERTILIZACIÓN ALTA CONSTANTE

La dosis de nitrógeno y fósforo aplicada por el agricultor era fluctuante; por este motivo y para determinar las variables influyentes en los rendimientos a un nivel adecuado de estos elementos, se completó sobre la fertilización base puesta en cada sitio a 217 Kg/ha. de N y 141 Kg/ha. de P_2O_5 .

La influencia de los 20 factores estudiados —no se incluye fertilización nitrogenada ni fosfatada por ser constantes— se determinó mediante correlaciones totales con los rendimientos. Los resultados aparecen en el Cuadro 8.

Cuadro 8 — Correlación entre rendimientos de parcelas abonadas a un nivel óptimo y factores controlables y no controlables en 38 ensayos en la provincia de Santiago.

FACTOR	r
Densidad de plantas	0,648***
Distancia entre hileras	0,488**
Déficit hídrico	-0,439**
Tiempo entre rotura y siembra	0,418**
Conductividad eléctrica	-0,333*
Nivel de significación	
1%	0,519 ***
1%	0,418 **
5%	0,325 *

Los factores manejables significativos fueron la densidad de plantas, la distancia entre las hileras, el déficit hídrico y el tiempo transcurrido entre la primera labor y la siembra.

La densidad de plantas nuevamente resultó de mayor correlación con los rendimientos a un nivel de significancia del 1%.

Un factor que no apareció anteriormente y probablemente de importancia, es la distancia entre hileras. A medida que aumentaba esta distancia los rendimientos eran mayores. Yao y Shaw (18) encontraron que la radiación neta era proporcional al incremento de la distancia entre hileras; así la energía disponible para la evapotranspiración y fotosíntesis aumentaba. García (6), al estudiar el espaciamiento del maíz en relación a los rendimientos, encontró una interacción positiva; a igual densidad de plantas por unidad de superficie, distancias entre hileras mayores producían aumentos significativos de los rendimientos.

El único factor no controlable significativo fue la conductividad eléctrica en las parcelas con fertilización alta.

Las correlaciones parciales indicaron que la densidad y la conductividad eléctrica del ex-

tracto saturado del suelo fueron los factores relacionados directamente con el rendimiento: la densidad a un nivel de significancia de 1% ($r = 0,620$ ***), y la conductividad al 5% ($r = 0,350$ *).

En el Cuadro 9 se presentan las regresiones múltiples principales efectuadas para el caso de las parcelas con fertilización alta.

La regresión y_{20} presenta la totalidad de factores tomados en cuenta en el caso de las parcelas con fertilización óptima. El coeficiente de regresión para este caso fue de 0,851. Con sólo 10 factores interviniendo en la regresión, como es el caso y_1 , el coeficiente baja solamente a 0,817, indicando una baja relación de los factores dejados de lado, con los rendimientos.

Los factores controlables están representados por la expresión y_2 , siendo el coeficiente de correlación muy superior al caso y_3 , que presenta los factores no controlables.

Cuadro 9 — Regresiones múltiples más importantes y sus coeficientes de correlación, en las parcelas fertilizadas con dosis altas constantes de N y P.

FACTORES CONSIDERADOS*	r
$y_{20} = f(x_1, x_2, \dots, x_{22})$	0,851
$y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_{11}, x_{15}, x_{17}, x_{18}, x_{20}, x_{22})$	0,817
$y_2 = f(x_1, x_{15}, x_{18}, x_{17}, x_{19}, x_{20}, x_{21}, x_{22})$	0,806
$y_3 = f(x_2, x_3, x_4, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{12})$	0,547

*El significado del factor que interviene en la regresión (x_n) se encuentra en el cuadro 1.

CONCLUSIONES

Es obvio que los factores de producción no manejables que afectan a los cultivos, son difíciles o imposibles de modificar; por ello se plantea la necesidad de encarar en forma inmediata una solución de los factores controlables del cultivo, que son los responsables, en gran parte, del rendimiento del maíz, a fin de llevarlos a un nivel óptimo, lo cual permitiría elevar considerablemente los rendimientos. Las regresiones efectuadas apoyan la hipótesis sugerida, encontrándose un coeficiente de regresión de mayor significancia para los factores manejables.

El número de plantas por unidad de superficie es el factor manejable relacionado en forma más estrecha con los rendimientos. Otros factores controlables que resultaron importantes fueron: déficit hídrico, tiempo transcurrido entre la primera labor y la siembra, fecha de siembra y distancia entre hileras.

Los factores no controlables que afectan los rendimientos fueron: conductividad eléctrica del extracto de saturación, drenaje y profundidad del suelo.

RESUMEN

Los autores presentan una serie de experiencias en "Productividad del maíz", que han permitido determinar los factores incidentes en los rendimientos de este cultivo. Entre los factores considerados, los más importantes resultaron ser: densidad de plantas por hectárea, conductividad eléctrica del suelo, drenaje, distancia entre hileras, déficit de humedad, tiempo transcurrido entre la primera labor y la siembra, fecha de siembra y otros.

SUMMARY

The authors present a series of experiences in "Corn Productivity" which have allowed the determination of the main factors involved in the yield of corn. The main factors are: number of plants per hectare, electric conductivity of the soil, drainage, distance between rows, humidity deficit, lapse of time between first plow and seeding, date of seeding and others.

LITERATURA CITADA

1. BOYOCUS, G. J. Recalibration of the hydrometer method for the mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43 (9): 434-438. 1935.
2. CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN. Geografía Económica de Chile.
3. DUNCAN, G. H., LANG, A. L. and PENDLETON, J. W. Corn plant population in relation to soil productivity. *Advances in Agronomy* 10. 1958. p. 435-473.
4. ENGLESTAD, O. P., SHRADER, W. D. and DUMENIL, L. C. The effect of surface soil thickness on corn yields. I. As determined by a series of field experiments in farmer-operated fields. *Soil Science Society American Proceeding*, 25 (6): 494-497.
5. FRITSCHEN, L. J. and SHAW, R. H. Evaporation of corn as related to pan evaporation. *Agronomy Journal* 53 (3): 149-150. 1961.
6. GARCÍA L., R. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno en el suelo y en la planta de maíz. Tesis Ing. Agr. Santiago. Universidad Católica de Chile. 1967. 33 p. (mimeografiada).
7. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. New Jersey. Prentice Hall Inc. 1958. 498 p.
8. LAIRD, J. R. y LIZÁRRAGA, H. H. Fertilizantes y población óptima de plantas de maíz de temporal en Jalisco. México. Oficina de Estudios Especiales. Folleto Técnico 35. 1959. 63 p.
9. NORERO SCH., A. Estimación de las necesidades de fertilizantes del maíz mediante análisis de tierra y planta. Santiago. Universidad Católica de Chile. Boletín de Divulgación 2. 1967. 13 p.
10. PEACH, M. and ENGLISH, L. Rapid microchemical soil test. *Soil Science* 57: 167-195. 1944.
11. PERALTA P., M. Guía para los reconocimientos de conservación y clasificación de la capacidad de la tierra. Santiago, Chile. Departamento de Conservación y Asistencia Técnica. Boletín Técnico 7. 1963. 69 p.
12. PUENTE, F. F., SÁNCHEZ, N. D., CHÁVEZ, S. R. y LAIRD, J. R. Prácticas de fertilización y poblaciones óptimas de siembras de maíz en las regiones tropicales de Veracruz, México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Folleto Técnico 45. 1963. 53 p.
13. ROBERTS, R. S. y DÍAZ V., C. Los grandes grupos de suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 19 y 20: 8-64. 1959-60.
14. SAN CRISTÓBAL DE R., I. Influencia de la población y los niveles nitrogenados en los rendimientos de maíces híbridos. *Agricultura Técnica (Chile)* 25 (4): 155-162. 1965.
15. SHALHEVET, Y. and ZWEMAN, J. P. Nitrogen response of corn under variable condition of drainage. A preliminary greenhouse study. *Soil Science* 85 (5): 255-260. 1958.
16. STRINGFIELD, G. H. and TRATCHER, L. E. Stand and methods of planting for corn híbridos. *Journal American Society Agronomy* 39: 995-1010. 1947.
17. USA. SALINITY LABORATORY. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Traducción de la 1ª edición inglesa efectuada por Sánchez, D. N. y Ortega, T. F. Departamento de Agricultura, México. 1962. 172 p.
18. YAO, R. and SHAW, R. H. Effects of plant population and planting pattern for corn on water use and yields. *Agronomy Journal* 56: 147-152. 1964.
19. ZAFFANELLA, R. M. J. y GEMESIO, Z. M. Relación entre el rendimiento de maíz y proporción de materia orgánica en suelos de Pergamino. Pergamino, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Informe Técnico 46. 1965. 7 p.
20. ———— *et al.* Principales factores condicionantes del rendimiento de maíces de la región pampeana. Buenos Aires. Instituto de Suelos y Agrotecnia. 1967. (Mimeografiada).