

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS Y PECUARIAS
"MARTIN CARDENAS"



EFEECTO DE METODOS DE LABRANZA SOBRE
LAS CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES
DEL SUELO Y EL CULTIVO DE PAPA
(Solanum tuberosum ssp. andigena)

TESIS DE GRADO PARA
OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO

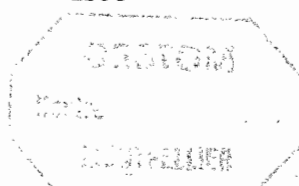
Germán Fernandez Villcarana

ORSTOM



COCHABAMBA - BOLIVIA

1993



28 AGO 1993

H200071017

2 de FDI

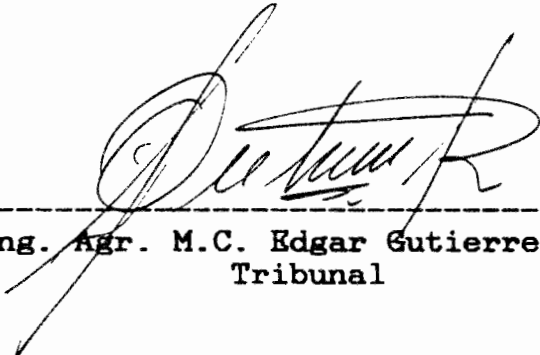
Non Num

Ø68 PEDA PP₁ FER

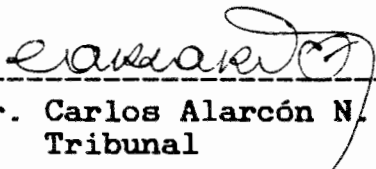
F 39.511

HOJA DE APROBACION

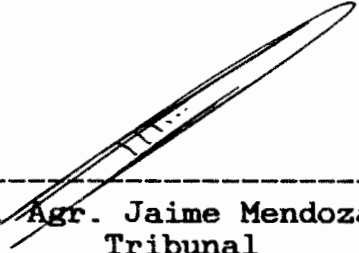
El presente trabajo de tesis fue aprobado por el siguiente tribunal:



Ing. Agr. M.C. Edgar Gutierrez R.
Tribunal



Ing. Agr. Carlos Alarcón N.
Tribunal



Ing. Agr. Jaime Mendoza V.
Tribunal



Ing. Agr. M.Sc. Julio Villarroel T.
Decano Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

Al Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), por la realización del presente trabajo de tesis, en especial al Ing. Agr. Ph.D. Dominique Herve por su colaboración en el asesoramiento técnico.

A la Universidad Mayor de San Simón - Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por la formación profesional.

Mis agradecimientos a todo el personal técnico y personal de apoyo del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) - Estación Experimental de Patacamaya por su constante apoyo en la realización del trabajo de tesis.

A los Ings. Agrs. Edgar Gutierrez R.; Jaime Mendoza V. y Carlos Alarcón N. por su colaboración desinteresada en la revisión, asesoramiento técnico del presente trabajo de tesis.

A mis padres y hermanas por el apoyo, comprensión y colaboración permanentemente brindada.

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO.....	i
LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE CUADROS DEL ANEXO I.....	xi
LISTA DE FOTOGRAFIAS DEL ANEXO II.....	xii
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
1. LABRANZA DEL SUELO.....	3
1.1. Labranza primaria o aradura.....	3
1.2. Elección del sistema de labranza.....	4
1.2.1. Factores climáticos.....	4
1.2.1.1. Precipitación.....	4
1.2.1.2. Viento.....	4
1.2.2. Factores edáficos.....	4
1.2.2.1. Pendiente.....	4
1.2.2.2. Textura.....	5
1.2.2.3. Profundidad.....	5
1.2.2.4. Humedad.....	6
1.2.3. Cultivo a implantar.....	6
1.3. Tipos y aplicación del equipo para las operaciones de labranza mecanizada.....	6
1.3.1. Arado de vertedera.....	6
1.3.2. Arado de discos.....	7
2. EL AGUA EN EL SUELO.....	7
2.1. Movimiento del agua en el suelo.....	8
2.1.1. Factores que afectan el movimiento del agua en el suelo....	8
2.1.2. Proceso de redistribución del agua en el suelo.....	8
2.2. Factores que condicionan la capacidad de retención del agua disponible.....	9
3. ESTRUCTURACION DE LOS AGREGADOS.....	10
3.1. Concepto de agregado.....	10

	Página
3.2. Caracterización del estado estructural del suelo.....	11
3.2.1. La unidad morfológica.....	11
3.2.2. El perfil cultural - Definición.....	11
3.2.3. Perfil edafológico y perfil cultural.....	12
4. CULTIVO DE PAPA.....	13
4.1. Requerimiento de suelo.....	13
4.2. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo sobre el cultivo.....	14
4.2.1. Efecto sobre el enraizamiento.....	14
4.2.2. Efecto sobre el crecimiento de la planta.....	15
III. MATERIALES Y METODOS.....	16
1. Características de la zona.....	16
1.1. Ubicación.....	16
1.2. Ecología.....	16
1.3. Clima.....	16
1.4. Fisiografía.....	17
1.5. Suelo.....	18
1.6. Vegetación.....	19
1.6.1. Pradera nativa.....	19
1.6.2. Especies cultivadas.....	19
2. Materiales.....	20
3. Situación inicial de la parcela.....	20
3.1. Caracterización de los suelos.....	21
3.1.1. Análisis físico y químico.....	21
3.1.2. Estado superficial.....	22
4. Tratamientos.....	23
4.1. Implantación del ensayo.....	24
5. Determinaciones realizadas.....	26
5.1. Contenido de humedad en el suelo.....	26
5.1.1. Antes de la roturación.....	26
5.1.2. En la roturación.....	26

5.1.3. En el suelo roturado.....	26
5.1.4. En el suelo con cultivo.....	27
5.2. Características estructurales del suelo.....	27
5.2.1. Principios generales de descripción.....	27
5.2.1.1. Partición vertical.....	27
5.2.1.2. Partición lateral.....	28
5.2.1.3. Los criterios de descripción.....	29
5.2.2. Desarrollo práctico de la observación.....	30
5.3. Particularidades del cultivo.....	36
5.3.1. Labores culturales.....	36
5.3.1.1. Siembra.....	36
5.3.1.2. Fertilización.....	37
5.3.1.3. Aporque, control de maleza y plagas.....	37
5.3.2. Evaluaciones de las características morfológicas y agronómicas del cultivo.....	37
5.3.2.1. Porcentaje de emergencia.....	38
5.3.2.2. Densidad de tallos.....	38
5.3.2.3. Altura de plantas	38
5.3.2.4. Porcentaje de cobertura.....	38
5.3.2.5. Peso seco de la parte aérea.....	38
5.3.2.6. Cosecha.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	40
1. Implantación del ensayo.....	40
1.1. Humedad en el suelo antes de la roturación.....	40
1.2. Humedad del suelo al momento de la roturación.....	41
2. Período del suelo roturado.....	42
2.1. Dinámica de la humedad en el suelo.....	42
2.2. Características del estado estructural del suelo.....	47
2.2.1. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso.....	47
2.2.2. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso.....	52

2.2.3. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.....	56
2.2.4. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.....	60
2.2.5. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.....	64
2.2.6. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.....	68
2.2.7. Comparación entre los perfiles culturales de los métodos de labranza.....	72
3. Período del suelo implantado con cultivo de papa.....	75
3.1. Contenido de humedad en el suelo.....	75
3.2. Estados estructurales del suelo.....	77
3.2.1. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso.....	77
3.2.2. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso.....	79
3.2.3. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.....	82
3.2.4. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.....	84
3.2.5. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.....	86
3.2.6. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.....	88

3.2.7. Relación entre los estados estructurales de los perfiles culturales y consecuencias sobre el desarrollo radicular.....	90
3.3. Evaluaciones de las variables morfológicas y agronómicas del cultivo de papa.....	92
3.3.1. Características morfológicas.....	92
3.3.1.1. Porcentaje de emergencia.....	93
3.3.1.2. Densidad de tallos.....	94
3.3.1.3. Altura de plantas.....	96
3.3.1.4. Porcentaje de cobertura.....	97
3.3.1.5. Peso seco de la parte aérea.....	98
3.3.2. Características agronómicas.....	98
V. CONCLUSIONES.....	101
VI. RESUMEN.....	104
VII. BIBLIOGRAFIA.....	106
VIII. ANEXO.....	109

LISTA DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Características climáticas del período agrícola 1991-1992.....	17
2. Análisis físico y químico del suelo para los dos sectores de la parcela.....	21
3. Estado superficial de los dos sectores de la parcela.....	22
4. Características de los métodos de labranza implantados en el ensayo.....	25
5. Nomenclatura de los horizontes antrópicos.....	28
6. Nomenclatura de la partición lateral.....	29
7. Estados internos de los terrones.....	30
8. Los modos de aglomeración entre los terrones.....	31
9. Definición de los estados tipos o, b y c; e interpretación de sus orígenes.....	32
10. Características del tubérculo-semilla y la siembra de papa; en Cullta, 1991.....	37
11. Humedad en el suelo antes de la roturación.....	40
12. Humedad en el suelo al momento de la roturación.....	41
13. Efecto de la textura y los métodos de labranza sobre el contenido de humedad en el suelo medidos en el período del suelo roturado; en Cullta, 1991.....	46
14. Estados estructurales en los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	49
15. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	51
16. Estados estructurales en los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	54

Cuadros	Página
17. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	56
18. Estados estructurales en los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	58
19. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	60
20. Estados estructurales en los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	62
21. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	63
22. Estados estructurales en los horizontes antrópicos (H1 y H5), del roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	66
23. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	67
24. Estados estructurales en los horizontes antrópicos (H1 y H5), del roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	70
25. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	71
26. Contenido de humedad en el suelo a diferentes profundidades, según distintos implementos y profundidades de labranza, en dos tipos de suelo, medidos a los 100 (1) y 122 (2) días después de la siembra; en Cullta, 1991.....	76
27. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1991.....	78

Cuadros	Página
28. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1991.....	81
29. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1991.....	83
30. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1991.....	85
31. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1991.....	87
32. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1991.....	90
33. Efecto de dos implementos de labranza (arado de vertedera y arado de discos) y dos texturas de suelo (franco arcillo arenoso y franco arenoso) sobre las características morfológicas del cultivo de papa; en Cullta, 1991-1992.....	93
34. Efecto de dos profundidades de roturación (20 y 30 cm) sobre las características morfológicas del cultivo de papa; en Cullta, 1991-1992.....	93
35. Efecto de los métodos de labranza sobre el contenido de humedad del suelo, las características morfológicas y agronómicas del cultivo de papa; en Cullta, 1991-1992.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Redistribución de la humedad después de que cese la infiltración, t_0 , en distintos momentos posteriores t_1 , t_2 y t_3 la humedad se distribuye más uniformemente conforme avanza el tiempo. La distribución se hace cada vez más lenta, cesando casi el movimiento en el tiempo t_3	10
2. Unidades morfológicas en el horizonte antrópico H5-L3.....	11
3. Características climáticas del período agrícola 1991-1992.....	18
4. Croquis de campo.....	24
5. Esquema de una fosa presta a observar.....	33
6. Ubicación de los sitios de estudios de las características morfológicas, agronómicas y perfiles culturales.....	34
7. Cara de observación después de la partición vertical y lateral.....	35
8. Cronología de los muestreos y de las precipitaciones.....	42
9. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	48
10. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	53
11. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	57
12. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	61
13. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	65
14. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.....	69

Figura	Página
15. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.....	77
16. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.....	80
17. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.....	82
18. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.....	84
19. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.....	86
20. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.....	89

ANEXO I

Quadro	Página
1. Cronología de los muestreos, las precipitaciones y otras actividades...	110
2. Humedad en el suelo.....	111
3. Naturaleza del límite inferior.....	111
4. Contenido de fragmentos rocosos y minerales.....	111
5. Contenido de concreciones.....	112
6. Contenido de raíces.....	112
7. Poros efectuados por lombrices.....	112

ANEXO II

Fotografía	Página
1. Estados estructurales en el estrato H5, del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso.....	113
2. Lisados producidos por las llantas del tractor y la reja de la vertedera, observados en el suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso.....	113
3. Lisados en el fondo de labor del estrato H1, efectuados por el trabajo de la rastra, observados en el suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.....	114
4. Horizontes edafológicos P1, P2 y P3 en el perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.....	114

I. INTRODUCCION

Es innegable la importancia que tiene la mecanización agrícola en las actividades agrícolas y en general en la vida económica de un país. Más aun, debido al crecimiento poblacional y a los problemas alimenticios que este ocasiona se tiene la necesidad de incrementar la producción de los cultivos buscando diferentes alternativas; sin duda una de las alternativas es con el apoyo de la mecanización agrícola con tracción motriz, sobre todo buscando diferentes sistemas de cultivo, entre ellos los distintos modos de preparación del suelo.

En la mayoría de los casos del método de labranza depende en gran medida el contenido de humedad y estado estructural del suelo, como el rendimiento que puede esperarse del cultivo. Además, una adecuada aradura del campo facilita considerablemente la ejecución de las operaciones posteriores como la labranza secundaria, la siembra, y las labores culturales hasta la cosecha.

La aradura del suelo en el sector de Patacamaya es efectuada en forma mecanizada con tracción motriz para los cultivos considerados cabeza de rotación, como es el caso del cultivo de papa; mientras que en los demás períodos o ciclos de cultivo se lo realiza con tracción animal, en su generalidad.

El estudio del trabajo de los arados vertedera y discos es justificado por el amplio uso de estos implementos en ese sector, el cuál permite probar diferentes profundidades de roturación en suelos distintos, para tener mejores condiciones de suelo para el cultivo, en especial en cultivo de papa (Solanum tuberosum ssp. andigena).

Si bien existen métodos muy variados para la evaluación del laboreo, como la distribución del tamaño de los terrones, granulación y porosidad; lo que propone este estudio es aplicar una metodología de evaluación más completa: "el Perfil Cultural". Al mismo tiempo estudiar el efecto de la labranza sobre el contenido de agua en el suelo y el cultivo de papa.

Por las consideraciones anteriores, el presente estudio fue realizado bajo los siguientes objetivos:

- a). Determinar el contenido de humedad del suelo sometido a diferentes métodos de laboreo.
- b). Estudiar el efecto del laboreo con arado de vertedera y arado de discos sobre las características estructurales del suelo.
- c). Evaluar el comportamiento de las características morfológicas y agronómicas del cultivo de papa bajo estas condiciones de laboreo.

Hipótesis:

- 1. Existen efectos de los métodos de labranza (roturación con arado de vertedera y discos a dos profundidades en dos tipos de suelo) sobre las características estructurales del suelo y el contenido de humedad del mismo.
- 2. Los métodos de labranza influyen sobre las características morfológicas y agronómicas del cultivo de papa.

REVISION BIBLIOGRAFICA

1. LABRANZA DEL SUELO.

Según Meier (1993), la preparación del suelo permite propiciar un suelo con las características físicas, químicas y biológicas necesarias para la germinación de la semilla y posterior desarrollo de la planta. Después de la labranza el suelo se asienta gradualmente durante el ciclo del cultivo por acción de la gravedad, influencia del clima y efecto de las operaciones agrícolas, de modo que el laboreo del terreno se hace cíclico y constante.

Los objetivos de la labranza son:

- Controlar malezas y plagas;
- Incorporar residuos vegetales;
- Mejorar condiciones físicas, químicas y biológicas;
- Incorporar enmiendas y abonos orgánicos y fertilizantes;
- Manejar el movimiento del agua en el suelo; y
- Controlar la erosión.

1.1. Labranza primaria o aradura.

Para Meier (1993), el objetivo principal de la labranza primaria es mejorar mecánicamente la estructura del suelo mediante la arada. Al romper y aflojar la tierra, a profundidades apropiadas, se obtiene un suelo poroso lo que facilita la aereación y la retención del agua de acuerdo a las exigencias del cultivo.

Por otro lado Bernard (1980) citado por Bonilla y Kondo (1987) indican que, es imposible dar normas específicas para la correcta realización de esta labor, así como la elección de los aperos adecuados a cada caso particular.

1.2. Elección del sistema de labranza.

La elección de un método de labranza para una situación particular dependerá de las variables tales como factores climáticos, factores edáficos y cultivo a implantar, entre las más importantes. Ninguna de las variables es enteramente independiente de las otras (Unger, 1988).

1.2.1. Factores climáticos.

1.2.1.1. Precipitación.

Los sistemas de labranza para las regiones deficitarias en precipitaciones deben estar relacionados con la conservación y almacenamiento del agua en el suelo, en la mayor cantidad posible para su posterior uso. Para conseguir tal cosa conviene las prácticas de labranza que aumenten la infiltración del agua, retienen la nieve y suprimen la evaporación posterior (Unger, 1988).

1.2.1.2. Viento.

La velocidad del viento y, en cierta medida, su dirección tiene considerable influencia en la erosión eólica. Los sistemas de labranza, debido al volumen de tierra removida y al tamaño de los terrones dejados en la superficie, influyen en la sensibilidad del terreno a la erosión eólica. Donde predominan los vientos de una dirección, las operaciones de labranza que roturan o asurcan la superficie del terreno deben ser perpendiculares a los vientos predominantes (Unger, 1988).

1.2.2. Factores edáficos.

1.2.2.1. Pendiente.

Los sistemas de labranza se adecuan a la pendiente del terreno. Así, los terrenos casi llanos o de suave declive proporcionan condiciones adecuadas, pero a medida que aumenta la pendiente, se reducen las posibilidades de elección de un adecuado sistema de labranza (Unger, 1988). En terrenos con pendientes

mayores al 8%, no es conveniente desmenuzar el suelo en forma excesiva, con la finalidad de evitar los riesgos de erosión hídrica (Zambrana, 1981).

1.2.2.2. Textura.

La textura del suelo tiene considerable influencia en la susceptibilidad del suelo a la erosión y, por consiguiente en la elección de los sistemas de labranza (Unger, 1988). Los suelos pesados tienden a granularse menos, mientras que los suelos livianos el grado de granulación puede ser hasta excesivo, de manera que se encostran fácilmente durante una lluvia. La granulación de la tierra a través de una arada debe ser tal que el suelo contenga bastante aire y capacidad de almacenamiento de agua y que esta estructura se mantenga suficiente tiempo para obtener un alto rendimiento del cultivo (Zambrana, 1981).

1.2.2.3. Profundidad.

La elección de los sistemas de labranza con respecto a la profundidad del suelo, se relaciona con la profundidad a la que se encuentra una capa que no admite labranza (por ejemplo, la roca madre), o la profundidad a que hay una capa que aportaría materiales indeseables (Unger, 1988). Sin embargo, bajo ciertas condiciones es necesario arar más profundo (Meier, 1993):

Quando el suelo tiene poca capacidad de retención o absorción de agua.

Quando la precipitación es grande, con peligro de erosión de la tierra.

Para cultivos que exigen mucho aire y forman raíces profundas, como papas, tabaco y hortalizas.

1.2.2.4. Humedad.

El terreno para ser arado debe estar en un estado óptimo de humedad si se quiere obtener una labor eficaz y reducida tracción; así un suelo seco ofrece una elevada tenacidad y alta resistencia a la tracción, mientras que en un suelo húmedo se tiende a destruir la estructura del suelo. Desde el punto de vista,

dinámico y mecánico se debe realizar la aradura dentro de ciertos límites de humedad, estos límites están determinados por dos factores que son la resistencia al corte por un extremo, la adherencia por otro lado, de esta manera el punto óptimo de labranza será, aquel valor en que la curva de estos factores se intercepten (Zambrana, 1981).

1.2.3. Cultivo a implantar.

Meier (1993), señala que cada cultivo tiene diferentes exigencias para germinar y crecer en forma óptima. Respecto a la labranza del suelo, las exigencias de los cultivos se concentran en los siguientes aspectos:

- Humedad del ambiente;
- Cantidad de aire en el suelo;
- Profundidad de la capa de suelo suelto; y
- Tamaño de los agregados del suelo.

El problema principal en la preparación de los suelos, es que los cultivos exigen diferentes condiciones para la germinación de las semillas y para el crecimiento de la planta.

1.3. Tipos y aplicación del equipo para las operaciones de labranza mecanizada.

Para todas las operaciones culturales existe una amplia diversidad de instrumentos o implementos y formas de aplicación.

1.3.1. Arado de vertedera.

El arado de vertedera es uno de los implementos más antiguos para la preparación de suelos agrícolas (Meier, 1993); corta y voltea el prisma de tierra, el cual queda más o menos disgregado y adosado al prisma volteado en la pasada anterior (Fuentes, 1989). El grado de disgregación y volteo del prisma de tierra depende de varios factores, tales como: la textura del suelo, humedad del suelo, tipo de vertedera, velocidad de avance, etc (Zambrana, 1981).

El arado de vertedera según Meier (1993), corta el prisma de tierra verticalmente mediante una cuchilla o disco cortador y horizontalmente por medio de la reja. Después, el prisma es levantado y volteado por la vertedera. Un buen volteo del prisma de tierra es importante para obtener una gran superficie de tierra removida, para cubrir suficientemente las malas hierbas y para incorporar materia orgánica. El volteo del prisma de tierra depende de la proporción que debe existir entre el ancho del surco y su profundidad (relaciones ancho y profundidad de 1.27:1, 1.4:1 y 1.5:1, para ángulos de volteo de 128°, 135° y 140° respectivamente).

1.3.2. Arado de discos.

Los arados de discos no tienen un origen tan remoto como los arados de reja, sino que aparecieron más recientemente, como consecuencia de que el agricultor necesitó poner bajo cultivo tierras que presentaban algunas dificultades, ya sea por la abundancia de piedras, o por la presencia de tocones, en aquellas tierras que fueron desforestadas (Peñagaricano, 1987). Este apero es más conveniente para trabajar en suelos difíciles (suelos abrasivos, con rocas dispersas o con raíces de árboles y cuando se quiere trabajar rápidamente) y cuando con buenas condiciones de humedad se quiere preparar con rapidez el terreno para la siembra (Fuentes, 1989).

Este arado corta la tierra en forma de un arco elíptico. Por consiguiente, el fondo del surco es poco uniforme y quedan crestas. Además, no invierte tanto el suelo, sino más bien lo deshace. El ancho del prisma no guarda una relación con la profundidad. Por esto, el volumen de aire es menor que el caso de la aradura con arado de vertederas (Meier, 1993).

2. EL AGUA EN EL SUELO.

En su condición natural el suelo contiene una cantidad de tierra, una de agua y otra de aire. La relación entre estas cantidades depende en gran medida de la estructura del suelo (Meier, 1993).

Los suelos retienen agua a causa de sus propiedades coloidales y de agregación. El agua se retiene en la superficie de las partículas coloidales, en otras partículas y en los poros (Tamhane; Montiramani; Bali y Donahue, 1979).

2.1. Movimiento del agua en el suelo.

El agua en el suelo se mueve en todos los sentidos, debido a que cada partícula sólida del suelo se recubre de una película de agua que es retenida en virtud de la tensión superficial y todas las partículas pretenden tener el mismo espesor de película. Si disminuye el espesor de una partícula, la tensión superficial de las partículas inmediatamente obliga a pasar el agua de trecho en trecho hasta restablecer en todas ellas la uniformidad de su espesor. De este modo, el agua circula en el suelo de zonas más húmedas a zonas más secas (García, 1991).

2.1.1. Factores que afectan el movimiento del agua en el suelo.

Aguilera y Martínez (1980) nombrados por Céspedes (1992) señalan que, existen varios factores que determinan que el agua se mueva en el suelo, entre los más importantes se encuentran: la cantidad de agua aplicada, la capacidad de infiltración, la conductividad hidráulica de los horizontes inferiores y la cantidad de agua que el suelo puede retener.

2.1.2. Proceso de redistribución del agua en el suelo.

Cuando el proceso de infiltración se detiene, el movimiento del agua continúa hacia las capas inferiores del perfil. Cuando la napa freática es poco profunda, ese movimiento que sigue a la infiltración es denominado a veces como drenaje interno. En ausencia de napa freática o ésta es demasiado profunda, este movimiento se denomina redistribución del agua en el suelo (Hillel, 1988 enunciado por Céspedes, 1992).

Podemos considerar sólo el caso de un suelo uniforme en que se infiltra el agua. Cuando el movimiento del agua cesa, primeramente la parte superior del perfil se satura o casi se satura bajo el frente de humedecimiento, donde haya

un abrupta transición a un suelo relativamente seco. La distribución de la humedad en el período t_0 (figura 1) es inestable ya que hay un gradiente de potencial grande en la superficie frontal de humedecimiento y por eso esta superficie continua avanzando. Esto sólo puede ocurrir por desecación de los poros grandes de la superficie del terreno. De este modo, como el frente de humedecimiento continua avanzando hacia abajo, la zona detrás de él cada vez se seca más, según podemos apreciar en la figura 1, en la secuencia total de la distribución de la humedad. El potencial total por detrás del frente se hace rápidamente más negativo y en consecuencia el gradiente de potencial decrece. Al mismo tiempo, la conductividad hidráulica disminuye en toda la parte humedecida del perfil cuando el suelo se seca. En la ecuación de Darcy, tanto la conductividad hidráulica como el gradiente de potencial decrecen. La cantidad de agua que puede ser transmitida se aproxima a cero, y la redistribución cesa (Collis; Davey y Smiles, 1971).

2.2. Factores que condicionan la capacidad de retención del agua disponible.

Los factores que condicionan la capacidad de retención de agua disponible en el suelo son (Fuentes, 1989):

La textura. Los suelos de textura fina retienen más cantidad de agua que los suelos de textura gruesa, tanto en lo referente a la capacidad de campo como en el punto de marchitamiento.

La estructura. Una estructura con gran contenido de poros de todos los tamaños facilita la aireación y aumenta el contenido de agua disponible.

La materia orgánica. La materia orgánica tiene una elevada porosidad, que le permite retener una considerable cantidad de agua.

El espesor de suelo explorado por las raíces. Un suelo profundo puede retener una gran parte de las necesidades de agua de una cosecha.

La secuencia de capas en el perfil. Puede tener una influencia notoria en la capacidad de retención de agua disponible. Una capa arcillosa situada debajo de

otra capa de arena retrasa la penetración del agua de infiltración, que queda acumulada sobre la capa poco permeable.

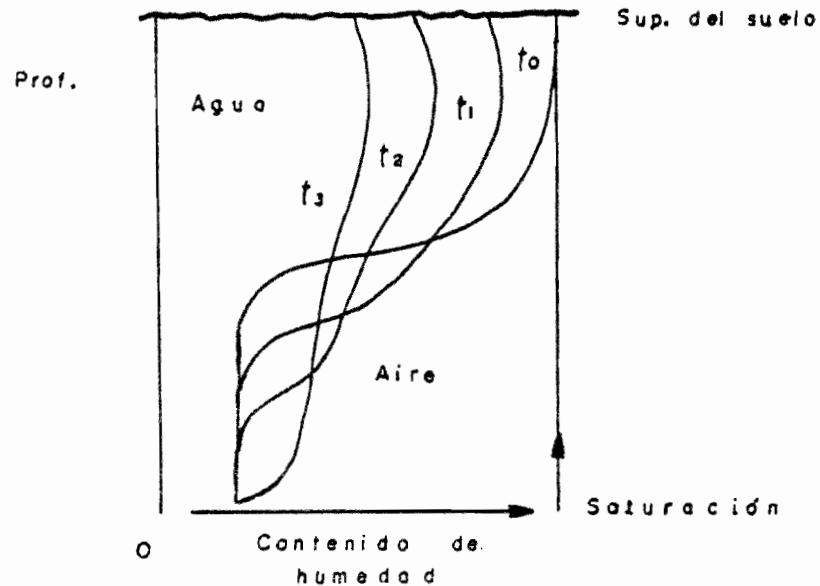


Fig. 1. Redistribución de la humedad después de que cese la infiltración, t_0 , en distintos momentos posteriores t_1 , t_2 y t_3 la humedad se distribuye más uniformemente conforme avanza el tiempo. La distribución se hace cada vez más lenta, cesando casi el movimiento en el tiempo t_3 .

Fuente: Collis; Davey y Smiles (1971).

3. ESTRUCTURACION DE LOS AGREGADOS.

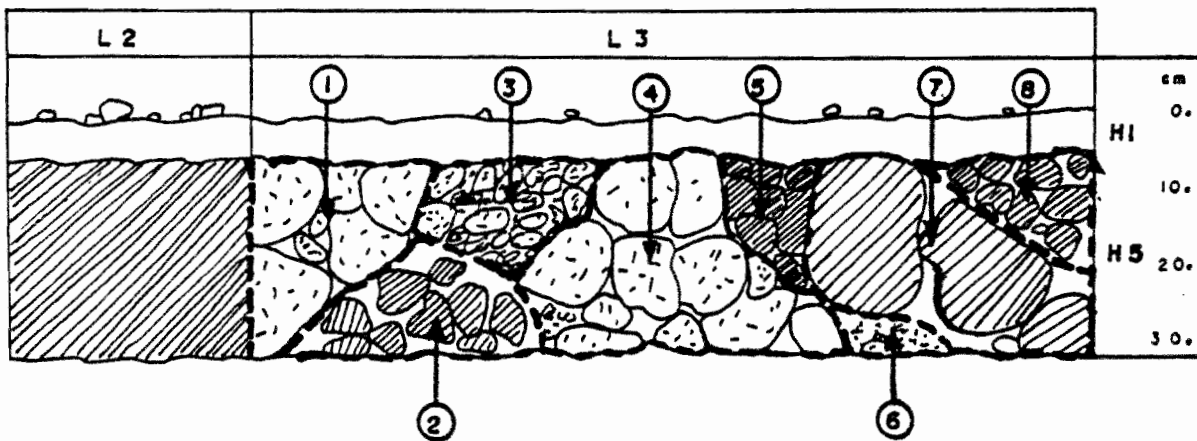
3.1. Concepto de agregado.

Para Henin (1976), el estudio de la estructura consiste esencialmente en describir las asociaciones de partículas constituyentes de las aglomeraciones del suelo. Según esta concepción, los elementos componentes de la aglomeración son los elementos "inertes" esqueleto y los elementos "activos" coloidales: arcilla, humus, hidróxido, etc. Estos pequeños elementos constituyen los llamados "agregados", son considerados como las "moléculas" del suelo. Los agregados asociados los unos a los otros dan nacimiento a los volúmenes de tamaños más importantes: los terrones y/o aglomerados.

3.2. Caracterización del estado estructural del suelo.

3.2.1. La unidad morfológica

De la manera en la cual los agregados son asociados después de la labranza, ciertas zonas aparecen visualmente homogéneas con relación a otras (figura 2), de acuerdo a un arreglo determinado, a la forma y a la dimensión de los constituyentes; entonces nos referimos a las "unidades morfológicas". Esta noción tiene un sentido de referencia en un sistema de descripción que permite posicionar e insertar los límites entre los volúmenes representantes de los diferentes estados estructurales (Manichon, 1987).



L2, L3, H1 y H5 : Denominaciones utilizadas de los cuadros 5 y 6 (pág. 28 y 29).

1, 2, 3, 4,.....: Unidades morfológicas.

Fig. 2. Unidades morfológicas en el horizonte antrópico H5-L3.
Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

3.2.2. El perfil cultural - Definición.

Henin; Gras y Monnier (1972), definen al perfil cultural, como el conjunto constituido por la sucesión de las capas de tierra individualizadas por la intervención de los instrumentos de cultivo, las raíces de los vegetales y los factores naturales que intervienen en estas acciones. Así mismos señalan, el perfil cultural es la manifestación de un cierto estado, resultado del trabajo

del hombre y de la acción de los factores naturales: raíces de las plantas, fauna y clima. Cada capa esta caracterizada por una estructura que igualmente es la resultante de estos diferentes factores.

3.2.3. Perfil edafológico y perfil cultural.

Gautronneau y Manichon (1982), indican que un mismo objetivo, el suelo, puede ser estudiado de maneras diferentes y ser contradictorios en los resultados obtenidos; tal como ocurre entre los perfiles edafológico y cultural. Por lo tanto ambos perfiles difieren en varios criterios:

Por razones de finalidad: la observación de un perfil edafológico se aboca en la identificación de los procesos de formación del suelo y el perfil cultural se basa fundamentalmente en la identificación de las acciones del hombre y de los factores naturales: cultivo, fauna y clima, que han intervenido a su diferenciación.

Por razones de tiempo, porque el perfil edafológico se interesa en los fenómenos naturales. Mientras que el perfil cultural, en los efectos de las acciones culturales. De **espacio** también, ya que uno distingue varios horizontes "antrópicos" (atados a las acciones del hombre) dentro un mismo horizonte "edafológico".

Por otra parte Henin (1976) señala que, en efecto, el suelo constituye un sistema. El mismo que el edafólogo considera en su conjunto como la consecuencia de una evolución, y los resultados de la acción de los diferentes procesos; como producto la diferenciación del perfil. El estudio desde un punto de vista agronómico, de las propiedades físicas del suelo, implica una descripción cualitativa.

Para Henin; Gras y Monnier (1972), son necesarios dos criterios importantes:

- a. El examen del perfil cultural es una especie de análisis inmediato, que puede y debe ser completado, cada vez que el sentido de las medidas haya

sido fijado para el caso considerado, por determinaciones lo más precisas posibles.

- b. El perfil cultural, apenas conocido, ha sido puesto en competencia con el edafológico, pues es un error, ya que las informaciones obtenidas no son las mismas. El perfil cultural consiste en poner en evidencia las capas que están diferenciadas en el suelo, incluso cuando estas diferencias son debidas a unas propiedades contingentes susceptibles de ser fácilmente modificadas por las intervenciones del hombre, la acción de las raíces de los vegetales o la influencia del clima. Este examen está, esencialmente adaptado para la puesta a punto de las técnicas culturales.

Los mismos autores indican, que para definir el suelo es necesario observar igualmente un corte y distinguir las diversas capas que se encuentran diferenciadas. Algunas características del perfil edafológico interesan también directamente al perfil cultural. Por ejemplo, la profundidad a la que se encuentra una capa endurecida o de difícil permeabilidad; mientras que el edafólogo consideraría este dato como un elemento de descripción, para el agrónomo el problema consistirá en evaluar las ventajas o inconvenientes de esta capa frente al desarrollo de las raíces y, en consecuencia, de los vegetales, y si se presenta el caso, los procedimientos que permitan suprimirla.

4. CULTIVO DE PAPA.

4.1. Requerimiento de suelo.

La papa se adapta a una gran variedad de suelos siempre que estos posean una buena estructura y un buen drenaje. Los mejores son los porosos, friables y bien drenados, con una profundidad de 25-30 cm (Montaldo, 1984).

El cultivo de papa requiere de un suelo mullido y suelto, con una profundidad que pueda permitir un desarrollo de los tubérculos (Cabezas, 1983). Una buena aradura se realiza en condiciones óptimas de humedad (Parsons, 1982). Es importante, en lo que respecta al desarrollo de la planta, tomar en cuenta la profundidad de la arada.

Las prácticas de labranza influyen en todas las condiciones físicas del suelo (Gavande, 1986). En tiempos relativamente cortos, el volumen del suelo desmenuzado por el laboreo, puede ser ejercido por diferentes fuerzas de compactación lo cual produce una disminución del espacio estructural, que en algunos casos son intensos; estas fuerzas de compactación pueden ser el resultado de interacción entre los agentes climáticos, la labranza y la textura del suelo (Coulomb; Manichon y Roger-Estrade, 1990). La constitución física del suelo se llama también estructura. La estructura del suelo no afecta directamente a las plantas, sino a través de uno o más de los cuatro factores siguientes: aireación, compactación, contenido de agua y temperatura.

La planta tendrá a su disposición una cantidad de agua y aire que dependerá de la condición física del suelo y de la precipitación, es decir, del clima y de la estación. La condición física del suelo es esencial para la disponibilidad de agua y, en particular para determinar la relación de agua y aire en la tierra (Proyecto Senati-Swisscontact, 1983).

Para que las plantas desarrollen con normalidad es preciso que el suelo tenga una estructura adecuada. Ciertos agentes naturales (lluvia, temperatura, etc.) actúan sobre la estructura del suelo, unas veces en sentido positivo y otras en sentido negativo. Lo cierto es que a lo largo del año la estructura de un suelo varía, especialmente si el suelo es arcilloso y está cultivado (Fuentes, 1989).

4.2. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo sobre el cultivo.

4.2.1. Efecto sobre el enraizamiento.

La expansión y distribución de las raíces, dependerá de las condiciones del suelo, sobre todo de la presencia o no de impedimentos mecánicos. Se define como impedimentos mecánicos a aquellos factores físicos del suelo que evitan o afectan el crecimiento de las plantas que normalmente provienen del proceso de compactación de la estructura del suelo. La capacidad de las raíces para romper las capas compactadas, depende de la disponibilidad de aire, temperatura y humedad, si hay alguna deficiencia de alguno de estos factores existirán

dificultades para romper las capas. Además que en estos suelos compactados, las raíces encuentran dificultades para penetrar, para avanzar, aumentar el grosor del extremo de las raíces, lo que deforma y no permite el crecimiento y avance del sistema radicular (Ashburner y Sims, 1984). Se cree que la compactación del suelo puede tener sus efectos adversos en las plantas que crecen en él, de dos maneras (Gavande, 1986): a) por aumentar el impedimento mecánico al crecimiento de las raíces, y b) por alterar la extensión y la configuración del espacio poroso.

4.2.2. Efecto sobre el crecimiento.

El estado estructural del suelo juega un rol importante sobre el crecimiento de la planta y puede influir de la siguiente manera:

- a. Sobre la profundidad media de la siembra y sobre su regularidad (Richard y Boiffin, 1990).
- b. En la condición de contacto entre la semilla y los elementos estructurales, que determinan las superficies de absorción de agua, nutrientes y oxígeno (Richard y Boiffin, 1990). Por otra parte, la emergencia de las plantulas puede ser afectada por los obstáculos mecánicos del suelo.
- c. En el funcionamiento radicular como captador de agua y elementos minerales (Tardieu, 1990). Esta diferencia de funcionamiento del sistema radicular, es una explicación probable de las diferencias de crecimiento en la población vegetal, diferencias que conciernen tanto a las partes aéreas como a las partes subterráneas (Tardieu y Manichon, 1987).

III. MATERIALES Y METODOS

1. Características generales de la zona.

1.1. Ubicación.

El ensayo se realizó en la comunidad de San Juan de Cullta a 3 km al sur de la Estación Experimental de Patacamaya y a 4 km en dirección oeste de la localidad de Patacamaya, provincia Aroma, departamento de La Paz.

Geográficamente, esta situado entre los 17°15' de latitud sur y 67°55' de longitud oeste.

Su altura promedio es de 3789 msnm.; se encuentra aproximadamente a 110 km de la ciudad de La Paz sobre la carretera asfaltada a Oruro.

1.2. Ecología.

Ellenberg (1981), al igual que Alzérreca (1987), clasifican al Altiplano Central como Puna semiárida y árida; mientras que Cabrera (1968) mencionado por Jeréz (1991) como Puna árida.

1.3. Clima.

La provincia Aroma en general se caracteriza por un clima seco y frío. Las particularidades climáticas de la zona son: temperatura media 8.9 °C, máxima media 17.7 °C, mínima media 0.1 °C; humedad relativa 39%; presión atmosférica 649 milibares; insolación 8.8 h/sol/día; evaporación 5 mm/día; radiación solar 162 cal/m²; precipitación anual 410 mm; vientos dominantes del noreste durante el verano y sudeste durante el invierno, con una velocidad promedio de 3.2 m/s.

Presenta 4 meses lluviosos (diciembre a marzo), de los cuales enero y febrero son los de mayor precipitación; 5 meses secos (abril a agosto), siendo

junio y julio los más extremos, en tanto que los meses de septiembre a noviembre son considerados intermedios. Las granizadas se presentan con cierta frecuencia en los meses de septiembre y octubre, y al finalizar la época de lluvias. Los meses más críticos por la presencia de heladas de considerable significación para los cultivos son diciembre y febrero (heladas tardías y tempranas respectivamente), además se tiene por año un total de 201 días con heladas. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la Estación Experimental de Patacamaya, de un promedio de 30 años.

Los datos meteorológicos para la gestión agrícola de 1991-1992, se presentan en el cuadro 1; estos mismos datos de precipitación evapotranspiración y temperatura, se muestran en la figura 3. Se presentaron heladas en tres oportunidades que afectaron en forma considerable a los cultivos: el 06-12-91 con -1.5 °C, el 01-02-92 con -4.1 °C y el 09-03-92 con -5.0 °C; siendo la segunda la más severa.

Cuadro 1. Características climáticas del período agrícola 1991-1992 (Patacamaya).

PARAMETROS	M E S E S											
	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M
Precipitación (mm)	13.4	0.0	1.5	4.8	5.8	55.2	65.2	162.9	51.2	15.2	18.9	0.0
Evapotransp. (mm)	26.9	26.4	34.9	42.1	55.4	55.9	58.4	55.4	56.4	52.4	47.3	40.1
Tem max med (°C)	15.8	15.7	17.8	17.8	19.6	18.6	18.9	16.8	17.6	18.7	18.7	18.2
Tem media (°C)	4.7	4.6	6.2	7.6	10.2	10.3	10.8	10.2	10.4	9.6	8.6	7.2
Tem min med (°C)	-5.6	-6.4	-5.3	-1.8	0.7	1.9	2.7	4.5	3.1	0.6	-1.5	-3.7
Tem min abs (°C)	-14.8	-17.5	-13.8	-10.8	-10.2	-8.8	-6.9	-8.7	-4.6	-9.5	-11.7	-8.9

1.4. Fisiografía.

Desde el punto de vista fisiográfico, ésta formación es muy compleja, presenta paisajes tales como complejos volcánicos; colinas y serranías; planicies aluviales fluviolacustres, con problemas de drenaje; depresiones con afloraciones salinas; así mismo, los suelos varían de acuerdo a los procesos fisiográficos que más influencia tienen en su formación, tal el caso de paisajes denudacionales o deposicionales.

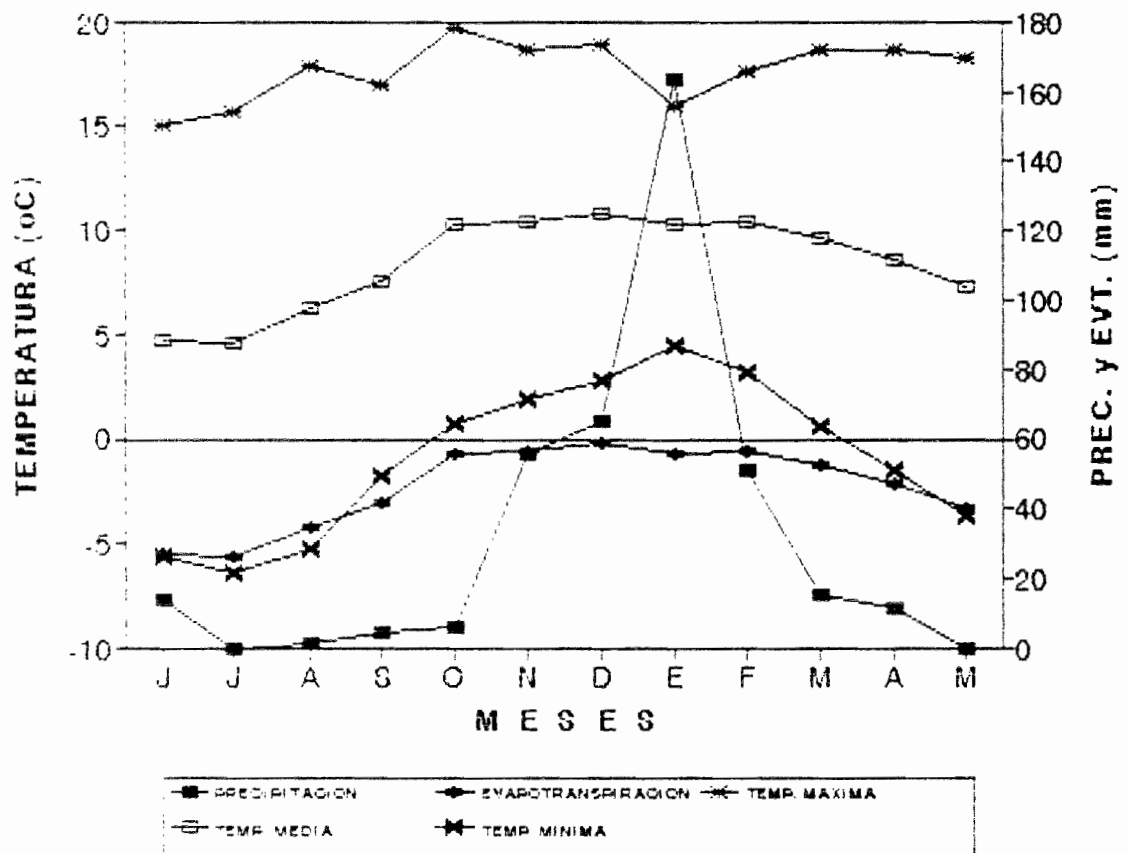


Fig. 3. Características climáticas del período agrícola 1991-1992.

La llanura o planicie aluvial, a la cual representa la región en estudio, es la parte más baja del Altiplano, en la que la acción sedimentaria de los ríos han generado una gran complejidad de relieves y depresiones, alternando suelos y sedimentos salinos, sódicos o sódico-salinos y suelos o sedimentos normales.

1.5. Suelo.

Los suelos del Altiplano se originan en los sedimentos terciarios de enorme espesor que forman rellenos de depresión empezando en la frontera con Perú y terminando en el sur, en la frontera con la Argentina.

Son de formación aluvial, coluvial y coluvio-aluvial, constituido por materiales de erosión de las partes altas y laderas; a partir de los cuales se

han formado suelos sin marcado desarrollo pedológico y suelos más desarrollados; además, formaciones volcánicas en el oeste de la cordillera occidental. Los suelos de las colinas normalmente son superficiales y muy degradados, mientras que los suelos de las planicies son generalmente profundos.

1.6. Vegetación.

Las formaciones vegetales del Altiplano Central son de carácter xerófito y mesófito; con bajos rendimientos y un elevado contenido de fibra, que disminuye individualmente su valor forrajero.

En la zona existen una diversidad de especies vegetales, las que fueron divididas en 2 categorías las cuales se mencionan a continuación:

1.6.1. Pradera nativa.

De la diversidad de especies nativas existentes en la zona se tienen las principales:

- Hierbas: Auja auja (Erodium cicutarium); layo (Trifolium amabile); khora (Malvastrum peruvianum); etc.
- Gramíneas: Ch'iji (Muhlenbergia fastigiata); chilligua (Festuca dolichophylla); pasto pluma (Nasella meyeniana); pasto plumilla (Nasella pubiflora); cebadilla (Bromus uniloides); llapha (Aristida asplundi); cola de ratón (Hordeum muticum); etc.

1.6.2. Especies cultivadas.

La agricultura en el Altiplano es considerada como una actividad de alto riesgo, por que los cultivos a lo largo de su ciclo vegetativo tienen que enfrentar numerosos problemas, como la frecuencia de heladas, escasa y mala distribución de la precipitación, plagas, etc.. Estudios realizados por Tacon y Vacher (1991) sobre riesgo de heladas en el Altiplano para la Estación Experimental de Patacamaya, indican que la probabilidad en que la papa y la quinua puedan completar un ciclo normal es de 45 y 70% respectivamente. Las

principales especies cultivadas son: papa (Solanum tuberosum), cebada (Hordeum vulgare), alfalfa (Medicago sativa), quinua (Chenopodium quinoa), haba (Vicia faba), tarwi (Lupinus mutabilis).

2. Materiales.

a. Aparatos e instrumentos de laboratorio.

- Estufa eléctrica
- Balanza de precisión (al 0.1%)
- Botes de aluminio

b. Equipo y herramientas.

- Tractores de 40 y 80 HP
- Arado de vertedera del tipo universal (dos cuerpos)
- Arado de discos (dos discos de 28" de diámetro)
- Rastra de discos tipo Tandem
- Surcadora de tres cuerpos
- Barreno edafológico
- Pala
- Picota
- Flexómetro
- Marcadores de alcohol
- Cinta aislante
- Bolsas de yute
- Cuchillo
- Espátula
- Chuntilla
- Penetrómetro de bolsillo
- Fuelle o ventilador
- Cámara fotográfica
- Marco de 1 m²

c. Insumos.

- Urea
- 18-46-00
- Carbofuran

d. Semilla.

- Tubérculo-semilla de la variedad "Sani imilla"

3. Situación inicial de la parcela.

Debido a la observación preliminar (visual), la parcela presentó dos sitios diferentes, tanto en textura como en cobertura; para la verificación de

esta diferencia se tomó muestras de suelo en ambos sitios y se observó el estado superficial.

3.1. Caracterización de los suelos.

Las muestras de suelo se obtuvieron de los dos sectores de la parcela, a una profundidad de 0-20 cm.

La caracterización de estos suelos se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de Cochabamba.

3.1.1. Análisis físico y químico.

Para caracterizar el suelo se hicieron las siguientes determinaciones (cuadro 2): textura, conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), potasio intercambiable (K), nitrógeno total (NT) y fósforo asimilable (P). Los suelos son superficiales en su capa arable, variando de 15 a 35 cm, escaso contenido en materia orgánica; pobres en nutrientes; drenaje superficial regular a bueno; pH neutro a alcalino; texturalmente franco arenoso a franco arcilloso. Existe una segunda capa que esta constituida de arena y canto rodado bien cementado, constituyendo un hardpan, que impide la percolación y ascenso del agua, además de la prolongación profunda de las raíces de los cultivos. Y con un horizonte arcilloso profundo, que va después del hardpan.

Cuadro 2. Análisis físico y químico del suelo para los dos sectores de la parcela.

Lugar	Prof.	Y	L	A	Tex.	CE	pH	MO	K	NT	P	Humedad	
						mbhos/cm		%	meq/100 g	%	ppm	pF 2.5	pF 4.2
S.I.	0-20	24.8	26.5	49.5	FYA	0.169	7.9	1.16	0.96	0.06	4.3	21.7	10.5
S.D.	0-20	16.8	23.7	59.5	FA	0.072	5.8	1.68	0.54	0.084	6.1	18.8	8.4

S.I.: Sector izquierdo.

S.D.: Sector derecho.

FYA: Franco arcillo arenoso.

FA: Franco arenoso.

De acuerdo al cuadro 2, existen diferencias texturales de un sector a otro, es decir el sector izquierdo de la parcela presentó una textura franco arcillo arenosa (capacidad de campo 21.7% y punto de marchitez permanente 10.5%) el derecho una textura franco arenoso (capacidad de campo 18.8% y punto de marchitez permanente 8.4%) ver los sectores en el croquis de campo, figura 4 (pág. 24).

3.2. Estado superficial.

La determinación de la cobertura (cuadro 3), se realizó mediante la utilización del marco muestreador (de 1 x 0.8 m), en un número de tres repeticiones para el sector izquierdo y cinco repeticiones para el sector derecho.

Cuadro 3. Estado superficial de los dos sectores de la parcela.

Características de la cobertura	Sector izquierdo(2)	Sector derecho(2)
Tierra desnuda	37	53
Césped (<i>Leucadis</i> sp)	30	25
Rastrojo	10	7
Ichu (<i>Stipa ichu</i>)	10	2
Thola (<i>Parastrephia lepidophyllum</i>)	0	3
Yauri yauri (<i>Erodium cicutarum</i>)	8	5
Pasto bandera (<i>Bouteloua simplex</i>)	0	3
Cebadilla (<i>Bromus uniloides</i>)	5	2
Total	100	100

Sector izquierdo: Suelo con textura franco arcillo arenoso.

Sector derecho: Suelo con textura franco arenoso.

De acuerdo al cuadro 3 se observa, una mayor vegetación en el sector izquierdo (53% de cobertura) en relación al derecho (40% de cobertura). Lo mismo ocurrió con la presencia de rastrojo con un 10% para el sector izquierdo y 7% para el sector derecho.

De acuerdo a los cuadros 2 y 3 se evidencia diferencias entre los sectores izquierdo y derecho. Denominados por sus diferencias texturales, T1 y T2

respectivamente. La localización en la parcela se puede observar en la figura 4 (pag. 24).

4. Tratamientos.

Se utilizó una parcela en descanso (5 años) con dos tipos de textura: franco arcillo arenoso (T1) y franco arenoso (T2), en las que se implantó los métodos de labranza: en T1 el arado de vertedera (V); mientras que en T2 el arado de discos (D) y el arado de vertedera (V), ambos a dos profundidades (20 y 30 cm respectivamente). La forma como se realizó fue en franjas las que se dividieron en tres, llegando a constituir las repeticiones.

Con objeto de establecer las relaciones entre los implementos, profundidades de roturación y textura del suelo de estas evaluaciones, se utilizaron los procedimientos en "Franjas divididas".

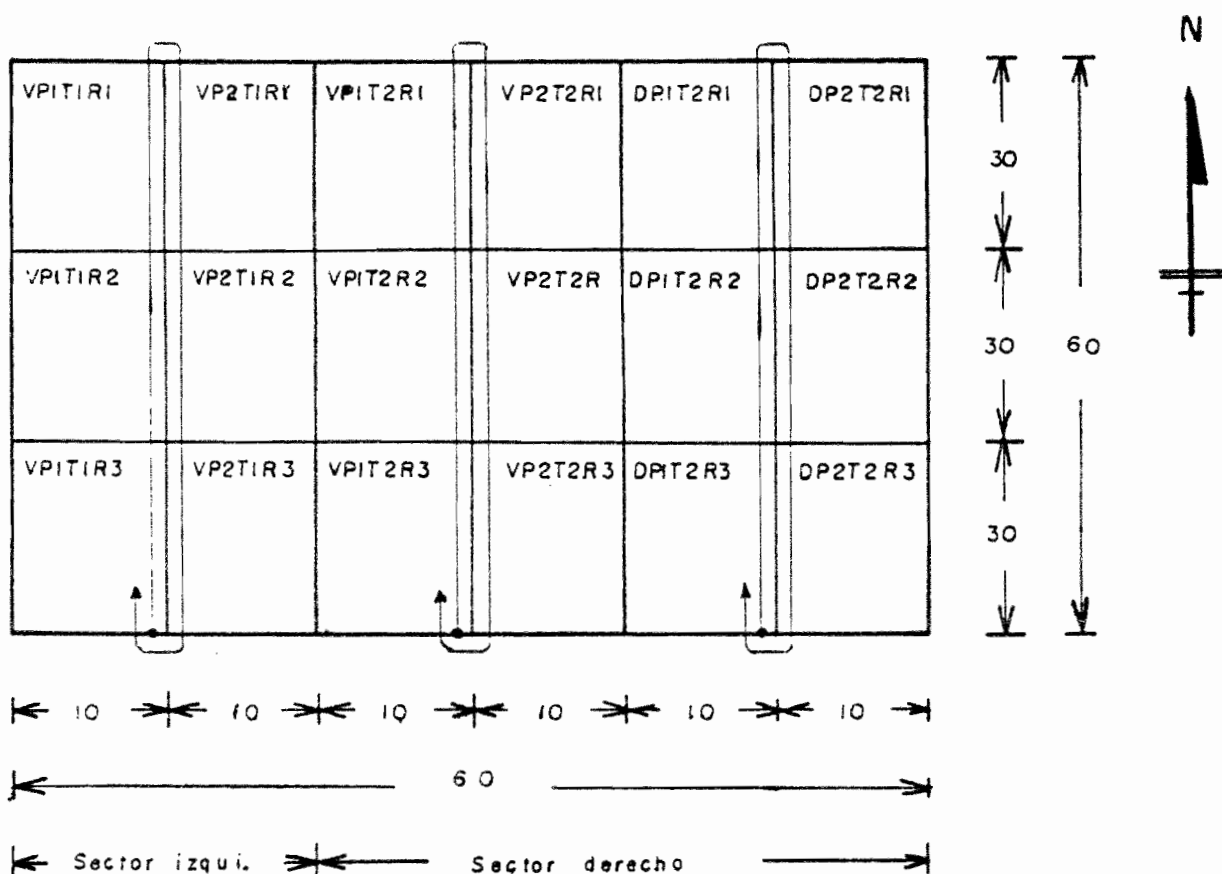
La forma como fueron implantados estos tratamientos, se pueden observar en la figura 40. Esta figura muestra la disposición de los tratamientos en franjas, característico de los ensayos en laboreo. El modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = \mu + T_{ij} + e_{ijk}$$

$$i = 1, 2 \text{ y } 3; j = 1 \text{ y } 2; k = 1, 2, \dots, r$$

Donde μ es un efecto general, T_{ij} el efecto del tratamiento I_iP_j (tipo de implemento y profundidad respectivamente), e_{ijk} el elemento del error y Y_{ijk} la característica observada.

Cada unidad experimental tuvo un área de 300 m² y el total del ensayo de 5400 m² (figura 4).



Donde:

- V: Arado de vertedera.
- D: Arado de discos.
- P1: Profundidad de roturación 30 cm.
- P2: Profundidad de roturación 20 cm.
- T1: Suelo con textura franco arcillo arenoso.
- T2: Suelo con textura franco arenoso.

R1, R2 y R3: Repeticiones.

→ : Sentido de roturación.

Fig. 4. Croquis de campo.

4.1. Implantación del ensayo.

La implantación del presente ensayo estuvo referida a la roturación del suelo con los diferentes métodos. Esta se realizó durante el período agrícola 1991-1992, aprovechando la precipitación de 13.4 mm, caída en forma de nevada el 27-06-91. Se procedió a esta actividad después de observar la humedad del suelo

(12.2%); para la cual se empleó un tractor de 80 HP, con implementos de vertedera y discos (cada uno de dos cuerpos), con cada uno de estos se roturó a dos profundidades (30 y 20 cm). Inmediatamente después de la roturación se procedió a la rastrada, en el mismo sentido que la roturación, con una rastra de discos tipo Tandem.

Las características de los métodos de laboreo implantados en el ensayo se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Características de los métodos de labranza implantados en el ensayo.

IMPLEMENTOS Y SUELOS	Profundidad de roturación Planificada de 30 cm (P1)			Profundidad de roturación Planificada de 20 cm (P2)		
	Observada promed.(cm)	Desviación estandar	Velocid. (km/h)	Observada promed.(cm)	Desviación estandar	Velocid. (km/h)
V en T1	30.1	2.2	3.1	19.8	1.3	3.8
V en T2	28.5	1.2	3.5	16.4	0.6	4.3
D en T2	27.8	0.7	4.4	16.8	0.7	4.9

V: Arado de vertedera.

D: Arado de Discos.

T1: Suelo con textura franco arcillo arenoso.

T2: Suelo con textura franco arenoso.

Los datos proporcionados en éste cuadro son valores promedio de ocho vueltas de roturación y en cada uno se realizaron diez mediciones.

Los resultados indican, que en la profundidad de roturación planificada de 30 cm (P1), existe una mayor profundidad de roturación con el arado de vertedera (V) en suelo de textura franco arcillo arenosos (T1) de 30.1 cm, seguido por el arado de vertedera (V) en suelo de textura franco arenoso (T2) con 28.5 cm y el arado de discos (D), en un suelo T2 con 27.8 cm. Mientras, que en la profundidad de roturación planificada de 20 cm (P2), ocurrió algo similar: 19.0 cm para V en T1, 16.4 cm para V en T2 y 16.8 cm para D en T2.

En ambos casos (P1 y P2) la profundidad de roturación fue inversamente proporcional a la velocidad de roturación, por consiguiente tienen su influencia en la regularidad de la profundidad, siendo menos regulares (evidenciado por el elevado valor de la desviación estandar) en aquellas con velocidades menores, debido a que las fuerzas aplicadas al cuerpo del arado por parte del suelo, se manifestaron con mayor proporción.

5. Determinaciones realizadas.

Se efectuaron las siguientes determinaciones:

5.1. Contenido de humedad en el suelo.

Las muestras de suelo fueron tomadas con el barreno edafológico de la parte central de cada unidad experimental a distancias de 0.5 m, para luego ser llevadas al laboratorio en botes de aluminio sellados con cinta aislante, que evitaron perdidas de humedad. Se determinó mediante el método gravimétrico, en las siguientes oportunidades:

5.1.1. Antes de la roturación.

Se realizó un día antes de la roturación a cuatro profundidades: 10, 20, 30 y 40 cm, con el propósito de observar la humedad del suelo para la roturación.

5.1.2. En la roturación.

Realizado el mismo día de la roturación, en el corte vertical del suelo, a dos profundidades: superficial (0-5 cm) y profundo (antes del fondo de labor).

5.1.3. En el suelo roturado.

Período que comprendió desde la roturación hasta la siembra, en el que se realizaron diez muestreos a tres profundidades: 10, 20 y 30 cm; los intervalos de estos muestreos se anotan en el cuadro 1 del anexo I.

5.1.4. En el suelo con cultivo.

Se realizaron dos muestreos a profundidades de 10, 20, 30 y 40 cm; a los 100 y 122 días después de la siembra.

5.2. Características estructurales del suelo.

Para el estudio de las características estructurales del suelo, Gautronneau y Manichon (1982) sugieren los procedimientos de aplicación del método del Perfil Cultural, el cual toma en cuenta 2 aspectos: los principios generales de descripción y los criterios de descripción:

5.2.1. Principios generales de descripción.

La descripción general de un perfil cultural tendrá como principio de base la realización de una doble partición (vertical y lateral) y los criterios de descripción.

5.2.1.1. Partición vertical.

En el sentido vertical se establecen y delimitan las capas de suelo (los "horizontes"), según las variaciones de humedad (cuadro 1 del anexo I), color, textura; se agrega las variables descriptivas de los estratos y horizontes identificados: naturaleza del límite inferior, contenido de fragmentos rocosos, presencia de concreciones, contenido de raíces y la presencia de poros por lombrices (cuadros 2-6 del anexo I, respectivamente).

De acuerdo a los procesos de formación se distinguen:

a. Los horizontes antrópicos.

Atados a las acciones de las herramientas. La nomenclatura adoptada es la siguiente (cuadro 5):

Cuadro 5. Nomenclatura de los horizontes antrópicos.

	H0	Superficie del suelo.
Ap	H1 a H4	Horizontes creados por "labores" culturales posteriores a la roturación.
	H5	Horizonte "labrado", no modificado por las labores culturales posteriores.
	H6 a H7	Bases de horizontes "labrados" antiguamente
	H8	Debajo del fondo de "labor", los más antiguos horizontes, mullidos por las herramientas tipo subsolador.

Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

El cuadro 5 muestra, que el conjunto de los horizontes antrópicos de H1 hasta H7 constituye el horizonte Ap (espesor promedio del suelo hasta donde alcanzan a penetrar en promedio los implementos comunes de labranza; zona en donde tienen su mayor desarrollo las raíces que sostienen y alimentan a las plantas). Son generalmente del mismo color a una humedad dada y son de la misma textura. El número de horizontes antrópicos de un perfil, depende de las operaciones culturales, de sus profundidades y de su cronología. El horizonte H8 es muy particular, es antrópico en la medida del resultado de un mullimiento por subsoladoras.

b. Los horizontes edafológicos.

Su diferenciación no procede de un mullimiento por las herramientas, sino del juego de los factores naturales en interacción con la naturaleza del material original. La textura es un factor de mejor distinción entre los horizontes. La nomenclatura es la siguiente de arriba a abajo, a partir del fondo de Ap: P1 a Pn.

5.2.1.2. Partición lateral.

Según la variabilidad espacial del estado estructural en los horizontes antrópicos y sobre todo por origen de las acciones culturales, pueden ser

recientes o no; es posible proceder a una partición del volumen de suelo sobre la base de variaciones por causas comunes. Tres tipos de posiciones laterales pueden ser definidas (cuadro 6), que corresponden a diferentes etapas de intervenciones culturales.

Cuadro 6. Nomenclatura de la partición lateral.

L1	Sitio afectado por las ruedas de la maquinaria, después de los últimos trabajos de mullimiento superficial. Sus rastros son visibles en la superficie al momento de la observación.
L2	Parte donde circulan las ruedas de las maquinarias utilizadas entre la roturación y la última actividad de mullimiento.
L3	Residuo ileso de las acciones precedentes.

Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

5.2.1.3. Los criterios de descripción.

Los criterios de descripción se basan en tres niveles de organización estructural dentro los horizontes antrópicos.

Sin duda los constituyentes de la estructura son los terrones, elementos estructurales formados por las acciones de fragmentación de las herramientas. El primer nivel de descripción concierne a su estado interno, los dos otros a su agregación.

1er. nivel: El estado interno de los terrones.

Después de la fragmentación manual de los terrones, se observa el aspecto de las fases de ruptura. Cualquiera que sea el material y su humedad, tres son los estados internos que pueden presentarse y son fácilmente identificables visualmente (cuadro 7).

Cuadro 7. Estados internos de los terrones

ESTADO INTERNO	PRINCIPALES CARACTERISTICAS
Δ delta	Aspecto continuo. Las fases de fragmentación son poco rigurosos. Porosidad estructural nula. Resultante de una compactación severa de origen antrópico (ruedas de tractor), adherencia elevada en seco.
Φ fi	Próximo a Δ , mayor contenido de fisuras, se revela con mayor nitidez la fragmentación entre los terrones. Resulta típicamente, por ejemplo, por la acción del hielo.
Γ gamma	Los agregados de formas y tamaños variables, son muy disgregables. Rugosidad bastante importante en las facies de fragmentación de los terrones. Porosidad estructural bastante variable. Adherencia más débil que para Δ .

Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

2do. nivel: Modo de agregación entre los terrones.

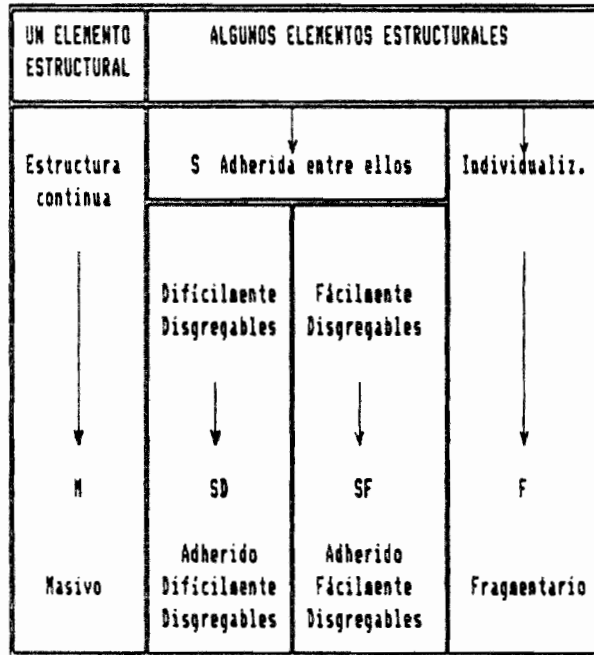
Si, dentro el volumen labrado, donde se examina (unidad morfológica) existe un solo agregado, uno habla del estado masivo (**M**); si al contrario muchos terrones son asociados y se nota su grado de unión, entonces nos referimos a los estados: fragmentario (**F**) y a los terrones adheridos entre ellos fácilmente disgregables (**SF**), ver cuadro 8. Dentro de la diversidad de los terrones y el grado de unión de estos, la porosidad estructural entre terrones decrece de **F** a **SF** y **SD** (es nula en **M**).

Las fuentes de contracción (deseccación), tiene como notación el sufijo "R", característico de las acciones climáticas.

3er nivel: Reagrupamiento de los modos de agregación (estados tipos o, b y c).

Este reagrupamiento es poco practicado en los horizontes antrópicos H1 a H5 siendo típicamente del horizonte antrópico H5, donde se observan un mullimiento ordenado por las compactaciones de carácter inducida o natural, lo cual permite este reagrupamiento (cuadro 9).

Cuadro 8. Los modos de aglomeración entre los terrones (2do nivel de organización estructural).



+ dimensiones de los terrones
 + relación terrones:tierra fina

Presencia de cavidades:
 sufijo V (> 5 cm)
 o v (1 a 5 cm)
 Presencia de fuentes de contracción: sufijo R.

Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

5.2.2. Desarrollo práctico de la observación.

1era. etapa: Localización del sitio de observación.

El observador debe efectuar un recorrido al sitio en estudio y realizar un croquis de este, para luego zonificar el sitio según: la homogeneidad del terreno, al historial cultural, al estado de vegetación, etc. De acuerdo a los objetivos previstos. Para el presente trabajo, el sitio elegido fue un terreno en descanso (5 años).

Cuadro 9. Definición de los estados tipos o, b y c; e interpretación de sus orígenes.

ESTADO TIPO	DEFINICION Y ORIGEN
o	Predominio de los estados F y SF, sin terrones decimétricos, ni cavidades importantes. Tierra fina abundante. Típicamente: prisma de tierra, fuertemente desmenuzada.
b	Predominio de M y FV, terrones decimétricos, separados por cavidades estructurales importantes. Poca tierra fina. Típicamente: prisma de tierra poco fragmentado (terrones grandes).
c	Predominio de los estados M y SD. Típicamente: por efecto de compactaciones post "labor" sobre tierra fuertemente desmenuzada.

Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

2da. etapa: Localización dentro del sitio y dimensiones de la fosa.

- * Situar al centro de la parcela.
- * Situar perpendicularmente a la roturación, para la observación de una máxima variabilidad espacial del suelo. Si el sentido de la siembra no esta en el mismo sentido de la roturación, se podrá realizar la fosa en forma de L.
- * Para tener una buena representatividad de las observaciones, es recomendable agrupar por lo menos dos pasadas de roturación. De esta manera se elegirá la longitud del perfil que llega a ser igual o un poco menos de 3 anchos de la aradura.
- * La fosa debe tener un ancho que permita efectuar el examen con comodidad.
- * La cara a observar debe tener una buena orientación en relación al sol. La

tierra evacuada se colocará opuesta a la cara de observación y la superficie superior de la cara observada se protegerá de los pisoteos (figura 5).

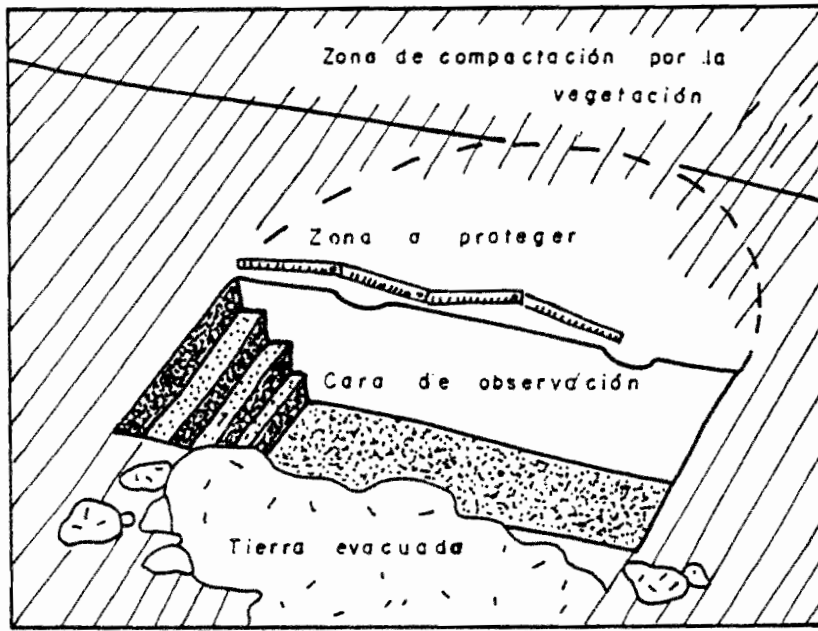


Fig. 5. Esquema de una fosa presta a observar.
Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

En lo que respecta al ensayo; se buscó una zona homogénea y representativa del tratamiento, además que éste no afecte las otras áreas de observación (ver figura 6). La fosa tuvo 2 m de longitud, el cual cubría el ancho de pasada de la rastra en el suelo roturado y tres camellones en el suelo con cultivo; el ancho de la fosa en ambos casos fue 1 m.

3era. etapa: Realización de la fosa.

La realización puede hacerse según la disponibilidad del material: manualmente o utilizando una pala mecánica. En nuestro caso se excavó manualmente.

La profundidad de la fosa depende de los objetivos perseguidos y del conocimiento previo de los horizontes pedológicos existentes. Para éste ensayo

se tuvo como referencia una fosa profunda a 50 m del borde de la parcela, conocidos los horizontes existentes se vio por conveniente tener una profundidad de 70 a 80 cm ya que ha esta profundidad se incluían horizontes adyacentes que podrían tener influencias en los horizontes antrópicos y el cultivo.

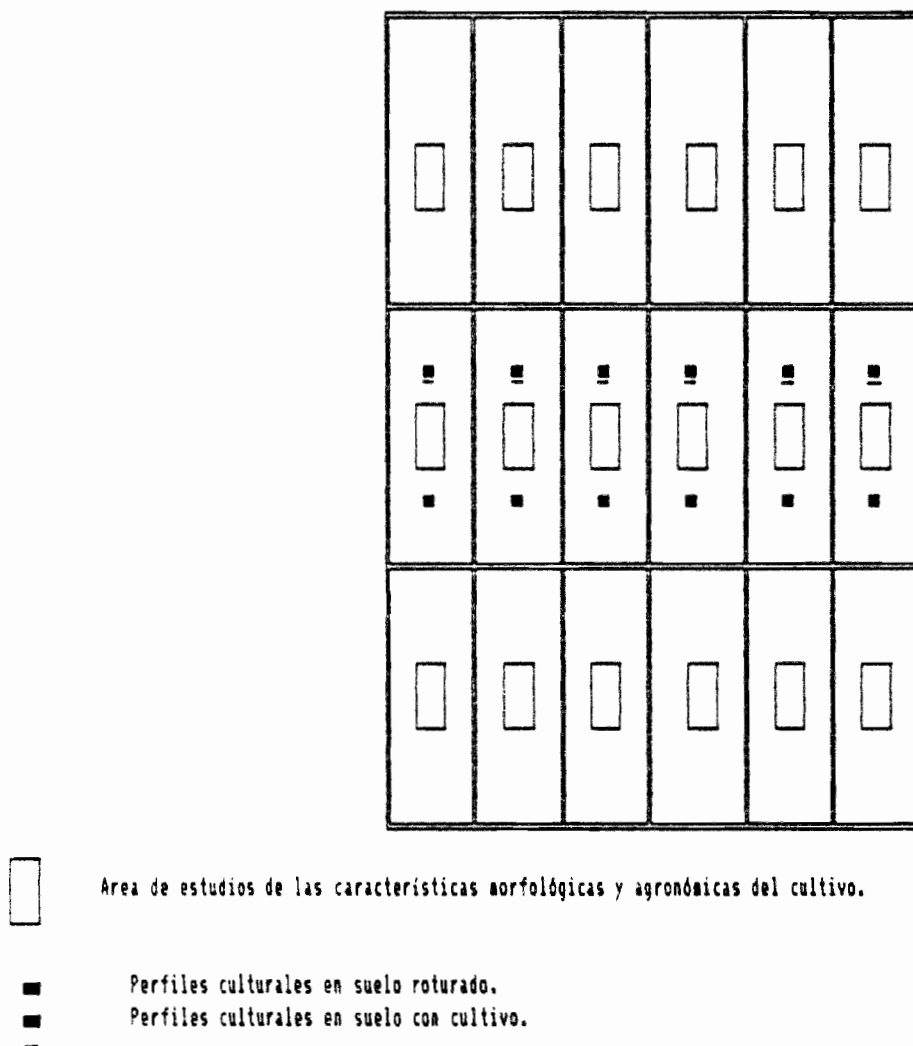


Fig. 6. Ubicación de los sitios de estudios de las características morfológicas, agronómicas y perfiles culturales.

4ta. etapa: Marcas sobre la cara de observación.

Se inicia con un refrescamiento para luego realizar las particiones vertical y lateral según características indicadas anteriormente (figura 7):

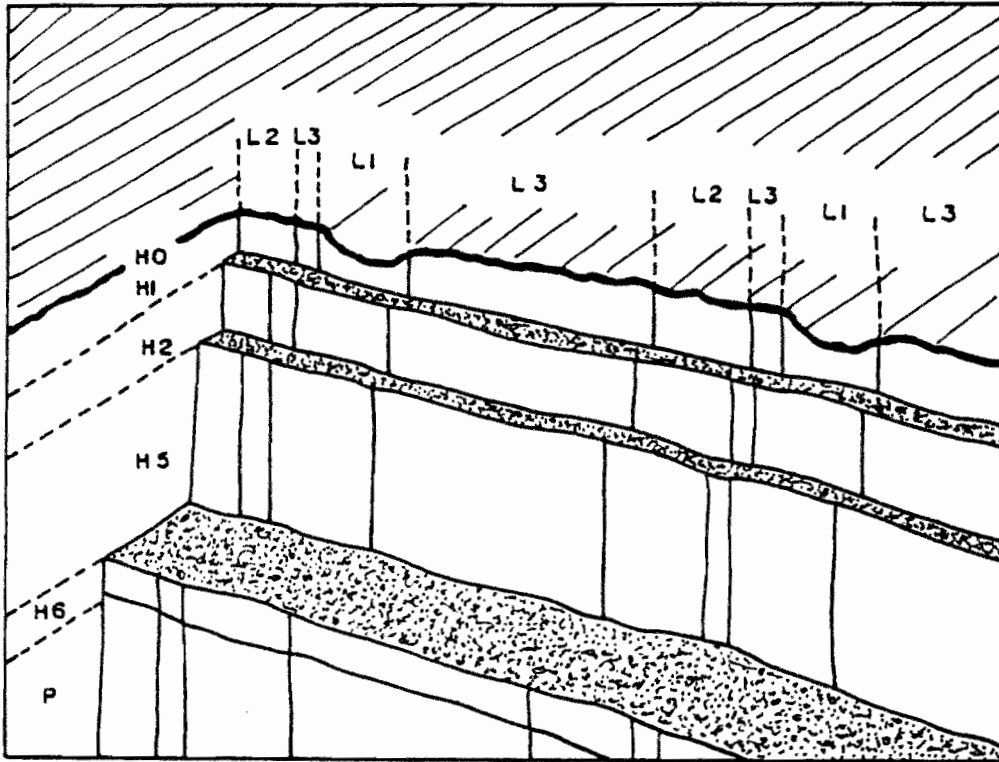


Fig. 7. Cara de observación después de la partición vertical y lateral.
Fuente: Gautronneau y Manichon (1982).

La descripción se realizó estrato por estrato después de la partición vertical y lateral concernientes principalmente a:

- * Los estados estructurales.
- * Los efectos visibles en la **superficie**: intensidad de degradación, erosión, fisuración, desterronamiento, restos vegetales.
- * Las variaciones del contenido de **humedad**.
- * Las **raíces**: por evaluación se compara su densidad según los estratos. Por otra parte, los efectos como: aplastamientos, ramificaciones, codos y tamaño.

- * Los restos de vegetación enterrados: descomposición (color, estado y olor), localización y abundancia.
- * Los trazos de actividad de la fauna; lombrices de tierra principalmente, abundancia y dirección de las galerías.

La caracterización de los estados estructurales "unidades morfológicas" (ver fig. 2, pag. 11), es típicamente para el horizonte antrópico H5, que corresponde al horizonte creado por la roturación. En los perfiles en el suelo con cultivo se utilizó un marco cuadrulado (de 5 x 5 cm), el cual permitió determinar las superficies de las unidades morfológicas y los impactos radiculares, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Impactos radiculares} = \frac{\text{Número de raicillas}}{\text{Superficie de la unidad morfológica}}$$

Aprovechando estos perfiles se determinaron las longitudes radiculares.

5.3. Particularidades del cultivo.

Se efectuaron las siguientes actividades:

5.3.1. Labores culturales.

5.3.1.1. Siembra.

Se utilizó tubérculos de la variedad Sani-imilla, provenientes todos de una misma parcela del lugar. Los mismos fueron seleccionados y desbrotados un mes antes de la siembra. Se procedió a la siembra el 4-11-91, empleándose un tractor de 40 HP, con una surcadora de 3 cuerpos, de distancia entre cuerpo de 85 cm. El tubérculo-semilla tuvo las siguientes características: diámetro promedio 38 mm, peso promedio 34.4 g y número de ojos promedio 9. La siembra se realizó de la siguiente manera: a una profundidad de 18.2 cm, con una distancia entre tubérculos 43 cm y una distancia entre surcos 85 cm (cuadro 10).

Cuadro 10. Características del tubérculo-semilla y la siembra de papa; en Cullta, 1991.

Tubérculo-semilla	Díámetro (mm)	38
	Peso (g)	34.4
	Número de ojos	9
Siembra	Profundidad (cm)	18.2
	Distancia entre plantas (cm)	43
	Distancia entre surcos (cm)	85.2

5.3.1.2. Fertilización.

Se empleó fertilizante químico: 18-46-0 y urea a un nivel de 80-80-0, aplicados en su totalidad en la siembra.

5.3.1.3. Aporque, control de malezas y plagas.

Debido a la helada del 06-12-91 de $-1,5^{\circ}\text{C}$, las labores de aporque, deshierbe y control de plagas, se realizaron recién el 03-01-92, efectuándose manualmente. Para el control de plagas (gorgojo de los andes, trips y polilla de la papa), se aplicó al suelo el producto químico Carbofuran (insecticida y nematocida) a una dosis de 12 kg/ha.

5.3.2. Evaluaciones de las características morfológicas y agronómicas del cultivo.

Los datos promedio fueron tomados de las áreas de estudio, localizados en cada unidad experimental (ver figura 6, pág. 34), que incluyen tres camellones de una longitud de 10 m, en los que se realizaron todas las evaluaciones.

5.3.2.1. Porcentaje de emergencia.

Realizado el 13-01-92, a los 70 días después de la siembra. Para los cálculos se relacionó el número de plantas emergidas con el número de tubérculos sembrados, tomados en tres camellones de 10 m y la distancia entre plantas sobre el surco de 0.85 m.

5.3.2.2. Densidad de tallos.

Efectuados también el 13-01-92, por el método propuesto por Wiersema (1987):

$$\text{Densidad de tallos} = \frac{\text{número total de tallos}}{\text{metros de surco} \times \text{distancia entre surcos}}$$

Toma en cuenta el conjunto de los tallos principales que se ramifican debajo de la superficie del suelo (tallos sobre el suelo).

5.3.2.3. Altura de planta.

Determinada mediante mediciones desde la superficie del suelo hasta la punta del tallo principal; en fecha 08-03-92.

5.3.2.4. Porcentaje de cobertura.

Realizada en la misma fecha que la anterior, utilizando el marco cuadrado (de 5 x 5 cm) para determinar el área que ocupa el follaje con relación al área del suelo implantado con cultivo.

5.3.2.5. Peso seco de la parte aérea.

Las muestras fueron tomadas de la parte aérea de la planta (a partir de la superficie del suelo); estas muestras fueron secadas en estufa a 105 °C. En la misma fecha que para la altura de plantas.

5.3.2.6. Cosecha.

Se efectuó en forma manual el 15-04-92, las variables estudiadas fueron: rendimiento, número de tubérculos por planta y diámetro de tubérculos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los diversos estudios realizados con el objeto de determinar el papel que juega el laboreo en las condiciones físicas del suelo y en el cultivo de papa. Para lo cual se dividió cronológicamente en tres períodos: implantación del ensayo; período del suelo roturado y período del suelo implantado con cultivo.

1. Implantación del ensayo.

1.1. Humedad en el suelo antes de la roturación.

Los valores determinados de la humedad en el suelo antes de la roturación, se indican en el cuadro 11.

Cuadro 11. Humedad en el suelo antes de la roturación.

Profundidad de muestreo (cm)	Humedad en el suelo (%)	
	Suelo T1	Suelo T2
10	18.6	9.2
20	12.7	10.4
30	14.4	12.5
40	16.8	11.4
Proa. sectores	13.4	10.9
Proa. general	12.2	

T1: Suelo con textura franco arcillo arenoso.

T2: Suelo con textura franco arenoso.

Se observa en el cuadro 11, que la parcela en general tuvo una humedad promedio de 12.2%, suficiente para efectuar la roturación. Se aprovecharon los muestreos en los dos suelos de la parcela (T1 y T2, texturas franco arcillo

arenoso y franco arenoso respectivamente) para la diferenciación entre ellos; es así que el suelo franco arcillo arenoso (con 13.4% de humedad) tuvo un aumento del 22.9% con relación al suelo franco arenoso (con 10.9% de humedad). Esta diferencia se atribuye al efecto textura, debido a que los suelos de textura más fina retienen mayor cantidad de agua que los suelos de textura gruesa (Fuentes, 1989).

1.2. Humedad del suelo al momento de la roturación.

Los datos de los muestreos tomados en cada tratamiento se anotan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Humedad en el suelo al momento de la roturación.

Profundidad de muestreo (cm)	Vertedera en T1		Vertedera en T2		Disco en T2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Superficial (entre 0-5 cm)	2.1	1.8	1.6	2.7	0.7	1.3
Profundo (antes del fondo de labor)	15.5	18.7	11.5	11.5	9.4	8.6
Promedio en P1: 12.1% de humedad antes del fondo de labor						
Promedio en P2: 10.3% de humedad antes del fondo de labor						
Promedio en T1: 13.1% de humedad antes del fondo de labor						
Promedio en T2: 10.2% de humedad antes del fondo de labor						

P1: Profundidad de roturación 30 cm.

P2: Profundidad de roturación 20 cm.

T1: Suelo con textura franco arcillo arenoso.

T2: Suelo con textura franco arenoso.

El contenido de humedad del suelo al momento de la roturación (cuadro 12), indica mayores contenidos de humedad en los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad (12.1% de humedad) en relación a los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad (10.3% de humedad) y en suelo franco arcillo arenoso (13.1% de humedad) con relación al suelo franco arenoso (10.2% de humedad). Diferencias atribuibles a la profundidad de muestreo y a la textura. Es decir, que la mayor

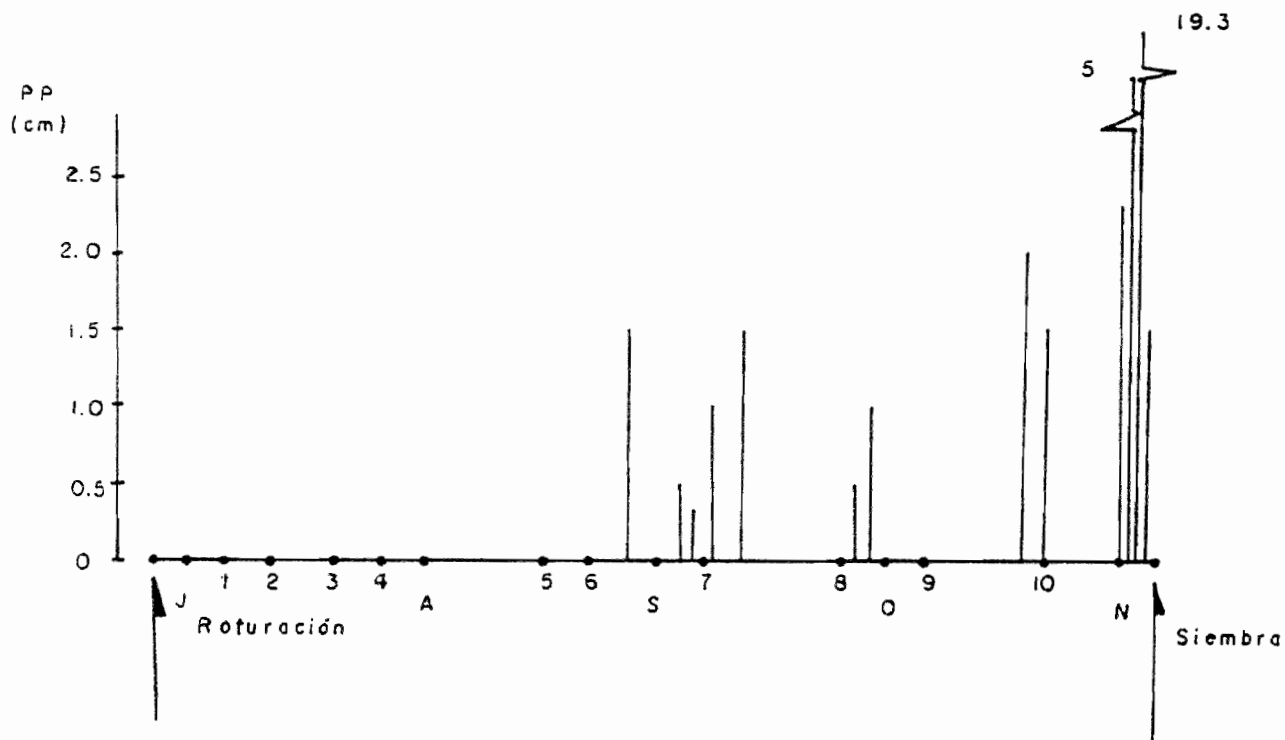
humedad se encuentra a mayor profundidad. Por otra parte, los suelos de textura más fina retienen más cantidad de agua que los suelos de textura gruesa (Fuentes, 1989).

2. Período del suelo roturado.

Los resultados que se presentan en esta sección se refieren a las evaluaciones de la dinámica de la humedad y a las características estructurales del suelo.

2.1. Dinámica de la humedad en el suelo.

La cronología de los intervalos entre muestreos y de las precipitaciones de este período (desde la roturación hasta la siembra) se pueden observar en la figura 8 y en forma detallada en el cuadro 1 del anexo I.



PP: Precipitación en mm.

J, A, ..., N: Meses (julio a noviembre).

1, 2, 3, ..., 10: Muestreos.

Figura 8. Cronología de los muestreos y de las precipitaciones

La dinámica de la humedad del suelo en los tratamientos fue similar, por el cual, en forma general se dan a conocer lo siguiente (cuadro 13):

A partir del 1^{er} muestreo hasta el 6^{to} muestreo, existe un progresivo desecamiento del suelo, debido a que durante este período no hubo aportes de humedad de ninguna índole. Entre el muestreo 6^{to} al 10^{mo} existieron precipitaciones en cantidades y en fechas diferentes, que en algunos casos, estas incrementaron la humedad del suelo de un muestreo a otro; las cuales se detallan a continuación:

Entre el muestreo 6^{to} y 7^{mo} existió una precipitación acumulada de 2.3 mm (1.5, 0.5 y 0.3 mm caídos 10, 3 y 1 día antes del séptimo muestreo respectivamente), como estas precipitaciones fueron cercanas al 7^{mo} muestreo, hicieron que se incremente la humedad en el suelo con relación al 6^{to} muestreo. Desde el 7^{mo} al 9^{no} muestreo, existe un decremento de humedad en forma progresiva en todo el perfil hídrico; a pesar de existir precipitaciones; pero, debido a los días que transcurrieron entre las precipitaciones y el último muestreo, más bien decreció en éste. Tal como ocurrió en el período comprendido entre el 7^{mo} y 8^{vo} muestreo, con una precipitación acumulada de 2.5 mm (1.0 y 1.5 mm caídos 17 y 13 días antes del octavo muestreo respectivamente) y el período entre el 8^{vo} y 9^{no} muestreo, con una precipitación acumulada de 1.5 mm (0.5 y 1.0 mm caídos 10 y 8 días antes del noveno muestreo).

Y por último entre el 9^{no} y 10^{mo} muestreo, hubo un incremento de humedad en el suelo a consecuencia de las precipitaciones de 2 y 1.5 mm, caídos 3 días antes y el mismo día del último muestreo, respectivamente.

Del promedio entre los tratamientos, se observó un decremento de humedad del 19.8% entre el 1^{er} y el 10^{mo} muestreo, es decir de 10.1 a 8.1% de humedad.

Las prácticas de labranza influyen en las condiciones físicas del suelo (Gavande, 1986). La cantidad de agua depende de la condición física del suelo y de la precipitación, es decir, del clima y de la estación (Proyecto Senati-Swisscontact, 1983). Los cuales contribuyeron en la dinámica de la humedad del suelo de cada tratamiento.

En la realización de los muestreos, se deben tomar en cuenta algunos aspectos referentes al punto de muestreo, que de alguna manera llevan a obtener resultados erróneos; los cuales se dan a conocer para cada uno de las profundidades que se obtuvo en los muestreos:

Humedad del suelo obtenida a una profundidad de 10 cm. Para el caso específico de un período de desecación del suelo, tal como ocurrió entre el 2^{do} al 6^{to} muestreo y entre el 7^{mo} al 9^{no} muestreo, en algunos muestreos la humedad es mayor en el muestreo posterior con relación al anterior; cosa que no debió ocurrir. Como casos específicos se observan en: El tratamiento roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso, donde fue mayor el 6^{to} muestreo (7.2% de humedad) con relación al 5^{to} muestreo (4.3% de humedad) y el tratamiento roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso, donde el 5^{to} muestreo con 6.7% de humedad es mayor respecto al 4^{to} muestreo que tuvo 6.1% de humedad. Posiblemente se debió a que el muestreo posterior se efectuó en otro punto, lo cual hizo variar el porcentaje de humedad, para este caso la mayor humedad se concentró a una mayor profundidad; contrariamente ocurrió en los períodos de humedecimiento de los muestreos 1^{ro} al 2^{do}, 6^{to} al 7^{mo} y 9^{no} al 10^{mo}.

Humedad del suelo obtenida a una profundidad de 20 cm. Las variaciones de humedad en esta profundidad se debieron a las diferencias estructurales creadas por el trabajo del arado (H5), siendo mayor el contenido de humedad en un fragmentario (F) que en un masivo (M) (Tardieu y Manichon, 1987). Otro factor que influyó en estas variaciones fue la profundidad de roturación principalmente en los tratamiento roturados a 20 cm de profundidad que tuvieron promedio menores a 20 cm, además de considerar las oscilaciones de la profundidad de la roturación. De esta manera se debe analizar si las muestras fueron tomadas antes o después del fondo de labor, aspecto que es desglosado en el siguiente punto.

Humedad del suelo obtenida a una profundidad de 30 cm. Las variaciones de humedad a esta profundidad se deben a los siguientes aspectos:

- * Si el muestreo fue realizado antes del fondo de labor o después de este, existiendo mayor humedad antes del fondo de labor.

- * Si el muestreo se realizó encima del horizonte edafológico (P1) o en ella, igual que la anterior, la humedad es mayor encima de éste.
- * También dependió del contenido de arcilla en el sitio de muestreo, que determina mayor humedad en mayor contenido de arcilla.

Son aspectos que pueden actuar independientemente o en interacción entre ellos. Si bien se dan a conocer los aspectos que influyeron en el contenido de humedad en el suelo, no se puede decir con seguridad cual de estos aspectos ha influido en estas variaciones.

El cuadro 13, también muestra el efecto de la textura y los métodos de labranza sobre el contenido de humedad en el suelo, medidos en el período del suelo roturado.

De acuerdo a los promedios por tratamiento de este cuadro, se revela un aumento del 7.1% en contenido de humedad favorable para los tratamientos roturados a la profundidad de 30 cm (9.0% de humedad) respecto a los roturados a 20 cm (8.4% de humedad). Este incremento se atribuye a que los suelos con mayor profundidad efectiva tienden a almacenar mayor cantidad de agua (Gavande, 1986).

La mayor humedad en los tratamientos roturados a 30 cm se tuvo en el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo de textura franco arcillo arenoso (10.3% de humedad) y el menor contenido de humedad se presentó en el tratamiento roturado con arado de discos en suelo franco arenoso (8.2% de humedad); existió un incremento del 25.6% en contenido de humedad favorable al primero. En tanto en los tratamientos roturados a 20 cm, se evidenció un mayor contenido de humedad en el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso (9.5% de humedad) y el contenido más bajo lo constituyó el tratamiento roturado con arado de discos en suelo franco arenoso (7.3% de humedad), con un incremento del 30.1% a favor del primero.

Para diferenciar el efecto del implemento del efecto de la textura, se comparó los implementos vertedera y discos trabajados en un mismo suelo (franco arenoso); de esta comparación se evidencio que el tratamiento con arado de

Cuadro 13. Efecto de la textura y los métodos de labranza sobre el contenido de humedad en el suelo medidos en el período del suelo roturado; en Culita, 1991.

IMPLEMENTOS	PROF. DE ROTURACION (cm)	TEXTURA	PROF. (cm)	HUMEDAD EN EL SUELO (%)										X
				M E S T R E O S										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Vertedera	30	FYA	10	9.90	10.70	8.70	6.60	4.30	7.20	8.00	6.20	5.50	6.30	7.34
			20	12.10	13.30	11.30	11.00	8.10	10.20	12.20	9.60	8.60	9.60	10.02
			30	14.80	15.90	15.20	16.50	10.90	11.60	12.50	11.40	10.40	11.40	13.00
			X	12.27	13.30	11.73	11.37	7.77	9.67	10.90	9.13	8.17	9.10	10.34
	20	FYA	10	7.60	10.10	7.60	7.40	3.30	4.30	5.90	4.90	4.30	5.30	6.07
			20	9.90	11.40	10.90	11.00	7.70	9.80	10.70	8.70	8.20	9.00	9.73
			30	12.90	13.50	15.40	13.60	10.30	13.40	13.90	11.40	10.50	11.50	12.64
			X	10.13	11.67	11.30	10.67	7.10	9.17	10.17	8.33	7.67	8.60	9.48
Vertedera	30	FA	10	7.50	10.20	6.70	5.00	3.90	4.90	6.00	5.30	4.70	5.30	5.95
			20	10.30	11.60	9.60	9.40	8.70	8.70	8.80	8.50	7.60	9.00	9.22
			30	10.50	11.70	10.50	9.50	8.90	9.10	10.10	9.10	7.90	11.50	9.88
			X	9.43	11.17	8.93	7.97	7.17	7.57	8.30	7.63	6.73	8.60	8.35
	20	FA	10	7.40	9.30	6.50	5.60	4.10	3.70	5.70	4.80	3.70	4.40	5.52
			20	9.00	10.30	9.90	9.20	8.70	9.00	9.00	8.30	7.20	7.80	8.64
			30	10.70	12.00	10.70	13.20	12.50	11.90	12.20	10.10	8.70	9.20	11.12
			X	9.03	10.53	9.03	9.33	8.43	8.20	8.97	7.73	6.53	7.13	8.49
Disco	30	FA	10	8.20	8.90	6.90	6.10	6.70	4.30	5.50	5.20	4.40	4.80	6.10
			20	9.90	10.20	9.20	8.70	11.80	7.10	7.20	7.00	6.20	7.20	8.45
			30	10.90	12.60	11.30	10.40	13.80	9.40	8.90	7.60	8.00	8.90	10.18
			X	9.67	10.57	9.13	8.40	10.77	6.93	7.20	6.60	6.20	6.97	8.24
	20	FA	10	7.50	8.70	5.40	5.10	4.90	3.80	4.60	4.40	3.70	4.00	5.21
			20	9.00	9.20	8.70	7.60	10.70	7.00	6.80	6.40	6.50	6.90	7.88
			30	6.80	12.00	8.10	6.60	14.70	7.80	8.10	7.20	7.80	8.80	8.79
			X	7.77	9.97	7.40	6.43	10.10	6.20	6.50	6.00	6.00	6.57	7.29
Vertedera en un suelo franco arenoso (FA)				9.23	10.85	8.98	8.65	7.80	7.86	8.63	7.68	6.63	7.87	8.42
Disco en un suelo franco arenoso (FA)				8.72	10.27	8.27	7.42	10.43	6.57	6.85	6.30	6.10	6.77	7.77
Profundidad de roturación 30 cm (P1)				10.46	11.68	9.93	9.24	8.57	8.06	8.80	7.79	7.03	8.22	8.98
Profundidad de roturación 20 cm (P2)				8.98	10.72	9.24	8.81	8.54	7.86	8.54	7.36	6.73	7.43	8.42
Textura del suelo franco arcillo arenoso (FYA)				11.20	12.48	11.52	11.02	7.43	9.42	10.53	8.73	7.92	8.85	9.91
Textura del suelo franco arenoso (FA)				8.98	10.56	8.63	8.03	9.12	7.23	7.74	6.99	6.37	7.32	8.10

vertedera (8.4% de humedad) tuvo un ligero incremento del 7.7% respecto al tratamiento roturado con arado de disco (7.8% de humedad). Incremento debido a la forma de trabajo que estos implementos realizan; es decir, en el trabajo del arado de discos, el ancho del prisma no guarda una relación adecuada con la profundidad. Por esto, el volumen de aire es menor que en el caso de la ardura con arado de vertederas (Meier, 1993).

También se observó, un incremento de 22.2% en contenido de humedad, favorable al suelo franco arcillo arenoso (9.9% de humedad) con relación al suelo franco arenoso (8.1% de humedad), concordando de esta manera con las aseveraciones de Fuentes (1989), el cual indica, que los suelos de textura fina retienen más cantidad de agua que los suelos de textura gruesa.

De esta manera, puede decirse que existe tendencia a retener mayor humedad en los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad, en suelo de textura franco arcillo arenoso y con arado de vertedera.

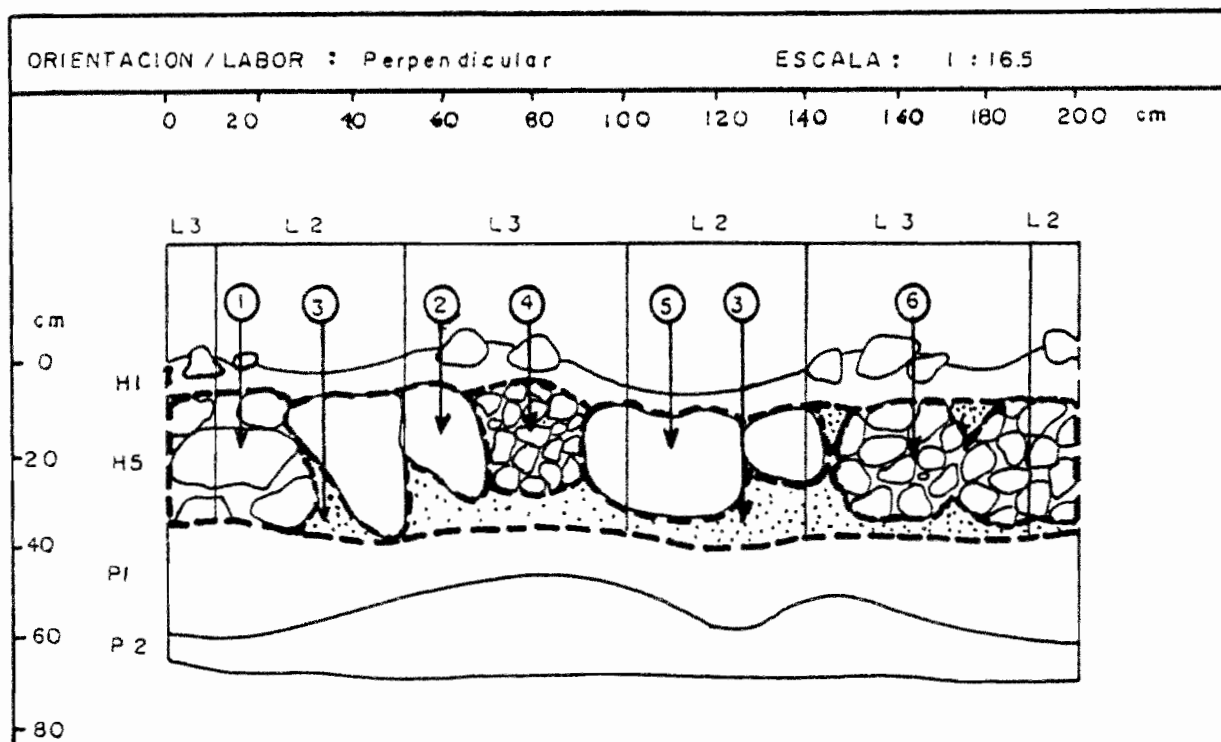
2.2. Características del estado estructural del suelo.

Las observaciones de los estados estructurales fueron realizadas a los 77 y 78 días después de la roturación. Se evaluaron seis perfiles uno en cada tratamiento, siguiendo el método del Perfil Cultural propuesto por Henin, Gras y Monnier (1972) y el procedimiento aplicado por Gautronneau y Manichon (1982).

2.2.1. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

La figura 9 presenta el esquema del perfil cultural para este tratamiento, en el que se indican: la partición vertical (horizontes: H1, H5, P1 y P2) y la partición lateral (L2 y L3). En el horizonte H5 resaltan seis unidades morfológicas distribuidas dentro las dos particiones laterales (L2 y L3).

Las características estructurales (modo de agregación y estado interno) de los horizontes antrópicos (H1 y H5), se observan en el cuadro 14. El cuadro presenta los siguientes detalles:



H1, H5, P1 y P2: Partición vertical. Donde: H= Horizontes antropicos y P= Horizontes edafológicos (denominaciones presentes en el cuadro 5, pág. 28).

L2 y L3: Partición lateral (denominaciones presentes en el cuadro 6, pág. 29).

Fig. 9. Esquema del perfil cultural, del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Periodo de suelo roturado; en Cullita, 1991.

- En el Horizonte H1, se observaron tres estados estructurales: el primer estado fue "SF mm y gm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5-10 cm y mayores a 10 cm de diámetro y estado interno Δ", este estado representó un 35% del horizonte. El segundo estado fue "SF pm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó 50% del horizonte. Y el tercero lo constituyó "SF tf", que significa: "terrones adherido entre ellos, fácilmente disgregables, tendiendo hacia una tierra fina", ocupó 15% del horizonte. En las particiones laterales (L2 y L3), se observaran iguales porcentajes

de ocupación de los estados mencionados anteriormente, debido a que el estrato presentó una relativa homogeneidad en la distribución de estos tres estados estructurales.

Cuadro 14. Estados estructurales de los estratos horizontes (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Periodo de suelo roturado; en Cullta, 1991.

ESTADOS ESTRUCTURALES (*)			
Horiz. Ant. H	Descripción de los estados estructurales (2do + 1er nivel)	Z dentro de cada uno	
		L2	L3
H1	SF aa y gm Δ	35	35
	SF pa Δ	50	50
	SF tf	15	15
H5	1 SF v gm Δ	19	
	2 SD v gm Δ	24	
	3 F tf Γ	20	
	5 SF gm Φ	26	
	6 SD aa Φ	11	
	1 SF v gm Δ		18
	2 SD v gm Δ		18
	3 F tf Γ		22
	4 SD pa Φ y 6 SD aa Φ		23
	5 SF pa Φ		35

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).
1,2,3...: Unidades morfológicas.

Tamaño de los terrones:

gm: Terrones grandes (> 10 cm)

aa: Terrones medianos (5 a 10 cm)

pa: Terrones pequeños (< 5 cm)

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 5-8 (páginas: 28-31 respectivamente).

El horizonte se caracterizó por la existencia de una relación "terrones: tierra fina" de 5.7:1 y por el afloramiento de terrones grandes (gm), con estados internos "Δ". Características atribuidas a la presencia de arcilla (textura franco arcillo arenoso) y a la humedad del suelo (15.5% de humedad) al momento de la roturación, los que contribuyeron a la formación de agregados grandes (gm) que no han sido totalmente

desagregados por el rastrado. Estos agregados con el pasar del tiempo y los efectos del clima, fueron endureciendo paulatinamente hasta llegar a constituirse en muy coherentes.

- En el horizonte H5, se presentaron dos particiones laterales (L2 y L3), por lo que las seis unidades morfológicas presentes en este horizonte se encontraron repartidas en estas particiones. Las unidades morfológicas formadas son las siguientes: la unidad morfológica 1 presentó un estado "SF V gm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, mayores a 10 cm de diámetro, estado interno Δ y acompañado de fisuras mayores a 5 cm", ocupó un 19% del horizonte H5-L2 y un 10% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 2, presentó un estado "SD v gm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, mayores de 10 cm de diámetro, de un estado interno Δ y acompañados de fisuras mayores a 5 cm", ocupó 24% del horizonte H5-L2 y 10% del estrato H5-L3. La unidad morfológica 3, tuvo como estado "F tf r", que significa: "terrones fragmentarios, tendiendo a una tierra fina y estado interno r", ocupó un 20% del horizonte H5-L2 y 22% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 4 conjuntamente la unidad morfológica 6 presentaron estados "SD pm ϕ" y "SD mm ϕ", que significan: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables y estado interno ϕ", con la única diferencia que están compuestas por terrones menores a 5 cm y 5-10 cm de diámetro, para las unidades morfológicas 4 y 6 respectivamente, ambos ocuparon 35% del horizonte H5-L3, en cambio la unidad morfológica 6 un 11% del horizonte H5-L2. La unidad morfológica 5, presentó un estado "SF gm ϕ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, mayores a 10 cm de diámetro y estado interno ϕ", ocupó 26% del horizonte H5-L2 y 23% del horizonte H5-L3. Estas descripciones de los estratos estructurales pueden ser complementadas con la observación de la fotografía 1 del anexo II, conjuntamente la figura 9, donde se dan a conocer la localización de las unidades morfológicas.

Las unidades morfológicas 1, 2 y 5, situados en su mayor parte en la partición lateral L2, fueron afectadas por los apizonamientos y/o compactaciones de las ruedas del tractor, el cual contribuyó a las

formaciones de sus estados internos " Δ " (Muy coherente) y " Φ " (intermedio en coherencia). La formación de estos agregados es atribuido a tres aspectos: el trabajo del implemento (vertedera), la humedad del suelo al momento de la roturación (15.5% de humedad) y la textura (24% de arcilla), contribuyeron a que los prismas de tierra creados por el arado sean gran tamaño, los mismos que fueron compactados por las ruedas del tractor dieron origen a los estados internos " Δ " y en parte a " Φ ".

Por otra parte el cuadro 15, muestra algunos parámetros en las particiones verticales, de los cuales resaltan:

Cuadro 15. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Periodo de suelo roturado; en Cullta, 1991.

PARTICION VERTICAL										
N Hor.	Cotas inf. med, min, máx (cm)	Nitidez límites (⊗)	Humedad (⊗)	Color	Tex.	Piedras (⊗)	Conc. (⊗)	Raíces (⊗)	Poros. por loabr. (⊗)	Resist. a la penetr. (kg/cm ²)
H1	18.5 (4-14)	1a 2t	1h	Marrón claro	FY	10z 2ta redon.	0 ac	3rc 2rt	0pl	30 (terr.)
H5	40.1 (38-44)	3a 3t	3h	Marrón	FY	15z 2ta redon.	0 ac	3rc 2rt	2pl	15
P1	55.6 (50-63)	2a 3t	1h	Pardo oscuro	AF	60z 1,2 ta redon.	4ac 1tc 1dc Irreg.	1rc 1rt	0pl	>40
P2	Fondo de la fosa	-	3h	Rojo oscuro	Y	30z 1ta redon. y aplan.	2ac 1tc 1dc Irreg.	1rc 1rt	0pl	28.5

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).

P1 y P2: Horizontes edafológicos.

(⊗) Denominaciones presentes en los cuadros 2-7 del anexo I.

terr.: en los terrones.

- ▶ En el horizonte H1, se tuvo: una cota inferior de un rango de 4 a 14 cm; textura franco arcilloso; presencia de piedras (2ta), en poca cantidad (2ab) y una resistencia a la penetración de 30 kg/cm², medidos en los terrones (terrones de estados internos "Δ").
- ▶ En el horizonte H5, se presentaron: una cota inferior promedio de 40.1 cm, comparados con la profundidad promedio de roturación para este tratamiento (30.1 cm de profundidad) fue mayor con 10 cm. También se encontró un 15% de grava (1ta); debido a que el suelo estuvo húmedo (3h) se encontró poros frecuentes (2pl) de lombrices y se tuvo una resistencia a la penetración promedio de 15 kg/cm².
- ▶ El horizonte P1, presentó un espesor de 15.5 cm con las siguientes características: 60% de gravas (1ta) y piedras (2ta); seco (1h); presencia de concreciones en forma abundante (4ac), pequeños (1tc) y blandos (1dc); resistencia la penetración promedio mayor a 40 kg/cm²; muy compacto (e que llega a constituir un hardpan). Por sus características presentadas, este horizonte se considera como un impedimento para el desarrollo radicular y el intercambio de humedad entre los horizontes superiores e inferiores.
- ▶ En el horizonte P2, se observó: 30% de gravas (1ta); suelo húmedo (3H); horizonte arcilloso y una resistencia a la penetración de 28 kg/cm².

2.2.2. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

La representación esquemática del perfil cultural para este tratamiento, indicó la existencia de dos particiones: vertical (compuesta por los horizontes: H1, H5, P1 y P2) y lateral (compuesta por L2 y L3). Así también, muestra cuatro unidades morfológicas en el horizonte H5 (figura 10).

En los horizontes H1 y H5, las características estructurales estudiadas (modo de agregación y estado interno), dan a conocer lo siguiente (cuadro 16):

Cuadro 16. Estados estructurales de los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo roturado; en Cullita, 1991.

ESTADOS ESTRUCTURALES (%)			
Horiz. Ant. M	Descripción de los estados estructurales (2do + 1er nivel)	% dentro de cada uno	
		L2	L3
H1	SF mm y gm Δ	40	40
	SF pm Δ	40	40
	SF tf	20	20
H5	1 MR Δ	59	
	3 SF v pm Φ	41	
	2 SD mm Δ		38
	3 SF v pm Φ		16
	4 SF gm Δ		46

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por la rastra y arado respectivamente).

1,2,3...: Número de las unidades morfológicas.

Tamaño de los terrones:

gm: Terrones grandes (> 10 cm)

mm: Terrones medianos (5 a 10 cm)

pm: Terrones pequeños (< 5 cm)

(%) Denominaciones presentes en los cuadros 5-8 (páginas: 28-31 respectivamente).

La relación "terrones : tierra fina" de 4:1, así como el afloramiento de terrones mayores a 10 cm de diámetro (gm) y la irregularidad de la superficie del suelo caracterizaron al horizonte.

- En el horizonte H5, resaltan: las particiones laterales (L2 y L3) y cuatro unidades morfológicas. Las características estructurales de las unidades morfológicas fueron: la unidad morfológica 1, presentó un estado "MR Δ", que significa: "masivo, con presencia de fuentes de contracción y estado interno Δ", ocupó el 59% del horizonte H5-L2. La unidad morfológica 2, presentó un estado "SD mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, de 5-10 cm de diámetro y

estado interno Δ ", ocupó 38% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 3 presentó un estado "SFv pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y acompañado de fisuras menores a 5 cm", ocupó un 41% del horizonte H5-L2 y un 16% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 4, presentó un estado "SF mg Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, de fácil disgregabilidad, mayores a 10 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó un 46% del horizonte H5-L3.

Las partes superiores de las unidades morfológicas 1, presentaron lisados efectuados por las llantas del tractor (ruedas traseras), a los 80 a 110 cm y 170 a 200 cm del perfil. La compactación por las llantas del tractor, conjuntamente la textura (con 24% de arcilla) y la humedad del suelo (10.7% de humedad), contribuyeron a la formación de agregados muy coherentes (" Δ "). También se observaron, lisados producidos por la reja del implemento (a los 70 a 80 cm y 155 a 165 cm del perfil). Estos lisados son ilustrados en la fotografía 2 del anexo II.

El cuadro 17 muestra otras características estudiadas, de las que resaltan lo siguiente:

- ▶ El horizonte H1, tuvo un espesor de 10.1 cm (con un rango de 7 a 16 cm; 15% de piedras (2ta); constitución franco arcilloso y una resistencia a la penetración de 40 kg/cm², medida en los terrones.
- ▶ El horizonte H5, presentó: una cota inferior promedio de 22.8 cm, comparados con la profundidad promedio de roturación para este tratamiento (19 cm de profundidad) fue mayor con 3.8 cm. También se encontró un 10% de grava (1ta); debido a que el suelo estuvo húmedo (3h) se encontraron poros frecuentes (2pl) de lombrices; se tuvo una resistencia a la penetración promedio de 26 kg/cm².
- ▶ El horizonte P1, presentó un espesor de 25.8 cm; 80% de gravas (1ta) y piedras (2ta); seco (1h); presencia de concreciones en forma abundante (4ac), pequeños (1tc) y blandos (1dc); resistencia la penetración promedio

mayor a 40 kg/cm²; muy compacto (que se constituye en un hardpan). Se considera un obstáculo para el desarrollo radicular y el intercambio de humedad entre los horizontes superiores e inferiores.

Cuadro 17. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 28 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Periodo de suelo roturado; en Cullta, 1991.

PARTICION VERTICAL										
N Hor.	Cotas inf. med, in, máx (cm)	Humedad límites (%)	Humedad (%)	Color	Tex.	Piedras (%)	Conc. (%)	Raíces (%)	Poros. por loabr. (%)	Resist. a la penetr. (kg/cm ²)
H1	18.1 (7-16)	1a 2t	1h	Marrón claro	FY	15z 2ta redon.	8ac	4rc 3rt	8pl	48 (terr.)
H5	22.8 (18-28)	2a 4t	3h	Marrón	FY	18z 2ta redon.	8ac	4rc 3rt	2pl	26
P1	46.6 (44-51)	2a 3t	1h	Pardo oscuro	AF	88z 2ta redon.	4ac 1tc 1dt	1rc 1rt Irreg.	8pl	>48
P2	Fondo de la fosa	-	3h	Rojo oscuro	Y	28z 1ta redon.	1ac 1tc 1dc	1rc 1rt Irreg.	8pl	31.1

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).

P1 y P2: Horizontes edafológicos.

(%) Denominaciones presentes en los cuadros 2-7 del anexo I.

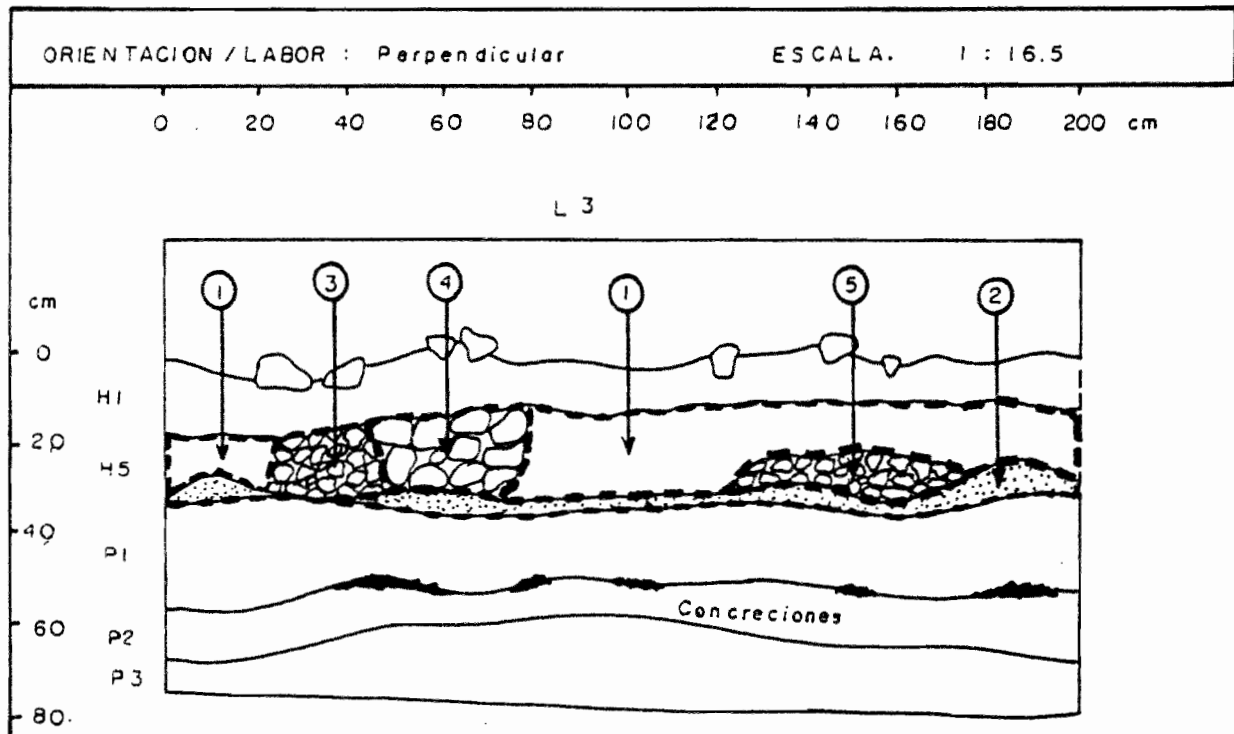
terr.: En los terrones.

- En el horizonte P2, se observó: 20% de gravas (1ta); suelo húmedo (3h); horizonte arcilloso y una resistencia a la penetración de 28. kg/cm². Más favorable que P1, para el desarrollo radicular de las plantas.

2.2.3. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.

La figura 11 indica, la representación esquemática del perfil cultural para este tratamiento, en el que resaltan la partición vertical (horizontes: H1,

H5, P1, P2 y P3) y la partición lateral (L3). La existencia de L3 indicó, que no hubieron sectores afectados por las ruedas de las maquinarias después de la labor o de los últimos mullimientos de la superficie labrada. Así mismo, muestra cinco unidades morfológicas en el horizonte H5.



H1, H5, P1, P2 y P3: Partición vertical. Donde: H= Horizontes antrópicos y P= Horizontes edafológicos (denominaciones presentes en el cuadro 5, pág. 28).

L2: Partición lateral (denominaciones presentes en el cuadro 6, pág. 29).

Fig. 11. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullita, 1991.

A continuación se detallan las características estructurales de las unidades morfológicas de los horizontes antrópicos H1 y H5 (cuadro 18):

- En el horizonte H1, se presentaron los siguientes estados estructurales: el estado "SF mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5-10 cm de diámetro y estado interno Δ", representó un 15% del horizonte; el estado "SF pm Δ", que

significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 40% del horizonte y el estado "SF tf", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, tendiendo hacia una tierra fina", ocupó 45% del horizonte.

La relación "terrones : tierra fina" fue de 1.2:1, puede ser favorable para las operaciones culturales posteriores, por su mayor mullimiento.

Cuadro 18. Estados estructurales de los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cuilta, 1991.

ESTADOS ESTRUCTURALES (*)		
Horiz. Ant. M	Descripción de los estados estructurales (2do + 1er nivel)	¿ dentro de cada uno
		L3
H1	SF $ms \Delta$	15
	SF $pm \Delta$	40
	SF tf	45
H5	1 M Φ	50
	2 F tf	19
	3 SF $pm \Phi$	12
	4 SF $ms \Delta$	10
	5 SF $pm \Delta$	9

H1 y H5: Horizontes antrópico (creados por la rastra y arado respectivamente).

1,2,3...: Unidades morfológicas.

Tamaño de los terrones:

ms : Terrones medianos (5 a 10 cm)

pm : Terrones pequeños (< 5 cm)

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 5-8 (páginas: 28-31 respectivamente).

- El horizonte H5, presentó cinco unidades morfológicas, los que se dan a conocer a continuación: la unidad morfológica 1 presentó un estado "M Φ ", que significa: "masivo y estado interno Φ ", ocupó 50% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 2, presentó un estado "F tf", que significa: "tierra fina fragmentaria", ocupó 19% del horizonte H5-L3. La

unidad morfológica 3, tuvo como estado "SF pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", ocupó un 12% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 4, presentó un estado "SF mm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5-10 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 10% del horizonte H5-L3. Y la unidad morfológica 5, presentó un estado "SF pm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 9% del horizonte H5-L3.

El horizonte se caracterizó por un estado masivo, de aspecto continuo, resultante del mayor desmenuzamiento en este suelo.

Así mismo, se estudiaron otras características (cuadro 19), de las cuales resaltan lo siguiente:

- ▶ El horizonte H1, tuvo: un espesor promedio de 12.8 cm (con un rango de 10 a 18 cm), un 20% de piedras (2ta) y una resistencia a la penetración de 14 kg/cm² (medidos en los terrones).
- ▶ El horizonte H5, presentó: una cota inferior promedio de 32.7 cm (espesor del horizonte 19.9 cm), una frecuente (2pl) actividad de lombrices a causa de que el horizonte se encontró húmedo (3h) y una resistencia a la penetración promedio de 12.8 kg/cm².
- ▶ El Horizonte P1, presentó un espesor de 10.4 cm; 70% de gravas (1ta) y piedras (2ta); seco (1h); muy pocos (1ac) concreciones, grandes (2tc) y blandos (1dc); resistencia la penetración promedio mayor a 40 kg/cm². Se puede considerar como un impedimento al desarrollo radicular profundo, debido a que presenta una elevada coherencia.
- ▶ En el horizonte P2, es arcilloso; de un espesor de 10 cm; 40% de gravas (1ta); suelo fresco (3H) y una resistencia a la penetración de 39.5 kg/cm².

- En el horizonte P3, es arcilloso; 20% de gravas (1ta); suelo húmedo (3h) y una resistencia a la penetración de 22.7 kg/cm².

Cuadro 19. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.

PARTICION VERTICAL										
H Hor.	Cotas inf. med, min, máx (cm)	Htidez límites (#)	Humedad (#)	Color	Tex.	Piedras (#)	Conc. (#)	Raíces (#)	Poros. por loabr. (#)	Resist. a la penetr. (kg/cm ²)
H1	12.8 (18-18)	2a 2t	2h	Marrón claro	FA	20% 2ta redon.	8ac	3rc 2rt	8pl	14 (terr.)
H5	32.7 (38-36)	2a 3t	3h	Marrón	FA	15% 1ta redon.	8ac	4rc 3rt	2pl	12.8
P1	52.2 (49-56)	2a 3t	1h	Pardo oscuro	A o AF	70% 1, 2ta redon.	2ac 2tc 1dc Irreg.	1rc 1rt	8pl	>40
P2	62.6 (56-67)	2a 3t	2h	Rojo oscuro	Y	40% 1ta redon. y aplan.	1ac 2tc 1dc Irreg.	1rc 1rt	8pl	39.5
P3	Fondo de la fosa	-	3h	Rojizo oscuro	Y	20% 2ta redon.	1ac 2tc 1dc	1rc 1rt	8pl	22.7

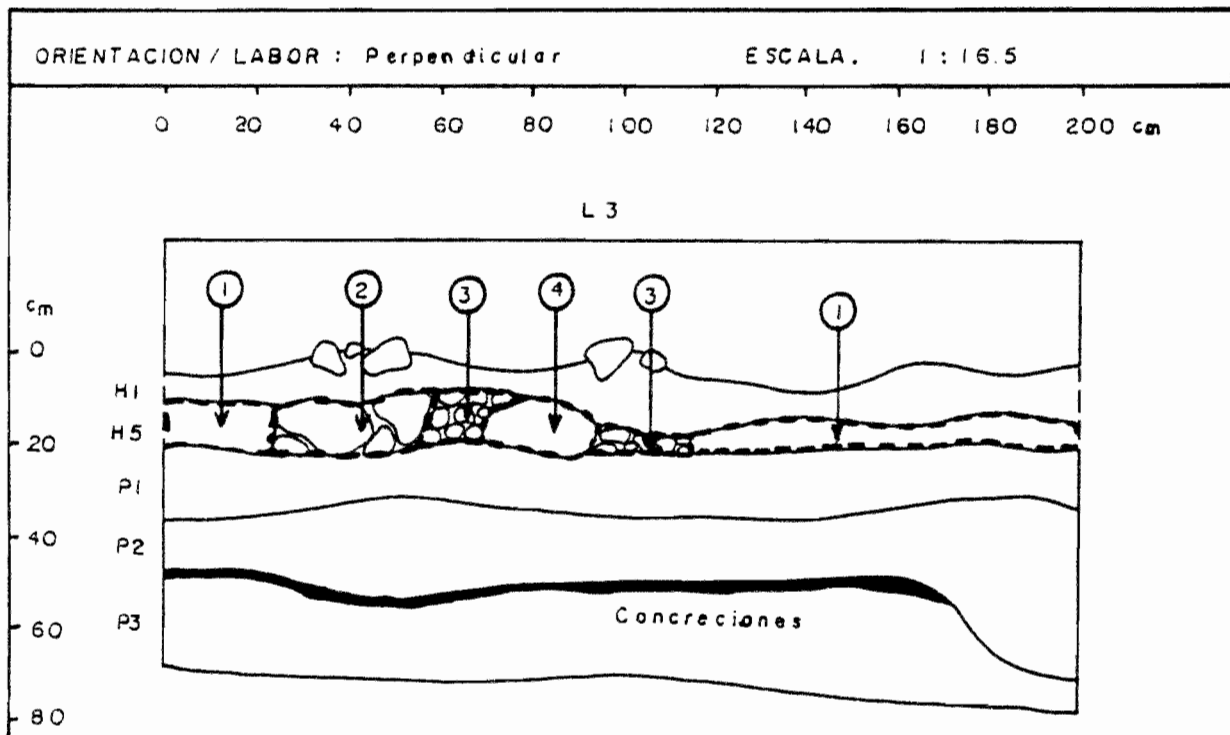
H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).

P1 y P2: Horizontes edafológicos.

(#) Denominaciones presentes en los cuadros 2-7 del anexo I.
terr.: en los terrones.

2.2.4. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.

El perfil cultural, representado esquemáticamente (figura 12), muestra las dos particiones: vertical (horizontes: H1, H5, P1, P2 y P3) y lateral (L3). También indica la presencia de las unidades morfológicas en el horizonte H5.



H1, H5, P1, P2 y P3: Partición vertical. Donde: H= Horizontes antrópicos y P= Horizontes edafológicos (denominaciones presentes en el cuadro 5, pág. 28).

L2: Partición lateral (denominaciones presentes en el cuadro 6, pág. 29).

Fig. 12. Esquema del perfil cultural, del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Periodo de suelo roturado; en Cullita, 1991.

Las características estructurales estudiadas en los estratos H1 y H5, dan a conocer lo siguiente (cuadro 20):

- ▶ En el horizonte H1, se observaron tres estados estructurales: el estado "SF mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5-10 cm de diámetro y estado interno Δ", representó un 15% del horizonte; el estado "SF pm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó 45% del horizonte y el estado "SF tf", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, tendiendo hacia una tierra fina", ocupó 40% del horizonte.

Se tuvo una relación "terrones : tierra fina" de 1.5:1 y una superficie regular del suelo.

Cuadro 28. Estados estructurales de los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Culita, 1991.

ESTADOS ESTRUCTURALES (*)		
Horiz. Ant. H	Descripción de los estados estructurales (2do + 1er nivel)	% dentro de cada uno
		L3
H1	SF mm Δ	45
	SF pm Δ	18
	SF tf	45
H5	1 MR Φ	46
	2 SF gm Δ	21
	3 SF pm Φ	18
	4 SD gm Δ	15

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por la rastra y arado respectivamente).

1,2,3...: Unidades morfológicas.

Tamaño de los terrones:

mm: Terrones medianos (5 a 10 cm)

pm: Terrones pequeños (< 5 cm)

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 5-8 (páginas: 28-31 respectivamente).

- El horizonte H5, presentó los siguientes estados estructurales: la unidad morfológica 1 presentó un estado "MR Φ", que significa: "estado masivo, con presencia de fuentes de contracción y estado interno Φ", ocupó 46% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 2, presentó un estado "SF gm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, mayores a 10 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó un 21% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 3, presentó un estado "SF pm Φ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ", ocupó 18% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 4, presentó un estado "SD gm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, mayores a 10 cm de diámetro y estado interno Δ". Ocupó 15% del horizonte H5-L3.

La mayor parte de este horizonte fue masivo, producto de un mayor desterronamiento del suelo.

Otros aspectos estudiados, se encuentran en el cuadro 21, de los que se resaltan lo siguiente:

Cuadro 21. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullita, 1991.

PARTICION VERTICAL										
H Hor.	Cotas inf. med,min, máx (cm)	Htidez límites (*)	Humedad (%)	Color	Tex.	Piedras (*)	Conc. (%)	Raíces (*)	Poros. por lombr. (%)	Resist. a la penetr. (kg/cm ²)
H1	12.1 (6-17)	1a 2t	2h	Marrón claro	FA	10% 2ta redon.	8ac	1rc 1rt	0pl	30.6 (terr.)
H5	19.9 (18-22)	2a 3t	3h	Marrón	FA	8% 2ab redon.	8ac	3rc 1,2rt	2pl	16
P1	32.3 (29-35)	2a 3t	2h	Marrón	F	5% 1ta redon.	8ac	2rc 1rt	0pl	29.9
P2	54.1 (48-69)	2a 3t	1h	Pardo oscuro	A o AF	70% 2ta redon.	3ac 2tc 2dt Cont.	1rc 1rt	0pl	>40
P3	Fondo de la fosa	2a 2t	2h	amari. Rojizo	YA	40% 1ta redon.	1ac 1tc 2dc Irreg.	1rc 1rt	0pl	35.1

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).

P1, P2 y P3: Horizontes edafológicos.

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 2-7 del anexo I.

terr.:En los terrones.

- El horizonte H1, tuvo: un espesor promedio de 12.1 cm (con un rango de 6 a 17 cm), un 10% de piedras (2ta) y una resistencia a la penetración de 30.6 kg/cm² (medidos en los terrones).

- ▶ El horizonte H5, presentó: una cota inferior promedio de 19.9 cm (espesor del horizonte 7.8 cm), una frecuente (2pl) actividad de lombrices a causa de que el horizonte se encontró húmedo (3h) y una resistencia a la penetración promedio de 16 kg/cm².
- ▶ El horizonte P1, presentó una textura franca; un espesor de 12.4 cm; 5% de gravas (1ta); fresco (2h); resistencia la penetración promedio de 29.9 kg/cm². Horizonte favorable para las labores más profundas y al desarrollo radicular. Puede ser considerado como un horizonte Au2 (desde el punto de vista edafológico).
- ▶ El horizonte P2, presentó un espesor de 21.8 cm; 70% de gravas (1ta); seco (1h); concreciones frecuentes (3ac), grandes (2tc) y duros (2dc); resistencia la penetración promedio mayor a 40 kg/cm². Se puede considerar como un obstáculo para la realización de labores profundas y el desarrollo radicular.
- ▶ En el horizonte P3, fue arcilloso; 40% de gravas (1ta); suelo fresco (2h) y una resistencia a la penetración de 35.1 kg/cm².

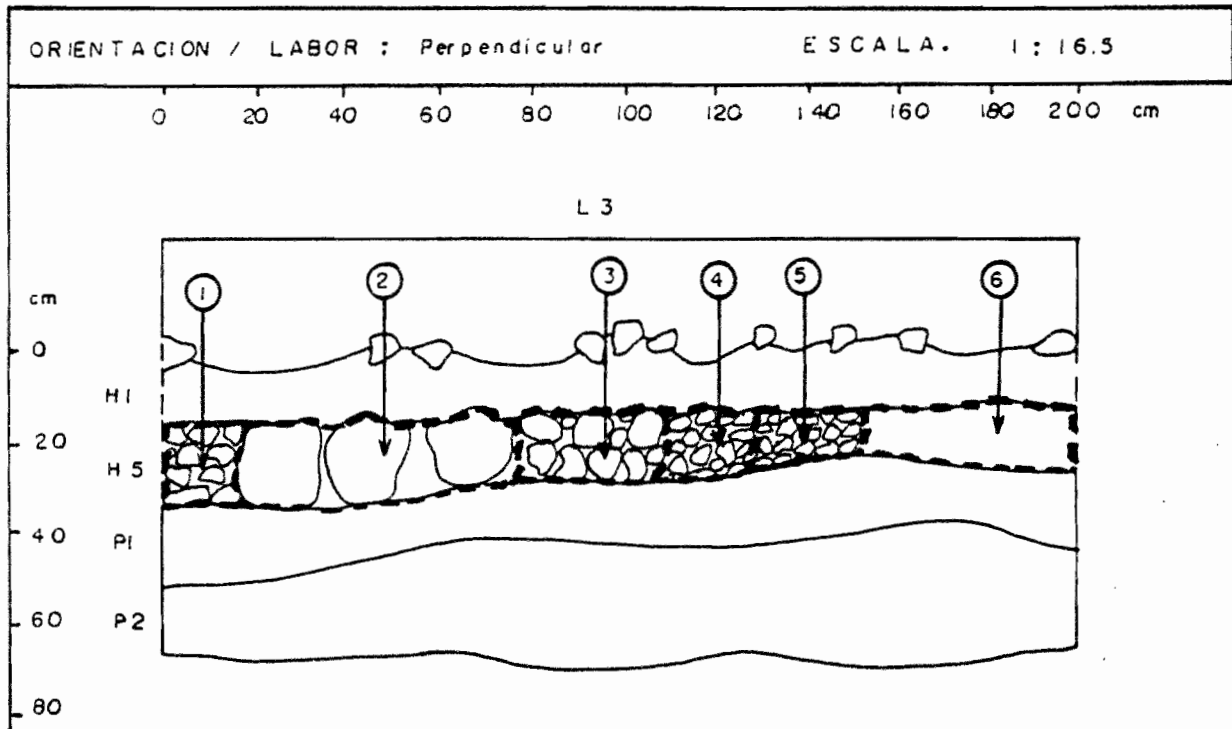
2.2.5. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.

La figura 13 muestra la representación esquemática del perfil cultural, en el que se indican las dos particiones: vertical (horizontes: H1, H5, P1 y P2) y lateral (L3), así mismo, la distribución de las seis unidades morfológicas del horizonte H5.

En el cuadro 22 se pueden observar las características estructurales de los horizontes H1 y H5, los mismos que dan a conocer:

- ▶ En el horizonte H1, se observaron tres estados estructurales: el estado "SF mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5-10 cm de diámetro y estado interno Δ", representó un 40% del horizonte; el estado "SF pm Δ", que significa:

"terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 20% del horizonte y el estado "SF tf", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, tendiendo hacia una tierra fina", ocupó 40% del horizonte.



H1, H5, P1 y P2: Partición vertical. Donde: H= Horizontes antrópicos y P= Horizontes edafológicos (denominaciones presentes en el cuadro 5, pág. 28).

L2: Partición lateral (denominaciones presentes en el cuadro 6, pág. 29).

Fig. 13. Esquema del perfil cultural, del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Culita, 1991.

El horizonte tuvo una relación "terrones : tierra fina" de 1.5:1 y una superficie regular del suelo (H0).

- El horizonte H5, presentó los siguientes estados estructurales: la unidad morfológica 1, presentó un estado "SF mm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno Φ ", ocupó un 10% del horizonte H5-L3. la unidad

morfológica 2 presentó un estado "FV gm Φ ", que significa: "estado fragmentario, con terrones mayores a 10 cm de diámetro, estado interno Φ y presentó cavidades mayores a 5 cm", ocupó 36% del horizonte H5-L3. Las unidades morfológicas 3 y 5, presentaron estados "SD mm Δ " y "SD pm Δ ", que significan: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, terrones entre 5-10 cm de diámetro y estado interno Δ " y "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, de tamaño pequeño (menores a 5 cm de diámetro) y estado interno Δ " respectivamente, ambos ocupan un 22% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 4, presentó un estado "SF pm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregable, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 11% del horizonte H5-L3. Y la unidad morfológica 6 presentó un estado "MR Φ ", que significa: "estado masivo con fuentes de contracciones y estado interno Φ ", ocupó 21% del horizonte H5-L3.

Cuadro 22. Estados estructurales de los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullita, 1991.

ESTADOS ESTRUCTURALES (*)		
Horiz. Ant. N	Descripción de los estados estructurales (2do + 1er nivel)	¿ dentro de cada uno
		L3
H1	SF mm Δ	40
	SF pm Δ	28
	SF lf	48
H5	1 SF mm Φ	10
	2 FV gm Φ	36
	3 SD mm Δ y 5 SD pm Δ	22
	4 SF pm Δ	11
	6 MR Φ	21

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por la rastra y arado respectivamente).

1,2,3...: Unidades morfológicas.

Tamaño de los terrones:

gm: Terrones grandes (>10 cm)

mm: Terrones medianos (5 a 10 cm)

pm: Terrones pequeños (< 5 cm)

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 5-8 (páginas: 28-31 respectivamente).

Este horizonte fue de características masivas, resultado de desmenuzamientos importantes.

Otros aspectos estudiados se encuentran en el cuadro 23, de los que se resaltarán lo siguiente:

Cuadro 23. Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Periodo de suelo roturado; en Cullta, 1991.

PARTICION VERTICAL										
N Hor.	Cotas inf. med, min, máx (cm)	Nitidez límites (8)	Humedad (8)	Color	Tex.	Piedras (8)	Conc. (8)	Raíces (8)	Poros. por loabr. (8)	Resist. a la penetr. (kg/cm ²)
H1	15 (13-17)	1a 2t	1h	Marrón claro	FA	5z 1ta redon.	8ac	3rc 2rt	8pl	-
H5	30.4 (24-36)	2a 3t	3h	Marrón	FA	5z 1ta redon.	8ac	4rc 3rt	2pl	4.7
P1	45 (39-54)	2a 3t	1h	Pardo oscuro	A o AF	80z 1, 2ta redon.	2ac 1tc 1dc Irreg.	1rc 1rt	8pl	>48
P2	Fondo de la fosa	-	3h	Rojo oscuro	Y manch. blanc.	20z 3ab redond.	8ac	1rc 1rt	8pl	39

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).

P1 y P2: Horizontes edafológicos.

(8) Denominaciones presentes en los cuadros 2-7 del anexo I.

- ▶ El horizonte H1, tuvo: un espesor promedio de 15 cm (con un rango de 13 a 17 cm); 5% de gravas (1ta).
- ▶ El horizonte H5, presentó: una cota inferior promedio de 30.4 cm (espesor del horizonte 15.4 cm); una frecuente (2pl) actividad de

lombrices a causa de que el horizonte se encontró húmedo (3h) y una resistencia a la penetración promedio de 4.7 kg/cm².

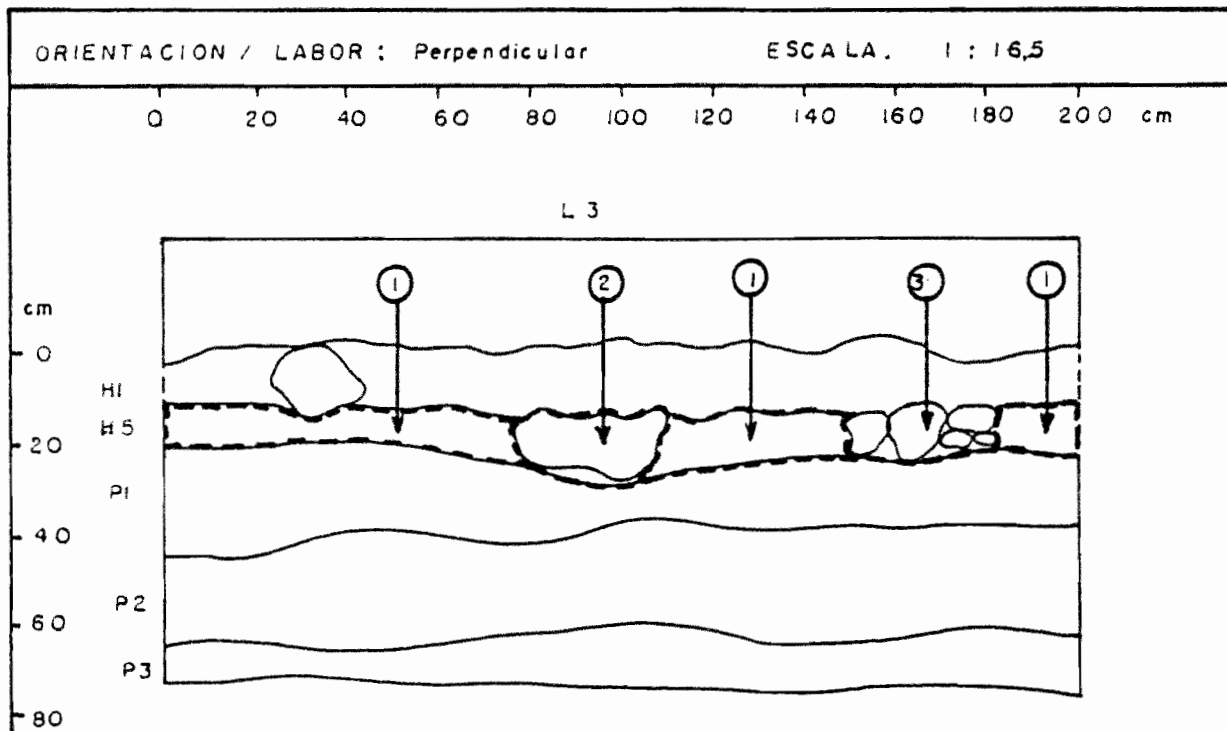
- ▶ El horizonte P1, presentó: un espesor de 140.6 cm; 80% de gravas (1ta) y piedras (2ta); seco (1h); pocas (2ac) concreciones, pequeños (1tc) y blandos (1dc); resistencia la penetración promedio mayor a 40 kg/cm². Se puede considerar como un obstáculo para la realización de labores profundas y el desarrollo radicular, debido a que presenta una elevada resistencia a la penetración (mayor a 40 kg/cm²) y a la presencia de gravas y piedras.
- ▶ El horizonte P2, se presentó: arcilloso; 20% de gravas (1ta); suelo húmedo (3h) y una resistencia a la penetración de 39 kg/cm².

2.2.6. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.

La figura 14 muestra la representación esquemática del perfil cultural, en el que se indican las dos particiones: vertical (horizontes: H1, H5, P1 y P2) y lateral (L3), la distribución de las unidades morfológicas del horizonte H5. En el horizonte H1 se presentan lisados, efectuados por el trabajo de la rastra (observar la fotografía 3 del anexo). La fotografía 4 del anexo muestra los horizontes edafológicos P1, P2 y P3 para éste perfil.

En el cuadro 24 se pueden observar las características estructurales de los horizontes H1 y H5, los mismos que dan a conocer:

- ▶ El horizonte H1, presentó tres estados estructurales: el estado "SF mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5-10 cm de diámetro y estado interno Δ", representó un 30% del horizonte; el estado "SF pm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó 20% del horizonte y el estado "SF tf", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, tendiendo hacia una tierra fina", ocupó 50% del horizonte.



H1, H5, P1, P2 y P3: Partición vertical. Donde: H= Horizontes antrópicos y P= Horizontes edafológicos (denominaciones presentes en el cuadro 5, pág. 28)

L2: Partición lateral (denominaciones presentes en el cuadro 6, pág. 29).

Fig. 14. Esquema del perfil cultural del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullta, 1991.

El horizonte mostró una relación "terrones : tierra fina" de 1:1; una superficie regular del suelo (H0) y en el fondo del horizonte se presentaron lisajes efectuados por el implemento, las mismas se pueden observar en la fotografía 3 del anexo II.

El horizonte H5, presentó los siguientes estados estructurales: la unidad morfológica 1, presentó un estado "MR Φ ", que significa: "estado masivo con fuentes de contracciones y estado interno Φ ", ocupó 68% del horizonte H5-L3. La unidad morfológica 2 presentó un estado "SF gm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, mayores a 10 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó un 18% del horizonte H5-L3. Y la unidad morfológica 3, presentó un estado "SD gm Δ ",

que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, mayores a 10 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 14% del horizonte H5-L3.

Cuadro 24. Estados estructurales de los horizontes antrópicos (H1 y H5), del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Culita, 1991.

ESTADOS ESTRUCTURALES ¹		
Horiz. Ant. N	Descripción de los estados estructurales (2do + 1er nivel)	% dentro de cada uno
		L3
H1	SF mm Δ	30
	SF pm Δ	20
	SF tf	50
H5	1 MR Φ	68
	2 SF gm Δ	18
	3 SD gm Δ	14

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por la rastra y arado respectivamente).

1,2,3...: Unidades morfológicas.

Tamaño de los terrones:

mm: Terrones medianos (5 a 10 cm)

pm: Terrones pequeños (< 5 cm)

¹ Denominaciones presentes en los cuadros 5-8 (páginas: 28-31 respectivamente).

La característica principal del horizonte fue su estado masivo producto del desmenuzamiento del suelo.

Se estudiaron otros aspectos (cuadro 25), de los que se resaltaron lo siguiente:

- El horizonte H1, tuvo: un espesor promedio de 14.5 cm (con un rango de 12 a 19 cm); 5% de gravas (1ta) y una resistencia a la penetración de 30 kg/cm² (medido en los terrones)

Cuadro 25.

Partición vertical en el perfil cultural del suelo roturada con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo roturado; en Cullita, 1991.

PARTICION VERTICAL										
N Hor.	Cotas inf. med, min, máx (cm)	Nitidez límites (8)	Humedad (8)	Color	Tex.	Piedras (8)	Conc. (8)	Raíces (8)	Poros. por lombr. (8)	Resist. a la penetr. (kg/cm ²)
H1	14.5 (12-19)	1a 2t	1h	Marrón claro	FA	5z 2ta redon.	8ac	3rc 2rt	8pl	30 (Terr.)
H5	22.6 (18-28)	2a 3t	2h	Marrón	FA	5z 1ta redon.	8ac	3rc 2rt	2pl	29
P1	40.3 (37-41)	2a 3t	1h	Pardo oscuro	A o AF	60z 1, 2ta redon.	8ac	1rc 1rt	8pl	>40
P2	64.1 (61-67)	2a 3t	3h	Rojo oscuro	Y	30z 1ta redon.	Manch. blanc.	1rc 1rt	8pl	38.8
P3	Fondo de la fosa	-	4h	Roj. osc con manch.	Y	20z 1ta redon.	8ac	1rc 1rt	8pl	25

H1 y H5: Horizontes antrópicos (creados por el trabajo de la rastra y arado respectivamente).

P1, P2 y P3: Horizontes edafológicos.

(8) Denominaciones presentes en los cuadros 2-7 del anexo I.

terr.: En los terrones.

- ▶ El horizonte H5, presentó: una cota inferior promedio de 22.6 cm (espesor del horizonte 8.1 cm); una frecuente actividad de lombrices (2pl), en un suelo fresco (2h); 5% de gravas (1ta) y una resistencia a la penetración promedio de 29 kg/cm².
- ▶ El horizonte P1, presentó: un espesor de 17.7 cm; 60% de gravas (1ta) y piedras (2ta); seco (1h); resistencia la penetración promedio

mayor a 40 kg/cm². Este horizonte se puede considerar como un obstáculo para el desarrollo radicular y la realización de labores profundas, debido a que presenta una elevada resistencia a la penetración (mayor a 40 kg/cm²) y a la presencia de gravas y piedras.

- ▶ El horizonte P2, se presentó: arcilloso; 30% de gravas (1ta); suelo húmedo (3h); resistencia a la penetración promedio de 38.8 kg/cm² y presencia de manchas blancas (carbonatos).
- ▶ El horizonte P3, se presentó: arcilloso; 20% de gravas (1ta); suelo muy húmedo (4h); resistencia a la penetración promedio de 25 kg/cm².

2.2.7. Comparación entre los perfiles culturales de los métodos de labranza.

La uniformidad del laboreo es difícil de conseguir, pues todos los suelos presentan un grado mayor o menor de heterogeneidad derivada de sus características físicas, químicas y agrológicas. Es así que en los perfiles observados se presentaron diferentes estados estructurales del suelo.

En cada uno de los perfiles se apreció las variaciones estructurales, mediante las fichas de observación. De manera que el análisis se hizo horizonte por horizonte, en forma generalizada.

Horizonte H1

Horizonte antrópico, creado por el trabajo de la rastra. A continuación se dan a conocer algunas características diferenciales entre los perfiles agrupados en torno al tipo textural del suelo, donde estuvieron ubicados estos. Los perfiles ubicados en suelo franco arcillo arenoso (T1), se diferenciaron de aquellos situados en suelo franco arenoso (T2), en los siguientes aspectos:

- ▶ La cota inferior en T1 (10.1 a 10.5 cm) fue inferior con relación a los que se encontraron en T2 (12.1 a 15 cm). Creemos que esta diferencia

se debió a la presencia de terrones mayores a 10 cm (gm), que obstaculizaron en la mayor profundidad de rastrado.

- ▶ Otra diferencia marcada fue la mayor relación "terrones : tierra fina" en T1 (4 a 5.7:1) respecto a T2 (1 a 1.5:1). La mayor relación "terrones: tierra fina", puede ser beneficiosa, en la medida que este se constituye como un controlador de la erosión eólica, aumenta la capacidad de infiltración del agua (Unger, 1988) y retarda la formación de costra superficial.

En ambos casos (T1 y T2), el estado interno de los terrones fue muy similar " Δ " y resistencia a la penetración mayor a 30 kg/cm².

Horizonte H5

Horizonte antrópico, creado por el trabajo del arado. La comparación de los estados estructurales de un perfil a otro se realizó de la misma forma que el horizonte H1, abocándose a las diferencias texturales existentes en la parcela (suelos franco arcillo arenoso y franco arenoso, denominados T1 y T2 respectivamente).

Algunas diferencias entre estos sectores de texturas diferentes (T1 y T2) se presentan a continuación:

- ▶ Los perfiles ubicados en T1, presentaron unidades morfológicas compactadas por el efecto de las llantas del tractor, tal es el caso de las unidades morfológicas 2 y 5 en el tratamiento roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm y 1 en el tratamiento roturado con arado de vertedera a una profundidad de 20 cm, en este último se presentaron lisados de la huellas del tractor en la parte superficial (en la fotografía 2 del anexo II se ilustran estas características). Mientras, que en los perfiles ubicados en T2 las unidades morfológicas tendieron en forma general hacia la formación de un estado masivo (M). De esta manera se puede decir, que el trabajo del arado de vertedera y disco en suelo

franco arenoso tuvo un resultado similar, es decir, desmenuzamientos importantes.

- ▶ Los perfiles ubicados en T1, presentaron dos particiones laterales L2 (sitio afectado por las llantas del tractor después del laboreo) y L3 (sitio ileso de acciones posteriores a la roturación), en tanto que en los situados en T2 solo L3.

Se sabe, que normalmente el objetivo de la labranza es disminuir el número y tamaño de los terrones para mejorar el contacto entre la semilla y el suelo, e impedir que se transformen en un obstáculo para la emergencia de las plantas. De acuerdo a este concepto y el análisis anterior, el laboreo efectuado en T1, no es tan conveniente, siendo más favorable el laboreo realizado en T2.

Horizontes P1, P2 y P3

Los horizontes P1, P2 y P3 son considerados edafológicos.

El horizonte P1 (considerado como un hardpan), tuvo una textura arenosa a areno francosa, fue bastante compacto (cementado) y gravoso (60% a 80%); el espesor tuvo un rango entre 14.6 y 23.8 cm; la resistencia a la penetración fue mayor a 40 kg/cm². Es considerado como obstáculo para el desarrollo radicular y el interambio de humedad entre los horizontes superiores e inferiores. Salvo para el caso del tratamiento roturado con arado de vertedera a una profundidad de 20 cm en suelo franco arenoso, donde P1 fue de textura franco, con una resistencia a la penetración promedio de 29.9 kg/cm², el mismo que puede ser considerado como un horizonte Au2 (desde el punto de vista edafológico).

P2 fue arcilloso, con un porcentaje de grava de 20 a 40%; humedad del suelo 3h (húmedo). A excepción del tratamiento roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso, donde P2 tuvo las mismas características que P1.

P3, fue arcilloso y con menor proporción de grava (menores del 20%); tuvo un contenido de humedad 3h a 4h (húmedo a muy húmedo respectivamente).

3. Período del suelo con cultivo de papa.

Este período comprendió desde la siembra hasta la cosecha, en el que se estudiaron: el contenido de humedad del suelo, los estados estructurales del suelo y, evaluaciones de las características morfológicas y agronómicas del cultivo. Se detallan a continuación:

3.1. Contenido de humedad en el suelo.

Del análisis de los muestreos, se reveló un 14.2% y un 21.6% de incremento de humedad favorable para los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad (11.1% de humedad) respecto a los roturados a 20 cm de profundidad (9.7% de humedad) y al suelo franco arcillo arenoso (11.8% de humedad) con relación al suelo franco arenoso (9.7% de humedad) respectivamente (Cuadro 26).

Con relación a la profundidad de roturación de 30 cm, la mayor humedad del suelo presentó el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso con 11.8% de humedad, el contenido más bajo de humedad, se obtuvo en el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arenoso, el cual contenía 10.7% de humedad.

Al nivel de roturación de 20 cm de profundidad, se vio que el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso (11.8% de humedad) fue el de mayor contenido de humedad, mientras que el tratamiento con menor contenido de humedad fue el roturado con arado de discos en suelo franco arenoso (8.5% de humedad).

De una forma general, se puede decir que existe tendencia a retener mayor humedad en los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad que los roturados a 20 cm de profundidad y en suelo franco arcillo arenoso que en suelo franco arenoso. La diferenciación en el contenido de humedad del suelo, entre los implementos utilizados en laboreo (vertedera y discos), se lo hizo en un mismo suelo (franco arenoso), el cual indicó, que no hubo diferencias en el contenido de humedad del suelo entre los sitios labrados con arado de vertedera y discos (9.8 y 9.7% de humedad respectivamente) en el suelo franco arenoso.

Cuadro 36. Contenido de humedad en el suelo a diferentes profundidades, según distintos implementos y profundidades de labranza, en dos tipos de suelo, medidos a los 100 (1) y 122 días (2) después de la siembra, en Julita, 1992.

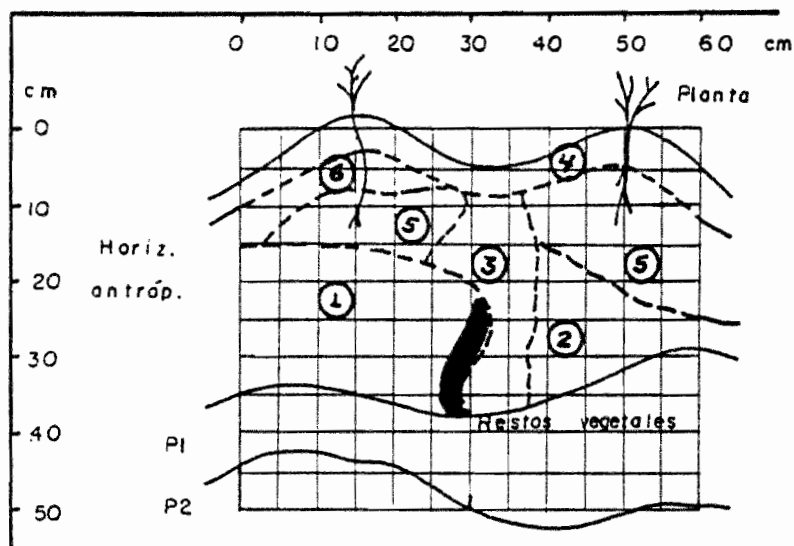
IMPLEMENTOS	PROF DE ROTURACION (cm)	TEXTURA	PROF (cm)	HUMEDAD EN EL SUELO (%)		X
				MUESTREOS		
				1	2	
Vertedera	30	FYA	10	11.90	8.20	9.00
			20	15.50	7.40	11.45
			30	19.40	10.50	15.10
			40	14.40	9.60	11.50
			X	15.29	9.25	11.76
	20	FYA	10	13.90	6.90	10.35
			20	15.90	5.90	10.90
			30	16.60	7.00	11.90
			40	16.50	12.00	14.25
			X	15.73	7.93	11.93
Vertedera	30	FA	10	12.80	5.50	9.15
			20	14.00	7.00	10.50
			30	14.50	9.70	11.60
			40	13.60	9.80	11.70
			X	13.73	7.75	10.74
	20	FA	10	10.50	6.60	8.95
			20	10.30	7.10	9.70
			30	12.60	5.90	9.25
			40	11.90	9.00	10.45
			X	11.29	8.40	9.94
Disco	30	FA	10	11.50	6.90	9.15
			20	13.90	12.10	12.95
			30	13.00	9.10	10.55
			40	13.70	7.70	10.70
			X	13.00	8.68	10.94
	20	FA	10	10.20	7.60	8.90
			20	10.90	7.30	9.05
			30	11.30	5.60	8.45
			40	10.20	5.30	7.75
			X	10.63	6.45	9.54
Vertedera en un suelo franco arenoso (FA)				14.00	7.59	10.79
Disco en un suelo franco arenoso (FA)				11.91	7.56	9.69
Profundidad de roturación 30 cm (P1)				14.00	9.22	11.11
Profundidad de roturación 20 cm (P2)				12.54	6.92	9.73
Textura del suelo franco arcillo arenoso (FYA)				15.50	9.09	11.90
Textura del suelo franco arenoso (FA)				12.18	7.32	9.74

3.2. Estados estructurales del suelo.

Las observaciones del estado estructural en este periodo (143, 144 y 145 días después de la siembra) se abocaron a las observaciones de la Unidades Morfológicas (UM) y la superficie ocupada por el estado muy coherente ("Δ") por ser el menos colonizable por las raíces.

3.2.1. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

La figura 15, muestra la disposición de las unidades morfológicas en el horizonte antrópico; así mismo, se observan los horizontes edafológicos P1 y P2.



1, 2, 3...: Unidades morfológicas
P1 y P2: Horizontes edafológicos

Figura 15. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.

Las características estructurales de las unidades morfológicas se detallan a continuación (cuadro 27):

- ▶ La unidad morfológica 1, presentó un estado "SD mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó 29% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 3, muestra un estado "SD pm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ", representó 17% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 2, presenta un estado "SF pm Φ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ", ocupó 14% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 4, muestra un estado "SF pm Γ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Γ", representó 8% del horizonte. Constituyó la costra superficial del suelo.

Cuadro 27. Características estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullita, 1992.

N° U M	ESTADO ESTRUCTURAL (2do + 1er nivel) (*)	SUPERF.		IMPACTOS RADIC. (raic/da2)	ESTADO ESTRUCTURAL		Z de la superficie del horizonte
		(cm2)	Z		3er nivel	Z de Δ dentro el estado tipo	
1	SD mm Δ	541	29	] 13.9	] c	46(1)	46
3	SD pm Δ	385	17				
2	SF pm Φ	249	14				
4	SF pm Γ	141	8	] 65.9	] o		47
5	F pm Φ + tf	475	26				
6	Fv pm Φ	128	6				
TOTAL		1831	188				188

Detalle por unidad morfológica

$$(1) 188 \times ((541+385)/1831) = 46z$$

Síntesis

$$(2) 188 \times (128/1831) = 7z$$

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 7-9 (páginas: 30-32 respectivamente).

- ▶ La unidad morfológica 5, presentó un estado "F pm Φ + tf", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y entremezclado con tierra fina", ocupó 26% del horizonte. En esta unidad morfológica se encontró la mayor colonización de raíces y tubérculos.
- ▶ La unidad morfológica 6, presentó un estado "Fv pm Φ ", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", ocupó 6% del horizonte.

De la reagrupación de los modos de agregación (3^{er} nivel de descripción); se observaron las siguientes características:

- ▶ Las unidades morfológicas 1 y 3 constituyeron el estado "c"; presentó 46% de " Δ " del estado y representó 46% del horizonte; indicaron 13.9 raicillas/dm².
- ▶ El estado "o"; lo constituyeron las unidades morfológicas 2, 4 y 5; ocupó 47% del horizonte; presentó 65.9 raicillas/dm².
- ▶ El estado "b"; constituido por la unidad morfológica 6; ocupó 7% del horizonte; indicó 56.5 raicillas/dm².

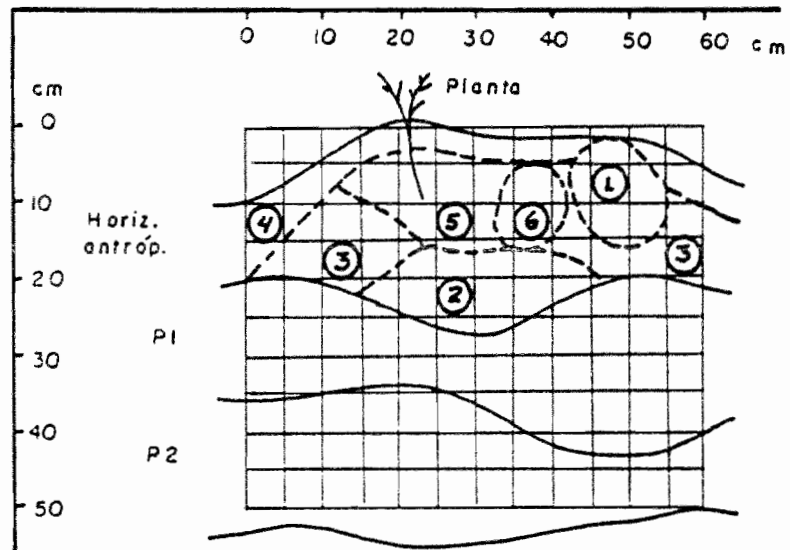
3.2.2. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

La representación esquemática del perfil cultural (figura 16), presenta la localización de las unidades morfológicas y los horizontes edafológicos P1 y P2.

El cuadro 28 se indican las características estructurales de las unidades morfológicas, son las siguientes:

- ▶ La unidad morfológica 1, presentó un estado "SD mm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 11% del horizonte.

- ▶ La unidad morfológica 6, muestra un estado "SD pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", representó 8% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 2, presenta un estado "SF pm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 20% del horizonte.



1, 2, 3...: Unidades morfológicas
P1 y P2: Horizontes edafológicos

Figura 16. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera a una profundidad de 28 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Periodo de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.

- ▶ La unidad morfológica 3, muestra un estado "SF mm r", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno r", representó 28% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 4, muestra un estado "SF pm r", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno r", representó 16% del horizonte. Constituyó la costra superficial del suelo.

- La unidad morfológica 5, presentó un estado "F pm Φ + tf", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y entremezclado con tierra fina", ocupó 17% del horizonte. En esta unidad morfológica se encontró la mayor colonización de raíces y tubérculos.

Cuadro 28. Características estructurales del suelo roturado con arado de vertedera a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arcillo arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullita, 1992.

N° U M	ESTADO ESTRUCTURAL (2do + 1er nivel) (*)	SUPERF.		IMPACTOS RABIC. (raic/dm ²)	ESTADO ESTRUCTURAL		% de la superficie del horizonte
		(cm ²)	%		3er nivel	% de Δ dentro el estado tipo	
1	SD pm Δ	119	11	23.8	c	23	18
6	SD pm Φ	83	8				
2	SF pm Δ	219	28	49.6	o	24	82
3	SF mm Γ	312	28				
4	SF pm Γ	179	16				
5	F pm Φ + tf	189	17				
TOTAL		1101	100				100

Detalle por unidad morfológica

Síntesis

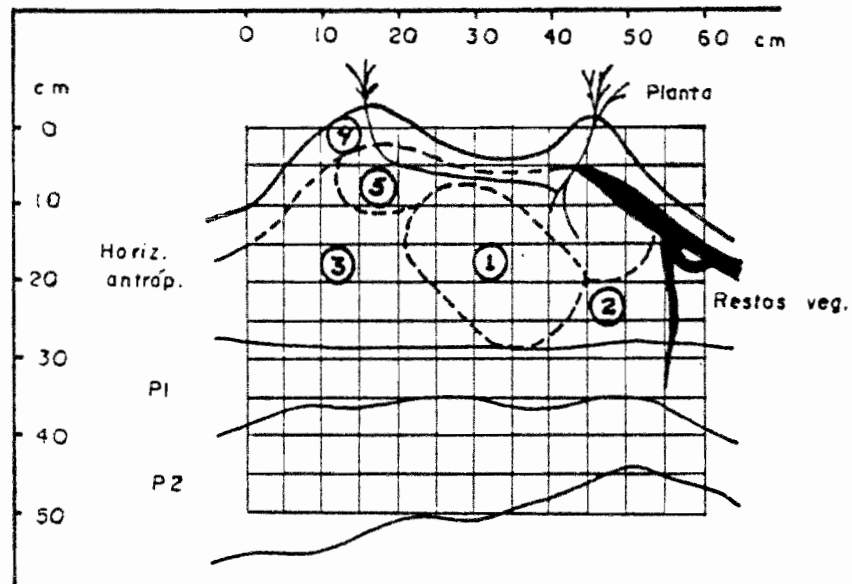
(*) Denominaciones presentes en los cuadros 7-9 (páginas: 30-32 respectivamente).

De la reagrupación de los modos de agregación (3er nivel de descripción); se observaron las siguientes características:

- El estado "c"; lo constituyeron las unidades morfológicas 1 y 6; representó 23% de " Δ " del estado y ocupó 18% del horizonte; evidenció 23.0 raicillas/dm².
- El estado "o"; lo constituyeron las unidades morfológicas 2, 3, 4 y 5; representó 24% de " Δ " y ocupó 82% del horizonte; indicó 49.6 raicillas/dm².

3.2.3. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso.

La figura 17 muestra la representación esquemática del perfil cultural, en la que se observan la disposición de las unidades morfológicas y los horizontes edafológicos P1 y P2. Los detalles de las características estructurales se dan a conocer a continuación (cuadro 29):



1, 2, 3...: Unidades morfológicas
P1 y P2: Horizontes edafológicos

Figura 17. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Periodo de suelo con cultivo; en Cullita, 1992.

- ▶ La unidad morfológica 1, presentó un estado "SD mm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 26% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 2, presenta un estado "SF pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", ocupó 11% del horizonte.

- ▶ La unidad morfológica 3, muestra un estado "SF mm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno Φ ", representó 28% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 4, muestra un estado "SF pm r", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno r", representó 17% del horizonte. Constituyó la costra superficial del suelo.
- ▶ La unidad morfológica 5, presentó un estado "F pm Φ + tf", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y entremezclado con tierra fina", ocupó 18% del horizonte. En esta unidad morfológica se encontró la mayor colonización de raíces y tubérculos.

Cuadro 29. Características estructurales del suelo roturado con arado de vertedera a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.

N° U M	ESTADO ESTRUCTURAL (2do + 1er nivel) (%)	SUPERF.		IMPACTOS RADIC. (raic/dm ²)	ESTADO ESTRUCTURAL		% de la superficie del horizonte
		(cm ²)	%		3er nivel	% de Δ dentro el estado tipo	
1	SD mm Δ	376	26	12.7 47.9	c o	26	26
2	SF pm Φ	152	11				
3	SF mm Φ	486	28				
4	SF pm r	253	17				
5	F pm Φ + tf	268	18				
TOTAL		1455	100	TOTAL		100	

Detalle por unidad morfológica
Síntesis

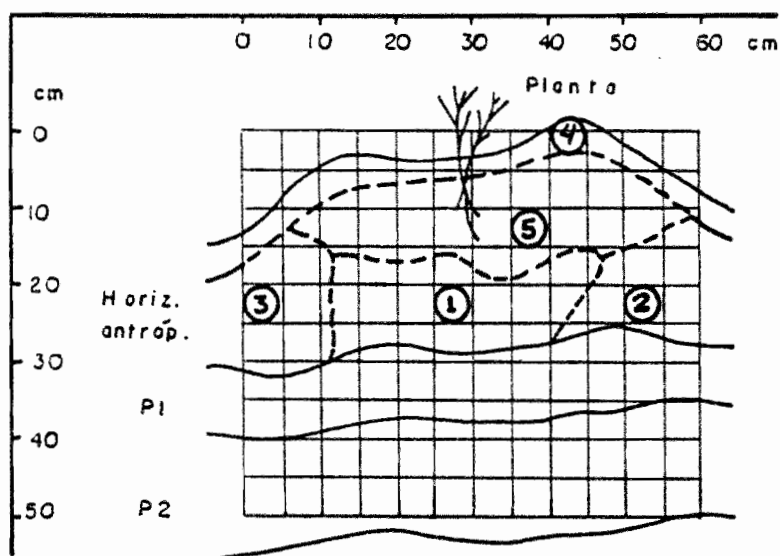
(%) Denominaciones presentes en los cuadros 7-9 (páginas: 30-32 respectivamente).

De la reagrupación de los modos de agregación (3er nivel de descripción); se observaron las siguientes características:

- ▶ El estado "c"; lo constituyó la unidad morfológica 1; representó 26% de "Δ" del estado y ocupó 26% del horizonte; reveló 12.7 raicilla/dm².
- ▶ El estado "o"; lo constituyeron las unidades morfológicas 2, 3, 4 y 5; ocupó 74% del horizonte; presentó 47.6 raicillas/dm².

3.2.4. Estados estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.

La figura 18 muestra la representación esquemática del perfil cultural, se observan la disposición de las unidades morfológicas y los horizontes edafológicos P1 y P2. Los detalles de las características estructurales se dan a conocer a continuación (cuadro 30):



1, 2, 3...: Unidades morfológicas
P1 y P2: Horizontes edafológicos

Figura 18. Estado estructural para la franja roturada con arado de vertedera, a una profundidad de 20 cm y en un suelo de textura franco arenoso. En el período implantado con cultivo.

- ▶ La unidad morfológica 1, presentó un estado "SD pm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó 28% del horizonte.

- ▶ La unidad morfológica 2, presentó un estado "SD pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", ocupó 13% del horizonte.

Cuadro 38. Características estructurales del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 20 ca, en suelo franco arenoso. Periodo de suelo con cultivo; en Cullita, 1991.

N° U M	ESTADO ESTRUCTURAL (2do + 1er nivel) (*)	SUPERF.		IMPACTOS RADIC. (raic/dm2)	ESTADO ESTRUCTURAL		Z de la superficie del horizonte
		(ca2)	Z		3er nivel	Z de Δ dentro el estado tipo	
1	SD pm Δ	365	28	] 24.8	] c	18	38
2	SD pm Φ	186	13				
3	SF pm Φ	281	12	] 69.8	] o		62
4	SF pm r	198	14				
5	F pm Φ + tf	581	33				
TOTAL		1451	100	TOTAL		100	

Detalle por unidad morfológica

Síntesis

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 7-9 (páginas: 30-32 respectivamente).

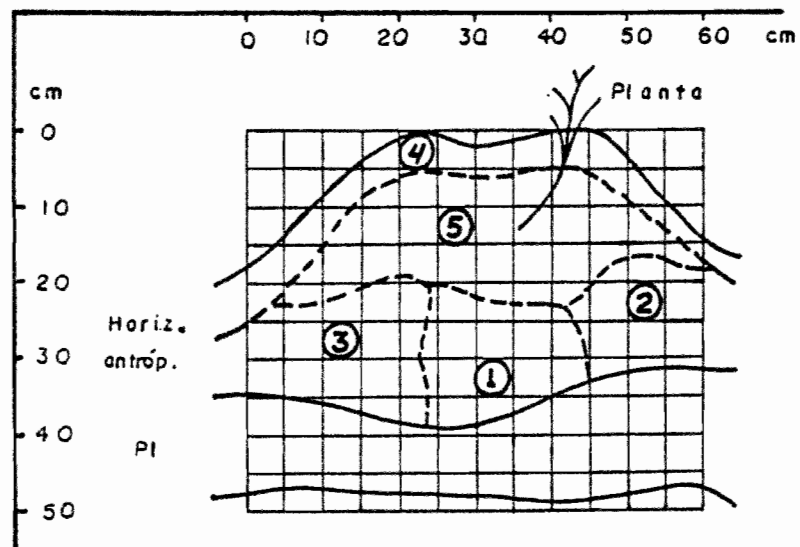
- ▶ La unidad morfológica 3, muestra un estado "SF pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", representó 12% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 4, muestra un estado "SF pm r", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno r", representó 14% del horizonte. Constituyó la costra superficial del suelo.
- ▶ La unidad morfológica 5, presentó un estado "F pm Φ + tf", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y entremezclado con tierra fina", ocupó 33% del horizonte. En esta unidad morfológica se encontró la mayor colonización de raíces y tubérculos.

De la reagrupación de los modos de agregación (3^{er} nivel de descripción); se observaron las siguientes características:

- ▶ El estado "c"; constituyeron las unidades morfológicas 1 y 2; representó 18% de "Δ" del estado y ocupó 38% del horizonte; reveló 24.0 raicillas/dm².
- ▶ El estado "o"; lo constituyeron las unidades morfológicas 3, 4 y 5; ocupó 62% del horizonte; evidenció 69.8 raicillas/dm².

3.2.5. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en un suelo de textura franco arenoso.

En la figura 19 se muestra la representación esquemática del perfil cultural, se observan la disposición de las unidades morfológicas y los horizontes edafológicos P1 y P2.



1, 2, 3...: Unidades morfológicas
P1 y P2: Horizontes edafológicos

Figura 19. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.

Los detalles de las características estructurales se dan a conocer a continuación (cuadro 31):

- ▶ La unidad morfológica 1, presentó un estado "SD mm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, de 5 a 10 cm de diámetro y estado interno Δ", ocupó 28% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 2, presenta un estado "SD pm Φ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ", ocupó 13% del horizonte.

Cuadro 31. Características estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 30 ca, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullta, 1992.

N° U M	ESTADO ESTRUCTURAL (2do + 1er nivel) (*)	SUPERF.		IMPACTOS RADIC. (raic/dm ²)	ESTADO ESTRUCTURAL		% de la superficie del horizonte
		(cm ²)	%		1er nivel	% de Δ dentro el estado tipo	
1	SD mm Δ	485	28	] 17.2	] c	28	41
2	SD pm Φ	237	13				
3	SF pm Φ	211	12	] 72.7	] o		59
4	SF pm Γ	241	14				
5	F pm Φ + tf	583	33				
TOTAL		1757	100	TOTAL		100	

Detalle por unidad morfológica

Síntesis

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 7-9 (páginas: 30-32 respectivamente).

- ▶ La unidad morfológica 3, muestra un estado "SF pm Φ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ", representó 12% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 4, muestra un estado "SF pm Γ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Γ", representó 14% del horizonte. Constituyó la costra superficial del suelo.

- ▶ La unidad morfológica 5, presentó un estado "F pm Φ + tf", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y entremezclado con tierra fina", ocupó 33% del horizonte. En esta unidad morfológica se encontró la mayor colonización de raíces y tubérculos.

De la reagrupación de los modos de agregación (3^{er} nivel de descripción); se observaron las siguientes características:

- ▶ El estado "c"; constituyeron las unidades morfológicas 1 y 2; representó 28% de "Δ" del estado y ocupó 41% del horizonte; presentó 17.2 raicillas/dm².
- ▶ El estado "o"; lo constituyeron las unidades morfológicas 3, 4 y 5; ocupó 59% del horizonte; tuvo 72.3 raicillas/dm².

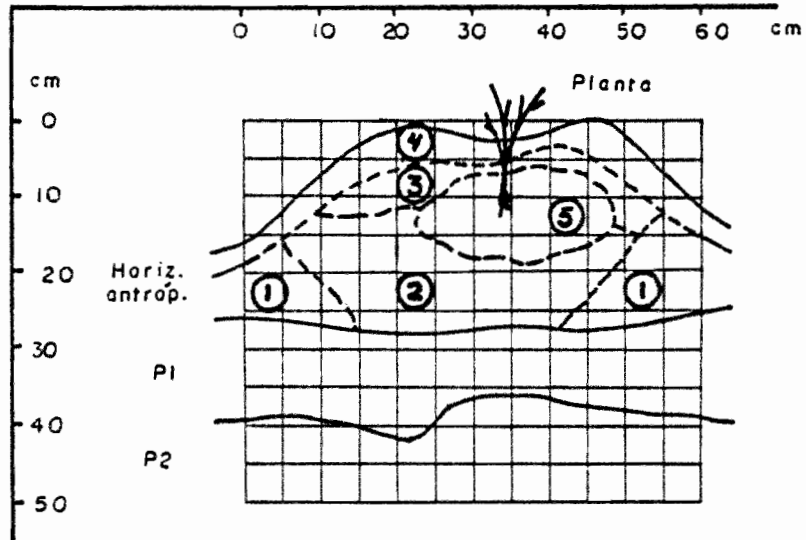
3.2.6. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso.

En la figura 20 se muestra la representación esquemática del perfil cultural; se observan también la disposición de las unidades morfológicas y los horizontes edafológicos P1 y P2.

Los detalles de las características estructurales se dan a conocer a continuación (cuadro 32):

- ▶ La unidad morfológica 1, presentó un estado "SD pm Δ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ ", ocupó 19% del horizonte.
- ▶ La unidad morfológica 2, presenta un estado "SD pm Φ ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, difícilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Φ ", ocupó 39% del horizonte.

- ▶ La unidad morfológica 3, muestra un estado "SF pm Δ", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno Δ", representó 9% del horizonte.



1, 2, 3...: Unidades morfológicas
P1 y P2: Horizontes edafológicos

Figura 20. Estados estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Cullita, 1992.

- ▶ La unidad morfológica 4, muestra un estado "SF pm r", que significa: "terrones adheridos entre ellos, fácilmente disgregables, menores a 5 cm de diámetro y estado interno r", representó 18% del horizonte. Constituyó la costra superficial del suelo.
- ▶ La unidad morfológica 5, presentó un estado "F pm Φ + tf", que significa: "estado fragmentario, con terrones menores a 5 cm de diámetro, estado interno Φ y entremezclado con tierra fina", ocupó 15% del horizonte. En esta unidad morfológica se encontró la mayor colonización de raíces y tubérculos.

Cuadro 32. Características estructurales del suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 20 cm, en suelo franco arenoso. Período de suelo con cultivo; en Culita, 1992.

M*	ESTADO ESTRUCTURAL (2do + 1er nivel) (%)	SUPERF.		IMPACTOS RADIC. (raic/dm ²)	ESTADO ESTRUCTURAL		Σ de la superficie del estrato
		(cm ²)	Σ		3er nivel	Σ Δ dentro el estado tipo	
1	SD pa Δ	244	19	23.1	c	20(1)	58
2	SD pa Φ	517	39				
3	SF pa Δ	118	9	47.8	o	11(2)	42
4	SF pa Γ	235	18				
5	F pa Φ + tf	281	15				
TOTAL		1315	188		TOTAL		100

Detalle por unidad morfológica

Síntesis

$$(1) 100 \times ((244 / (1315 - 118)) = 20\%$$

$$(2) 100 \times ((118 / (1315 - 244)) = 11\%$$

(*) Denominaciones presentes en los cuadros 7-9 (páginas: 31-33 respectivamente).

De la reagrupación de los modos de agregación (3er nivel de descripción); se observaron las siguientes características:

- ▶ El estado "c"; constituyeron las unidades morfológicas 1 y 2; representó 20% de "Δ" del estado y ocupó 58% del horizonte; indicó 23.1 raicillas/dm².
- ▶ El estado "o"; lo constituyeron las unidades morfológicas 3, 4 y 5; representó 11 del estado "Δ" y ocupó 42% del horizonte; presentó 47.0 raicillas/dm².

3.2.7. Relación entre los estados estructurales de los perfiles culturales y consecuencias sobre el desarrollo radicular

Para la comparación de los estados estructurales, los perfiles culturales se agruparon de acuerdo al tipo de suelo (franco arcillo arenoso y franco arenoso, denominados T1 y T2 respectivamente) donde estuvieron ubicados.

Los perfiles ubicados en el suelo de textura franco arcillo arenoso, presentaron elevados porcentajes de " Δ " (muy coherente y porosidad estructural nula), 46 a 47 % de los estados "o" y "c" (reagrupamiento de los modos de agregación). Mientras que en los perfiles ubicados en el suelo de textura franco arenoso se tuvo un rango de 18 a 31 % de " Δ " en los estados "o" y "c". Se puede decir, que el estado " Δ " presente en T1 es una característica heredada de las acciones anteriores (compactación por las llantas del tractor), contribuidos por los efectos climáticos que influenciaron en los procesos de humedecimiento y desecación del suelo. Por otro lado el estado " Δ " creado en T2, se atribuye a los efectos climáticos.

La relación entre los estados estructurales y la disposición espacial de las raíces se determinó mediante los impactos radiculares (número de raicillas/superficie del estado estructural) presentes en las unidades morfológicas, se pudo evidenciar una variación en impactos radiculares de un estado a otro. El estado "c", presentó 13 a 24 raicillas/dm²; el estado "o", 47 a 77 raicillas/dm² y el estado "b", 57 raicillas/dm². Los menores impactos radiculares en el estado "c", pueden ser una consecuencia del modo de agregación (SD) y del estado interno (Δ). El estado "o", presentó mayores impactos radiculares, debido a las características estructurales (SF) y los estados internos Γ y Φ , se presentan más favorables, en este estado se ubicaron los tubérculos y la mayor colonización de raíces. El estado "b", presenta un estado fragmentario (F), estado interno Φ y presenta cavidades menores a 5 cm, favorables para una elevada concentración de impactos radiculares.

Consecuencias del estado estructural sobre el desarrollo radicular:

- Los estados estructurales de la capa labrada juegan un rol importante sobre la disposición espacial de las raíces, lo que provoca irregularidades de colonización (Tardieu y Manichon, 1987).. Los impactos radiculares en las unidades morfológicas, variaron de acuerdo a tres condiciones: De acuerdo a los elementos estructurales (F > SF > SD); al tamaño de los terrones: pm > mm > gm y al estado interno de los agregados: Γ > Φ > Δ .

De las observaciones anteriores se evidencian mayores impactos radiculares en el estado "F pm Φ + tf", es decir, en un fragmentario, de terrones menores a 5 cm, estado interno Φ y mezclado con tierra fina"; sitio donde se encontraron la semilla, los tubérculos y la mayor colonización de raíces. Los menores impactos radiculares en el estado "SD gm y pm Δ ", o sea, en terrones adheridos entre ellos difícilmente disgregables y estado interno Δ ".

- El crecimiento de las raíces depende a la vez de las características del medio, que constituye el suelo y de lo que ocurre en las partes aéreas de la planta (Henin, Gras y Monnier, 1972). Las características del suelo son variables en tiempos cortos (variaciones de humedad, fisuración, etc.) por lo que, las diferentes generaciones de raíces no se encuentran en las mismas condiciones, por lo tanto difieren en su crecimiento (Tardieu y Manichon, 1987). Se determinó la longitud radicular, un promedio tomado de dos plantas adyacentes a la del perfil (ocho lecturas por planta); se observaron mayores longitudes radiculares en los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad: disco en T2, vertedera en T2 y vertedera en T1 con 28.8, 26.3 y 26.0 cm respectivamente, quedando en últimos lugares los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad: disco en T2, vertedera en T2 y vertedera en T1 con 22.8, 21.6 y 21.6 cm respectivamente. Los que se atribuyen a la profundidad de roturación y dentro de ellas a la textura (mayor longitud en T2 que en T1).

3.3. Evaluaciones en el cultivo de papa.

3.3.1. Características morfológicas.

El efecto del suelo, los implementos y las profundidades de roturación sobre las características morfológicas: porcentaje de emergencia, densidad de tallos, altura de plantas, porcentaje de cobertura y peso seco de la parte aérea del cultivo de papa, se muestran en los cuadros 33 y 34.

Cuadro 33. Efecto de dos implementos de labranza (arado de vertedera y arado de discos) y dos textura de suelo (franco arenoso y franco arcillo arenoso) sobre las características morfológicas del cultivo de papa; en Cullta, 1991-1992.

TRATAMIENTO (Implemento)	Porcentaje de emergencia (%)	Densidad de tallos (tallos/m ²)	Altura de plantas (cm)	Porcentaje de cobertura (%)	Peso seco de la parte aérea (g)
Discos en suelo franco arenoso	95.33 a*	13.50 a	23.35 a	17.43 a	17.87 a
Vertedera en suelo franco arenoso	92.83 a	12.17 a	23.27 a	16.82 a	16.90 a
Vertedera en suelo franco arcillo arenoso	86.80 b	8.33 b	19.13 b	11.82 b	18.90 b
Coefficiente de variación	4.89	13.32	3.92	5.80	14.21

* Medias seguidas por la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes ($P= 0.05$), de acuerdo al Test de Duncan.

La comparación de medias entre los tratamientos se efectuó mediante el test de Duncan a una probabilidad estadística del 5%.

Cuadro 34. Efecto de dos profundidades de roturación (20 y 30 cm) sobre las características morfológicas del cultivo de papa; en Cullta, 1991-1992.

PROFUNDIDADES DE ROTURACION	Porcentaje de emergencia (%)	Densidad de tallos (tallos/m ²)	Altura de plantas (cm)	Porcentaje de cobertura (%)	Peso seco de la parte aérea (g)
30 cm	91.11 a *	12.22 a*	23.14 a	16.63 a	16.68 a
20 cm	91.67 a	10.40 b	20.69 b	13.83 b	13.77 b

* Medias seguidas por la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes ($P= 0.05$), de acuerdo al Test de Duncan.

3.3.1.1. Porcentaje de emergencia.

En la comparación por Duncan del porcentaje de emergencia (cuadro 33); las medias del arado de discos (95.33% de emergencia) y el arado de vertedera (92.83% de emergencia) en suelo de textura franco arenoso son estadísticamente

iguales, pero significativamente superiores a las medias del arado de vertedera (86.00% de emergencia) en suelo de textura franco arcillo arenoso.

La profundidad de roturación no tuvo efecto, sobre el porcentaje de emergencia del cultivo (cuadro 34); es decir, los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad (con 91.11% de emergencia) son iguales a los roturados a 20 cm (con 91.67% de emergencia).

De los resultados anteriores se puede decir, que el porcentaje de emergencia en cultivo de papa está influenciado por las condiciones físicas del suelo. Las condiciones físicas manifestados en los diferentes estados estructurales creados en los estratos H1 y H5 de los perfiles culturales, pueden influir en la condición de contacto entre la semilla y los elementos constituyentes del suelo, que a su vez determinan la superficie de absorción de agua, nutrientes y oxígeno (Richard y Boiffin, 1990).

Las diferencias estadísticas observadas anteriormente, dieron mayores porcentajes de emergencia para los arados de discos y vertedera (95.33 y 92.83% de emergencia) en suelo de textura franco arenoso, es decir, estos tuvieron mejores condiciones de suelo. De los perfiles observados en el suelo roturado en este sector (suelo con textura franco arenoso) se tuvo una relación "terrones: tierra fina" de 1 a 2.5:1, mayores desmenuzamientos de la tierra (tendencia a estado masivo), los que dieron mayores condiciones de contacto entre el suelo y la semilla, por consiguiente mayores porcentajes de emergencia. Contrariamente ocurrió con el arado de vertedera (86.00% de emergencia) en suelo de textura franco arcillo arenoso, donde se tuvieron (de los perfiles observados en el período del suelo roturado) una relación "terrones: tierra fina" de 4 a 5.7:1 en H1 y estados estructurales afectados por apisonamientos de las llantas del tractor en H5, los que influyeron en las condiciones de contacto entre la semilla y el suelo, dando resultados menores de emergencia de las plantas.

3.3.1.2. Densidad de tallos.

De acuerdo a la comparación de medias (Duncan) para la densidad de tallos (cuadro 33), las medias de los implementos discos y vertedera (13.5 y 12.17

tallos/m² respectivamente) en suelo de textura franco arenoso son estadísticamente iguales, pero superiores a las medias del implemento vertedera (8.33 tallos/m²) en suelo franco arcillo arenoso.

La prueba de Duncan (cuadro 34) confirma que las medias de los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad (12.22 tallos/m²) son estadísticamente superiores a los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad (10.40 tallos/m²).

El número de tallos principales depende de (Wiersema, 1987):

- número de brotes sembrados,
- método de siembra; cualquier daño sufrido al sembrar reduce el número de brotes,
- condiciones del suelo; un terreno mal preparado y con poca humedad causa menor germinación de brotes.

Las condiciones del suelo, manifestado por los estados estructurales, juegan un rol importante sobre la densidad de tallos, en la manera que éste puede influir sobre la profundidad de siembra y el contacto entre la semilla y el suelo (Richard y Boiffin, 1990).

De esta manera se puede decir, que los tratamientos roturados con arado de discos y vertedera (13.5 y 12.17 tallos/m² respectivamente), en suelo franco arenoso, que tuvieron una relación "terrones: tierra fina" de 1 a 1.5:1, determinó una condición de trabajo más favorable para una mayor profundidad de siembra. Mientras, que los tratamientos roturados con arado de vertedera (8.33 tallos/m²) en suelo franco arcillo arenoso, la relación "terrones: tierra fina" de 4 a 5.7:1 conjuntamente los terrones mayores a 10 cm de diámetro (gm) presentes en la superficie del suelo influyeron en forma negativa en la profundidad de siembra (menor profundidad de siembra).

La influencia de la profundidad de roturación en la densidad de tallos se manifestó mediante la presencia de humedad en el suelo. La mayor densidad de tallos se presentó en los tratamientos roturados a 30 cm (12.22 tallos/m²) con

mayor humedad en el suelo, 9.0%. La menor densidad de tallos lo constituyeron los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad (10.4 tallos/m²) con una menor humedad en el suelo, 8.4%.

3.3.1.3. Altura de plantas.

En la altura de plantas, las medias de los implementos discos (23.35 cm) y vertedera (23.27 cm) en suelo franco arenoso son estadísticamente iguales, pero superiores a la media del implemento vertedera (19.13 cm) en suelo franco arcilloso arenoso (cuadro 33).

Los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad con 23.14 cm de altura son estadísticamente superiores a los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad con 20.69 cm de altura (cuadro 34).

De acuerdo a los análisis estadísticos (cuadros 33 y 34), los métodos de labranza influyeron de manera distinta en la altura de plantas del cultivo de papa. Los estados estructurales del suelo creados por la labranza influyen en forma diferente en el funcionamiento radicular como captador de agua y elementos minerales (Tardieu, 1990). Esta diferencia de funcionamiento del sistema radicular, es una explicación probable de las diferencias de crecimiento en la población vegetal, diferencias que conciernen tanto a las partes aéreas como a las partes subterráneas.

Los implementos de labranza (arado de discos y vertedera) empleados en suelo franco arenoso dieron 23.35 y 23.27 cm de altura de plantas respectivamente, debido a que estos produjeron desmenuzamientos importantes, lo cual favoreció al desarrollo radicular; decir en suelo mullido y suelto.

El tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcilloso arenoso, con 19.13 cm de altura de plantas, presentó compactaciones severas de carácter inducido (producidos por las llantas del tractor) y climático (que provocaron efectos de humedecimiento y desecación del suelo). Estas compactaciones pueden ser considerados como impedimentos mecánicos para el desarrollo radicular. Ashburner y Sims (1984), definen como impedimentos

mecánicos a aquellos factores físicos del suelo que evitan o afectan el crecimiento de las plantas que normalmente provienen del proceso de compactación de la estructura del suelo. En suelos compactados, las raíces encuentran dificultades para penetrar, para avanzar, aumentar su grosor, lo que las deforma y no permite el crecimiento y avance del sistema radicular (Ashburner y Sims, 1984). Se cree que la compactación del suelo puede tener sus efectos adversos en las plantas que crecen en él, de dos maneras (Gavande, 1986): a) por aumentar el impedimento mecánico al crecimiento de las raíces, y b) por alterar la extensión y la configuración del espacio poroso.

La profundidad de roturación influyó en la altura de plantas. Los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad, con 23.14 cm de altura de plantas, fueron mayores a los roturados a 20 cm de profundidad, con 20.69 cm de altura de plantas. Con la mayor profundidad de roturación se aumentó la profundidad efectiva para el desarrollo radicular; además se tuvo mayor contenido de humedad en el suelo, el que favoreció al crecimiento de la planta, 11.1 y 9.7% de humedad en el período del suelo implantado con cultivo, para los tratamientos roturados a 30 y 20 cm de profundidad.

3.3.1.4. Porcentaje de cobertura.

La media del arado de discos en porcentaje de cobertura, 17.43%, es estadísticamente igual a la media del arado de vertedera, 16.82%, trabajados en suelo franco arenoso. Ambos son estadísticamente superiores a la media del arado de vertedera, 11.82% de cobertura, trabajado en suelo franco arcillo arenoso (cuadro 33).

De acuerdo a la comparación de medias (Duncan, cuadro 34), la media del porcentaje de cobertura de los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad (16.63%) es superior a la media de los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad (13.83%).

El porcentaje de cobertura a sido influenciado por los métodos de laboreo. Los mayores porcentajes de coberturas se encontraron en los tratamientos roturados con arado de discos y vertedera, 17.43 y 16.82% respectivamente, en

suelo de textura franco arenoso y el más bajo constituyó el tratamiento roturado con arado de vertedera, 11.82% de cobertura, en suelo franco arcillo arenoso.

Tal como ocurrió en la altura de plantas, no hubo un efecto directo de los implementos sino del suelo, donde se realizaron estos tratamientos. Se puede decir que el porcentaje de cobertura fue influenciado por las condiciones del suelo; es decir, mayores porcentajes de cobertura en mejores condiciones de suelo.

Los tratamiento roturados a 30 cm de profundidad desarrollaron mayores porcentajes de cobertura. Debido a que el sistema radicular tuvo un mayor margen de desarrollo.

3.3.1.5. Peso seco de la parte aérea.

Para el peso seco de la parte aérea del cultivo de papa, las medias de los arados discos y vertedera, 17.87 y 16.90 g respectivamente, trabajados en suelo franco arenoso, son estadísticamente iguales y superiores a la media del arado de vertedera (10.90 g) trabajado en suelo franco arcillo arenoso (cuadro 33).

En la comparación por Duncan (cuadro 34), la media de los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad (16.68 g) es estadísticamente superior a la media de los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad (13.77 g).

El peso seco de la parte aérea fue influenciado por los métodos de labranza, de la misma forma que la altura de plantas y el porcentaje de cobertura, ya que es una consecuencia directa de estos dos últimos. Es decir a mayor altura y mayor cobertura de plantas mayor será el peso de las plantas.

3.3.2. Características agronómicas.

Los rendimientos obtenidos en cultivo de papa en este estudio, son resultado del conjunto de todos los factores que han influido durante su ciclo de vida, como el suelo (estados estructurales y contenido de humedad), el desarrollo vegetativo (variables morfológicas del cultivo) y sobre todo el

efecto de las heladas presentadas durante el desarrollo del cultivo, a los 32, 89 y 126 días después de la siembra, con -1.5°C , -4.1°C y -5.0°C respectivamente, razón por el cual, éste no llegó a completar su maduración (cuadro 35).

De una forma general en el análisis de las variables estudiadas, se vio que no hubo diferencias entre los implementos discos y vertedera trabajados en un mismo suelo, pero sí entre los trabajos de los implementos de un suelo a otro. Por lo tanto se avocó al análisis en cada uno de ellos.

Los tratamientos situados en suelo franco arcillo arenoso fueron afectados por compactaciones severas producidas por las llantas del tractor, por lo tanto los resultados agronómicos dieron similares resultados, con una leve superioridad para el tratamiento roturado a 30 cm de profundidad (368 kg/ha) con relación a los roturados a 20 cm de profundidad (250.67 kg/ha), ambos roturados con arado de vertedera; diferencias que pueden deberse al contenido de humedad en el suelo roturado (10.3 y 9.4% de humedad respectivamente).

Mientras que los tratamientos situados en suelo franco arenoso tienen mejores comportamientos que los anteriores. Las diferencias entre las profundidades de roturación son más marcadas. Los altos valores de las variables morfológicas en los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad, dieron resultados en rendimientos elevados (1246.67 y 1040.67 kg/ha para los tratamientos vertedera y discos respectivamente); Atribuidos a la mayor profundidad efectiva del suelo y a las mejores condiciones del suelo para el desarrollo radicular (mayor desmenuzamiento del suelo y menores compactaciones inducidas respecto a los tratamientos en suelo franco arcillo arenoso).

Cuadro 35. Efecto de los métodos de labranza sobre el contenido de humedad del suelo, las características morfológicas y agronómicas del cultivo de papa; en Cullta, 1991-1992.

TRAT.	% HUME. S.ROTUR.	% HUME. S.CULTIV.	CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS					CARACT. AGRONOMICAS		
			PE (%)	DT(tall/m2)	AP (cm)	PC (%)	PS (g)	Ren (kg/ha)	D.tub.(cm)	N.tub/pl
VP1T1	10.34	11.76	83.00	9.33	19.90	12.63	12.20	368.00	1.83	5.67
VP2T1	9.48	11.82	89.00	7.33	18.37	10.27	9.60	250.67	1.73	5.00
VP1T2	8.35	10.74	93.67	13.00	24.30	18.37	18.43	1246.67	2.00	10.33
VP2T2	8.49	8.84	92.00	11.33	22.23	15.27	15.37	719.00	1.90	9.00
DP1T2	8.24	10.84	96.67	14.33	25.23	18.90	19.40	1040.67	2.37	9.67
DP2T2	7.29	8.54	94.00	12.67	21.47	15.97	16.33	434.67	1.87	5.00
Promedio	8.70	10.42	91.39	11.33	21.92	15.24	15.22	676.61	1.95	7.45

V: Arado de vertedera

D: Arado de discos

P1: Profundidad de roturación 30 cm

P2: Profundidad de roturación 20 cm

T1: Textura del suelo franco arcillo arenoso

T2: Textura del suelo franco arenoso

% HUME. = Porcentaje de humedad

S.ROTUR. = Suelo roturado

S.CULTIV. = Suelo cultivado

PE = Porcentaje de emergencia

DT = Densidad de tallos

AP = Altura de plantas

PC = Porcentaje de cobertura

PS = Peso seco de la parte aérea

Ren = Rendimiento

D.tub. = Diámetro de tubérculos

N.tub/pl = Número de tubérculos por planta

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos y a los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos de labranza para el cultivo de papa, se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Existen diferencias en el contenido de humedad (en el suelo roturado) con la aplicación de los diferentes métodos de laboreo.
 - a. En los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad; el mayor contenido de humedad se encontró en el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso (10.3% de humedad).
 - b. En los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad; el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso tuvo el mayor contenido de humedad (9.5% de humedad).

2. El contenido de humedad en el suelo implantado con cultivo se tiene:
 - a. En los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad; el mayor contenido de humedad se encontró en el tratamiento roturado con arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso, con 11.8% de humedad.
 - b. En los tratamientos roturados a 20 cm de profundidad; el tratamiento con mayor contenido de humedad se encontró en el tratamiento roturado con arado de vertedera en un suelo franco arcillo arenoso, 11.8% de humedad.

3. La formación de los estados estructurales esta influenciada por los métodos de labranza, los mismos que se dan a conocer estrato por estrato:
 - a. En el estrato H1; los tratamientos situados en suelo franco arcillo arenoso presentaron una mayor relación "terrones : tierra fina", terrones mayores a 10 cm de diámetro y una profundidad del estrato; contrariamente ocurrió en los tratamientos situados en suelo franco arenoso.
 - b. En el estrato H5; los estados estructurales formados en suelo franco arcillo arenoso, fueron afectados por compactaciones severas producidas por las llantas del tractor, lo que originó la formación de la partición lateral L2. Mientras, que los tratamientos situados en suelo franco arenoso, por el mayor desmenuzamiento tendieron a un estado masivo (M), tan solo presentó L3, sitio ileso de actividades posteriores.
 - c. De los horizontes edafológicos, el primero después de los antrópicos, P1 es considerado como un obstáculo para el desarrollo radicular y laboreos profundos. Mientras el segundo y el tercero, P2 y P3 respectivamente, se muestran más favorables.
4. De las características estructurales estudiadas en el suelo implantado con cultivo se tuvo:
 - a. Los perfiles ubicados en el suelo franco arcillo arenoso, presentaron mayores porcentajes del estado "A" (muy coherente).
 - b. Los estados estructurales influenciaron la disposición espacial de las raíces (determinados por los impactos radicales). Se tuvo mayores impactos radicales en condiciones de suelo que ofrecen menor resistencia a la colonización como son los fragmentarios (F) y los fácilmente disgregables (SF), con estados internos Φ y r (estado interno intermedio en coherencia y suelto, respectivamente), constituyentes de los estados "o" y "b".

5. El porcentaje de emergencia, la densidad de tallos, porcentaje de cobertura y el peso seco de la parte aérea del cultivo de papa, están influenciados por los implementos de labranza y el suelo donde se implantaron estos. Las mejores respuestas se encuentran con las aplicaciones de arados discos y vertedera en suelo franco arenoso, que con la aplicación del arado de vertedera en suelo franco arcillo arenoso.

6. Existe una influencia de la profundidad de roturación sobre la densidad de tallos, porcentaje de cobertura y el peso seco de la parte aérea, del cultivo de papa; no así en el porcentaje de emergencia. Las mejores respuestas se encontraron en los tratamientos roturados a 30 cm de profundidad.

7. Los métodos de labranza también influyeron en las características agronómicas: rendimiento, diámetro de tubérculos y número de tubérculos por planta. Observándose mejores respuestas en el suelo franco arenoso, roturados a una profundidad de 30 cm, con arado de vertedera y discos.

VI. RESUMEN

El ensayo se efectuó en la comunidad de San Juan de Cullta de la localidad de Patacamaya, provincia Aroma, departamento de La Paz; en el período agrícola 1991-1992.

Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar el contenido de humedad del suelo sometido a diferentes métodos de laboreo, estudiar el efecto del laboreo con arado de vertedera y arado de discos sobre las características estructurales del suelo y, evaluar el comportamiento de las características morfológicas y agronómicas del cultivo de papa bajo estas condiciones de laboreo.

Se utilizó una parcela con dos tipos de textura: franco arcillo arenoso (T1) y franco arenoso (T2), en el que se implantaron los métodos de labranza: en T1 el arado de vertedera (V); mientras que en T2 el arado de discos (D) y V, ambos a dos profundidades (20 y 30 cm). La forma como se realizó fue en franjas los que se dividieron en tres, llegando a constituir las repeticiones.

Durante el desarrollo del experimento se determinaron: el contenido de humedad del suelo (mediante el método gravimétrico), las características estructurales del suelo (utilizando el método del "Perfil cultural") y, las evaluaciones morfológicas y agronómicas del cultivo de papa. Con objeto de establecer las relaciones entre los implementos, profundidades de roturación y textura del suelo de estas evaluaciones, se utilizaron los procedimientos estadísticos de "Franjas divididas".

Del análisis de la información recopilada durante la investigación se encontró que:

1. El método de laboreo recomendable para mejorar el contenido de humedad en el suelo es con el empleo del arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

2. Los estados estructurales formados por el laboreo dieron, en el estrato formado por la rastra, H1, para los tratamientos situados en suelo franco arcillo arenoso, una mayor relación "terrones : tierra fina", terrones mayores a 10 cm de diámetro y menor profundidad del estrato. En el estrato creado por el arado, H5, los estados estructurales fueron afectados por compactaciones severas (en los tratamientos ubicados en suelo franco arcillo arenoso). El primer horizonte edafológico después de los antrópicos, P1, es considerada como un obstáculo para el desarrollo radicular y para las labores profundas.
3. Se evidenció mayor contenido de humedad en el tratamiento roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 30 cm, en suelo franco arcillo arenoso, en el periodo de suelo con cultivo.
4. De las características estructurales en el suelo con cultivo se evidenciaron mayores porcentajes del estado "Δ" (muy coherente) en suelo franco arcillo arenoso.
5. No presentan diferencias sobre las variables morfológicas y agronómicas del cultivo de papa, los tratamientos roturados con arado de discos y vertedera en suelo franco arenoso.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ALZERRECA, H. 1987. Diagnóstico y prioridades de investigación en pradera y pasturas del Altiplano de Bolivia. In: Primera reunión nacional de praderas nativas de Bolivia. 26-29 agosto. Oruro-Bolivia. PAC-CEE. p. 5.
2. ASHBURNER, J.; SIMS, B. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José, C.R., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. p. 47-65 (Serie de libros y materiales educativos n° 56).
3. CABEZAS, J. 1983. Estudio económico de sistemas de labranza y siembra en los cultivos de cebada y avena para las zonas altas de Cochabamba. Cochabamba, Bolivia. Tesis ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. p. 11, 13 y 14.
4. CESPEDES, J.D. 1992. Consumo de agua y producción de materia seca en alfalfa (*Medicago sativa*) en el Valle Central de Cochabamba. Cochabamba, Bolivia. Tesis ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. p. 5-20.
5. COLLIS, N.; DAVEY, B.; SMILES, D. 1971. Suelo, atmósfera y fertilizantes; fundamentos de agricultura moderna-1. Traducción de Luis Garcia Torres. Barcelona, España. Editorial AEDOS. p. 197-200.
6. ELLENBERG, T. 1981. Mapa simplificado de las ecoregiones de Bolivia. In: Desarrollar sin destruir. La Paz, Bolivia. Instituto de ecología. Universidad Mayor de San Andrés. p. 11.
7. FUENTES, J.L. 1989. El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimnetación. Madrid, España. MUNDI-PRENSA. p. 187-189, 191-192, 198.
8. GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. 1982. Guide methodique du profil cultural. Paris, Francia. GEARA CEREF. p. 72.
9. GARCIA, E. 1991. Manual de proyectos de riegos andinos. Cochabamba, Bolivia. p. 208.
10. GAVANDE, S. 1986. Física de suelos; principios y aplicaciones. Mexico D.F. Editorial Limusa. p. 18.
11. HENIN, S. 1976. Cours de physique du sol. Paris, Francia. Editets Bruxelles ORSTOM. Initiations - documentations techniques n° 28. p. 42, 43 y 53

12. HENIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. 1972. El perfil cultural; el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Versión española de Carlos Roquero de Laburu y Jaime Garcia-Casal Taraceña. Madrid, España. MUNDI PRENSA. p. 206, 207.
13. JEREZ, B.J. 1991. Evaluación y mapeo de la pradera nativa en la comudad de Japo, provincia Tapacarí, departamento de Cochabamba. Cochabamba, Bolivia. Tesis ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. p. 29.
14. MANICHON, H. 1987. Observation morphologique de l'état structural et mise en evidence d'effets de compactage des horizons travaillés. Paris-Grignon, France. A.A. BALKEMA. p. 39.
15. MEIER, H., comp. 1993. Mecanización agrícola. Lima, Perú. HERRANDINA. p. 231, 232, 237, 325, 347, 355 y 467.
16. MONTALDO, A. 1984. Cultivo y mejoramiento de la papa. San José, C.R., Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (Serie de libros y materiales educativos n° 54). p. 188, 189 y 190.
17. PARSONS, D.B. 1982. Papas: manuales para la educación agropecuaria. Mexico, D.F., TRILLAS. p. 23.
18. PENAGARICANO, J.A. 1987. Arados de discos: manuales de educación agropecuaria. Montevideo, Uruguay. Editorial Agropecuaria HEMISFERIO SUR S.R.L. p. 9.
19. PROYECTO SENATI-SWISSCONTACT. 1983. Arado de disco. Programa de maquinaria agrícola y equipo pesado modalidad unidades moviles. Chiclayo, Perú. p. 11.
20. RICHARD, G.; BOIFFIN, J. 1990. Effet de l'état structural du lit de semences sur la germination et la levée des cultures. Laon Cedex, France. Institut National de la Recherche Agronomique. p. 120-122.
21. TACON, L.; VACHER, J. 1991. Los riesgos de heladas en el Altiplano boliviano. In: VII Congreso internacional sobre cultivos andinos. La Paz, Bolivia. ORSTOM. p. 5.
22. TAMHANE, R.V.; MONTIRAMANI, D.P.; BALI, Y.P.; DONAHUE, R.L. 1979. Suelos: su química y fertilidad en las zonas tropicales. Tlacoquemécatl, Mexico D.F. DIANA, S.A. p. 73.
23. TARDIEU, F. 1990. Effets de l'état structural du sol sur l'enracinement. Que prendre en compte pour la modélisation?. Thiverval-Grignon, France. Institut National de la Recherche Agronomique. p. 99-111.
24. TARDIEU, F.; MANICHON, H. 1987. Conséquences de l'état du profil cultural sur l'enracinement: Cas du maïs. Thiverval-Grignon, France. A.A. BALKEMA. p. 131-143.

25. UNGER, P.W. 1988. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Dirección de Fomentos de Tierras y Aguas (Boletín de suelos de la FAO 54). p. 34-38, 45-48, 50, 226 y 229.
26. WIERSEMA, S. 1987. Influencia de densidad de tallos en rendimiento de papa. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. p. 8.
27. ZAMBRANA, V. 1981. Estudio comparativo de diferentes arados a objeto de mejorar el trabajo de labranza con tracción animal. Cochabamba, Bolivia. Tesis ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. p. 15-20.

A N E X O

ANEXO I

Cuadro 1. Cronología de los muestreos, las precipitaciones y otras actividades.

FECHA	ACTIVIDAD	PRECIPITACION (mm)	Heladas (°C)
09-06-91		13.4	
26-06-91	Muestreo de la humedad antes de la roturación		
27-06-91	Roturación		
27-06-91	Muestreo de la humedad en la roturación		
05-07-91	1er Muestreo		
11-07-91	2do Muestreo		
28-07-91	3er Muestreo		
26-07-91	4to Muestreo		
16-08-91	5to Muestreo		
22-08-91	6to Muestreo		
27-08-91		1.5	
03-09-91		0.5	
05-09-91		0.3	
06-09-91	7no Muestreo		
07-09-91		1.0	
11-09-91		1.5	
12-09-91	] Descripción de perfiles		
13-09-91			
24-09-91	8vo Muestreo		
26-09-91		0.5	
28-09-91		1.0	
05-10-91	9no Muestreo		
10-10-91		2.0	
21-10-91	10no Muestreo	1.5	
31-10-91		2.3	
01-11-91		5.0	
02-11-91		19.3	
03-11-91		1.5	
04-11-91	Siembra		
06-12-91	Primera helada		-1.5
03-01-92	Control de plaga y aporque		
13-01-92	Porcentaje de emergencia		
13-01-92	Densidad de tallos		
01-02-92	Segunda helada		-4.1
		Total	293.5
12-02-92	1er Muestreo del suelo con cultivo		
		Total	21.3
05-03-92	2do Muestreo del suelo con cultivo		
08-03-92	Altura de plantas		
08-03-92	Porcentaje de emergencia		
08-03-92	Peso seco de la parte aérea		
09-03-92	Tercera helada		-5.0
26-03-92	] Descripción de perfiles		
27-03-92			
28-03-92			
15-04-92	Cosecha		

Cuadro 2. Humedad en el suelo.

Valores	Denominación
1h	Seco
2h	Fresco
3h	Húmedo
4h	Muy húmedo
5h	Mojado

Cuadro 3. Naturaleza del límite inferior.

Brusco	1 a	Plano	1 t
Neto	2 a	Ondulado	2 t
Gradual	3 a	Irregular	3 t
Difuso	4 a	Interrumpido	4 t
a. Anchura del límite		b. Topografía del límite	

* En terminos de nitidez o anchura de la transición.

Cuadro 4. Contenido de fragmentos rocosos y minerales.

Grava (<5cm)	1 ta	Angular
Piedras (5-10cm)	2 ta	Redondeado
Pedregon (>10 cm)	3 ta	Plano
Tamaño		Forma

Cuadro 5. Contenido de concreciones.

Ausente	0 ac					
Muy pocos	1 ac					Esfericos
Pocos	2 ac	Pequeños	1tc	Blandos	1dc	Irregulares o nudosos
Frecuentes	3 ac					
Abundantes	4 ac	Grandes	2tc	Duros	2dc	Angulares
Muy abund.	5 ac					
Abundancia		Tamaño		Dureza		Forma

Usar términos simples para el color

Cuadro 6. Contenido de raíces.

Ausente	0 rc		
Muy pocos	1 rc	Finos	1 rt
Pocos	2 rc		
Frecuentes	3 rc	Medianos y finos	2 rt
Abundantes	4 rc	Gruesos, medianos y finos	3 rt
Muy abundan.	5 rc		
Cantidad		Tamaño	

Cuadro 7. Poros efectuados por lombrices.

Ausente	0 pl
Pocos	1 pl
Frecuentes	2 pl
Muchos	3 pl

ANEXO I I

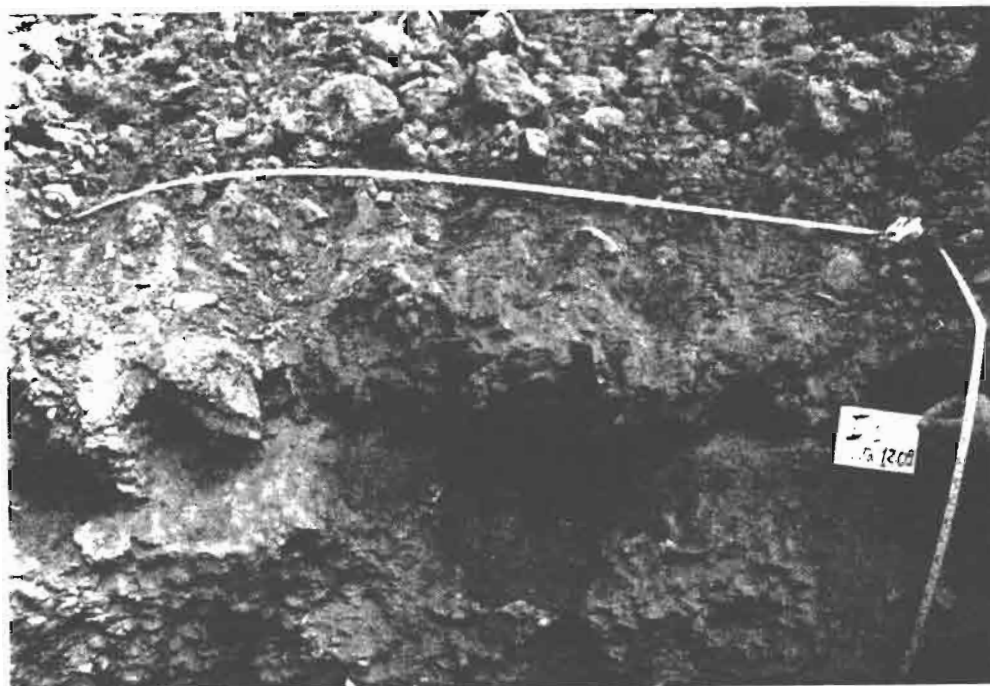


Foto 1. Estados estructurales en el estrato H5 del suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 38 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

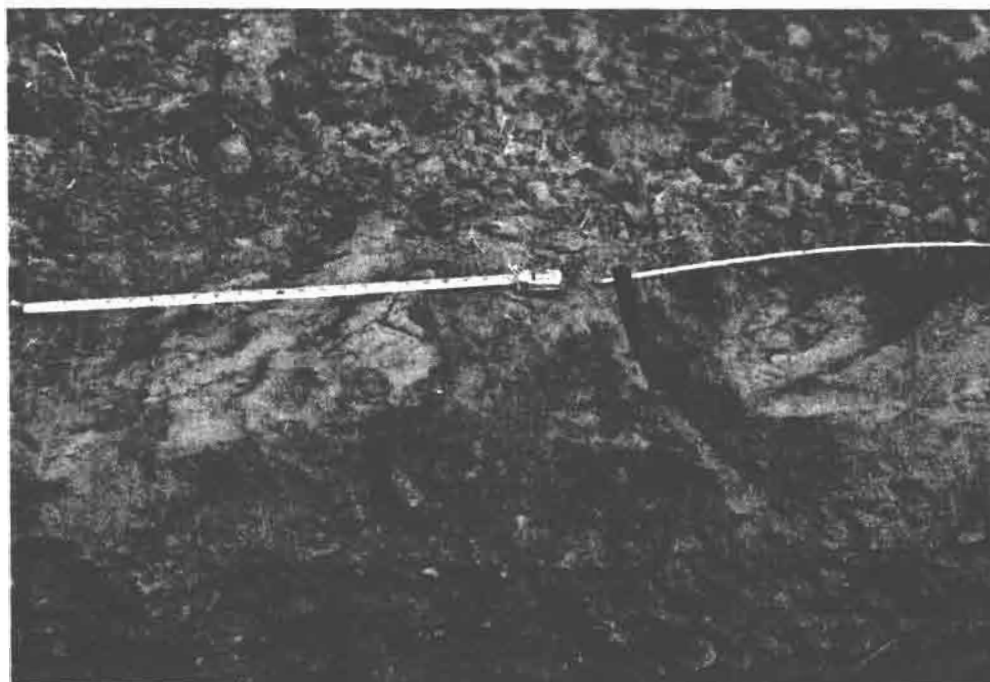


Foto 2. Lisados producidos por las llantas del tractor y la reja de la vertedera, observados en el suelo roturado con arado de vertedera, a una profundidad de 28 cm, en suelo franco arcillo arenoso.

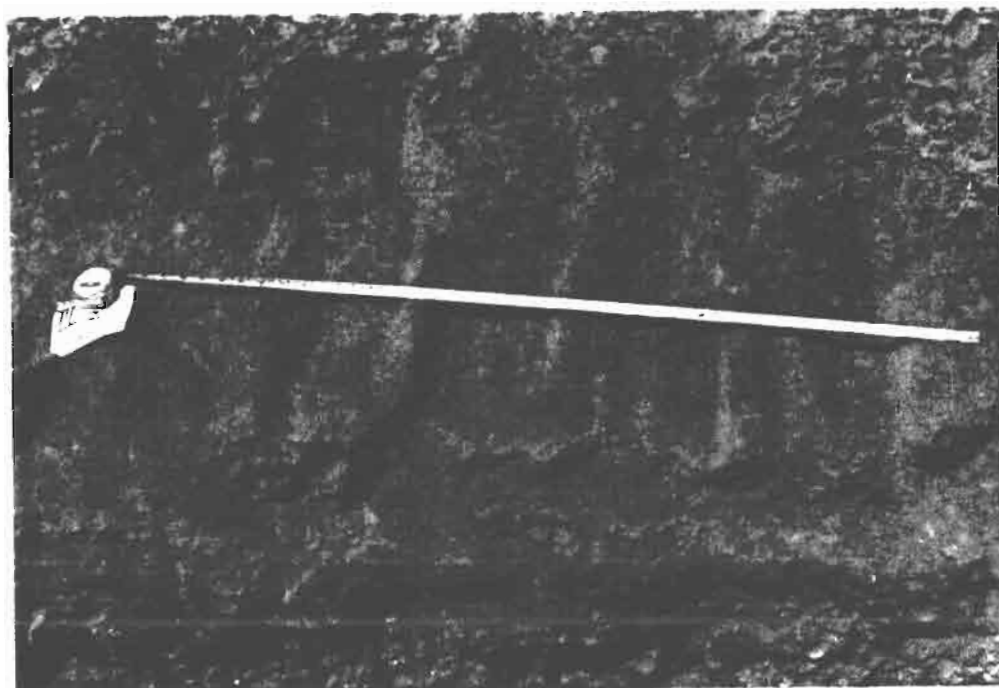


Foto 3. Lisados en el fondo de labor del estrato H1, efectuados por el trabajo de la rastra, observados en el suelo roturado con arado de discos, a una profundidad de 28 cm, en suelo franco arenoso.

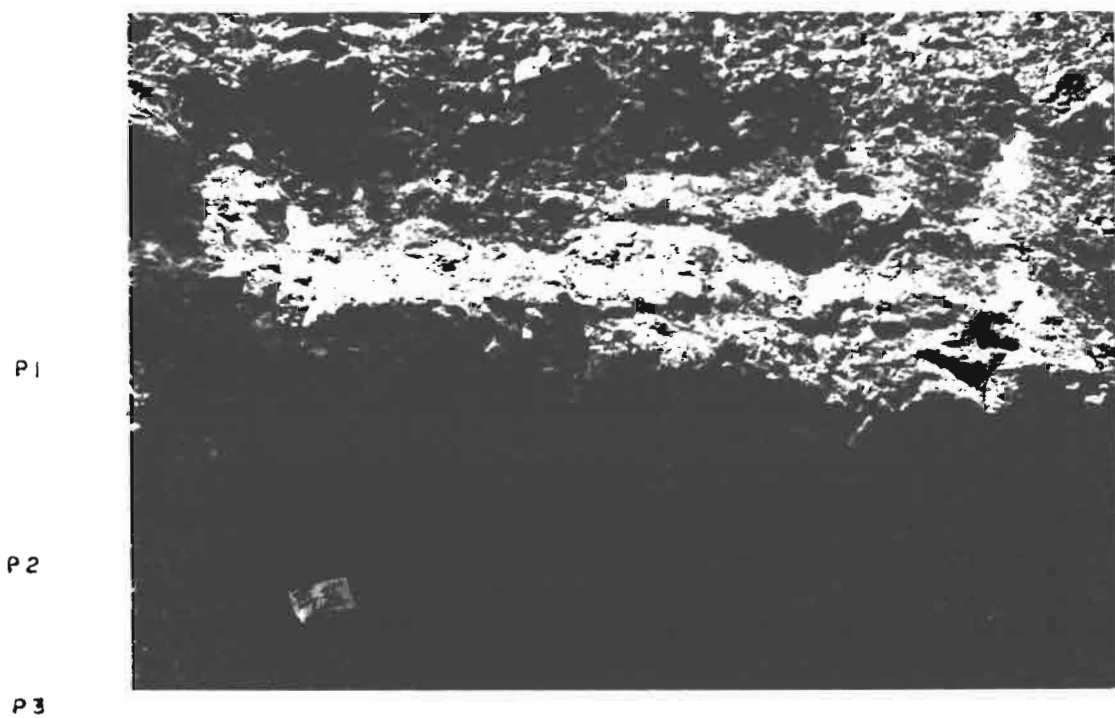


Foto 4. Horizontes edafológicos P1, P2 y P3 en el perfil cultural del roturado con arado de discos, a una profundidad de 28 cm, en suelo franco arenoso.