

Universidad Mayor de San Simón

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS Y PECUARIAS

"MARTIN CARDENAS"



Caracterización del trabajo de dos tipos de suelo a
secano en relación a su comportamiento hídrico

TESIS DE GRADO PARA
OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO

DAVID CONDORI GUTIERREZ

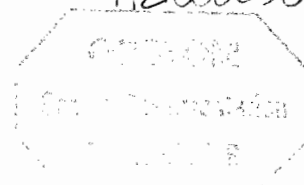
ORSTOM



COCHABAMBA - BOLIVIA

1992

H200065639



3 de FDI
8 DEC. 1999

Non Num

37.571

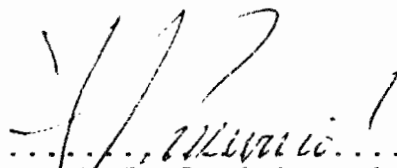
68 PEDAPP CON

HOJA DE APROBACION

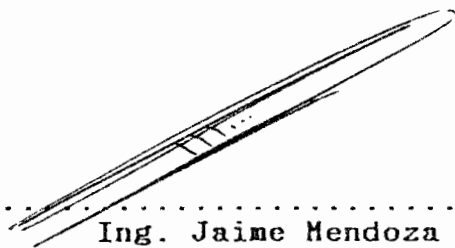
El presente trabajo de tesis fue revisado y aprobado por el siguiente tribunal:



.....
Ing. M.C. Edgar Gutiérrez R.



.....
Ing. M.C. José Amurrio R.



.....
Ing. Jaime Mendoza

.....
Vo. Bo. Ing. M.C. Julio Villarroel T.
DECANO FACULTAD CIENCIAS AGRICOLAS Y PECUARIAS

DEDICO ESTE TRABAJO AL
GRAN ESFUERZO DE MIS
PADRES ADRIAN Y EMMA, AL
APOYO MORAL DE MIS HERMANAS
ROSSEMARY Y LOURDES

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos al Instituto Francés de Investigación Científica Para el Desarrollo en Cooperación - ORSTOM, y muy especialmente al Señor Dr. Dominique HERVE investigador de la Institución mencionada por el asesoramiento técnico, apoyo material y económico brindado, sin la cual la realización del presente trabajo no habría sido posible.

A la Universidad Mayor de San Simón, a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias y su planta docente administrativa por la Formación Profesional recibida.

Agradezco también al Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria - IBTA - Patacamaya, a su planta técnica y trabajadores por el apoyo constante durante la realización del presente trabajo.

Agradecer así mismo:

- Al Ing. M.C. Edgar Gutiérrez R. por su asesoramiento y acertadas observaciones en la revisión de los borradores, por su interés en el trabajo, apoyo moral para seguir adelante.

- Al Ing. M.C. José Amurrio R. por sus valiosas sugerencias y observaciones en la revisión de los borradores, por su asesoramiento y sus enseñanzas.

- Al Ing. Jaime Mendoza por su constante motivación, por su interés y por el apoyo material prestado.

Vaya pues a ellos nuevamente mi gratitud por su amplio sentido de cooperación profesional.

Extiendo mis agradecimientos a Ingrid Brugnioni por su amistad y la gran ayuda en la transcripción del primer borrador, a Juan Céspedes A. por su ayuda desinteresada en la transcripción del segundo borrador e impresión final del presente trabajo.

Al ORSTOM por el financiamiento de la impresión del texto en limpio y a todos los amigos, compañeros, por su apoyo constante quienes de una u otra manera conyuvieron para que este trabajo se haga realidad.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.	5
2.1. SISTEMA SUELO-CLIMA-PLANTA.....	5
2.2. EFECTOS DE LA VEGETACION SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	6
2.3. LABRANZA.....	7
A. Objetivos y ventajas de la labranza	7
B. Labranza primaria.....	9
C. Variables descriptivas relacionadas con la labor	12
D. Factores que condicionan el trabajo del suelo...	13
2.4. HUMEDAD DEL SUELO	19
A. Constantes de humedad.....	19
B. Incidencia de la labranza sobre el almacenamiento de agua en el suelo	19
C. Almacenamiento de agua en el suelo.....	21
2.5. EVOLUCION DEL ESTADO DEL SUELO LABRADO.....	23
A. Acciones debidas a los implementos de trabajo...	23
B. Influencia del clima.....	28
III. MATERIALES Y METODOS	33
3.1. UBICACION DEL ENSAYO.....	33
A. Clima.....	33
B. Suelos.....	34
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	35
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	36
A. Epoca del ensayo.....	38
B. Determinaciones realizadas antes de la roturación.....	39
C. Determinaciones realizadas durante la roturación.....	41
D. Determinaciones realizadas post-roturación.....	41

	Pág.
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
4.1. ESTADO INICIAL DEL SUELO (PRE-ROTURACION).....	45
A. Humedad del suelo.....	45
B. Densidad aparente.....	48
C. Cobertura vegetal.....	50
D. Descripción de perfiles culturales.....	52
4.2. DETERMINACIONES REALIZADAS DURANTE LA ROTURACION...	61
A. Obtención de los tratamientos experimentales....	61
B. Características medidas relacionadas con el tractor.....	65
4.3. DETERMINACIONES REALIZADAS POST-ROTURACION.....	67
A. Condiciones climáticas (precipitación y evapotranspiración).....	67
B. Humedad en el suelo.....	68
C. Dinámica del agua almacenada hasta la siembra...	75
D. Estado superficial del suelo.....	82
E. Evolución del estado superficial bajo las lluvias.....	85
4.4. ESTADO FINAL DEL SUELO (SIEMBRA).....	95
A. Humedad al momento de la siembra.....	95
B. Perfiles culturales.....	96
V. CONCLUSIONES.....	109
VI. RESUMEN.....	113
VII. BIBLIOGRAFIA.....	116
ANEXO.....	119
ANEXO I.....	120
ANEXO II.....	121
ANEXO III.....	122
ANEXO IV.....	123
ANEXO V.....	125
ANEXO VI.....	130
ANEXO VII.....	132

LISTA DE CUADROS

CUADRO	Pág.
1. Límites de Atterberg en función de la naturaleza del suelo.....	18
2. Determinaciones granulométricas y de las constantes de humedad de las parcelas estudiadas.....	35
3. Detalles de las fechas de roturación por tratamientos y por parcelas.....	38
4. Humedades (en %) antes de la roturación por tratamientos, promedio de tres repeticiones.....	45
5. Densidades aparentes en g/cc y humedades gravimétricas en %.....	49
6. Evaluación de la cobertura vegetal inicial en % por transección al paso.....	51
7. Comparación de humedades (%) de roturación promedio por el test de NEWMAN-KEULS al 5%.....	62
8. Promedios de profundidad de roturación en cm, por tratamientos.....	64
9. Evaluación de las características de trabajo del tractor.....	66
10. Comparación de humedades (%) post-roturación en F1, por tratamientos.....	69
11. Comparación de humedades (%) post-roturación en F11, por tratamientos.....	71
12. Comparación de humedades (%) luego de rehumectación en F12, por tratamientos.....	73
13. Comparación del estado superficial observado y planimetrado en porcentaje, por cada clase de terrón (promedio de tres repeticiones).....	82
14. Intensidad de lluvias (junio-octubre/90) Patacamaya (SENAMHI).....	86
15. Comparación de humedades (%) a la siembra por el test de NEWMAN-KEULS al 5%	95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1. Descomposición del proceso de producción dentro de un sistema en términos de variables de estado.....	6
2. Cohesión, adherencia y humedad del suelo.....	17
3. Esquema de los constituyentes del suelo.....	21
4. Evolución de un suelo labrado.....	29
5. Croquis y disposición de los tratamientos y subtratamientos en las parcelas (Patacamaya y Culta).....	37
6. Esquema de observación e interpretación del perfil cultural.....	44
7. Perfil hídrico en textura Franco arenosa (Patacamaya)	47
8. Perfil hídrico en textura Franca (Culta).....	47
9. Representación esquemática del perfil cultural representativo (T) en Patacamaya (1-06-90).....	55
10. Representación esquemática del perfil cultural representativo en Culta (6-06-90).....	60
11. Precipitaciones, evapotranspiración diarias en mm y fechas de observaciones (junio-octubre de 1990).....	68
12a. Dinámica del agua almacenada en textura Franco arenosa: para profundidad de roturación 20-25 cm....	76
12b. Dinámica del agua almacenada en textura Franco arenosa: para profundidad de roturación 10-15 cm....	78
13a. Dinámica del agua almacenada en textura Franca: para profundidad de roturación 20-25 cm.....	80
13b. Dinámica del agua almacenada en textura Franca: para profundidad de roturación 10-15 cm.....	81
14a. Evolución del estado superficial para HR1-PR1 en textura Franco arenosa.....	87

14b. Evolución del estado superficial para HR1-PR2 en textura Franco arenosa.....	88
15a. Evolución del estado superficial para HR3-PR1 en textura Franco arenosa.....	89
15b. Evolución del estado superficial para HR3-PR2 en textura Franco arenosa.....	90
16a. Evolución del estado superficial para HR1-PR1 en textura Franca.....	91
16b. Evolución del estado superficial para HR1-PR2 en textura Franca.....	92
17a. Evolución del estado superficial para HR3-PR1 en textura Franca.....	93
17b. Evolución del estado superficial para HR3-PR2 en textura Franca.....	94
18. Representación esquemática del perfil cultural HR1-PR1 en textura Franco arenosa (29-08-90).....	97
19. Representación esquemática del perfil cultural HR3-PR2 en textura Franco arenosa (31-08-90).....	101
20. Representación esquemática del perfil cultural HR1-PR1 en textura Franca (23-08-90).....	102
21. Representación esquemática del perfil cultural HR3-PR2 en textura Franca (23-08-90).....	106

I . INTRODUCCION

La literatura Agrícola mundial, está repleta de informes referentes a los efectos de los diversos métodos o sistemas de labranza en la producción de cultivos. Muchos de los informes se refieren a un cultivo en particular. Desgraciadamente, los efectos de los sistemas de labranza por sí solos sobre las condiciones del suelo frecuentemente no han sido evaluados con prioridad (FAO, 1988).

Las investigaciones que se han realizado y se realizan, sobre las labores, están encaminadas más que a una caracterización de los resultados de la labor en el suelo, a comparar la eficiencia de una u otra herramienta. CIFEMA (UMSS) ha obtenido mucha información al respecto, trabajando en varias zonas de Bolivia, especialmente en regiones de Cochabamba, obteniendo bastante éxito con sus ensayos comparativos. En todos ellos sin embargo, encontramos un aspecto que no ha sido suficientemente desarrollado, referido particularmente al estado físico del suelo; y más aún si incluimos en este enfoque al clima que es el determinante para fechas de roturación si es que hablamos de una agricultura a temporal; nos estamos refiriendo a la caracterización del suelo, luego de una roturación y sus consecuencias agronómicas.

Se considera que el agua es uno de los principales factores limitantes para la agricultura en el Altiplano boliviano en general, por las precipitaciones escasas e irregulares, lo cual trae como consecuencia la frecuente ocurrencia de sequías, estimándose, que de cada diez años, dos son buenos, tres regulares y el resto malos a lo que se suma una serie de

limitaciones de la mayoría de los suelos de ésta región para una agricultura bajo riego (ORSAG, 1989).

En las investigaciones sobre trabajo del suelo, se aprecia la calidad de la roturación; por la profundidad, el grado de desterronamiento, el grado de incorporación de la vegetación y la humedad almacenada. De hecho todos los sistemas de labranza producen "daños" en la estructura de los suelos agrícolas; lo importante es conocer y practicar aquél que disminuya estos riesgos. El agua presente en el suelo debe ser evaluada más rigurosamente por ser el factor principal que condiciona el estado físico del suelo (REYNAGA, 1983).

La llegada de las primeras lluvias fija el inicio del trabajo del suelo y de siembra, o sea el número máximo de días disponibles hasta la última fecha para sembrar (época de roturación definida por las primeras lluvias) (BOURLIAUD y otros, 1988). En el Altiplano boliviano se identifica también una época de roturación aprovechando las últimas lluvias y eventuales nevadas en junio y julio. En ambas situaciones se tiene un rango muy variable de días en los que el agricultor define el día de roturación en función de estimaciones visuales de la humedad superficial del suelo, evitando los problemas que traerían roturaciones con extrema humedad o en su defecto extrema sequedad.

Para lograr una reserva suficiente de agua en el suelo, en la época de roturaciones aprovechando las últimas lluvias y probables nevadas, se propone adecuar las labores de roturación particularmente la fecha y profundidad de

roturación a las condiciones de suelo y clima que se presentan como una forma de lucha contra los riesgos de sequía.

Estos antecedentes abren un campo de investigaciones preliminares, que permanece hasta ahora sin explorar, y que nos lleva a formular algunas preguntas como: ¿cuáles son los efectos del trabajo del suelo con discos y los efectos del clima sobre el estado estructural del suelo?, ¿cuáles son las modalidades de circulación del agua en la superficie y en profundidad, según la pendiente y la organización de los camellones?, ¿cuál es la influencia de los estados sucesivos del medio sobre el desarrollo radicular, y sus consecuencias sobre la conservación de la estructura?. etc.

Es así que a nivel del agricultor, la significativa variabilidad de sus rendimientos en un año calificado de normal, no obstante de mantener constantes las técnicas de producción en una misma parcela y de una parcela a otra; revela la importancia de iniciar un estudio científico del suelo como componente de un sistema (clima-suelo-planta), evaluando cuantitativamente el agua presente en el suelo, por ser, como ya se indicó el factor principal que modifica el comportamiento físico del suelo, en función del tiempo y del clima y el efecto de las condiciones de roturación del suelo.

Tomando en cuenta éstas consideraciones, el presente trabajo tiene como principales objetivos los siguientes:

- Determinar el contenido de humedad del suelo en dos grupos texturales, antes, durante y después de la roturación con

un seguimiento de la dinámica del agua almacenada hasta la siembra y con un control a nivel de agricultor.

- Determinar el efecto de las condiciones de humedad y profundidad de roturación en el comportamiento físico e hídrico del suelo en ambas texturas.

- Cuantificar el agua almacenada en la siembra en función de las precipitaciones del lugar en dos tipos texturales de suelo.

- Caracterización del estado final del suelo.

Como objetivo secundario de este trabajo se tiene:

- Determinar condiciones de humedad y profundidad de roturación, límites posibles para el trabajo del suelo, en base a criterios del agricultor para las dos texturas estudiadas.

Para alcanzar los objetivos propuestos se plantean las siguientes hipótesis:

h₁: La roturación no tiene ningún efecto sobre el estado hídrico y comportamiento de los suelos.

h₂: La variabilidad textural no tiene influencia en la dinámica del agua almacenada en el suelo.

h₃: La textura del suelo, la profundidad y la humedad de roturación no condicionan el tamaño y la distribución de los terrones superficiales al momento de la siembra.

II . REVISION DE LITERATURA

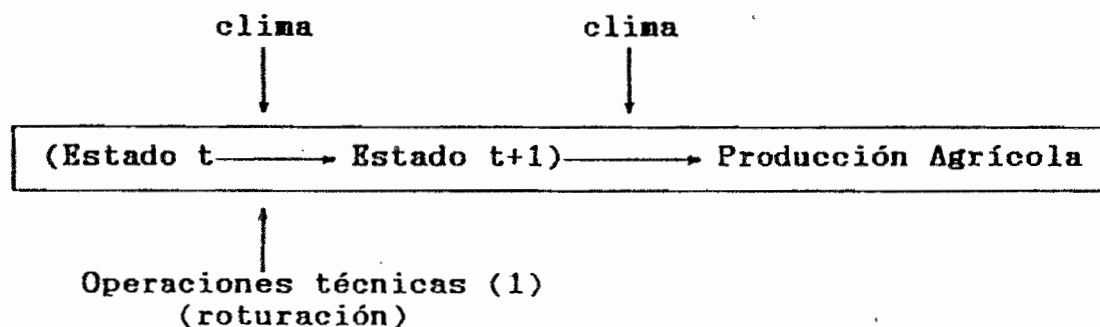
2.1. SISTEMA SUELO-CLIMA-PLANTA

La descripción de las prácticas de los agricultores es necesaria para identificar los determinantes de su aplicación (MILLEVILLE, 1987). Sin embargo, el análisis de las consecuencias de las mismas sobre la producción agrícola no es inmediato, en la medida en que no hay relación causal directa entre las operaciones técnicas (1) y los niveles de producción de una parcela (SEBILLOTE, 1982), y con mayor razón los resultados de un sistema más complejo que el terreno cultivado. El nexo entre insumos y niveles de producción muestra por lo general un amplio rango de variabilidad. Por tanto los análisis estadísticos que relacionan las operaciones técnicas y los resultados de producción, resultan a menudo insuficientes, para proporcionar referencias confiables, generalizables y adaptadas a medio ambientes edafoclimáticos y medios de producción variados (DURU, 1988).

DURU (1988) utiliza un procedimiento que consiste en descomponer el proceso de producción y luego representarlo como una sucesión de variables de estado (Fig. 1). En un momento dado del proceso de producción, el valor de una variable de estado depende del estado anterior, de las operaciones técnicas y de las características del medio (clima en particular).

(1) La operación técnica, es la acción mínima que hace pasar el ecosistema cultivado o no, de una parcela, de un estado A a un estado B, nos referimos en este caso a la roturación (SEBILLOTE, 1982).

Fig. 1. DESCOMPOSICION DEL PROCESO DE PRODUCCION, DENTRO DE UN SISTEMA EN TERMINOS DE VARIABLES DE ESTADO (t:tiempo)



Para un proceso de producción dado, se construye un modelo que dé cuenta:

- de la sucesión en el tiempo de los estados del sistema que son significativos para la elaboración de la producción.
- de las relaciones entre operaciones técnicas y estado del sistema, teniendo en cuenta las posibles interacciones con los factores del entorno (lluvias, principalmente) (DURU, 1988).

2.2. EFECTOS DE LA VEGETACION SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

ACEVES (1981) afirma que los efectos benéficos más importantes propiciados por la vegetación sobre las propiedades de los suelos, se deben principalmente a la acción mecánica de sus raíces; las cuales modifican de manera directa las propiedades físicas e indirectamente las propiedades químicas y biológicas; a groso modo incrementan la permeabilidad y conductividad hidráulica por efecto de los canales formados. El

sistema radicular afloja el suelo, incrementando su porosidad y permeabilidad; mientras más profundo, mayor es el efecto.

Según ACEVES (1981), el efecto principal de los cultivos es ejercido sobre los siguientes puntos:

- Efecto sobre la evaporación
- Efecto sobre la capilaridad
- Efecto sobre el nivel freático

MAMEVA, citado por ACEVES (1981), indica que estos efectos pueden llevarse a cabo por la formación de un colchón de materia orgánica, sea de origen animal o vegetal en la capa arable.

Otros estudios con plantas cultivadas realizados por SHAVRIGIN y BLIZIN citados por ACEVES (1981), mostraron que su mayor efecto lo tienen en la formación del sombreado del suelo (impidiendo la evaporación), y en la formación de una estructura granular que disminuye la capilaridad (y con ello la acumulación de sales en la superficie) y por la transpiración de su área foliar que ayuda a mantener y/o a disminuir el nivel freático de los suelos.

2.3. LABRANZA

A. Objetivos y ventajas de la labranza

El objetivo final de la labranza es modificar por medios mecánicos la condición inicial conocida de un suelo, por otra condición diferente deseada (GILL Y VANDEN BERG, 1968). Para la

producción agrícola, este objetivo sería proporcionar al suelo un ambiente adecuado para un crecimiento y una producción vegetal mejores. Casi la mitad de los rendimientos, están asegurados por un buen establecimiento de los cultivos, dependiendo del estado hídrico del suelo en la siembra y del estado estructural de la cama de siembra (FAO, 1988).

Para GAVANDE (1986), los objetivos específicos de la labranza varían ampliamente y dependen de factores tales como: suelos, clima, cultivos que se quiere producir y condiciones prevaescentes. Por su parte ASHBURNER-SIMS (1984), FAO (1988) y CANAVATE-HERNANZ (1989); afirman, que algunas de las ventajas que comunmente se atribuyen a la labranza son:

- **Esponjamiento del suelo**, que permita la aireación y el almacenamiento de la humedad.
- **Volteo de la tierra**, para que las semillas de las malas hierbas, situadas en la parte superior del terreno, se asfixien (enterrándolas) y también para hacer que llegue, incluso a las capas más profundas, el abono mineral que por sí mismo tiene poca tendencia a descender (fosfatos).
- **Mezcla del terreno**, para que todos los elementos nutritivos aportados artificialmente y existentes por naturaleza e incluso la humedad, puedan distribuirse homogéneamente por todo el volúmen de terreno labrado.
- **Establecimiento de determinadas configuraciones** en el terreno, para plantar, regar, favorecer la recolección

mecanizada, la infiltración máxima. Por ejemplo, se pueden preparar y cultivar las tierras para algunos cultivos sin que queden muchos terrones, por lo cual se facilitará la cosecha manual (BERLIJN y otros, 1985).

- Reducción de la erosión del suelo, mediante surcos que sigan las curvas de nivel.
- Control de insectos (mortalidad de las pupas, huevos, etc.).

B. Labranza primaria

La aradura o labranza primaria, representa la operación principal del mejoramiento de la estructura del suelo, por lo tanto es esencial que se efectúe este trabajo del suelo en la mejor forma posible.

1. Tipo de suelo, roturación y velocidad de trabajo

Según BERLIJN y otros (1985), el tipo de suelo determina en gran medida, la intensidad de la granulación y roturación de la tierra durante la operación de arado. Los suelos pesados y arcillosos tienden a granularse menos, mientras que en los livianos y arenosos, el grado de granulación puede ser excesivo, de manera que los primeros se encostrarán fácilmente después de una lluvia.

Este mismo autor añade además, que la granulación de la tierra debe ser tal, que el suelo contenga bastante aire y capacidad de almacenamiento de agua, y que ésta estructura se

mantenga durante suficiente tiempo para obtener un cultivo de alto rendimiento.

Con referencia a la velocidad de avance, los autores señalados indican que depende de las condiciones físicas del suelo y del grado de roturación que se requiere. Para lograr una cama de siembra adecuada los suelos pesados y arcillosos se aran a una velocidad relativamente alta, mientras que los suelos livianos se aran a una velocidad relativamente baja.

2. Tiempo oportuno para arar

La naturaleza del suelo, define el nivel de humedad que permite el trabajo. Seguidamente el clima define las fechas durante las cuales la humedad del suelo, está por debajo de éste nivel; el período correspondiente indica el lapso con la humedad favorable (BOURLIAUD y otros, 1988). Luego el clima, define un lapso de tiempo durante el cuál la humedad del suelo permite la utilización de las herramientas (RENGIFO, 1987).

BERLIJN y otros (1985), afirman que en el caso de suelos arcillosos, es recomendable que la aradura se realice con una cierta anticipación a la labranza secundaria y la siembra. Así se permitirá una granulación natural, complementaria a la granulación por la aradura. Además, la aradura temprana permite la acumulación de agua en el perfil y previene la inmovilización del nitrógeno en el suelo.

Los suelos arenosos, no requieren una granulación natural complementaria. Tampoco es recomendable la aradura temprana

debido a que su estructura no es muy estable. Se debe arar en el momento más cercano a la época de siembra (BERLIJN y otros, 1985).

3. Profundidad de aradura

En general, la vida intensiva de los organismos y la aireación del suelo se concentran en los 10 cm superiores del suelo.

Por lo tanto, una aradura con una profundidad aproximadamente de 20 cm cambia ésta capa activa por otra de menor actividad, la cual se mejora con el tiempo, obteniendo una capa de 20 cm de actividad uniforme (BERLIJN y otros, 1985).

Estos mismos autores indican que sin embargo, es necesario realizar una aradura más profunda bajo las siguientes condiciones:

- Cuando el suelo tiene poca capacidad de retención o absorción de agua.
- Cuando la precipitación es grande, con peligro de erosión de la tierra.

Por otra parte ACEVES (1981), manifiesta que la labranza o barbecho profundo (en suelos aluviales), al alterar los horizontes aluviales y transportar el yeso a la superficie, incrementa el contenido de humedad de las capas más profundas. La mayor penetración de raíces mejora los procesos bioquímicos

del suelo, es decir, acondiciona el suelo, de tal modo que facilita la desalinización y remoción del sodio, por un mejoramiento sobre la estructura, permeabilidad e infiltración del suelo barbechado.

C. Variables descriptivas relacionadas con la labor

En el proceso de laboreo, existen una serie de variables que se ven modificadas cuantitativa y cualitativamente, tras el paso de las diferentes herramientas de trabajo. ORTIZ-CANAVATE y HERNANZ (1989) agrupan éstas variables en las siguientes categorías:

-Edafológicas

Caracterizan el estado del suelo, dentro de este grupo se hallan: estructura, densidad aparente, porosidad, humedad, etc.

-Mecánicas

Se manifiestan cuando se somete al suelo a una acción externa de tipo mecánico. Estas variables dependen fundamentalmente de las anteriormente mencionadas y especialmente de la humedad. Entre las más importantes tenemos: esfuerzo cortante, resistencia a compresión, deformabilidad, adhesión, etc.

-De diseño

Definen la morfología de las herramientas de trabajo. Sus características geométricas, tienen una gran influencia en el resultado final de la labor, así como en el consumo energético.

-Globales

Caracterizan el estado final de la labor en base a los objetivos de la misma así como las fuerzas que aparecen sobre los órganos de trabajo. Son el resultado de la interacción de los tres grupos anteriores; entre los más importantes tenemos: tamaño y distribución de terrones, rugosidad (microrelieve) y esponjamiento, que se caracterizan por la proporción de diferentes diámetros de terrones y el volumen de vacíos formados por la labor.

D. Factores que condicionan el trabajo del suelo

Numerosos autores como HENIN y otros (1972); ASHBURNER y SIMS (1984); GAVANDE (1986); y ORTIZ-CANAVALATE y HERNANZ (1989) indican como condicionantes del trabajo del suelo, las propiedades físicas llamadas también mecánicas.

El suelo presenta diversas propiedades según su humedad. Físicamente hablando, este hecho se caracteriza por que se presenta bajo estados diferentes (HENIN y otros, 1972).

1. Diferentes estados del suelo

El estado coherente o también frágil corresponde a la tierra seca. Las propiedades que mejor definen este estado son: por una parte, una resistencia relativamente elevada a la ruptura, que se traduce en el hecho de que es necesario aplicar una fuerza considerable para romper un elemento de un tamaño dado; por otra, el hecho de que una vez obtenida esta ruptura, los elementos no tienen tendencia a adherirse entre sí cuando

se los aprieta unos contra otros. En este estado no hay adherencia ni a los aperos ni a los dedos.

Con cierta humedad, la tierra se vuelve plástica, es decir, que es posible deformarla de una manera permanente sin romperla. Si la deformación no fuese permanente, el material sería entonces elástico. Hay grandes diferencias, según la naturaleza de las tierras, con relación a esta reacción; algunas se rompen después de una débil deformación; otras por el contrario las más arcillosas, sufren una deformación muy importante antes de romperse. Si esta posibilidad depende del contenido en arcilla, está ligada, para una misma tierra, a su contenido de agua.

Si se aumenta más la humedad del suelo, llega un momento en que la tierra se extiende bajo su propio peso y se desliza casi como un líquido, se puede hablar entonces de estado líquido.

2. Límites o índices de Atterberg

El paso del estado sólido al estado plástico y después al estado líquido se produce bastante progresivamente, a medida que crece la humedad. Para poder cuantificar dichos estados y establecer la frontera entre uno y otro, se han realizado una serie de ensayos donde se determina la humedad correspondiente a estos límites (FORSYTHE, 1985):

- Límite de retracción
- Límite inferior de Atterberg
- Límite superior de Atterberg

3. Elección de los estados favorables a los diferentes trabajos

Es importante conocer los estados favorables del suelo a los diferentes trabajos, con referencia a la opinión de BAVER (1973), quién asegura que el efecto benéfico producido por un implemento de labranza generalmente se nulifica por un uso excesivo, y aún mucho más cuando la labor es realizada en un suelo muy húmedo.

Por su parte, LERENA citado por SILES (1980) manifiesta que un suelo trabajado en condiciones excesivas de humedad, tiende a cambiar su estructura sufriendo una compactación, y un suelo trabajado en condiciones de excesiva sequedad no tardará en sufrir los efectos de la erosión.

Los informes de los autores anteriormente citados, acentúan la importancia del conocimiento del grado de humedad del suelo durante el laboreo, sin embargo, muy pocas veces el agricultor en nuestro medio toma en cuenta éste factor, ó, si lo hace, se basa únicamente en estimaciones visuales, e indicadores táctiles.

Al respecto de la humedad, THOMPSON (1962) indica que los suelos deben ararse con un nivel adecuado de humedad, que es una medida muy efectiva, pero un exceso de tratamiento mecánico tiende a reducir los agregados y puede disminuir la porosidad.

BUCKMAN y BRADY (1966), afirman que muchos agricultores, labran demasiado y en épocas en que la agregación del suelo

puede ser afectada seriamente, éste es el caso de labrar los suelos arcillosos secos o demasiado húmedos.

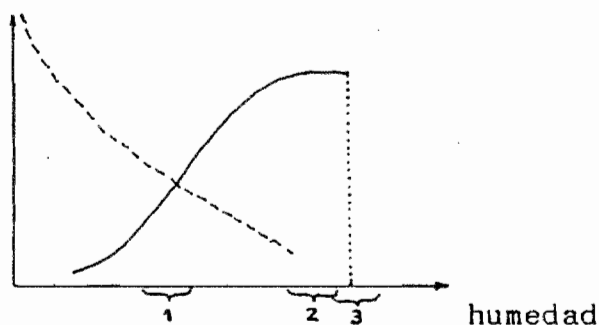
A opinión de HENIN y otros (1972), la descripción de la reacción del suelo a diversas humedades, permite definir las condiciones de su trabajo. La Figura 2 reproduce el paso de la variación de la cohesión y de la adherencia en función de la humedad. Se observa, en particular, que la cohesión disminuye cuando aumenta la humedad. Por el contrario, la adherencia, muy débil en estado seco, aumenta con la humedad, pasando por un máximo en las proximidades del punto de adherencia y después disminuye de nuevo cuando la humedad aumenta. La curva de frotamiento de metal sobre suelo seguiría poco más o menos, el mismo paso. Resulta de este diagrama que, siempre que se quiera romper los terrones y hacer tierra fina, será necesario elegir una humedad en la cual la cohesión esté claramente disminuida, sin que por esto la adherencia sea ya muy marcada. Por el contrario si se quiere hacer una labor bien moldeada, será necesario tomar la tierra más húmeda, evitando, no obstante, colocarnos en el punto de adherencia donde ésta pasa por un máximo.

La Figura 2(a) corresponde al caso de una tierra arcillosa. La posición relativa de las curvas de cohesión y de adherencia varia mucho con la textura y la estructura del suelo, como muestran las curvas 2(b) y 2(c).

Debido a la lentitud de la penetración del agua, al menos en ciertos suelos, se presenta aparte del problema de la humedad absoluta del suelo, el del tiempo de secado, es decir, la espera

necesaria para que después de una lluvia dada el agua se haya filtrado suficientemente en el perfil, a fin de poder circular sin perjuicio (HENIN y otros, 1972).

(a) Suelo arcilloso



(b) Suelo limoso

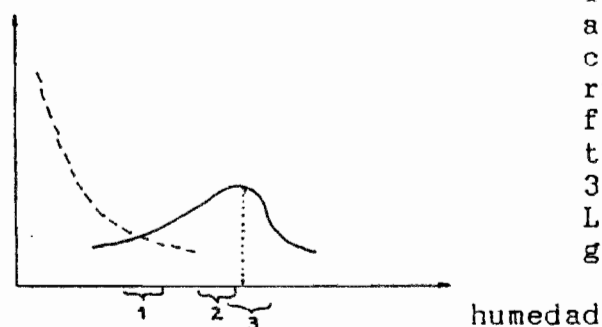
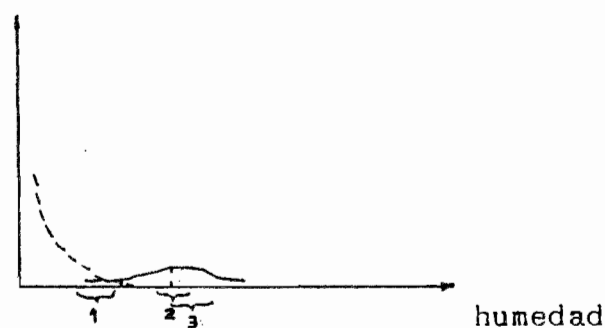


Fig. 2. COHESION, ADHERENCIA Y HUMEDAD DEL SUELO. a) suelo arcilloso. b) suelo limoso. c) suelo arenoso. 1: Zona de ruptura, formación de tierra fina. Utilización de implementos. 2: Zona de labor moldeada. 3: Zona de mala labor posible. Labor de arado y de rulo peligrosa.

Fuente: HENIN y otros (1972)

(c) Suelo arenoso



-----cohesión —————adherencia

Como es difícil establecer las curvas precedentes, se pueden utilizar los índices de Atterberg del Cuadro 1 (PERIGAUD, 1964), en el que se muestra a título de ejemplo, que es posible sacar informaciones valiosas para preveer la reacción de ciertos grupos de tierras.

CUADRO 1. LIMITES DE ATTERBERG EN FUNCION DE LA NATURALEZA DEL SUELO

NATURALEZA DEL SUELO	VALOR DE pF CORRESPONDIENTE A:			
	Límites de liquidez	Punto de adherencia	Capacidad de campo	Límites inf. de plasticidad
Suelos detríticos hidromorfos } medio arcilloso	2.3-2.4 2	2.5 2.5	2.6-2.8 2.8	2.6-2.9 2.9
Suelos en granito alterado	2	2.1	2.5	2.8
Suelos negros de limagne (arcillo-humo-calizos)	1.2	1.8	2.8	2.9

Fuente: PERIGAUD (1964).

La capacidad de campo mide el contenido en agua del suelo húmedo, pero percolado. Si el punto de adherencia está cerca de este valor, el suelo es difícil de trabajar. La situación es peor si el límite superior de plasticidad está cerca de estos valores, ya que la tierra se vuelve cada vez más fangosa y se degrada bajo la acción de las cargas y de los aperos (HENIN y otros, 1972).

2.4. HUMEDAD DEL SUELO

A. Constantes de humedad

Por el volumen de agua que retiene en determinadas condiciones, cada clase de suelo tiene su constante de humedad que lo caracteriza. Las constantes de humedad a que más se hace referencia son las siguientes:

- Capacidad de Campo

Según PALACIOS (1979), es el contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, respecto a su peso en seco, después de haberse regado (riego pesado), y una vez que se ha eliminado el exceso de agua por acción de la fuerza de gravedad. Esta condición se obtiene de dos a cinco días después del riego.

- Porcentaje de Marchitamiento Permanente

Es la humedad que contiene un suelo (también expresado en porcentaje), en donde se marchitan permanentemente plantas indicadoras, como el girasol con cuatro hojas, a menos que se les agregue agua. A pesar de que se hace referencia a un cultivo en esta definición, la constante depende fundamentalmente de las características físicas del suelo, según lo han demostrado VEIHMAYER y HENDRICKSON (citado por BAVER, 1973).

B. Incidencia de la labranza sobre el almacenamiento de agua en el suelo

Los factores climáticos que ejercen mayor influencia en la elección de los sistemas de labranza desde el punto de vista del

almacenamiento de agua son: la precipitación, la evaporación (como los más importantes) y el viento (GAVANDE, 1986).

Diversos trabajos realizados por ORSAG (1989), apuntan a la necesidad de adelantar la fecha de roturación del suelo, para aumentar la cantidad de agua infiltrada y lograr así almacenar la mayor humedad hasta la siembra. Pero, las posibilidades de infiltración dependen del estado superficial creado por la roturación y de su evolución bajo las lluvias.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1988), considera que en las regiones deficitarias en precipitaciones, la labranza y las prácticas afines de conservación del agua son muy convenientes, por que se debe almacenar en el suelo, la mayor cantidad de agua posible para el posterior uso por las plantas. Para conseguir tal cosa, convienen las prácticas de labranza que aumenten la infiltración del agua, retengan la nieve y reduzcan la evaporación posterior.

En relación a este punto GARCIA (1961), específicamente revela que el arado de discos, al realizar el volteo de la tierra, produce desecación del suelo; por ello cuando se trata de climas de irregularidad lluviosa, con períodos de sequía, donde conviene conservar al máximo la humedad del terreno, la época propicia para labrar con discos es inmediatamente después de las primeras lluvias del año agrícola; de ésta forma, aunque se produzca desecación, el perjuicio no es grande. Así mismo, indica, que un uso del arado de discos al final de la época lluviosa es incorrecto por que dá lugar a la desecación, sin poder recuperar la humedad que se evapora.

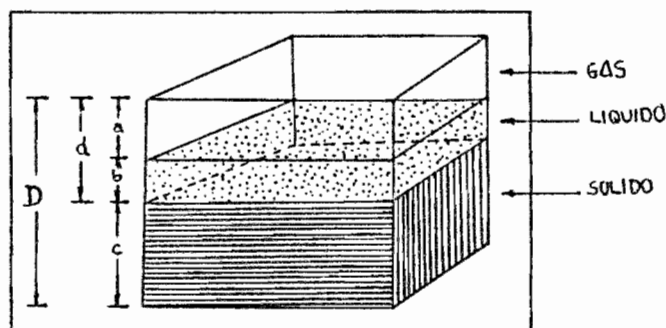
Por otra parte (FAO, 1988), afirma que las labores de preparación profunda causan pérdidas de humedad por evaporación y favorecen la erosión a menos que la tierra labrada se consolide rápidamente por efecto de la lluvia o por apisonado.

C. Almacenamiento de agua en el suelo

1. Porosidad

La Figura 3 ilustra el concepto de que el suelo es un reservorio de agua, y muestra una unidad de volumen aparente del suelo D^3 , en que las partículas sólidas se han agrupado en un lugar y el espacio poroso está lleno con cantidades recíprocas variables de agua y gas. El espacio poroso, está constituido por todo el volumen aparente no ocupado por los sólidos (GAVANDE, 1986).

Fig. 3. ESQUEMA DE LOS CONSTITUYENTES DEL SUELO



Fuente: GAVANDE (1986).

Los suelos de textura fina, como los arcillosos, tienen más espacio poroso total que los normales (Francos). Aunque los poros individuales son, generalmente más pequeños, hay mucho más

poros y el resultado neto es una porosidad total mayor en los suelos finos. Por lo tanto, en el estado de saturación, los suelos de textura fina contienen mayor cantidad de agua que los de textura Franca (GAVANDE, 1986).

2. Humectación del suelo

Los trabajos realizados por HENIN y otros (1972), confirman que la humectación del suelo es un fenómeno complejo. Demostró que, luego del riego de un suelo, se observa una redistribución espacial de la humedad, si esperamos unos días. Se notará igualmente, que en las dos extremidades de la columna de humedad no es constante, es más elevada en la parte superior y más débil en la parte baja, se designa a menudo, con el nombre de frente de humectación la zona que separa la tierra húmeda de la tierra seca. A partir de cierta intensidad de riego se forma en la superficie del suelo una lámina de agua. En estas condiciones, el volumen de agua ocupa aproximadamente un 9/10 de la porosidad total. Este fenómeno corresponde a lo que se observa en los campos, en el momento de precipitaciones intensas, y que se forma o bien una capa de agua si el terreno es horizontal, o una escorrentía, si el terreno está en pendiente.

Estos mismos autores agregan, que la capacidad de infiltración es afectada marcadamente por la estructura. Cuanto más débil es la porosidad y para una porosidad dada, y más pequeños son los poros, más se produce el fenómeno de encharcamiento para precipitaciones de débil intensidad.

3. Evaporación del agua del suelo

A medida que el suelo se deseca, pierde el agua cada vez más lentamente, hasta alcanzar un régimen de evaporación lento pero no nulo, cuando la superficie está poco más o menos en equilibrio con la atmósfera. Las cantidades de agua perdidas para alcanzar éste estado son del orden de 35 a 40 mm para suelos de textura media (HENIN y otros, 1972).

Haciendo referencia siempre a estos autores, de los pocos que han dirigido su atención al tema objeto de estudio; compararon una columna lleno de agregados gruesos bien diferenciados y otro de tierra fina apelmazada; comprobaron, que en el primer caso la humedad crece más rápidamente que en el segundo, en función de la profundidad. Dicho de otro modo, el régimen de evaporación lenta se alcanza en una tierra bien estructurada, con una pérdida de agua más débil que en una tierra compacta. En un suelo insitu; en la época de las roturaciones, la superficie se deseca a pesar de que existe por debajo una capa húmeda. Por el contrario, en una tierra no labrada la superficie permanece húmeda, por que el agua sube más fácilmente de la profundidad; así pues ésta humedad de la superficie es obtenida al precio de una evaporación más grande de las reservas.

2.5. EVOLUCION DEL ESTADO DEL SUELO LABRADO

Considerado como sistema poroso, el suelo, está sometido a varios tipos de acciones que ocasionan modificaciones de su estado (BOIFFIN y MONNIER, 1989).

A. Acciones debidas a los implementos de trabajo

Antes de elegir el tipo o la secuencia de aperos a utilizar para un determinado suelo y cultivo, es importante conocer a fondo las diferentes formas en que el perfil del terreno puede ser modificado por las herramientas de trabajo. Dichas acciones pueden agruparse según ORTIZ-CANAVATE y HERNANZ (1989) en los siguientes:

1. Mullido

El mullido del suelo consiste en una reducción de la cohesión y un aumento de su porosidad. Esta operación tiende a crear terrones más o menos libres entre sí, y tierra fina, facilitando la entrada de aire y agua a las capas inferiores. Por otro lado, se ve beneficiado el desarrollo radicular y en consecuencia el crecimiento de las plantas.

Si nos limitamos a las acciones de tipo mecánico, el mullido es el resultado de una serie de fenómenos elementales de división:

- Fisuración

Se manifiesta oblicuamente delante de la herramienta de trabajo; en teoría, las fisuras se forman a intervalos regulares.

Esta característica podemos observarla en los arados de vertedera, y aperos de dientes (chisel, cultivador). No obstante la formación y orientación de las fisuras viene

condicionada por las heterogeneidades de tipo estructural en el suelo.

La humedad constituye un factor importante en la formación de fisuras. En terrenos secos y compactados se forma un pequeño número de fisuras grandes que surgen en las zonas de menor resistencia dando lugar a bloques de suelo de tamaño considerable. A medida que la humedad aumenta, la cohesión molecular se reduce y con ella la resistencia interna del suelo; de ahí que, cerca del límite plástico la fisuración sea máxima, siendo predominante el efecto de pulverización.

Un posterior aumento de la densidad hace que el suelo se haga plástico lo que permite deformaciones sin rotura de forma que se reduce el número de fisuras, apareciendo al contrario zonas compactadas. Un ejemplo característico es el "efecto de embudo" producido por aperos de dientes tipo chisel, cuando se trabaja bajo condiciones de excesiva humedad.

- Seccionamiento

Por seccionamiento, entendemos la fragmentación del suelo justamente en la zona donde opera la herramienta de trabajo. Dicho efecto es característico de los aperos accionados que trabajan con cuchillas, tipo fresadora; si bien la rotura en este caso concreto viene también asociada al impacto.

También es característico en los aperos de vertedera, siendo realizado por la cuchilla y reja, aunque ésta última ejerce otra serie de efectos adicionales sobre el suelo que producen su fragmentación inicial.

- Impacto

El impacto, es la aplicación instantánea de una determinada carga, cuyo efecto se produce fundamentalmente sobre los terrones. A las velocidades normales de trabajo para que un impacto sea eficaz, los terrones han de tener un comportamiento frágil, para lo cual su contenido de humedad ha de ser bajo. Asimismo, el impacto se produce por proyección de los agregados del suelo contra una superficie fija (fresadoras).

- Compresión

La compresión de agregados y en circunstancias excepcionales la del microrelieve, es otra de las formas de actuación de los aperos de labranza.

Cuando la parte del implemento que actúa o un neumático ejerce una presión sobre el suelo, el resultado es una disminución más o menos importante y extensa de la porosidad.

Para que se produzca la ruptura de dichos agregados es necesario que la humedad sea igual o inferior a la correspondiente al límite plástico, de lo contrario se corre el riesgo de que se forme una capa compactada que dificulta el desarrollo radicular.

- Fricción

La rotura por fricción se produce cuando los agregados del suelo se deslizan entre sí, o bien, contra la herramienta de trabajo, y entre ellos existe una determinada carga. El resultado es una reducción del volumen inicial de los agregados

con la producción de tierra fina que se desprende de la superficie.

- Laminado

El laminado o alisado que a menudo viene asociado a una determinada compresión, se produce cuando la herramienta se desplaza sobre el suelo, -tal y como ocurre con la parte trasera de las vertederas que comprime el prisma de tierra volteado, con el de la pasada anterior-, y puede ser considerada una acción intermedia entre compresión y fricción. El laminado produce una gran cantidad de tierra fina.

2. Volteo

El volteo es el procedimiento por el cual se invierten las capas del suelo con el objetivo fundamental de enterrar la vegetación adventicia, el rastrojo y los fertilizantes sólidos. Suele ir asociado a otro tipo de acciones encaminadas al fraccionamiento del suelo.

Los arados de vertedera y disco son los aperos que principalmente realizan este tipo de acción.

3. Nivelado

Es aquella operación cuya misión es la de destruir el microrelieve del terreno así formado por las labores profundas con el objeto de facilitar la correcta localización de las semillas por las máquinas sembradoras.

El nivelado se lleva a cabo desplazando las partículas del suelo sobre su superficie hasta conseguir un microrelieve homogéneo. Los aperos de preparación de la cama de siembra en grán medida contribuyen al efecto nivelador, no obstante hoy día se complementan con otros, tales como las rastras.

4. Localización de agregados y tierra fina

Consiste en situar las partículas del suelo en función de su grosor sobre el perfil del suelo, la localización puede llevarse a cabo de varias maneras, según la forma de trabajo del apero.

La rastra de discos por ejemplo, desplaza los terrones volteandolos y haciéndolos rodar sobre la superficie del suelo, ello contribuye al desprendimiento de tierra fina que se entremezcla con las fracciones pequeñas y a una mezcla homogénea de los residuos vegetales entre 5 y 15 cm.

B. Influencia del clima

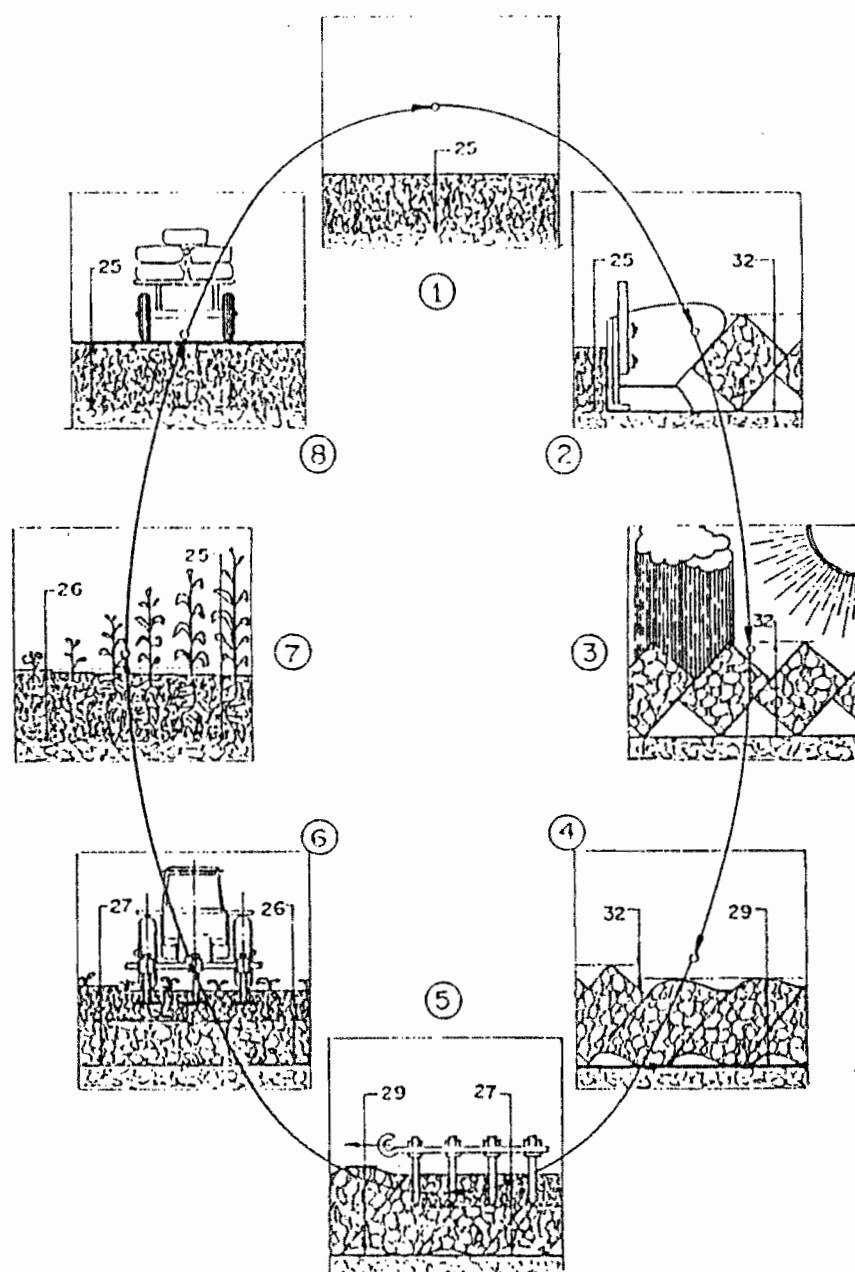
Después de la arada, el suelo se asienta gradualmente, por acción de la gravedad, por la influencia del clima y por el peso de las maquinarias durante la labranza secundaria como se ve en la Figura 4 (BERLIJN y otros, 1985).

Este proceso o ciclo depende de la estabilidad de la estructura del suelo obtenido después de la arada. Los suelos arcillosos tienen por lo general más estabilidad que los suelos livianos. Cuanto más intensa sea la granulación de la tierra

más rápido retorna a su estado natural, y más rápido pierde su capacidad de retener aire y agua, obtenidos mediante su arada (BERLIJN y otros, 1985).

De la Figura 4 se tiene la siguiente secuencia:

Fig. 4. EVOLUCION DE UN SUELO LABRADO



(1) Estado natural del suelo, con una capa superior de aproximadamente 25 cm encima del suelo.

(2) Por medio de la aradura se aumenta la profundidad de la capa superior, por ejemplo, hasta 32 cm. Quiere decir que se incorporaron 7 cm de poros para aire y para depositar temporalmente agua.

(3) Influencia del clima.

(4) Bajo la influencia del clima, el suelo se asienta. La profundidad de la capa superior, disminuye, por ejemplo, hasta 29 cm. Disminuye también el volumen de poros, proporcionalmente.

(5) Labranza secundaria por medio de rastras de dientes. Esta es, en realidad, un mal necesario. Es necesario efectuarla para provocar la germinación de las semillas, pero al hacerla, disminuye la profundidad de la capa superior hasta, por ejemplo, 27 cm.

(6) Operaciones de cultivo. También disminuyen la profundidad de la capa superior, aunque son necesarias para el control de malas hierbas y para la aireación de la tierra.

(7) Durante el crecimiento del cultivo, la profundidad sigue disminuyendo.

(8) El transporte, y el pasaje de máquinas junto con la influencia del clima, hacen bajar la tierra hasta su estado natural.

1. Acciones de desagregación por el agua

Resultan de la conjunción de diversos procesos: compresión de la atmósfera interna de los fragmentos terrosos durante su imbibición, disminución de su coherencia, efecto del choque de las gotas de lluvia. Estas acciones se manifiestan en la superficie del suelo, por el golpeteo y las formas más o menos graves de erosión en la masa del perfil por la coalescencia de los fragmentos. De allí, una reducción de la porosidad a veces importante.

2. Acciones de fragmentación

Durante las labores culturales, las piezas laborantes ocasionan rupturas y desplazamientos de fragmentos, de lo cual resulta generalmente su aumento de la porosidad. La reacción del suelo a estas piezas depende de la humedad de éste; cuando ella aumenta, la tierra pasa al estado plástico y luego líquido.

Otros procesos, sin intervención mecánica pueden dar resultados similares: alternancias de humedecimiento desecación relacionadas con el clima y las raíces, el hielo y deshielo. Los mecanismos que determinan el volumen de los poros de fisura formados, aún no perfectamente conocidos, ponen en juego las características de la curva de contracción-hinchazón (punto de entrada de aire-límite de retracción) en la gama de variación del potencial hídrico compatible con las condiciones climáticas y las características físicas del material. En lo que se refiere a la densidad de fisuración, aparece ligada más bien a

las condiciones de variación de la humedad y a la cantidad de arcilla.

3. Acciones de apelmazamiento

A partir de cierta tasa de humedad, la totalidad de las discontinuidades macroscópicas son destruidas por un apelmazamiento moderado (HUTTER, 1986; GUERIF, 1981). En tal estado de compacidad, el estado hídrico del suelo bien secado corresponde prácticamente a la saturación y por ende a elevados riesgos de falta de oxígeno.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACION DEL ENSAYO

El presente estudio, se realizó en un lote de la Estación Experimental Patacamaya (E.E.P.), y una parcela en la comunidad vecina de San Juan de Culta, en el Altiplano Central, cuyas coordenadas geográficas son: $17^{\circ}15'$ de latitud sud y $67^{\circ}55'$ de longitud oeste a una altitud media de 3870 msnm.

Estos terrenos se encuentran ubicados, en la provincia Aroma del departamento de La Paz, a 106 Km de la ciudad, en la carretera La Paz - Oruro; y distante 3 Km de la localidad de Patacamaya en dirección Sud-Oeste, de acuerdo a informes recabados en la misma Estación.

A. Clima

La zona en estudio, presenta un clima árido con cambios térmicos invernales bien definidos. Esta región presenta un déficit hídrico durante gran parte del año, debido a la distribución monomodal de las precipitaciones pluviales, semiseco en otoño y con invierno y primavera secos. La precipitación media anual es de 380 mm concentrada en 3 o 5 meses del año (octubre a enero), estando comprendido el período más lluvioso en los meses de diciembre y enero (LORINI y LIBERMAN, 1983).

La temperatura media anual es de 9°C, con 201 días de helada al año, que se presentan con mayor frecuencia en junio con nevadas ocasionales, probables de mayo a julio.

B. Suelos

La mayoría de los suelos de esta región presentan características físicas desfavorables que se traducen en una débil estructuración, densidad aparente elevada, porosidad total baja, bajo contenido de materia orgánica (SALM, 1983).

De una manera general, los suelos donde se llevaron a cabo los ensayos presentan muy poca pendiente (0.25%) y se caracterizan en la comunidad de "Culta" por ser profundos, distinguiéndose la capa arable entre los 15 y 25 cm de profundidad, debajo del cual es notoria la formación del pie de aradura y en "Patacamaya", por ser superficiales, con bastante pedregosidad, habiéndose detectado una capa arcillosa por debajo de los 25 cm.

Realizado el análisis del suelo en ambas parcelas, con muestras sacadas a 0-20 cm, tomando 10 muestras al azar en un círculo, se obtuvieron los resultados que muestra el Cuadro 2.

Para fines del presente estudio, los análisis granulométricos son de mucho mas interés, (principalmente el contenido de arcilla) en base al cual se estiman otros parámetros físicos como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, e índices que describen el comportamiento de los suelos.

Cuadro 2. DETERMINACIONES GRANULOMETRICAS Y DE LAS CONSTANTES DE HUMEDAD DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS

DETERMINACIONES REALIZADAS			PATACAMAYA		CULTA	
Arcilla (<2μ)			6.1		19.3	
Limo fino (2μ-20μ)	Limo		6.45	14.61	31.6	45.2
Limo grueso (20μ-50μ)			8.15		13.6	
Arena fina (50μ-200μ)	Arena		44.85	78.6	24.45	34.5
Arena gruesa (200μ-2mm)			33.75		10.10	
CLASE TEXTURAL (según nominación del SICS)			FRANCO ARENOSO		FRANCO	
Materia orgánica (%)			0.66		1.46	
pH			7.0		8.5	
Capacidad de Campo (%)			15.73		18.31	
Punto de Marchitez Permanente (%)			7.47		12.62	

Fuente: Laboratorio de suelos UMSS. Cochabamba

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Se efectuó la roturación con un tractor mediano (45 HP) con arado de tres discos, con un diámetro de discos que varían de 60 a 62 cm, cuyo ancho total de trabajo es de 1.10 m.; y una rastra de discos. Para las muestras de humedad se usaron botes de aluminio. Entre los materiales de apoyo están: palas, picos, barreno, penetrómetro de bolsillo, cámara fotográfica, planímetro, flexómetro, nivel, etc. En laboratorio se usó una estufa de 110°C y una balanza de precisión. El tratamiento estadístico en gabinete se realizó en microcomputador con el paquete estadístico STAT-ITCF.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo, se utilizó el Diseño de Subparcelas; con tres tratamientos, dos subtratamientos y tres repeticiones. Según CALZADA BENZA (1964), por la naturaleza del estudio, los tratamientos no se pudieron distribuir al azar dentro de cada bloque, por lo que se arregló de manera sistemática para facilitar el manejo y uso de la maquinaria agrícola (tractores y sus implementos).

Los tratamientos y subtratamientos que se establecieron fueron:

Tratamiento 0. Condiciones de humedad que el agricultor considera óptimas para roturar, con una profundidad a criterio suyo (T0).

Tratamiento 1. Humedad máxima posible para roturación (HR1).

Tratamiento 2. Humedad intermedia (HR2) entre HR1 y HR3.

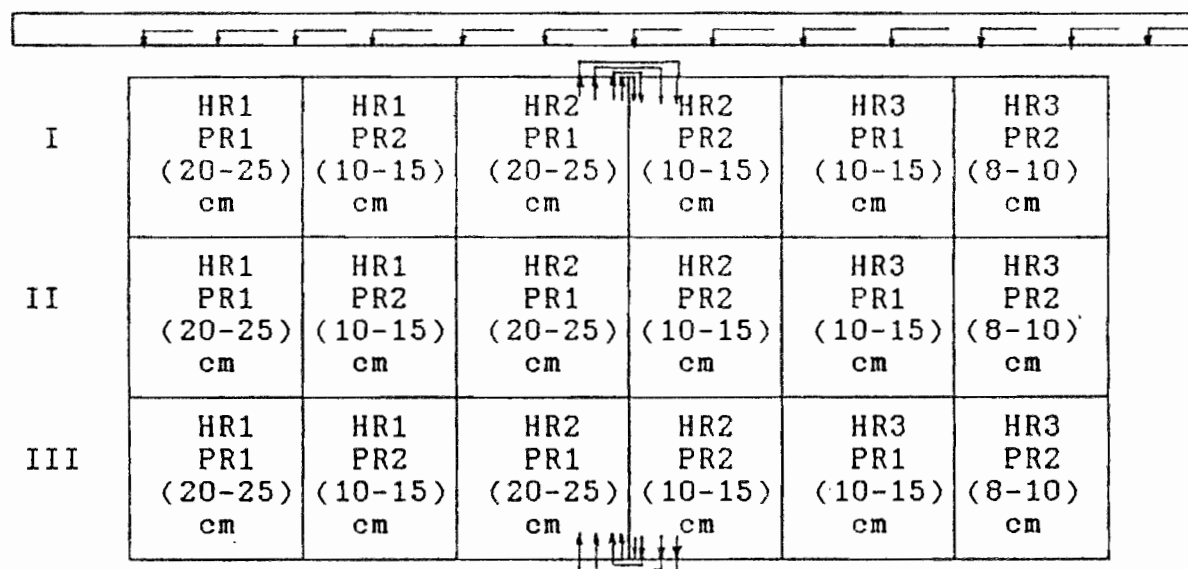
Tratamiento 3. Humedad mínima posible para roturación (HR3).

Subtratamiento 1. Profundidad de roturación máxima determinada en función de la humedad de roturación considerada (PR1).

Subtratamiento 2. Profundidad de roturación mínima determinada en función de la humedad de roturación considerada (PR2).

El área del ensayo en las dos localidades de textura diferentes, adquirieron la disposición de tratamientos y subtratamientos como se muestra en la Figura 5.

Fig. 5. CROQUIS Y DISPOSICION DE LOS TRATAMIENTOS Y SUBTRATAMIENTOS EN LAS PARCELAS (PATACAMAYA Y CULTA)



Las dimensiones de las unidades experimentales fueron: 10x50 m, siendo el área por unidad experimental de 500 m² y el área total de 10500 m² (Patacamaya). 8x37 m, siendo el área por unidad experimental de 296 m² y el área total de 7215 m² (Cultra).

Se implementó un tratamiento y subtratamiento "agricultor" (T0), que no se incluyó en el análisis estadístico de tratamientos; para efectos de comparación, se recurrió a comparaciones de medias, sirviendo estas referencias para determinar las condiciones de humedad y profundidad de roturación en las que el agricultor efectúa su trabajo y entre

que límites de los tratamientos adoptados se encuentran éstas condiciones (T0).

En el presente trabajo el análisis estadístico de la humedad y del estado superficial del suelo se realizó por grupo textural estudiado, no siendo necesaria un test entre texturas por evidenciarse dos comportamientos totalmente diferentes. En el caso de la humedad el análisis estadístico fue realizado por cada profundidad de muestreo, vale decir 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm independientemente, sin considerar la humedad promedio de estas profundidades de muestreo.

A. Época del ensayo

El estudio se realizó durante el período agrícola invernal 90-91, efectuándose las roturaciones en junio de 1990, haciendo coincidir con una de las épocas normales de labranza en Cultra (época de roturación posterior al período lluvioso), en el que se aprovecha las eventuales nevadas que se presentan para roturar; según el siguiente detalle de fechas de roturación: (Cuadro 3).

Cuadro 3. DETALLE DE FECHAS DE ROTURACION POR TRATAMIENTOS Y POR PARCELAS

TRATAMIENTO (RIEGO)	PATACAMAYA (5y6-06-90)	CULTA (8-06-90)
T0	19-06-90	21-06-90
HR1	19-06-90	19-06-90
HR2	26-06-90	21-06-90
HR3	29-06-90	25-06-90

Se realizaron sondeos de humedad después del riego pesado casi diariamente en "Patacamaya" (7, 8, 12, 13, 14, 17 y 18 de junio) antes de la primera roturación; y en "Culta" el 6, 16 y 18 de junio antes de la primera roturación. Se tuvo un período de 5 días de precipitación con un acumulado de 40.5 mm los días 8, 9, 10, 11 (en el que se presentó una nevada equivalente a 21 mm de pp constituyendo el mayor aporte) y 12 de junio (Anexo I), lo cual homogenizó el riego e incluso pudo ser innecesaria la implementación del riego; por lo que se esperó un período de tiempo relativamente largo antes de la primera roturación.

Estos sondeos se efectuaron a: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm en Patacamaya más 30-40 cm en Culata con el objeto de definir el día de roturación, reforzado por encuestas a los agricultores (grupo de 8 agricultores con los que se trabajó en Culata, y preguntas a los tractoristas sobre el estado de humedad del suelo para roturar en Patacamaya) para determinar el margen de días de roturación posibles de acuerdo a estimaciones visuales de las condiciones de humedad superficial del suelo.

B. Determinaciones realizadas antes de la roturación

Para la caracterización del estado inicial del suelo (antes de la roturación), se realizaron las siguientes determinaciones:

1) **Humedad del suelo** a: 0-5, 5-10, 10-20 y >20 cm en "Patacamaya" mas 20-30 y 30-40 cm en "Culta"; sacando las muestras con barreno edafológico y determinado por el método gravimétrico.

- 2) **Densidad aparente:** determinado por el método de campo "del cilindro", en la capa arable, realizándose 17 repeticiones en "Patacamaya" y 14 en "Culta".
- 3) **Cobertura vegetal:** por el método de transecto al paso, tomando diagonales de las parcelas rectangulares.
- 4) **Estado superficial:** mediante un marco de 1 m² sobre el perfil cultural, ubicados perpendicularmente al sentido de avance del arado de discos, verificado con fotografías tomadas a la vertical, a 1.20 m del suelo. Una ligera inclinación del objetivo explica la deformación de las imágenes por perspectiva.
- 5) **Descripción de perfiles culturales:** Se realizó la apertura de calicatas en zonas claramente diferenciadas definidas por la cobertura vegetal observada, de ello se tuvieron tres perfiles en Patacamaya cuya localización se observa en el Anexo II y por observarse una parcela muy homogénea de vegetación nativa en Culta se realizó la apertura de una sola calicata cuya localización se observa en el Anexo III.

La observación e interpretación de los perfiles se realizaron de una manera muy general, en este trabajo no se llegó a un nivel más profundo de su estudio. Este examen puede realizarse con un nivel de precisión mayor, relacionado con el estado interno de los agregados y terrones.

Se deben observar las siguientes características:

- La profundidad del perfil cultural, que debe pasar ampliamente la de las labores culturales.

- La estructura de la superficie y los horizontes, modificados por el pisoteo de los animales y por la maquinaria agrícola.

- En particular la localización de las raíces en el perfil.

- El desarrollo de la fauna subterránea, que modifica progresivamente la porosidad, la estructura de los horizontes superficiales y profundos.

Estos elementos permiten en este caso, caracterizar el perfil cultural del suelo.

C. Determinaciones realizadas durante la roturación

1) Humedad del suelo a: 0-5 cm (superficial); 5 cm hasta el fondo de labor (10, 15, o 25 cm) que corresponde a la capa labrada; y por debajo del fondo de labor, sacando las muestras de la pared formada por los discos desde el fondo del surco a la superficie del suelo no arado.

2) Ancho, profundidad y velocidad de trabajo. El ancho se determinó midiendo entre los discos extremos del arado (1.10 m); la profundidad, en la pared formado por los discos desde la superficie hasta el fondo de labranza y la velocidad de trabajo controlando el tiempo que tarda en recorrer cada surco.

D. Determinaciones realizadas post-roturación

1) Humedad del suelo a: 0-5, 5-10 cm (superficial o terrones), 10-20, 20-30 cm (capa labrada) y por debajo del fondo de labor medida a partir de la tierra asentada. Se realizaron muestreos

con barreno, cada semana, cada 10 días y cada 15 días hasta la siembra, en trece fechas de muestreo desde la primera semana después de las roturaciones 26-06-90 y 02-07-90 (F1) hasta la siembra 29-10-90 y 26-10-90 (F13) para las texturas Franca y Franco arenosa respectivamente.

2) **Estado superficial:** grado de volteo como porcentaje de desterronamiento, determinado con ayuda de un marco de 1 m². Se procedió a una estimación visual del porcentaje de clases de terrones: tierra fina (<1 cm de diámetro), 1-5 cm, 5-20 cm y >20 cm de diámetro, comprobado con fotografías tomadas a la vertical, el trazo en éstas fotografías del contorno de las cuatro clases de terrones, permite luego medir con planímetro la proporción respectiva de cada clase (metodología propuesta por HERVE, 1991). Esta metodología está también sujeta a errores de naturaleza merística pero quizás es el método más adecuado de evaluar la superficie modificada por acción de las lluvias, que evaluada visualmente entraña el riesgo de subestimaciones o sobre-estimaciones.

Se han clasificado los tamaños de terrones en <1 cm de diámetro (tierra fina) por que la proporción de ésta clase nos da referencias sobre la susceptibilidad de las tierras a compactarse y encostrarse si se presenta una precipitación, a consecuencia del cual se reduce la infiltración y en el peor de los casos puede producirse escurrimiento superficial erosionando significativamente su superficie. Esta secuencia de fenómenos pueden suceder en terrenos con alto contenido de limo; en otro tipo de textura el comportamiento lógicamente será diferente.

Se optó por clasificar terrones de 1-5 cm de diámetro con el criterio de que son los más deseables para mantener la estructura sin mucho riesgo de dañarlo, y que con una proporción equitativa de tierra fina constituyen el medio más favorable para la germinación de las semillas.

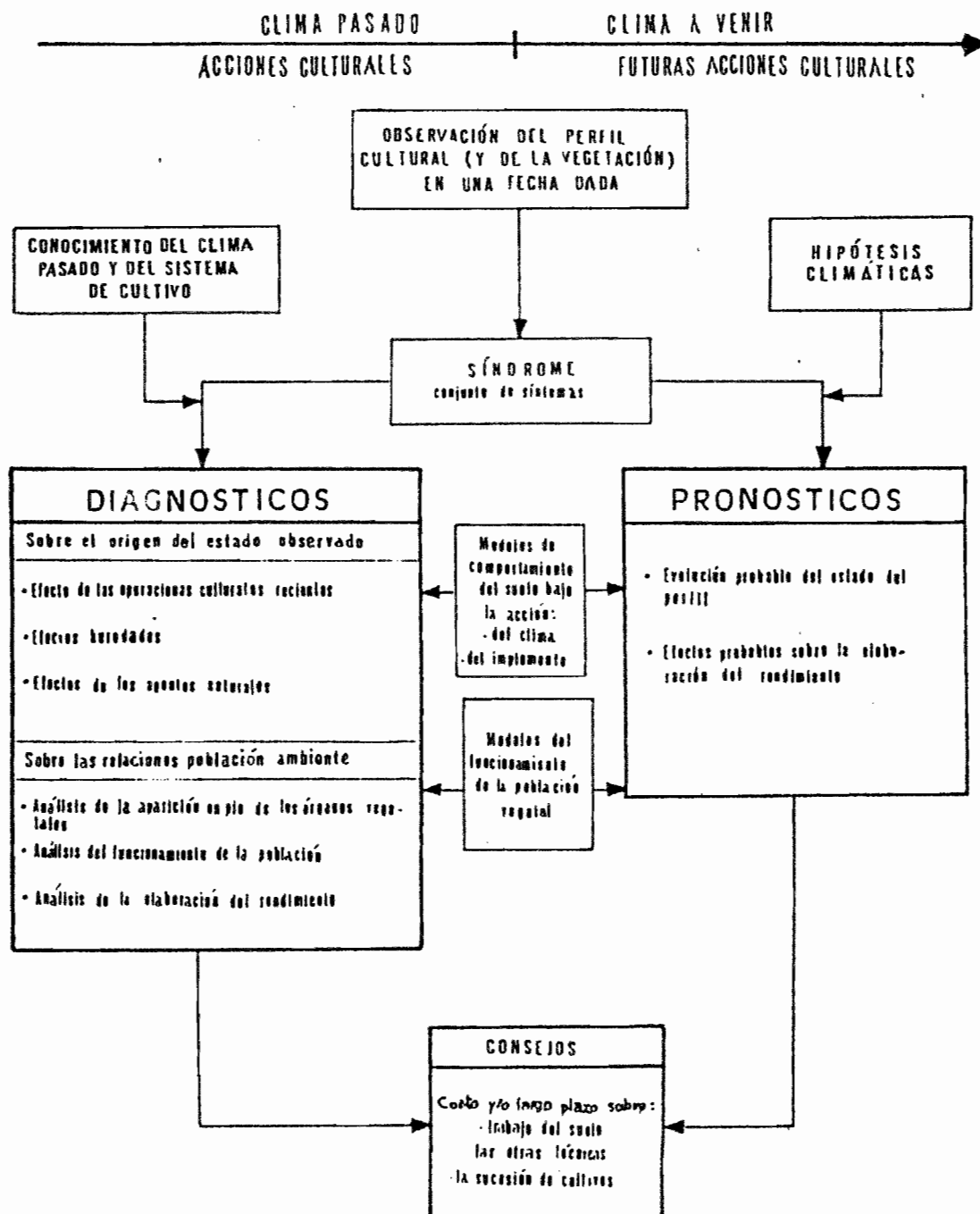
Terrones de diámetros mayores que 20 cm en proporciones importantes obligarán a efectuar labores complementarias con una consecuente inversión económica adicional de parte del agricultor.

Por diferencia, tenemos una categoría 5-20 cm que no brinda referencias en la caracterización del estado superficial con relación a las posibilidades de infiltración.

3) Descripción e interpretación de perfiles culturales

Entendido el perfil cultural como la sucesión de las capas de tierra individualizadas por la intervención de los implementos de cultivo, las raíces de los vegetales y los factores naturales que reaccionan a estas acciones; se tratará de identificar los efectos de las labores culturales anteriores y caracterizar el estado actual debido a la acción del arado de discos y preveer el comportamiento de las raíces de los vegetales basándonos en el esquema que se muestra en la Figura 6 (HENIN y otros, 1972).

Fig. 6. ESQUEMA DE OBSERVACION E INTERPRETACION DEL PERFIL CULTURAL



IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ESTADO INICIAL DEL SUELO (PRE-ROTURACION)

A. Humedad del suelo

Luego de una semana del riego, y un período de cinco días de lluvia, con una precipitación acumulada de 40.5 mm (cuyo mayor aporte fué por la nevada presentada el día 11-06-90) (Anexo I) se obtuvieron los valores de humedad que se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. HUMEDADES EN % ANTES DE LA ROTURACION POR TRATAMIENTOS, PROMEDIO DE TRES REPETICIONES

Profundidad de muestreo (cm)	TRATAMIENTOS			
	HR1	HR2	HR3	" Agric." (T0)
	PATACAMAYA: FA (14-06-90)*			
0 - 5	22.52	17.67	17.64	13.78
5 - 10	13.38	14.44	13.78	12.33
10 - 20	13.28	12.74	14.55	11.16
>20	11.12	11.70	12.60	11.97
	CULTA: F (16-06-90)*			
0 - 5	16.79	15.05	12.88	13.10
5 - 10	16.94	17.80	15.97	16.64
10 - 20	17.88	18.72	19.64	19.12
20 - 30	19.23	22.86	26.49	22.49
30 - 40	26.26	25.39	31.42	24.37

* fecha de muestreo

NOTA. CC = 15.73 % y PMP = 7.47 % para textura FA.

CC = 18.31 % y PMP = 12.62 % para textura F.

En el Cuadro 4 se observa una redistribución espacial de la humedad, siendo ésta mayor para la profundidad de muestreo

0-5 cm y menor en >20 cm, tal como lo demostró HENIN (1972); correspondiendo este comportamiento a la textura Franco arenosa (FA) debido a la presencia de agregados gruesos y estructura masiva en el que la infiltración es más rápida, alcanzando un régimen de evaporación también rápida con una pérdida de agua mas débil que en un suelo compacto.

Para la textura Franca (F) en cambio, el comportamiento es contrario, los valores mas altos de humedad son para las profundidades de muestreo 30-40 cm y los menores para 0-5 cm, debido a que por la naturaleza textural de estos suelos la retención de humedad es mayor por la microporosidad incidiendo de manera insignificante la radiación solar para evaporar el agua de estos suelos (Figuras 7 y 8).

Para la textura Franca (F) se alcanza la capacidad de campo (CC) en la profundidad 10-20 cm, estando cercana a ésta las humedades en 0-5 y 5-10 cm; puesto que el punto de adherencia esta cercano a la CC, no se puede trabajar este suelo por estar comprendida en la zona de mala labor posible con el riesgo de degradar el suelo bajo la acción de los aperos como lo describió HENIN (1972), debido a este hecho la primera roturación se efectuó el 19-06-90.

Para textura Franco arenosa (FA) también se observa que las humedades en la superficie 0-5 cm y 5-10 cm, estan por encima y cercanos a la capacidad de campo (CC) respectivamente; por ello el trabajo tampoco es posible por estar en la zona de labor moldeada con referencia a las curvas que describe HENIN (1972) de la Figura 2 (pag. 17).

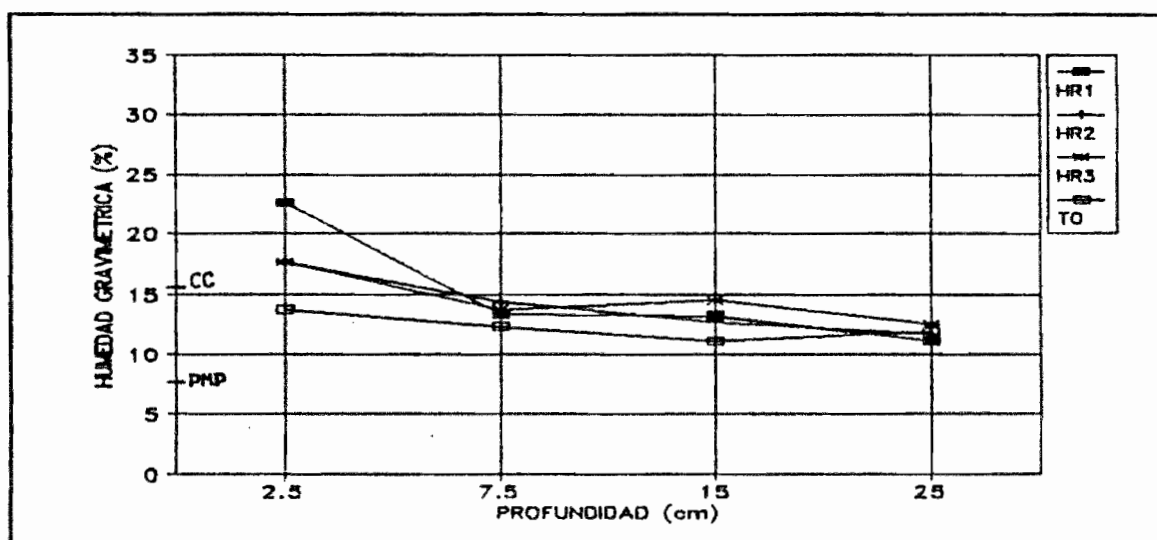


Fig. 7. PERFIL HIDRICO EN TEXTURA FRANCO ARENOSA (PATACAMAYA)

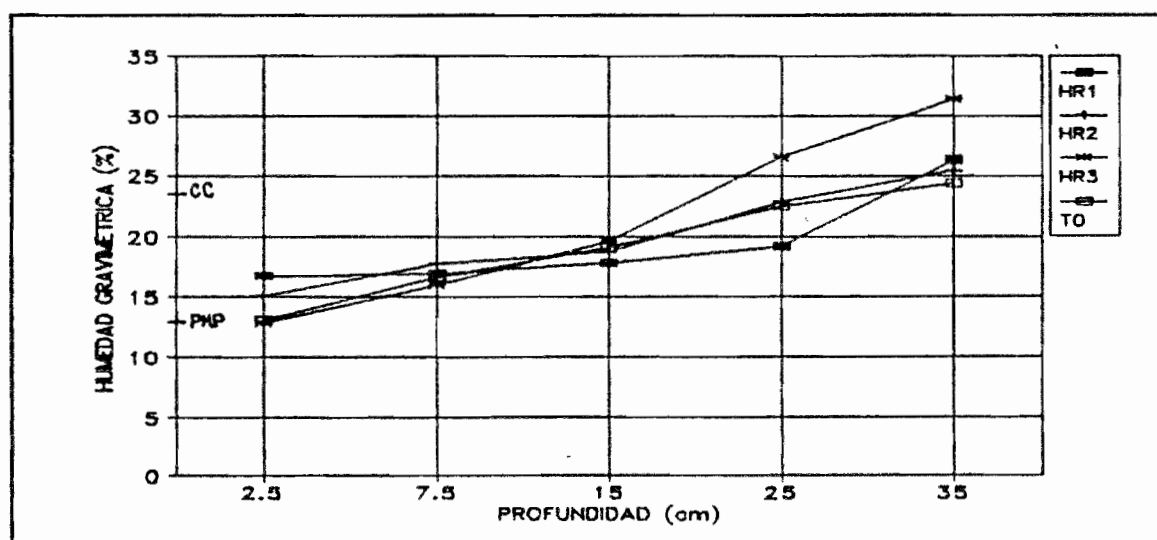


Fig. 8. PERFIL HIDRICO EN TEXTURA FRANCA (CULTA)

En ambas texturas, se tienen variaciones notables entre tratamientos a nivel de la humedad superficial (0-5 cm), debido a la heterogeneidad natural de los suelos. Puesto que se tuvo una precipitación acumulada considerable (40.5 mm), y por la

dinámica del agua almacenada, ésta humedad de la superficie no se uniformiza para estas fechas.

Los valores de humedad son altos para 0-5 cm en "Patacamaya", por que se tiene un ascenso del agua de las capas profundas hacia la superficie por efecto de la evaporación, en la noche el agua que no termina de evaporarse y que es retenida por las raíces de la vegetación natural es acumulada en la superficie, para posteriormente sufrir una solidificación por las bajas temperaturas nocturnas formando la escarcha a primeras horas de la mañana.

B. Densidad aparente

De acuerdo con los resultados que se muestran en el Cuadro 5; se constata que los valores se enmarcan dentro de los encontrados en literatura para la textura FA (1.50 y 1.40 g/cc para texturas FA y F respectivamente)¹, estos suelos corresponden en este estado a las características de una relación tierra-agua-aire normales para terrenos no labrados. No sucedió lo mismo para la textura Franca en la que los valores estuvieron por debajo de estas referencias, para esta textura esto se debió a una superficie muy compactada (dificultad que representa para su determinación en el terreno).

Del Cuadro 5 podemos indicar también que, en general los valores de densidad aparente más elevados corresponden a

¹ Tomado del SICS, Israelsen y Dirección de Agrología citado por LUQUE (1979).

aquellos cuya humedad es también alta en textura FA, pero con una correlación débil. Para la otra textura la tendencia parece ser inversa aunque no es tan clara por la dificultad mencionada.

Cuadro 5. DENSIDADES APARENTES EN g/cc Y HUMEDADES GRAVIMETRICAS EN %

OBS.	FRANCO ARENOSA		FRANCO	
	D.a.	H° grav.	D.a.	H° grav.
1	1.60	6.52	1.24	12.04
2	1.51	9.30	1.28	15.68
3	1.63	8.39	1.28	12.67
4	1.58	7.89	1.37	13.03
5	1.59	8.64	1.24	13.29
6	1.63	9.01	1.31	13.81
7	1.56	7.58	1.35	14.81
8	1.57	8.45	1.26	14.28
9	1.53	8.42	1.30	13.58
10	1.25	6.22	1.21	15.41
11	1.45	7.79	1.40	10.23
12	1.42	8.38	1.23	12.66
13	1.66	10.56	1.32	13.96
14	1.48	9.74	1.32	11.97
15	1.63	10.60		
16	1.42	8.12		
17	1.20	6.12		
PROM.	1.51		1.29	

De todo lo dicho anteriormente, se puede afirmar que la densidad aparente, relaciona el tamaño de los poros de los suelos y aún la geometría de éstos, con un volumen aparente de suelo, la cual tiene su influencia en el almacenaje de agua, así como en su dinámica. En textura gruesa (FA), la macroporosidad es mayor y no es ocupada por el agua, por que la fuerza que ejerce el suelo para retener la humedad es insuficiente. En la textura Franca (F) en cambio, la microporosidad es mayor, el agua ocupa casi totalmente los microporos, reteniendo con mayor

fuerza el agua, de acuerdo con los conceptos vertidos por BOIFFIN y MONNIER (1989).

C. Cobertura vegetal

Se identificó en la parcela de textura Franco arenosa tres zonas homogéneas de vegetación, y en la otra parcela una cobertura relativamente homogénea en toda la superficie. La evaluación de la cobertura vegetal por transección al paso, nos muestra dos tipos de vegetación diferentes para cada textura: se observa una zona más o menos uniforme de vegetación nativa alta con predominancia de th'ola e ichu en Patacamaya, contrariamente a lo que se advierte en Culta, en el que se presenta una cobertura baja con predominancia de especies nativas (al ras del suelo) no deseables (nD) para el ganado.

Como se observa en el Cuadro 6, el porcentaje de vegetación herbácea en textura Franco arenosa corresponde a poco menos de la mitad de toda la parcela contra un 20.80% en la otra textura. Para la materia orgánica presente como rastrojo y heces de ovino, la proporción en textura FA es más que el doble de la textura F. La diferencia mas contrastante se presenta para la categoria de suelo desnudo, que representa el 51.48 % de toda la parcela en Culta, contra solo 15.54% en Patacamaya. La pedregosidad en la superficie de las dos parcelas alcanzaron valores casi similares.

Se encontraron entonces, dos tipos característicos de estados superficiales y cobertura vegetal, deduciendose que la influencia de la textura es indudable en cada parcela.

Cuadro 6. EVALUACION DE LA COBERTURA VEGETAL INICIAL EN % POR TRANSECCION AL PASO

OBSERVACIONES		PATACAMAYA	CULTA
N. vulgar	N. científico	(FA)	(F)
V	Orkoch'iji	<i>Distichlis humilis</i> (nD)	1.98
E	Yauri yauri	<i>Erodium cicutarium</i> (nD)	10.89
G	Cebadilla	<i>Bromus unioloides</i> (nD)	0.99
E H	Chillihua	<i>Festuca dolichophylla</i>	13.64
T E	Kallcu		5.18
A R	Ichu	<i>Stipa ichu</i> + <i>Stipa</i> spp.	13.15
C B	Th'ola	<i>Parasthephyia lepidophylla</i>	3.19
I A	Ll'apha	<i>Bouteloua simplex</i> (nD)	2.79
O C	Pasto llorón	<i>Dactylis glomerata</i>	1.59
N E	No identif.		1.99
A	Layu	<i>Trifolium amabile</i>	2.39
Total		43.82	20.80
M	Rastrojo	15.14	5.45
A O	Heces de ovino	3.19	1.98
T.R			
G.	Total	18.33	7.43
SUELO DESNUDO		15.54	51.48
R	Cascajo mas arena gruesa	14.34	18.81
O	Piedras	7.97	1.48
C			
A	Total	22.31	20.29

Los efectos de estos estados observados pueden ser positivos en la parcela con cobertura mayor, ya que reduce el efecto del golpeteo de las gotas de lluvia en el suelo, reduciendo en consecuencia la erosión por escurrimiento superficial. En días soleados ofrece un sombreado del suelo, reduciendo con ello la evaporación, favoreciendo el almacenamiento de agua dentro del suelo, tal como lo explicaron ACEVES (1981) y BOIFFIN y MONNIER (1989).

Los efectos contrastantes sin embargo, han de tener mayor valor en aquella parcela con cobertura alta, en la que las raíces extraerán el agua almacenada, en la medida en que no se tengan aportes por lluvia.

El estado físico del suelo será mantenida en el tiempo de forma más favorable en aquella cuya cobertura vegetal es mayor, por un efecto de sus raíces.

D. Descripción de perfiles culturales

Definidas en la parcela de textura FA (Patacamaya) las tres zonas homogéneas de vegetación, se realizó la apertura de calicatas cuyas localizaciones se observan en el Anexo II. Se tuvo una zona con predominancia de gramínea nativa (perfil G), una zona con predominancia de th'ola (T) y finalmente un sector cuya vegetación era de paja e ichu cuyo perfil se denominó P.

Las fichas de los perfiles examinados se presentan en las hojas adjuntas. Estas fichas dan cuenta de la formación de capas dentro del Ap edafológico por efecto de las diferentes labores culturales anteriores (roturaciones, rastradas, cruzadas, etc), cambiando bajo éste punto de vista el concepto de perfil edafológico por el de perfil cultural.

Este campo de investigaciones ha sido desarrollado ampliamente en otras latitudes y muy poco conocido en nuestro medio, cobra interés ante la preocupación de conservar el estado físico del suelo relacionado directamente con la humedad del mismo. Como se dijo anteriormente, el nivel del examen de los

perfiles no es el de mayor precisión, en éste estudio el detalle de las observaciones es general y más cualitativo.

La diferenciación de horizontes en estos exámenes, corresponden a los siguientes conceptos:

[H0, superficie del suelo (costra, si es que hubiera); siendo caso contrario un factor descriptivo del estado superficial.

H1 a H4, horizonte que ha sido trabajado posteriormente a la roturación (trabajos superficiales: rastras, cruzadas, aporques, etc.).

Ap

H5, horizonte roturado que no ha sido tocado por el trabajo superficial.

H6 ó H7, bases de horizontes labrados anteriormente (antes de la labranza actual).

H8, debajo del fondo de labranza, horizonte trabajado por subsoladora.

P1 , P2 y P3, son los horizontes edafológicos que empiezan en el límite inferior de la capa arable.

1. Textura Franco arenosa

De la Ficha 1 y Figura 9, se aprecia en el perfil T (representativa para esta textura), la presencia de costra discontinua en la superficie denominada H0. Esta costra porosa poco coherente reduce pero no limita la infiltración del agua, con un trabajo leve puede facilmente romperse no siendo obstáculo para la germinación de las semillas.

FICHA 1

Patacanaya: 1/06/90

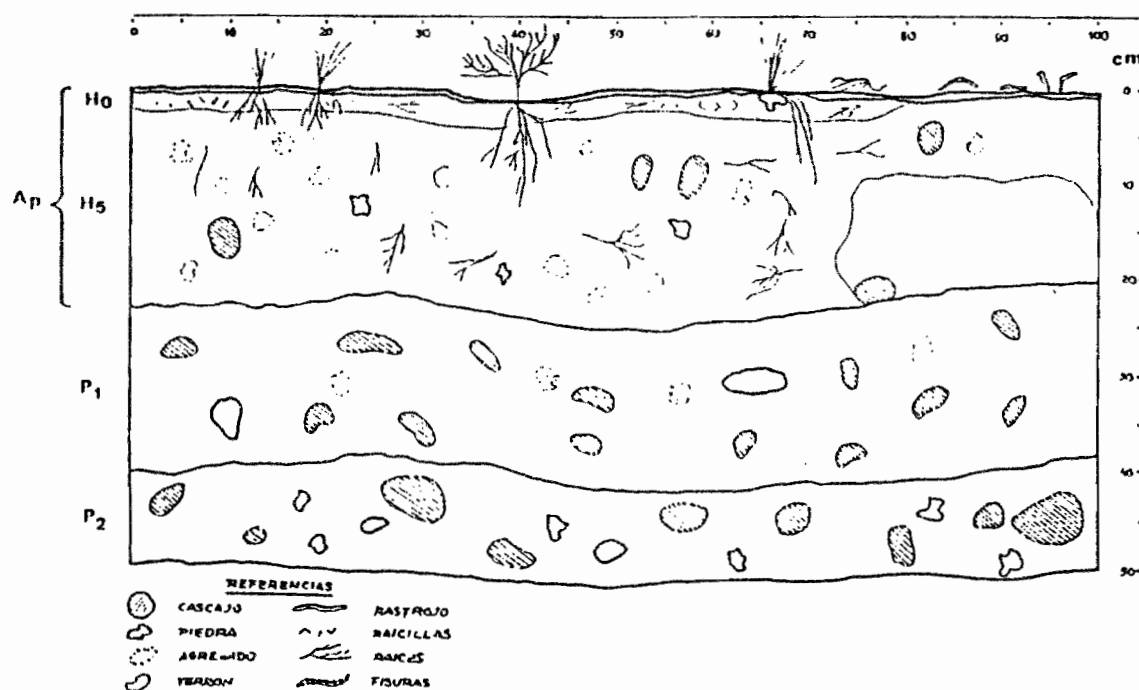
Perfil T

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	0 - 2.5	Franco arenosa (arena fina). Costra discontinua y estratificada. Con cascajo.	1	3	4	0	Presencia de residuos vegetales.
H5	2.5-22.5	Horizonte homogéneo, arenosa franca compacta; tierra fina mayor que agregados. Suelta, poca piedra.	3	3	4	3.26	Gradiente de humedad creciente con la profundidad. Agregados con algo de raíces.
P1	22.5-40.5	Arenosa, con pedregosidad y cascajo, tierra fina mas que agregados entre piedras de 2-5cm de diámetro. Suelta.	5	3	2	2.44	El cascajo compacto impide el desarrollo radicular, color de esta capa: ocre-rojo-oscuro (concreciones ferruginosas).
P2	>40.5	Nivel casi continuo de piedras y cascajo.					

Nota: Los valores de las escalas de humedad, porosidad y densidad de raíces se calificaron entre: 0 = ausencia y 5 = abundancia. Para cohesión: 0 = sin cohesión (suelto) y >6.51 kg/cm² = muy coherente (extrema dureza).

Los horizontes superficiales (H0) son homogéneos y no presentan discontinuidades, pueden causar en el momento del laboreo un desgaste más rapido de los discos del implemento, por la abundancia de cascajo y piedras. Se tiene una aereación bastante favorable debido a las raíces. Se destaca en H5 la presencia de un terrón de >20 cm de diámetro que quedó de la última labor que se verifica por ser muy coherente y por su localización en el perfil.

Fig. 9. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL REPRESENTATIVO (T) EN PATACAMAYA (1/06/90)
Ese: Aprox. 1 : 8



Un posterior laboreo, si es profundo trasladará este terrón a la superficie, y si es superficial cortará éste. En ambos casos el efecto será desfavorable, debido a que en la primera situación se requerirán trabajos complementarios para romper estos terrones coherentes pre-existentes (rastradas y cruzadas) y en el segundo caso se formarán horizontes compactados de difícil penetración para las raíces de las plantas.

Por debajo de la capa arable se tienen los horizontes pedológicos P1 y P2 de interés relativo para fines de nuestro estudio, salvo aquella capa arcillosa por debajo de 25 cm

importante en la dinámica del agua almacenada, por que limita la infiltración y aporta por capilaridad agua a las capas superficiales.

La evaluación del estado superficial en un marco de 1 m² sobre el perfil da los valores siguientes: 38% de stipa, 15% de th'ola, 2% de paja, 15% de rastros y arena, y costra más cascajo 30%. Esta evaluación nos indica la incidencia del clima del cual resulta éste estado superficial y su efecto en el perfil cultural examinado.

Siendo de éste modo la superficie protegida por vegetación de 55%; por lo que las posibilidades de captación de lluvia por el follaje es notoria; por otra parte es favorecida también la estructura como se indicó anteriormente.

Del análisis general de los perfiles culturales se concluye que, en Ap el rastrojo presente y las raíces abundantes provocan un efecto mecánico, tal como lo asegura ACEVES (1981), coadyuva en la formación de galerías en el suelo favoreciendo la porosidad que en función de la profundidad almacena gradualmente mayor humedad, al mismo tiempo que disminuye la cohesión.

En la zona donde se examinó el perfil G se tiene evidencias también de trabajos anteriores efectuados más o menos a 20 cm de profundidad por la presencia de agregados relativamente coherentes. Un efecto probable por una labor siguiente sería la formación de agregados del mismo diámetro en la superficie trasladados de ésta profundidad y formación de tierra fina si el trabajo del suelo se efectúa en condiciones secas. En el

crecimiento vegetal puede ser adecuado, para el desarrollo radicular por que tendrá la suficiente reserva de agua y aire (Ficha 1 y Figura 1 del Anexo IV).

Otra particularidad, resalta en la zona del perfil P examinado, es que la evaluación del estado superficial en 1 m² sobre el perfil nos indica las siguientes proporciones: 5% de paja, 20% de pasto llorón, stipa y trébol 5%, lo mismo que piedras, y 65% de costra mas arena gruesa y rastrojo. Por lo tanto, en esta zona un 30% de cobertura vegetal presente y un 65% de suelo desnudo constituyen factores, que si bién no inciden en la modificación de éste estado físico observado en el perfil cultural, en otras circunstancias climáticas pueden ser muy desfavorables a largo plazo en este tipo de textura, con la consiguiente dificultad de trabajos posteriores (Ficha 2 y Figura 2 del Anexo IV).

2. Textura Franca

En la parcela de textura Franca (F), se observó una vegetación homogénea por lo que se realizó la apertura de una sola calicata localizada aproximadamente en el centro de la parcela.

Del análisis de éste perfil se puede decir, que H0 (superficie) está constituido por una capa de costra sedimentaria fisurada de 1 a 5 mm de espesor, cuya red de fisuración es de 9 a 12 cm de malla. Esta costra cubre la mayor parte de la superficie en este sector de la parcela y está constituida por delgadas películas de arcilla. Se explica esto,

debido a que en ésta fecha y al estar este suelo descansado, ha estado expuesto a varios períodos de precipitaciones, produciéndose un apelmazamiento superficial de las partículas constituyentes; a lo que se agrega, las alternancias de hinchazón-retracción por el alto contenido de arcilla (Ficha 2 y Figura 10).

En H0 la porosidad es elevada debido a la presencia de lombrices cuyas deyecciones cubren el conjunto poroso (costra estratificada), las raíces son pocas y este horizonte esta casi seco (nota de humedad = 0).

Si analizamos detenidamente el horizonte H5, nos percataremos de la presencia de terrones de diámetros de 12 cm pre-existentes y formados por un trabajo anterior. Este trabajo ha sido muy moldeado por condiciones de humedad del suelo máximas en el momento de la roturación y profundidades de 20-25 cm.

En los horizontes P1 y P2 la humedad se mantiene debido a una distribución casi uniforme de las raíces y raicillas en el que la porosidad es bastante favorable por lo que la cohesión es también moderada.

El estado superficial evaluado en un marco de 1 m² sobre el perfil y en otros dos lugares arrojan que un 68% de la superficie está desprotegida contra un 18% de vegetación presente y 14% de terrones compactados en la superficie con el evidente riesgo de escurrimiento y un efecto del golpeteo de las gotas de lluvia como lo describió BOIFFIN y MONNIER (1989).

FICHA 2

Culta: 6/06/90

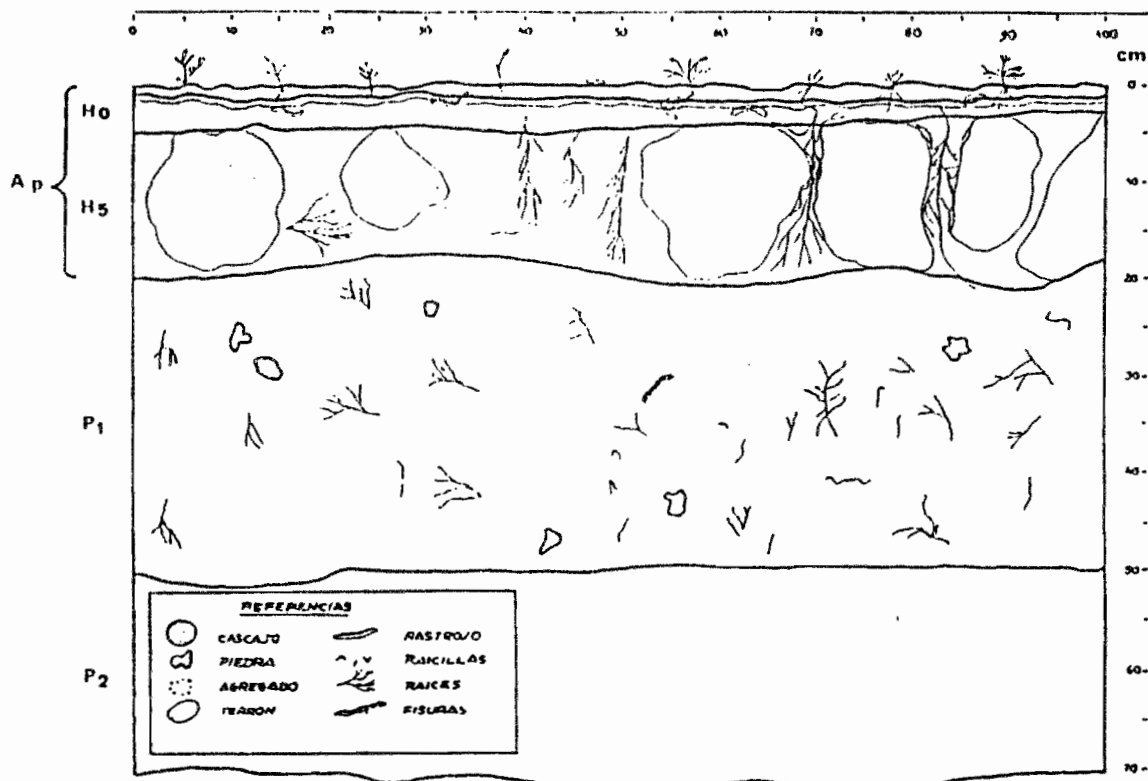
Perfil único

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	0-3.5	Franco arcillo limosa. Costra superficial, con un espesor de 3-4cm arena fina mas limo formando peliculas estratificadas traspasada por raices de 1-2cm de espesor.	0	4	2	2.58	Porosidad alta debido a la presencia de lombrices. Deyecciones cubriendo conjunto poroso
H5	3.5-20	Limo arcilloso, tierra fina mayor que agregados de 2-5cm de diámetro; terrones de 12cm de diámetro. BSA, débil, gruesos a muy gruesos.	1-2	1-4	4	4.4	Los terrones descansan sobre el fondo de labor, actividad microbiana abundante y su fisuración debido a raices. Raices no penetran terrones.
P1	20-50	Horizonte homogéneo, limo arcilloso; agregados angulosos con fisuras de > 2cm de diámetro. BSA, debil,gruesos	3	3	3	2.85	Distribución bastante uniforme de raices.
P2	>50	Horizonte homogéneo, arena fina compacta masiva.	2	3	1-2	2.03	

Nota: Los valores de las escalas de humedad, porosidad y densidad de raices se calificaron entre: 0 = ausencia y 5 = abundancia. Para cohesión: 0 = sin cohesión (suelto) y >6.51 kg/cm² = muy coherente (extrema dureza).

Como se prodrá advertir, está claramente demostrada que las raices solo colonizaron los espacios vacios ocupados por tierra fina entre los terrones, se evidencia estrangulamiento de las

Fig. 10. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL
REPRESENTATIVO EN CULTA (6/06/90)
Esc: Aprox. 1 : 8



raíces en las zonas donde la presencia de estos terrones es casi continua. La cobertura vegetal observada en ésta textura es pobre puesto que este estado físico del suelo no permite el desarrollo de una cobertura mas alta como en la otra textura, dificultando el desarrollo radicular por el obstáculo que constituyen estos terrones.

4.2. DETERMINACIONES REALIZADAS DURANTE LA ROTURACION

A. Obtención de los tratamientos experimentales

1. Humedad de roturación

El rango de días en los que el suelo puede ser labrado de acuerdo a la humedad que presenta es muy variable. En este trabajo se ha tratado de ver además de los objetivos principales, cuál es el rango de días en los que a opinión de ocho agricultores (grupo de agricultores que trabajan con el Proyecto de sistemas de Producción de la E.E.P.) el laboreo del suelo es posible en las texturas estudiadas, basados en tan solamente estimaciones visuales de la humedad superficial por los mismos agricultores que tienen la decisión exclusiva de roturar sus parcelas, sin intervenir para nada la opinión del tractorista, quién se limita a ejecutar el trabajo ordenado.

Es dentro de este marco que se ha planteado esta investigación, donde los tratamientos a priori no son conocidos, y pretendemos mas bién conocer éstas humedades límites en las que en realidad se trabaja en el terreno haciendolos parte de un diseño experimental.

Se trató de obtener los niveles extremos de humedad del suelo posibles para roturarlo, definiendo tres humedades distintas de roturación como condiciones de "humedad de roturación objetivos". Las humedades de roturación obtenidas se ven en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. COMPARACION DE HUMEDADES (EN %) DE ROTURACION
PROMEDIO POR EL TEST DE NEWMAN-KEULS AL 5%**

HUMEDAD DE ROTURACION		FRANCO ARENOSO				FRANCO			
OBJETIVO		HR1	HR2	HR3	T0	HR1	HR2	HR3	T0
HUMEDAD DE ROTURACION OBTENIDO	Superficial (0-5cm)	10.90a	8.56ab	6.22b	7.85	14.90a	10.76b	11.26b	11.47
	Capa labrada (5-25cm)	12.70	9.85	9.17	9.00	14.44	14.97	14.69	14.49
	Debajo del fondo de labor (>25cm)	10.57	9.70	9.13	7.47	15.18	18.47	16.77	17.46
PROMEDIO		11.35	9.06	7.84	7.77	14.82	14.28	14.25	14.47
		CC=15.73% y PMP = 7.47 %				CC = 18.31 % y PMP = 12.62			

El tratamiento estadístico de las condiciones de humedad de roturación evidencia diferencias significativas entre HR1, HR2 y HR3 para la textura Franco arenosa a nivel de la humedad superficial, logrando así obtener las humedades de roturación objetivos. Para la textura Franca se logró obtener solo dos humedades de roturación estadísticamente diferentes, siendo HR1 diferente a HR2 y HR3 a nivel de la humedad superficial.

Luego, la humedad máxima posible para roturar por observaciones de campo en textura Franco arenosa es de 10.90% que representa un 69.29% de su capacidad de campo, por encima de dicho valor no es posible roturar por las dificultades que trae como el patinaje principalmente, así como el gasto de energía, por requerir mayor fuerza el tractor para su desplazamiento, y las repercusiones a nivel del mismo suelo produciendo un daño total a la estructura. La humedad mínima posible para roturar fué de 6.22%, correspondiendo a un 16.73% por debajo de su punto

de marchitez permanente, pasado el cual la humedad del suelo no permite trabajo alguno, por que los discos del arado no penetran a mas de 8-10 cm (trabajo muy superficial) insuficiente para el desarrollo radicular, teniendo en consecuencia una excesiva formación de tierra fina.

En textura Franca los límites fueron: como máximo un 14.90% de humedad correspondiendo a un 81.38% de su capacidad de campo, pasado el cual se tienen problemas a más de los mencionados para la otra textura, de adherencia del suelo húmedo con los discos del implemento; y como mínimo un 11.26% de humedad superficial del suelo estando este valor un 10.78% por debajo de su punto de marchitez permanente, pasado este límite es también imposible el trabajo con discos del suelo.

De acuerdo con estos valores se confirma la aseveración de HENIN (1972), de que los límites de humedad en el que los suelos permiten su trabajo están cercanos a la capacidad de campo como máximo y por debajo del punto de marchitez permanente como mínimo para ambas texturas.

Los valores de T0 en textura Franco arenosa, se encuentra en un nivel intermedio entre ambos extremos siendo la humedad de 7.85%. Para la textura Franca se tuvo 11.47% de humedad correspondiendo al nivel HR3 obtenido.

En textura Franco arenosa se tuvo un rango de 10 días desde la primera a la última roturación, mientras que en la otra textura fue de una semana (ver Cuadro 3). Los valores de 10.76% y 11.26% para HR2 y HR3 de la humedad superficial no son

estadísticamente diferentes; contrariamente a lo que se esperaba, por un intervalo de 5 días entre éstas dos fechas de roturación y no habiéndose presentado precipitación alguna lógicamente HR3 debió ser menor, más aún si se tuvo solo dos días de intervalo entre HR1 y HR2 estadísticamente diferentes.

Estos resultados, por tanto revelan la dificultad de hacer investigaciones a este nivel, por la gran variabilidad del estado de la humedad superficial del suelo que hace que las decisiones de los agricultores para roturar sus parcelas en muchos casos no sean las más acertadas.

2. Profundidad de roturación

En el Cuadro 8, se presentan valores de profundidad de roturación obtenidos en función de la humedad de roturación considerada. Los valores según se verifican están dentro de los valores de profundidades de roturación objetivos.

Cuadro 8. PROMEDIOS DE PROFUNDIDAD DE ROTURACION EN cm, POR TRATAMIENTOS

PROFUNDIDAD DE ROTURACION OBJETIVO	FRANCO ARENOSO				FRANCO		
		Máxima (20-25)	Interm. (10-15)	Mínima (8-10)	Máxima (20-25)	Interm. (10-15)	Mínima (8-10)
PROFUNDIDAD DE ROTURACION OBTENIDO	Para HR1	22.26 PR1	15.17 PR2		20.36 PR1	16.29 PR2	
	Para HR2	21.30 PR1	13.86 PR2		21.66 PR1	14.70 PR2	
	Para HR3		14.91 PR1	9.02 PR2		15.14 PR1	9.15 PR2
	Para T0		16.87			16.75	

Las variaciones de estos valores, entre tratamientos e intratratamientos se debieron a la deficiente regulación de los discos del arado, verificada por la irregularidad del fondo de labor observada en las calicatas. Los márgenes de confianza de los valores obtenidos para aceptarlos como valederos están entre 7 y 19% de coeficiente de variación.

Para el tratamiento T0 "agricultor" en ambas texturas, se obtuvieron valores de profundidad de roturación intermedias estando éstos entre 10-15 cm de profundidad de roturación.

B. Características medidas relacionadas con el tractor

La evaluación de las características de la labor relacionadas con el tractor (Cuadro 9) evidencian que, en general, las velocidades de trabajo del tractor son mayores en suelos de textura Franca en comparación con la textura Franco arenosa, consecuentemente el tiempo para roturar una misma superficie en esta última es también mayor.

En ambas texturas las velocidades de trabajo mayores se logran cuando se roturan a menores profundidades, y contrariamente, a mayores profundidades de roturación las velocidades son menores; salvo en la humedad mínima posible de roturación (HR3) en la que se ven valores casi similares de velocidad para profundidades de roturación de 10-15 y 8-10 cm. Se constata obviamente que el tiempo efectivo de roturación para cada tratamiento es mayor si se realizan labores más profundas.

Estos resultados demuestran que las características físicas de estos suelos, determinan en gran medida la velocidad de avance del tractor en relación directa con la profundidad de trabajo, independientemente de la humedad de roturación. En este caso, tal como recomiendan BERLIJN y otros (1985) para una buena labor, los suelos Franco arenosos se aran a una velocidad relativamente baja y los suelos Francos a una velocidad relativamente alta.

Cuadro 9. EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DE TRABAJO DEL TRACTOR

TRATAMIENTO Y SUBTRATAM.			VELOCIDAD Km/h	PROF. DE TRABAJO cm	TIEMPO* seg
F R A N C O S A	Agricultor (T0)		2.23	16.87	2580
	HR1	PR1	2.69	22.26	2010
		PR2	4.22	15.76	1280
	HR2	PR1	2.75	21.30	2156
		PR2	3.51	13.86	1572
	HR3	PR1	3.64	14.90	1620
		PR2	3.90	9.02	1390
	Agricultor (T0)		4.33	16.75	2246
F R A N C A	HR1	PR1	4.14	20.36	1160
		PR2	4.30	16.29	1008
	HR2	PR1	3.36	21.66	1104
		PR2	4.32	14.70	856
	HR3	PR1	4.57	15.14	960
		PR2	4.56	9.15	960
	Agricultor (T0)		4.33	16.75	2246
	Agricultor (T0)		4.33	16.75	2246

* Tiempo efectivo que corresponde a cada unidad experimental sin considerar los tiempos muertos (por vueltas).

De lo que, siendo la roturación en esta zona con empresarios tractoristas PIL o particulares, que optan el sistema de pago por superficie, es importante destacar el perjuicio que acarrea a los agricultores considerando que el tractorista siempre realiza su trabajo en el tiempo más breve posible, con el fin de reducir el gasto de combustible, lo cual es causa de labores superficiales (mala calidad de trabajo del suelo desde el punto de vista del estado físico y la conservación del agua en el suelo).

4.3. DETERMINACIONES REALIZADAS POST-ROTURACION

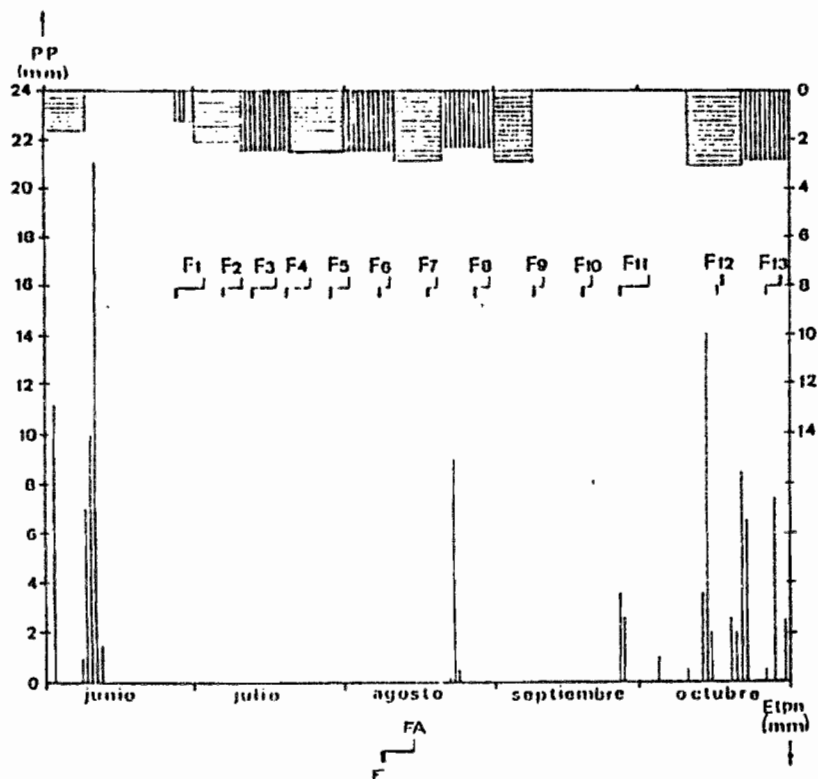
A. Condiciones climáticas (precipitación y evapotranspiración)

Durante el período de estudio se observaron dos fases claramente diferenciadas de las condiciones climáticas que reguló la evolución del estado físico del suelo y la dinámica del agua dentro de la misma (Figura 11).

Se observa una primera fase de desecamiento que abarca hasta la fecha 10 de observación. A partir de la fecha 11 se pasa a un período de rehúmedación importante hasta la siembra. Una precipitación de 9.55 mm en agosto no constituyó un aporte significativo para el almacenamiento en todo el perfil, siendo su efecto mayor en una textura con relación a la otra, como veremos mas adelante.

Fig. 11. PRECIPITACIONES, EVAPOTRANSPIRACION DIARIAS EN mm Y FECHAS DE OBSERVACION (JUNIO-OCTUBRE DE 1990)

	FA	F
F1	2/07	26/06
F2	10/07	6/07
F3	17/07	12/07
F4	24/07	19/07
F5	1/08	28/07
F6	9/07	7/08
F7	19/08	17/08
F8	30/08	27/08
F9	10/09	8/09
F10	20/09	18/09
F11	2/10	26/09
F12	16/10	17/10
F13	26/10	29/10



B. Humedad en el suelo

1. Humedad en la etapa de desecamiento

a. Humedad en la F1 después de la roturación

Los valores de humedad a la primera semana después de la roturación (2/07 y 26/06-90 para texturas Franco arenosa y Franca respectivamente) sirven para observar el efecto de las condiciones de roturación sobre el estado hídrico del suelo.

Como se podrá apreciar en el Cuadro 10, tanto para la textura Franco arenosa como para el Franco, de acuerdo a los tratamientos estadísticos no se hallaron diferencias entre los tratamientos (HR1=HR2=HR3), tampoco para los subtratamientos (PR1=PR2). El seguimiento al agricultor (T0) resultó también no significativo.

Cuadro 10. COMPARACION DE HUMEDADES (EN %) POST-ROTURACION EN F1 POR TRATAMIENTOS

PROFUNDIDAD DE MUESTREO	H R 1		H R 2		H R 3		T 0
	PR1	PR2	PR1	PR2	PR1	PR2	
TEXTURA FRANCO ARENOSA							
Superficial (0-5cm)	1.44	2.7	2.15	2.28	2.5	3.24	1.63
Capa labrada (5-10cm)	8.31	7.95	7.74	7.85	8.14	7.95	6.31
(10-25cm)	8.06	8.64	7.83	7.90	8.44	8.36	6.61
Debajo del fondo de labor (>25cm)	9.78	7.70	7.53	6.38	7.70	7.54	5.70
PROMEDIO	6.90	6.75	6.31	6.10	6.70	6.77	5.06
TEXTURA FRANCA							
Superficial (0-5cm)							
Capa labrada (5-10cm)	8.42	7.08	11.31	9.49	9.29	8.51	7.87
(10-20cm)	15.50	14.85	14.25	14.72	11.94	12.30	14.34
Debajo del fondo de (20-30cm) labor	16.38	18.67	17.57	15.46	16.79	15.60	18.49
PROMEDIO	13.43	13.54	14.38	13.22	12.68	12.14	13.57

Las profundidades de roturación no tienen un efecto positivo en el almacenamiento de agua; se presenta por el contrario una evaporación marcada que uniformiza el nivel de

humedad en el suelo afectando incluso hasta la capa no tocada por los discos, con la consecuente pérdida de humedad por romper la capilaridad; resultando mayor esta pérdida en textura Franco arenosa.

Comparando la humedad antes y después de la roturación se advierte que evidentemente hubo un desecamiento marcado de la humedad en todas las profundidades de muestreo consideradas.

El arado de discos, al realizar la rotura y el volteo de la tierra rompe la capilaridad, produciendo un desecamiento inmediato del suelo, como lo aseveró GARCIA (1961). Las pérdidas de humedad por evaporación son aproximadamente las mismas en PR1 y PR2 para cada tratamiento y entre tratamientos, lo que demuestra que la humedad se uniformizó con la labranza en ambas profundidades de roturación y no solamente en las labores más profundas como indica FAO (1988).

b. Humedad en F11 después de la roturación.

En esta fecha de muestreo (2/10 y 18/09-90 para texturas Franco arenosa y Franca respectivamente), 3 meses después de F1 antes de una precipitación acumulada de 27 mm, para ambas texturas se evidencia un desecamiento total de la superficie (Cuadro 11). Para la textura Franco arenosa los valores de la humedad en la capa labrada y por debajo de ella para los tres tratamientos y el del agricultor, representan mas o menos la mitad de las humedades obtenidas en F1; dadas las condiciones climáticas presentadas en el estudio se tiene aproximadamente

una pérdida de humedad por evaporación de 1 a 1.5 % por mes. Para la textura Franca la humedad se mantiene casi sin variar, siendo en algunos casos mas altos que en F1, debido a la infiltración del agua de 0-5 cm hacia la capa labrada y por debajo de ella, y por la mayor retención de agua que en la otra textura.

Cuadro 11. COMPARACION DE HUMEDADES (EN %) POST-ROTURACION EN F11 POR TRATAMIENTOS

PROFUNDIDAD DE MUESTREO	H R 1		H R 2		H R 3		T O
	PR1	PR2	PR1	PR2	PR1	PR2	
TEXTURA FRANCO ARENOSA							
Superficial (0-5cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capa labrada (5-10cm)	3.31	3.86	3.87	3.51	3.39	3.19	3.05
(10-25cm)	5.51	3.13	4.45	4.54	4.29	3.30	3.11
Debajo del fondo de labor (>25cm)	6.75	3.38	4.35	3.94	4.52	3.42	3.02
PROMEDIO	3.89	2.59	3.17	3.00	3.05	2.48	2.29
TEXTURA FRANCA							
Superficial (0-5cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capa labrada (5-10cm)	12.07	11.67	15.40	12.90	11.06	14.80	13.67
(10-20cm)	14.67	13.61	16.63	16.99	15.35	14.42	13.57
Debajo del fondo de labor (20-30cm)	15.11	17.65	16.12	16.00	17.65	18.05	16.94
(30-40cm)	17.51	18.25	16.22	17.74	17.39	20.44	17.41
PROMEDIO	11.87	12.24	12.87	10.73	12.29	13.54	12.32

Estadísticamente se puede verificar que las profundidades máximas de roturación obtienen valores más altos de humedad en textura Franco arenosa dentro de cada tratamiento, el TO (agricultor) obtuvo la menor humedad en esta fecha. De lo que

se comprueba, una ventaja relativa de las capas labradas a mayor profundidad con relación a aquellas que se roturan superficialmente (8-10 cm en estas zonas) en el almacenamiento de humedad en el suelo. En textura Franca en cambio, se verifican diferencias en profundidades de roturación dentro de cada tratamiento, siendo mayor la humedad en las labores superficiales para HR1 y HR3 contrariamente a lo que se tuvo para HR2.

2. Humedad en la etapa de rehumectación

La humedad en fecha 12 (16/10 y 17/10-90 para texturas Franco arenosa y Franca respectivamente) posterior a una precipitación acumulada de 27 mm nos define el aporte de ésta lluvia en el almacenamiento de agua en el suelo.

Luego de ésta precipitación, las humedades fueron las que se muestran en el Cuadro 12. En él ciertamente se denotan dos perfiles de humedad distintos según la textura.

En textura Franco arenosa no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos, tampoco a nivel de profundidades de roturación. En ésta textura esta precipitación uniformizó completamente el perfil hídrico del suelo. La profundidad de trabajo en esta fecha no fue determinante para el mayor almacenamiento de agua. El control T0 seguido al agricultor, obtuvo valores de humedad por debajo de los observados para los tratamientos, siendo el promedio de 6.25 % de humedad.

Cuadro 12. COMPARACION DE HUMEDADES (EN %) LUEGO DE REHUMECTACION EN F12 POR TRATAMIENTOS

PROFUNDIDAD DE MUESTREO	H R 1		H R 2		H R 3		T O
	PR1	PR2	PR1	PR2	PR1	PR2	
TEXTURA FRANCO ARENOSA							
Superficial (0-5cm)	7.02	8.39	7.16	8.29	8.66	9.01	7.67
Capa labrada (5-10cm)	8.07	9.13	8.69	9.50	9.50	8.78	8.20
(10-25cm)	5.65	6.27	7.06	5.46	6.57	6.17	6.15
Debajo del fondo de labor (>25cm)	7.30	5.57	6.64	6.46	6.39	6.16	4.00
PROMEDIO	7.01	7.34	7.39	7.43	7.78	7.60	6.25
TEXTURA FRANCA							
Superficial (0-5cm)	7.27	8.66	10.26	9.40	8.26	8.70	7.96
Capa labrada (5-10cm)	11.58	11.03	12.72	11.66	13.84	15.35	12.10
(10-20cm)	12.61	12.47	14.34	12.94	16.09	16.69	14.05
Debajo del fondo de labor (20-30cm)	15.81	15.48	17.73	15.89	20.13	20.22	16.30
(30-40cm)	17.01	16.47	18.01	18.45	21.28	19.53	18.35
PROMEDIO	12.86	12.82	14.61	13.67	15.92	16.10	13.79

Para ésta textura se asegura con esta precipitación acumulada (27 mm) una rehumeración en todo el perfil del suelo recuperando así la humedad evaporada cerca a la siembra (F12) si comparamos con las humedades en F1.

Para la textura Franca los análisis resultantes señalan diferencias estadísticas entre HR1, HR2 y HR3; se observa además que HR1 tiene un nivel de humedad promedio de las dos profundidades consideradas de 12.84% que es menor a HR2 y mucho menor que HR3, que fué el que alcanzó el mayor valor con 16% de

humedad gravimétrica. Tal como en la otra textura, las profundidades de roturación no fueron determinantes para el almacenamiento de la mayor humedad posible dentro de cada tratamiento. El control T0 cuyo valor fué de 13.79% correspondió al nivel HR1 obtenido.

De todo esto, para la textura Franca la mayor infiltración se produjo en aquella unidad experimental roturada a 8-10 y 10-15 cm de profundidad en la humedad mínima posible para roturación (HR3), y al contrario, en HR1 la infiltración fué reducida.

En ésta textura la precipitación acumulada de 27 mm humedece solo la profundidad de muestreo 0-5 cm, para la capa labrada y por debajo de ella no significa aporte alguno por la tierra ya totalmente asentada a lo que se suma la formación de costra en la superficie que limita la infiltración. Se explica esto por la capa labrada del suelo formada por la labor; es decir, la labor moldeada en el caso HR1 (PR1 y PR2) crea terrones muy grandes que hasta esta fecha (F12) se secan totalmente y la precipitación que se presenta no humedece estos terrones constituyendo limitantes en el movimiento libre del agua, siendo los espacios porosos entre los terrones que han sido ocupados por la tierra fina la única vía de movilidad del agua.

Por otro lado en el caso de HR3-PR2 se produce mayor desmenuzamiento por la roturación en condiciones secas con posibilidades de un movimiento más libre del agua.

Si comparamos con F11 advertimos humedades menores en esta fecha (F12) en la capa labrada y por debajo de ella en algunos casos, en tanto que la superficie se humedece nuevamente, debido a que con las ultimas lluvias del 13, 14 y 15 de octubre para esta fecha de muestreo (F12), la humedad superficial no tuvo tiempo de redistribuirse en todo el perfil por la baja velocidad de infiltración y permeabilidad en esta clase textural.

C. Dinámica del agua almacenada hasta la siembra

Para seguir la dinámica del agua en el suelo, se hizo la evaluación en 13 fechas distintas (desde la roturación hasta el momento de la siembra).

Para simplificar la información de las humedades en estas 13 fechas, en relación con la dinámica del agua en el suelo se sacaron promedios de las tres repeticiones. De esta manera se visualiza mejor las evoluciones del agua almacenada en el suelo.

1. Textura Franco arenosa

En la Figura 12a que es representativa de la evolución de la humedad en la textura Franco arenosa (HR1-PR1) (Figuras 1a, 2a y 3 del Anexo V), se observa un desecamiento de la superficie (0-5 cm ó terrones) hasta la F7 de observación; resalta también un incremento de humedad de la F1 a la F2 por el aporte de la capa labrada y debajo de ella y desciende hasta la F3 por evaporación. El agua se mueve de las capas labradas hacia la superficie en la F4, la humedad se incrementa levemente en la superficie y en la capa labrada por aporte del suelo no labrado

que se ve disminuido casi proporcionalmente. Esta dinámica se observa hasta la F7 con subidas y bajadas leves de manera alternada pero siempre con aporte de humedad de capas no tocadas por los discos (>20-25 cm).

Entre F7 y F8 se presentó una precipitación de 9.55 mm. Se incrementa desde F8 el contenido de humedad en la capa labrada y por debajo de ella hasta F10. La superficie se secó al día siguiente infiltrándose el agua rápidamente. Durante esta época de desecamiento, la humedad en el perfil es máxima en F9 y baja hasta F11 por efecto de la evaporación.

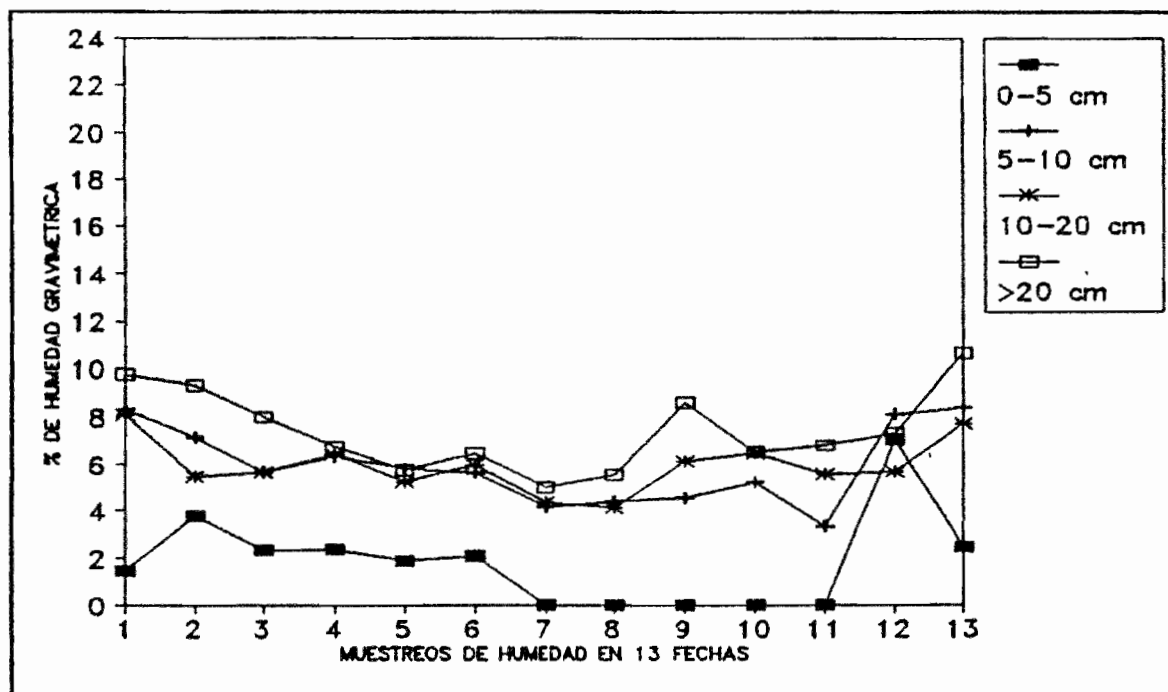


Fig. 12a. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA EN TEXTURA FRANCO ARENOSA PARA PROFUNDIDAD DE ROTURACION 20-25 cm

La rehumerectación en F11, F12 y F13 (pp=41 mm) humedeció todo el perfil lograndose en F12 mayor humedad en la superficie

y mayor acumulación en 5-10 cm que en 10-25 y >25 cm, en F13 ya existe una acumulación de agua en estas dos últimas profundidades y se tiene una infiltración importante a costa de un desecamiento de las capas superficiales.

En la mayoría de los casos es en 5-10 cm donde el agua se acumula en mayor cantidad en el momento de la siembra.

La Figura 12b también representativa de la dinámica del agua para la profundidad de roturación 10-15 cm (Figuras 1b y 2b del Anexo V), se observa una dinámica parecida a HR1-PR1 destacándose en la capa labrada y por debajo de ella humedades que alcanzan valores muy similares, de ahí un casi paralelismo de las curvas y una aglomeración en torno a una tendencia de desecamiento hasta la F7, a partir del cual se tiene un incremento de la humedad de la capa labrada y por debajo de ella por la precipitación de 9.55 mm en agosto.

Se tiene posteriormente un flujo de agua de la capa labrada a por debajo de ella desecándose luego hasta la F11. De ahí hasta la siembra (F13) se tiene una rehumectación por la precipitación de 41 mm en todo el perfil del suelo, infiltrándose gradualmente hacia las capas profundas a costa también de un desecamiento de las capas superficiales (0-5 cm). La capa 5-10 cm logra almacenar la mayor cantidad de agua a la siembra.

En resumen, para esta textura en general, existe un desecamiento gradual de la humedad superficial (0-5 cm o terrones), desde la roturación hasta la F7 de observación,

habiendo secado el T0 en 4 semanas, para la humedad de roturación media y mínima (HR2 y HR3) en alrededor de 5 semanas, y una semana después para la máxima (HR1).

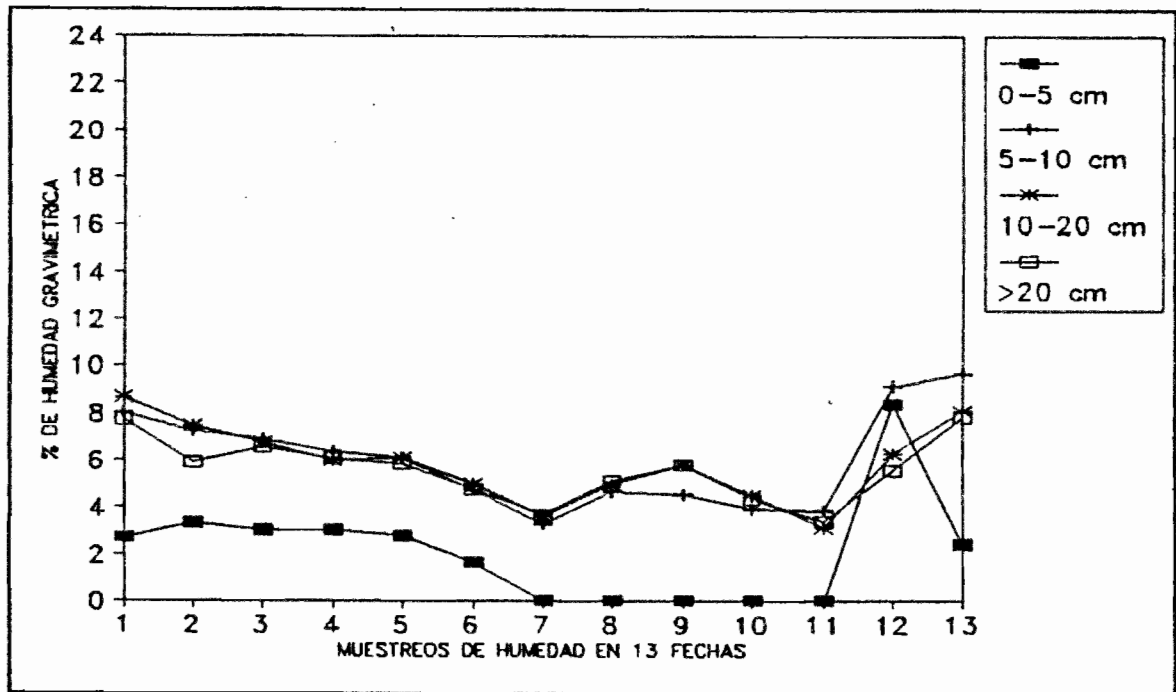


Fig. 12b. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA EN TEXTURA FRANCO ARENOSA PARA PROFUNDIDAD DE ROTURACION 10-15 cm

En éste período se tuvo una predominancia de días soleados que ocasionó evaporaciones importantes, de no mediar la presencia de heladas con formación de escarcha en la superficie en las primeras horas de la mañana se hubiesen tenido evaporaciones mayores. Advirtiéndose si nos fijamos F1 y F13 aproximadamente valores similares de humedad gravimétrica, por lo que podríamos decir, que las lluvias producidas en éste período de rehúmedación, recuperaron el estado de humedad del suelo mostrado a la primera semana de observación (F1). También

se observa la misma dinámica para la humedad en la capa labrada y por debajo de ella.

Para los suelos de Patacamaya encontramos un estrato impermeable arcilloso a 20-25 cm de profundidad, cuya evolución si bien es similar a las de la capa labrada y superficial, es mucho más irregular; sirviendo ésta como una reserva funcional de humedad aportando a la capa labrada por capilaridad y limitando las pérdidas por infiltración en otros casos.

2. Textura Franca

La Figura 13a representativa de la dinámica del agua en suelo Franco (HR1-PR1) (Figuras 4a, 5a y 6 del Anexo V) permite observar un ascenso ostensible de humedad de la F1 a la F2 a nivel de la profundidad de muestreo 5-10 cm, siendo menor en las profundidades 10-20, 20-30 y >30 cm a costa de la humedad superficial (0-5 cm) abarcando incluso hasta la F4.

En la F5 el agua almacenada en 10-20 cm se infiltra parcialmente a 20-30 cm, y a la F6 éste aporte corresponde a la profundidad 30-40 cm para posteriormente sufrir un desecamiento en todas las capas hasta la F7.

La lluvia de 9.55 mm humedece todo el perfil, de la superficie pasa por la capa labrada hasta por debajo de ella como muestra la Figura 13a para la F8; en la F9 vuelve a descender la humedad de la profundidad 20-30 y 30-40 cm, al mismo tiempo que la superficie nuevamente se seca.

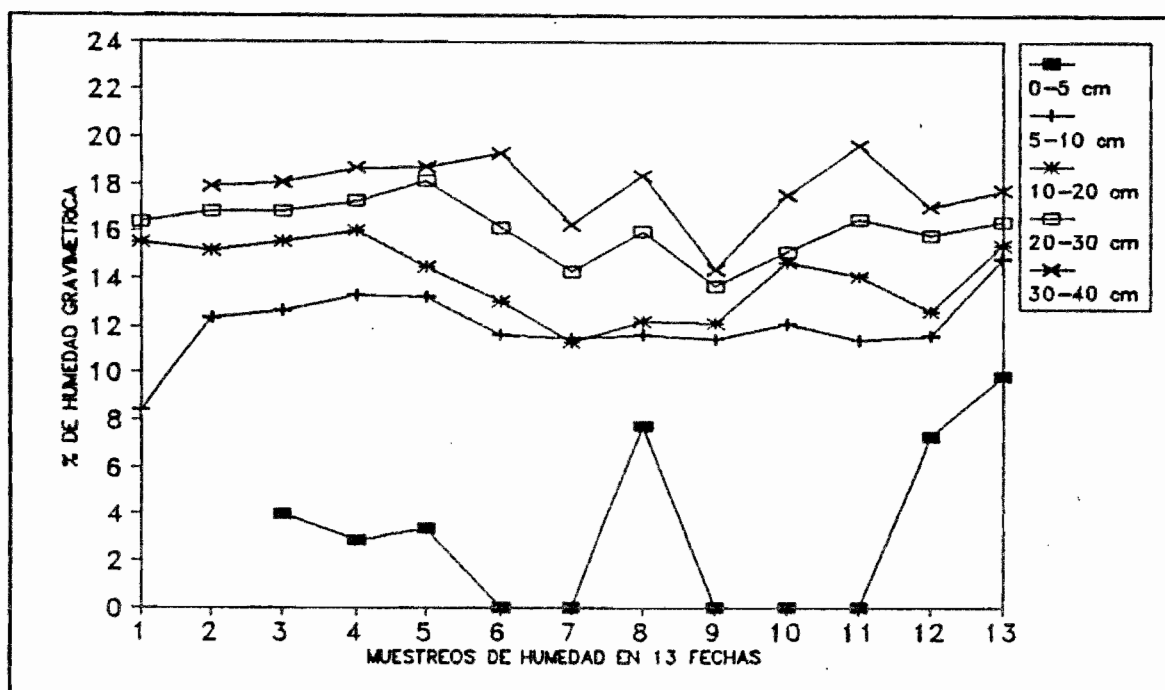


Fig. 13a. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA EN TEXTURA FRANCA PARA PROFUNDIDAD DE ROTURACION 20-25 cm

En la F10 se tiene un incremento de la humedad en la capa labrada y por debajo de ella; probablemente debido a subidas capilares de capas mas profundas. En F11 el aumento de humedad por debajo de la capa labrada es obtenida al precio de una reducción de la humedad en la capa labrada. La rehumerectación más importante en F11, F12 y F13 (siembra) afecta en primer lugar a la superficie y luego de F12, en menor grado, a todo el perfil hasta 40 cm.

La Figura 13b representativa para la profundidad 10-15 cm (PR2) (Figuras 4b y 5b del Anexo V) para ésta misma textura, se observa una dinámica muy similar a la HR1-PR1 con incremento y disminución de la humedad en la capa labrada y por debajo de

ella, denotándose también una estabilidad a nivel de humedad en la capa labrada. La rehumerectación más importante afecta solo a la superficie no siendo significativo para la capa labrada ni por debajo de ella.

En síntesis, para suelos Francos el desecamiento también se produjo a las 5 semanas en HR1, HR2, HR3 y T0. La humedad en la capa labrada y por debajo de ella tiende alcanzar un nivel estable; manteniendo sin embargo, cierto gradiente de humedad a medida que se avanza en profundidad.

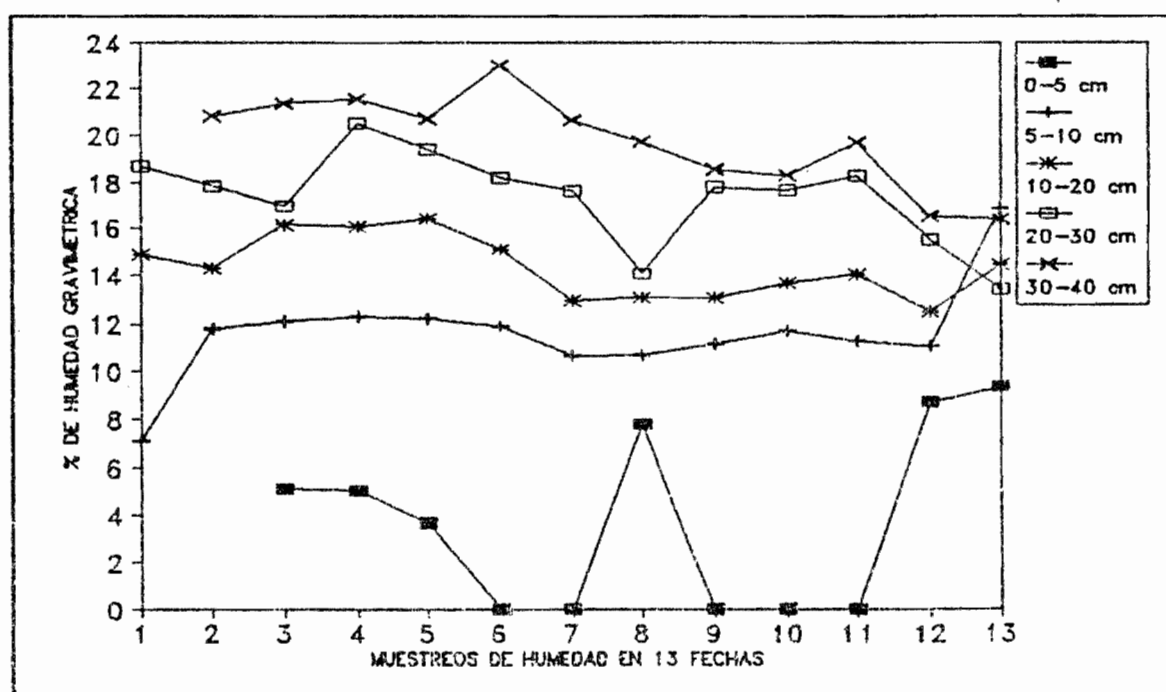


Fig. 13b. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA EN TEXTURA FRANCA PARA PROFUNDIDAD DE ROTURACION 10-15 cm

La humectación de 9.55 mm y 27 mm respectivamente, solo es un aporte en la superficie y no modifica significativamente la

humedad en la capa labrada ni por debajo de ella, contrariamente a lo que se había visto para la otra textura.

En ambas texturas, las evoluciones descritas son similares para las profundidades de roturación máximas y mínimas.

D. Estado superficial del suelo

Se realizó esta evaluación inmediatamente después de las roturaciones. En el Cuadro 13 se compara la metodología utilizada normalmente para esta medida mediante la estimación visual; y la propuesta en este trabajo mediante planimetrage de las fotografías tomadas en las mismas plaquetas (1 m²).

Cuadro 13. COMPARACION DEL ESTADO SUPERFICIAL OBSERVADO Y PLANIMETRADO, EN PORCENTAJE Y POR CADA CLASE DE TERRON (PROMEDIO DE TRES REPETICIONES)

TRATAMIENTO: Y SUBTRATAM.			ESTIMACION VISUAL				CON PLANIMETRO			
			<1	1-5	5-20	>20	<1	1-5	5-20	>20
HR1	PR1	FA	20	23	32	25	29	21	23	27
		F	23	25	52	0	35	23	42	0
	PR2	FA	27	23	35	15	37	33	20	10
		F	15	19	66	0	39	30	30	1
HR2	PR1	FA	18	15	45	22	29	37	29	5
		F	5	20	61	13	25	35	38	2
	PR2	FA	14	23	45	18	38	28	16	16
		F	17	33	50	0	37	31	29	3
HR3	PR1	FA	16	20	39	25	50	30	17	3
		F	10	25	62	3	38	34	26	2
	PR2	FA	25	28	35	12	48	34	17	1
		F	10	27	55	8	50	33	12	0
TO		FA	26	18	29	27	27	28	15	30
		F	10	37	47	7	30	40	28	2

FA = Textura Franco arenosa
F = Textura Franca

En general, para ambas texturas se tienen valores estimados visualmente más bajos que los que se obtuvieron con planímetro para los agregados de 1-5 cm de diámetro y tierra fina (<1 cm); por el contrario se evidencia una sobre-estimación de la proporción de terrones más grandes como los de 5-20 cm y en algunos casos >20 cm de diámetro.

Del análisis del Cuadro 13 se verifica también, que la proporción de tierra fina es mayor que la de los agregados deseables (1-5 cm) y éste a su vez mayor que las otras dos clases de terrones, esto para ambas texturas. Para la parcela de textura Franca fué necesario realizar un paso de rastra inmediatamente después de la roturación del último tratamiento por lo que de alguna manera se redujo el porcentaje de terrones grandes.

En ambas texturas, verificamos estadísticamente que los tratamientos de humedad de roturación (HR) y de profundidad de roturación (PR) por interacción tienen un efecto significativo en el tamaño de los terrones creados. Los tratamientos a humedad de roturación mínima (HR3) producen más tierra fina (<1 cm) que los de humedad media (HR2) y máxima (HR1), no significativamente diferentes al 5% .

En "Patacamaya", la roturación a mayor humedad produce más terrones superiores a 20 cm, con la siguiente clasificación:

HR3	<	HR2	=	HR1
2.06a		12.53b		18.29b

Para la clase 5-20 cm, el factor profundidad de roturación es significativo (prob=4.7%); PR1 (22.36) > PR2 (17.63) al 5%. No podemos concluir para la clase 1-5 cm por la no significancia estadística en "Patacamaya" y por la elevada varianza de los residuos en "Culta"; en ésta localidad los tratamientos HR1 y HR2 producen más terrones entre 5 y 20 cm de diámetro.

En ambas texturas la interacción humedad-profundidad de roturación tiene un efecto positivo sobre la proporción de terrones de mayor tamaño: la probabilidad es de 0.0301 (*) en "Culta" pero el test de Newman-Keuls no separa las interacciones al 5%.

La probabilidad es de 0.0092 (**) en "Patacamaya", con la siguiente clasificación en grupos homogéneos:

HR1-PR1	>	HR1-PR2,	HR2-PR2	>	HR2-PR1,	HR3-PR1	=	HR3 PR2
26.54		20.04	17.54		7.53	3.63		0.49

Podemos concluir que las condiciones de roturación influyen directamente en la proporción de tierra fina y terrones grandes.

En las fotografías que se acompañan (Anexo VI), que corresponden al resultado de la labor posterior a la roturación antes de precipitación alguna se constata lo explicado anteriormente, para HR1 la proporción de terrones grandes fué mayor en ambas profundidades de roturación, en comparación con HR3 en el que la proporción de tierra fina fué mayor en términos generales, destacandose además un efecto indudable de la

profundidad de roturación. Para HR2 y T0 se tiene un estado intermedio entre ambos casos.

E. Evolución del estado superficial bajo las lluvias

Se realizaron evaluaciones del estado superficial en cuatro fechas. Ubicamos en el Cuadro 14 las fechas de observación entre junio y octubre de 1990, que llamaremos en el texto F1, F2, F3 y F4, en relación a las precipitaciones y sus intensidades, muy reducidas salvo el 7-06 con 12 mm/h y el 14-10 con 3.17 mm/h. En cada fecha, se realizó un análisis de varianza en un diseño experimental de parcelas subdivididas, y considerando la clase de diámetro de los terrones como el tercer tratamiento con cuatro modalidades. Cuidando de la igualdad de varianza de los residuos, se clasifica los tratamientos significativos con el test de NEWMAN-KEULS al 5%.

Para comparar de una manera más clara la evolución del estado superficial en ambas texturas se describen los tratamientos extremos (HR1 y HR3) con sus dos profundidades de roturación por ser los más contrastados en el terreno con referencia a las fotografías (Anexo VI).

1. Suelos Franco arenosos

Para HR1-PR1 (Figura 14a) la tierra fina (<1 cm de diámetro de agregados) se tiene un aumento de su proporción en función del tiempo. Las precipitaciones disgregaron los terrones más grandes desprendiéndose partículas que luego se agregaron a los de tierra fina. Los agregados de 1-5 cm aumentan su proporción

**Cuadro 14. INTENSIDAD DE LLUVIAS (Junio-Octubre/90)
PATACAMAYA (SENAMHI)**

MES, DIA	PRECIP. (mm)	NUMERO DE EVENTOS LLUVIOSOS DISTINTOS	INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/h)	FECHA DE OBSERV. ESTADO SUPERFICAL	LLUVIA ACUMUL. TOTAL (mm)
06 1	6.0	-	-	roturación 19-25/06	0
2	3.0	-	-		
7	1.0	1	12		
8	7.0 NEV.	1	2.33		
9	10.0	2	2.25/2.2		
10	3.6	2	4.4-0.83		
11	21.0	1	1.31		
12	1.5	-	-		
08 22	0.5	1	0.17	10/08 F1	0
23	9.0	3	0.5/2.17/0.33		
24			0.17		
09 26	3.5	1	1.17	11/09 F2	10
27	2.5	-	-		
10 4	1.0	-	-	21/10 F3 25/10 F4 26/10 siembra en Pat. 29/10 siembra en Cul.	+31.5
10	0.5	1	0.17		
13	3.5	1	1.17		
14	14.0	2	3.17/1.5		
15	2.0	1	0.67		41.5
19	2.5	2	0.17/0.67		
20	2.0	2	0.5/0.17		+15.0
21	0.5	2	2.17/0.67		
22	6.5	4	0.33/0.33/0.5/1		56.5
26	0.5	1	0.17		
28	7.5	1	2.5		
30	2.5	2	0.33/0.5		
31	7.5	2	0.50/2		

Nota: Los datos provienen de un pluviógrafo. La intensidad de lluvia en p/3 cuando el registro es cada 3 horas, p/T cuando se observó solamente la duración aproximada de cada lluvia (T). En el primer caso un evento lluvioso es un periodo de 3 horas con una pp distinta de los periodos de 3 horas anteriores y posteriores. Con el segundo tipo de registro se distingue un evento lluvioso por estar ubicado entre dos temporadas sin lluvias.

en F2, decreciendo gradualmente hasta la F4 en la cual la proporción está por debajo del valor inicial.

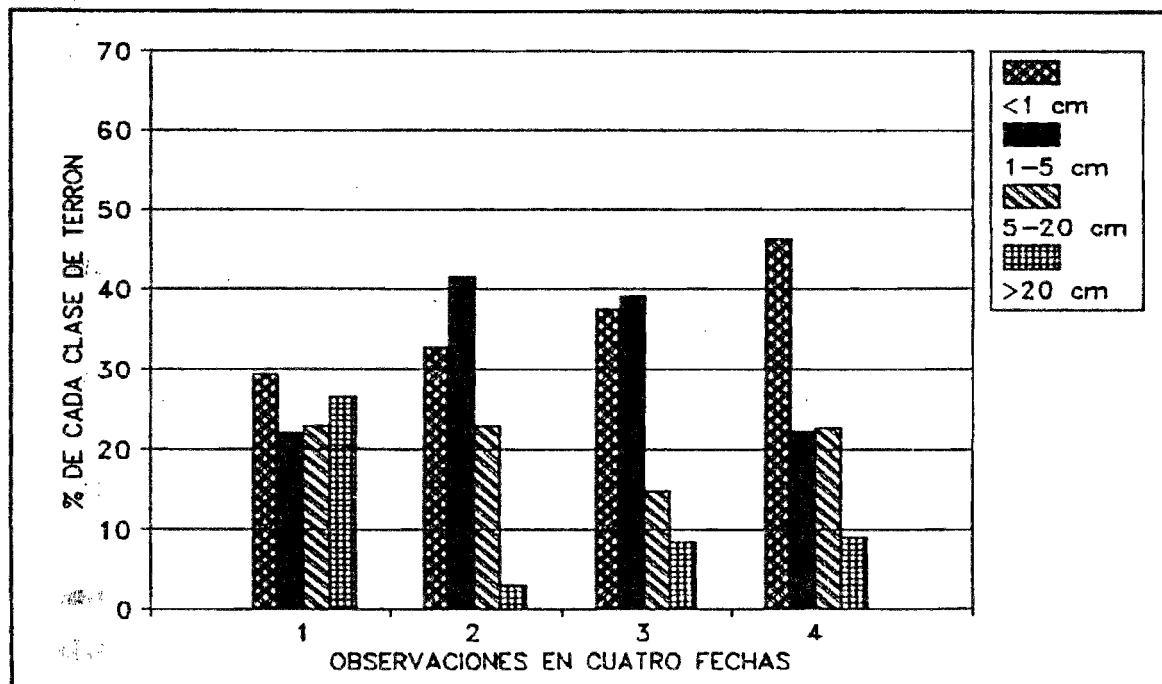


Fig. 14a. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR1-PR1 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

Los terrones de 5-20 y >20 cm de diámetro en proporción casi igual al principio que el de las otras dos clases, reducen su proporción con el tiempo por efecto de las lluvias, que provocan una reducción de su tamaño, sobre todo entre F2 y F3.

Para HR1-PR2 (Figura 14b), se tiene un incremento gradual de tierra fina manteniendo luego ésta proporción. Los agregados de 1-5 cm, inicialmente decrecen en su proporción aumentando para la última evaluación, de la misma forma que los de 5-10 cm, ambos procedentes de la desagregación de los terrones >20 cm.

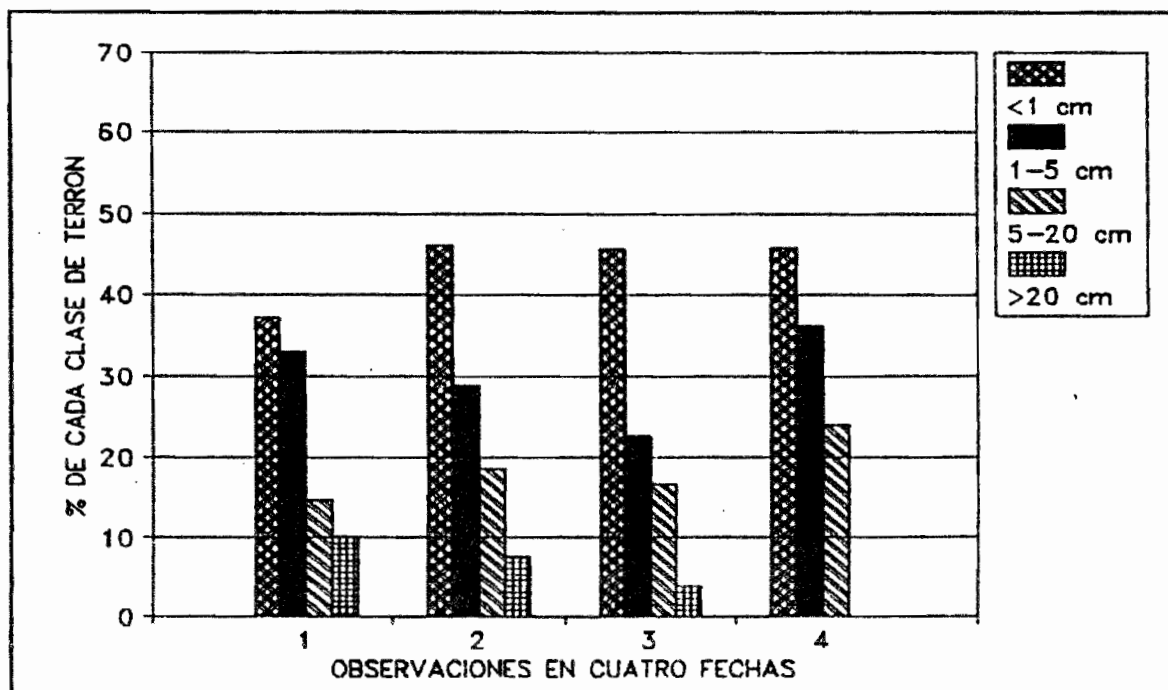


Fig. 14b. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR1-PR2 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

La proporción de tierra fina, como se observa en la Figura 15a, para HR3-PR1 alcanza casi un 50% en principio, la granulación ha sido excesiva en este caso, por las condiciones de humedad de roturación (HR3) y profundidad de roturación 10-15 cm (PR1). Los agregados de 1-5 cm sufren subidas y bajadas en su proporción, lo mismo que los terrones de 5-20 cm.

Finalmente en la Figura 15b, se observa que la proporción de tierra fina por debajo del 50% en principio, sobrepasa el 65% en la F3, volviendo para la última evaluación a su proporción inicial, se tiene en este estado la formación de costra por la tierra fina presente en proporción considerable. Los agregados de 1-5 cm sufren al igual que para la otra profundidad de roturación subidas y bajadas en su proporción alcanzando más o

menos un 30% de la superficie evaluada. Los terrones >20 cm, aparecen recién en proporción ínfima en la F4 siendo formados por uniones de agregados de 1-5 cm y de tierra fina.

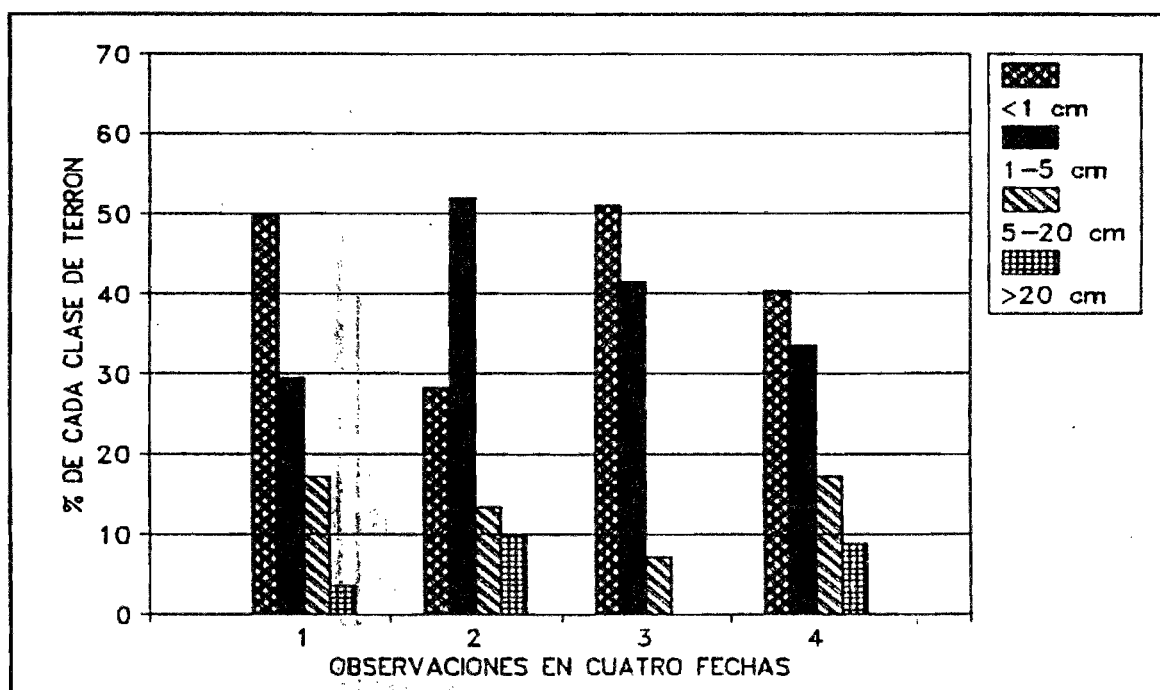


Fig. 15a. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR3-PR1 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

Para el tratamiento T0 se tiene al principio una proporción casi equitativa de las clases de terrón consideradas, con el tiempo se desagregan los terrones grandes pasando las partículas fragmentadas a engrosar la proporción de tierra fina; evolución muy parecida a HR2, estos tratamientos corresponden a los que ya se describieron anteriormente por un efecto más de profundidad que por humedad de roturación.

De este análisis se concluye que, se compactan en costra los agregados de tamaño inferior a ligeramente superior que 1 cm

desde F3 a F4 y las precipitaciones entre estas dos fechas vuelven a escarvar la superficie, creando nuevos terrones de más de 20 cm que contribuyen a desnivelar la superficie.

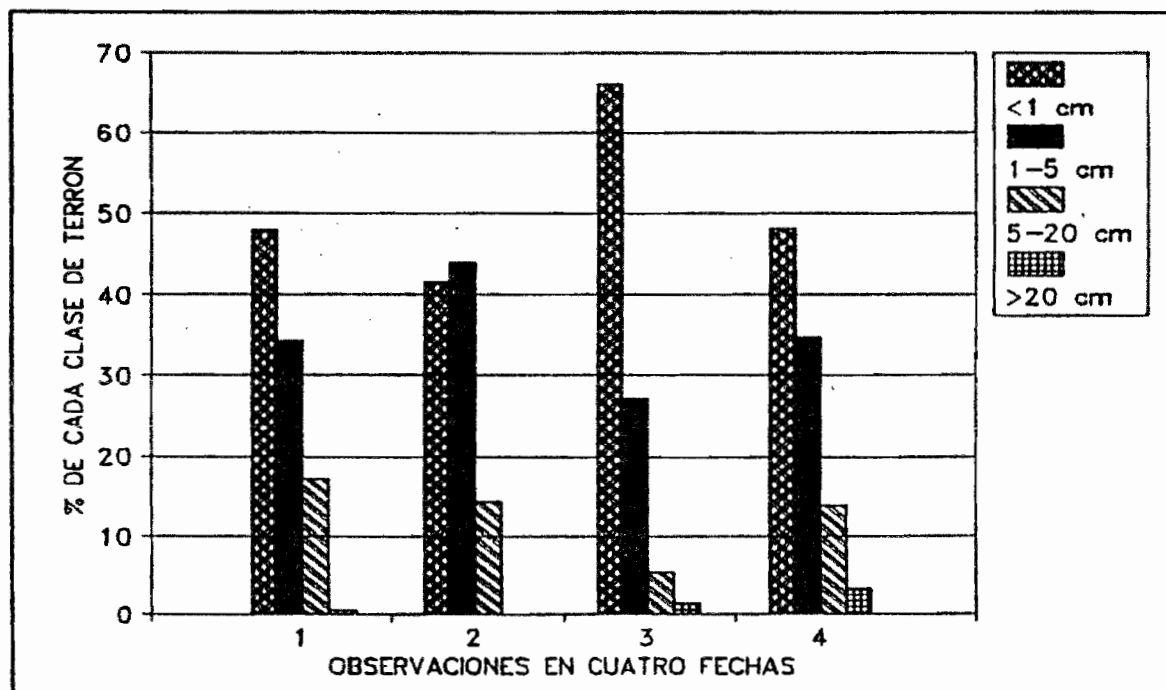


Fig. 15b. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR3-PR2 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

En HR1 y HR2, los terrones de más de 20 cm se desagregan en beneficio de las clases 1-5 y menos de 1 cm, que crecen entre F1 y F3. En F4, se vuelven a formar terrones de más de 20 cm, la costra progresa y los terrones de menos de 5 cm tienden a disminuir. En HR3, o sea en las condiciones secas, el porcentaje de terrones superior a 20 cm varía poco según la profundidad de roturación. Estos terrones desaparecen en F3, aumentando la clase <1 cm y disminuyendo 1-5 cm. No se debe temer en esta textura al proceso de encostramiento.

2. Suelos Francos

Para HR1-PR1, se tuvo según se verifica en la Figura 16a, una disminución y luego un incremento de la proporción de tierra fina; para los agregados de 1-5 cm primero se tuvo un aumento considerable hasta la F3, disminuyendo ésta para la última fecha (F4). Los terrones de 5-20 cm sufren una disminución importante de su proporción, en beneficio de la clase anterior, pero sin desaparecer.

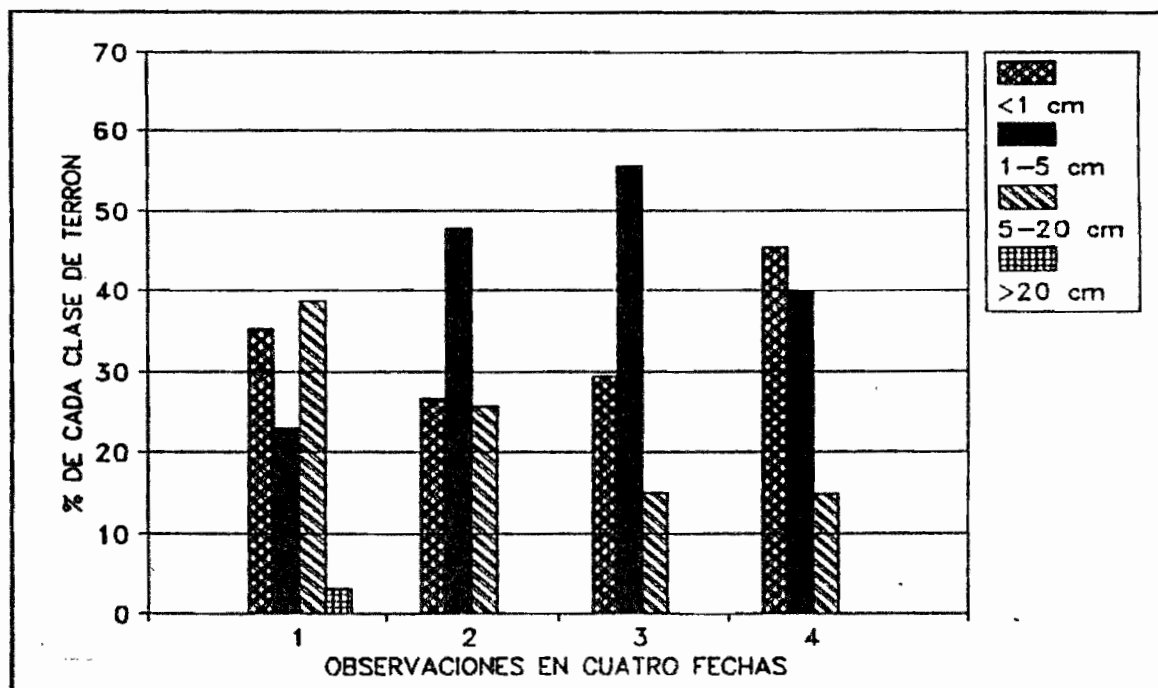


Fig. 16a. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR1-PR1 EN TEXTURA FRANCA

Para HR1-PR2 como se aprecia en la Figura 16b, se tuvo una evolución del estado superficial muy parecida a la descrita anteriormente, destacandose la significativa proporción de terrones entre 5-20 cm de diámetro muy coherentes cuya

proporción se mantiene en función del tiempo.

Luego, para HR1 en sus dos profundidades de roturación, se tuvo como resultado una labor moldeada, con una proporción importante de terrones de 5 a 20 cm, muy coherentes difíciles de fragmentarse por efecto del golpeteo de las gotas de lluvia. Las proporciones son mayores para agregados de 1-5 cm. La posibilidad de infiltración son superiores bajo ésta configuración de la superficie.

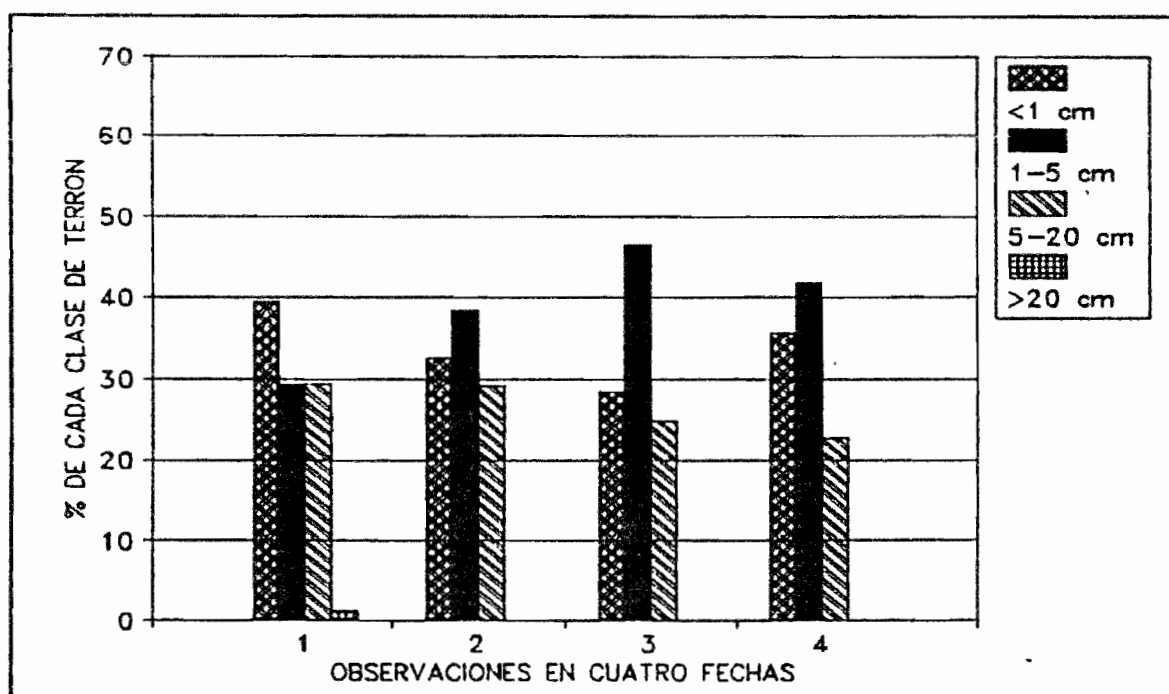


Fig. 16b. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR1-PR2 EN TEXTURA FRANCA

En HR3-PR1, se tuvo mayor proporción de tierra fina en F1, disminuyendo ésta en la fecha siguiente y recobrando su proporción posteriormente. Los agregados de 1-5 cm son excepto en F1, los de mayor proporción como se constata en la

Figura 17a. En tanto que, los terrones de 5-20 cm mantienen su proporción.

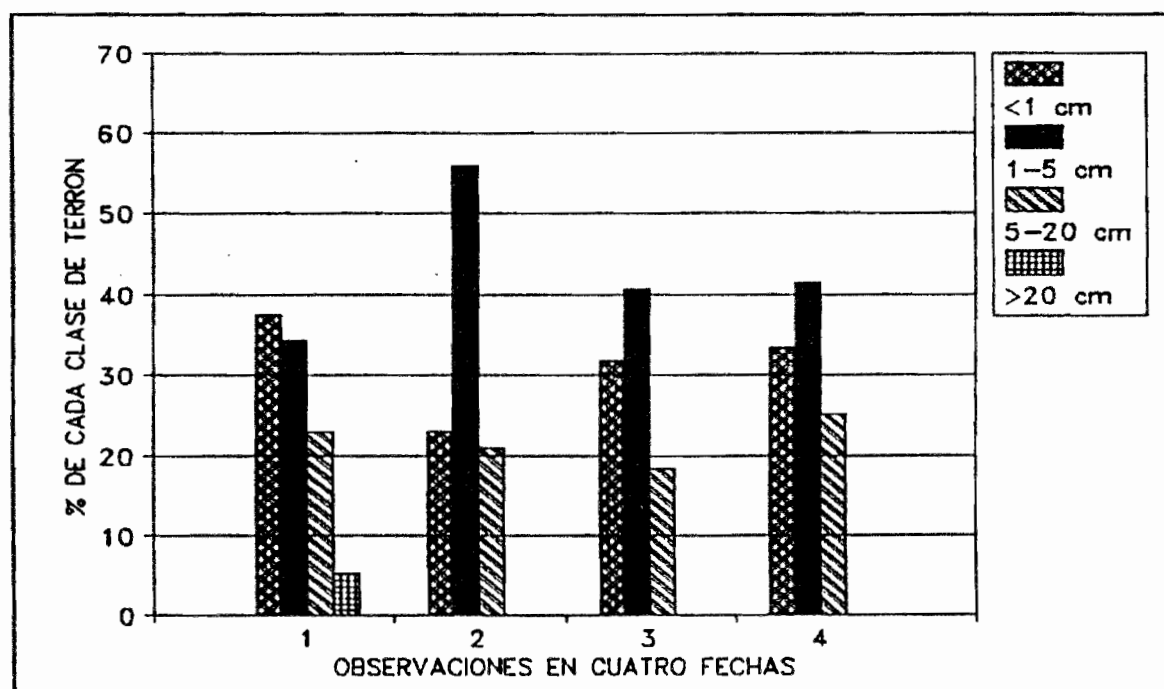


Fig. 17a. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR3-PR1 EN TEXTURA FRANCA

Se tuvieron de acuerdo a lo observado, acciones de fragmentación por el agua y al mismo tiempo agregación de partículas de tierra fina, observándose también la formación de costra en la superficie.

En la Figura 17b, se verifica un mayor desmenuzamiento para HR3-PR2, que se refleja en la proporción de tierra fina (próximo a 50%) en la última fecha (F4), siendo también para agregados de 1-5 cm las proporciones muy altas. La proporción de terrones de diámetros entre 5 y 20 cm es menor en comparación a los otros tratamientos.

La mayor proporción de tierra fina en este caso, hace que tenga un rápido encostramiento por la precipitación, limitando la infiltración del agua, volviendo a su estado inicial (suelo no labrado) también rápidamente.

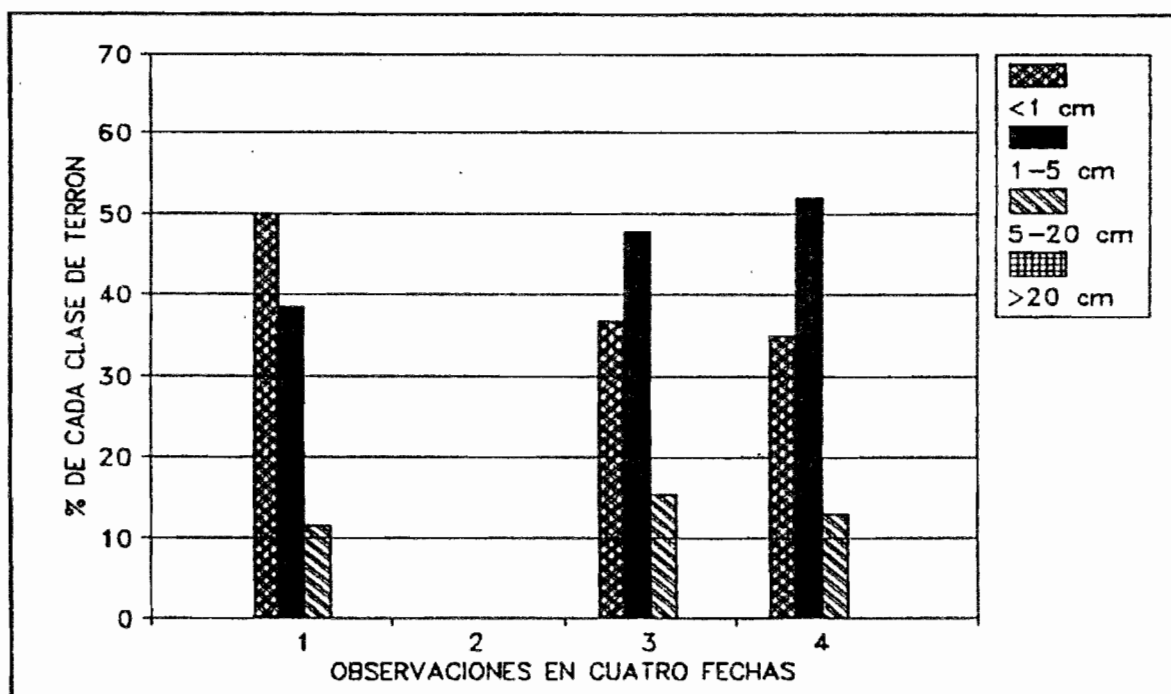


Fig. 17b. EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA HR3-PR2 EN TEXTURA FRANCA

La evolución del estado superficial para T0 no fue diferente a las descritas anteriormente, las proporciones para cada clase de terrones en las cuatro fechas de observación no sufrieron fuertes variaciones.

En general, los suelos de textura Franco arenosa presentan menor encostramiento y agregación y los suelos de textura Franca mayor encostramiento y agregación, debido a la diferencia en el contenido de arcilla.

4.4. ESTADO FINAL DEL SUELO (SIEMBRA)

A. Humedad al momento de la siembra

Para la textura Franco arenosa no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 15). Sin embargo, estuvieron cerca de considerarse como significativos, con una probabilidad del 93 %.

Cuadro 15. COMPARACION DE HUMEDADES (EN %) A LA SIEMBRA POR EL TEST DE NEWMAN-KEULS AL 5%

PROFUNDIDAD DE MUESTREO	H R 1		H R 2		H R 3		T O
	PR1	PR2	PR1	PR2	PR1	PR2	
TEXTURA FRANCO ARENOSA: CC = 15.73 , PMP = 7.47							
Superficial (0-5cm)	2.44	2.40	2.23	3.30	3.13	4.41	5.33
Capa labrada (5-10cm)	8.37	9.69	8.96	10.77	10.49	10.03	7.85
(10-25cm)	7.70	8.11	8.26	9.15	9.21	9.97	7.85
Debajo del fondo de labor (>25cm)	10.63	7.81	7.96	7.66	8.84	8.35	6.85
PROMEDIO	7.28	7.00	6.85	7.72	7.92	8.19	6.97
TEXTURA FRANCA: CC = 18.31 , PMP = 12.62							
Superficial (0-5cm)	9.80	9.31	8.67	8.38	10.09	9.06	8.40
Capa labrada (5-10cm)	14.80	16.83	17.47	16.59	16.74	15.43	13.79
(10-20cm)	15.39	14.39	17.69	16.19	18.62	16.96	13.88
Debajo del fondo de labor (20-30cm)	16.38	13.37	18.80	15.93	18.69	16.70	17.52
(30-40cm)	13.73	16.35	19.37	16.36	16.88	20.05	18.53
PROMEDIO	14.82	14.05	16.40	14.69	16.20	15.64	14.42

Para esta textura, en la siembra (26-10-90), las humedades que inmediatamente serán aprovechadas por las semillas para su

germinación son los de la capa labrada y están aproximadamente entre punto de marchitez permanente (7.47%) y de 1 a 3% de humedad por encima de dicho valor (PMP). Las roturaciones a 10-15cm obtienen mayor humedad en la siembra que aquellas labores a 20-25 y 8-10 cm en todos los tratamientos, mientras que T0 tiene la menor humedad en esta fecha.

En la textura Franca se observa, que el aporte de las precipitaciones uniformiza el nivel de humedad del suelo. HR1, HR2 y HR3 resultaron no ser diferentes estadísticamente. Existe un efecto de la profundidad de roturación en la capacidad de almacenaje de agua ($PR1 > PR2$), obviamente a mayores profundidades de roturación será también mayor el almacenamiento de agua.

Contrariamente, en esta textura las humedades que serán aprovechadas por las semillas para su germinación, están cercanos a la capacidad de campo. Al igual que para la otra textura el T0 obtiene la menor humedad (cercano a PMP).

B. Perfiles culturales

Por razones obvias relacionadas con la dificultad de realizar la apertura de calicatas por unidad experimental (21 por parcela, considerando repeticiones), se optó por realizar la apertura de calicatas, en la repetición II por considerar ésta donde el desplazamiento del tractor es más uniforme.

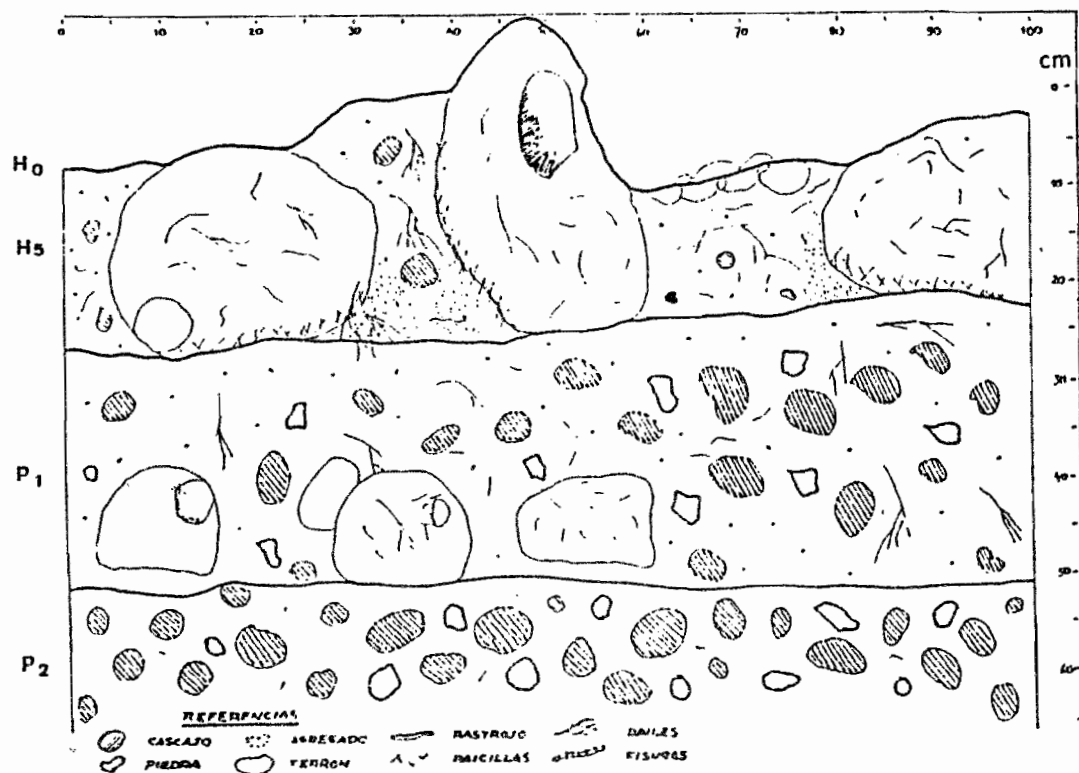
Se hizo la apertura de calicatas después de la roturación en los tratamientos extremos, vale decir, en la humedad máxima posible para la roturación (HR1), con sus dos profundidades: PR1

(20-25 cm) y PR2 (10-15 cm), así como en la humedad mínima posible para la roturación (HR3) también con sus dos profundidades: PR1 (10-15 cm) y PR2 (8-10 cm). Para HR2 se tiene un estado intermedio entre los considerados, lo mismo que para el testigo (T0).

1. Textura Franco arenosa

En HR1-PR1 (Figura 18 y Ficha 3), se tiene una superficie (H0) muy irregular debido a la formación de terrones muy

Fig. 18. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR1-PR1 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA (29-08-90)
Ese. Aprox. 1 : 8



grandes, que ocupan en su mayor parte todo el espesor de la capa labrada (H5); de acuerdo a la humedad y profundidad de roturación se tiene una labor muy moldeada, las raíces de la vegetación presente también favorecen en ésta textura la formación de terrones grandes. Se tuvo con este nivel de humedad de roturación bastante patinaje, produciéndose por consiguiente un aplastamiento que deforma la masa de suelo por debajo de las llantas.

FICHA 3

Patacamaya: 29/08/90

Perfil HR1-PR1

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.	Franco arenosa.					
H5	0-23.5	Franco arenosa. Fragmentario, sin estructura tierra finas que agregados; piedras de 2-5 cm de diámetro representan- do del 10-20% del volumen total.	2	4	4	3.42 terr. 1.63 inter terr.	Límite del fondo de labor neto, muy estable correspondiendo al límite superior del horizonte cascajoso.
P1	23.5-50	Franco arenoso, con cascajo, arena gruesa fragmentados con vacíos haciendo un total de 70% y piedras de 5-10cm de diámetro en 30%.	2	3	4	0	
P2	50-73	Arcillosa. Nivel casi continuo de piedras (60%), y greda arcillosa rojo ocre naranja con cascajo (40%).	3	2	1	0	La capa greda arcillosa delgada, forma un cimientito que envuelve las piedras. Raíces finas en fisuras por encima de la capa de piedras.

El suelo presenta poca tierra fina y agregados de 1-5 cm que con las lluvias se sueldan y forman la costra superficial discontinua.

Los terrones grandes por su poca cohesión y su gran porosidad, son facilmente discernibles por agentes externos o mecánicos. En esta textura, el almacenamiento de agua se ve favorecido con un trabajo moldeado por el gran porcentaje de vacios debajo de los terrones que serán ocupados por el agua.

En HR1-PR2 (Ficha 1 y Figura 1 del Anexo VII), se distingue claramente una deformación pronunciada de la capa labrada (H5); la superficie (H0) tiene pocos terrones y/o agregados.

Se verifica una irregularidad del fondo de labranza, debido a que no se han regulado los discos del arado. La roturación en condiciones muy húmedas de suelo en esta textura, afecta desfavorablemente la estructura del suelo, ocasiona además la desnivelación de la parcela, cuando se tienen charcos en los que la humedad es mayor.

En la superficie H0 para HR3-PR1, se tiene terrones alisados por los discos dispuestos irregularmente, se presenta además, un volteo casi total de los terrones por los discos. Esta configuración, puede ser favorable en el almacenamiento de agua (Ficha 2 y Figura 2 del Anexo VII).

Finalmente para HR3-PR2 (Ficha 4 y Figura 19), se tiene en la superficie (H0) terrones grandes, las raices de la th'ola e

ichu forman parte de ellos, rodeando estos terrones se tiene tierra fina; se visualiza al mismo tiempo una zona compactada por las llantas del tractor; el fondo de labor se distingue a los 15 cm, se evidencia también las crestas formadas por los discos que da cuenta de que no se tuvo una regulación adecuada de los mismos.

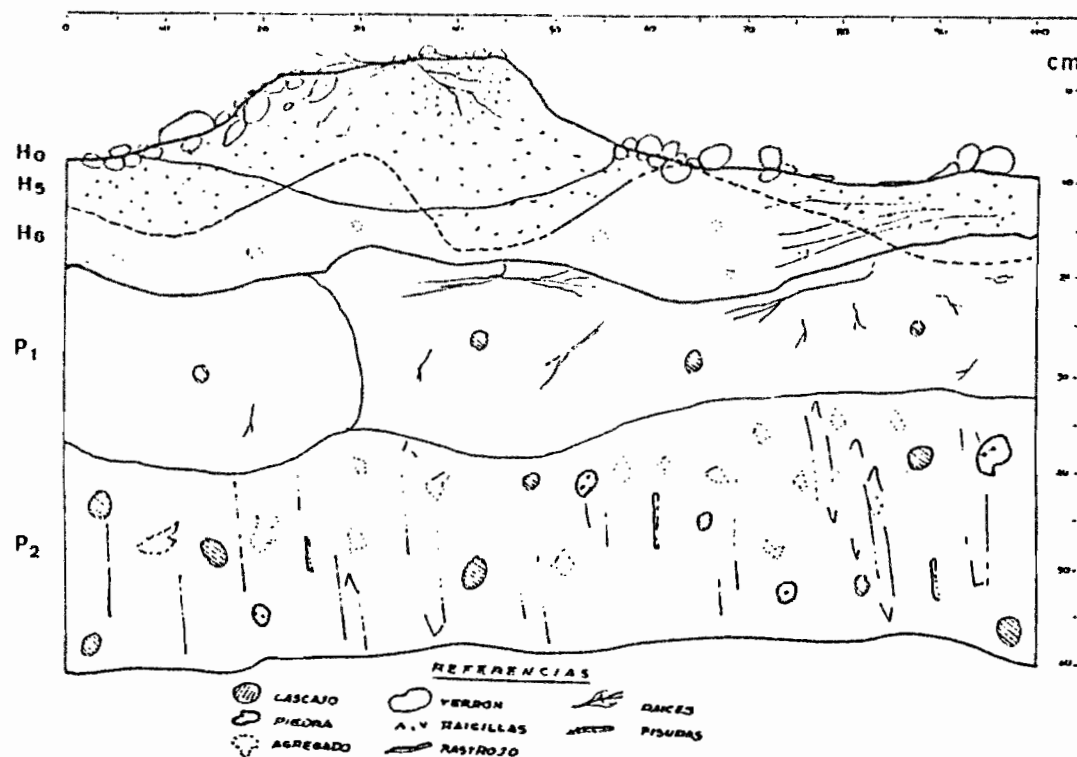
FICHA 4

Patacamaya: 31/08/90

Perfil HR3-PR2

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.	Franco arenosa, terrones superficiales alisados.					Costra superficial rota y volteada en pedazos.
H5	0-15	Franco arenosa. Muy modificado por trabajo superficial. Terrones en superficie de 3.5 a 5 cm menor a tierra fina incluyendo ichu.					Rastros de huellas por pisoteo post-labor. Fondo de labor muy irregular caracterizada por crestas formadas por los discos.
H6	15-20	Franco arenosa. Tierra fina superior a agregados de 1-3 cm de diámetro. Fragmentario y con numerosos vacíos.	0				
P1	20-32	Franco arenosa sin estructura, poco cascajo de 1-2 cm de diámetro.	1	2		2.93 a 5.54	Raicillas y raíces gruesas en crecimiento horizontal, muy poca microporosidad.
P2	>32	Arcillosa. Estructura prismática columnar, agregados angulosos de 3 a 5 cm de diámetro, ocre rojizo con greda compacta, fisuras verticales.	3-4	2	1	5.54	Manchas amarillas y anaranjadas; concreciones negras abundantes. Piedras redondas de sílex y cascajo de 5 cm de diámetro (30% del volumen total).

Fig. 19. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR3-PR2
EN TEXTURA FRANCO ARENOSA (31-08-90).
Esc. Aprox. 1 : 8



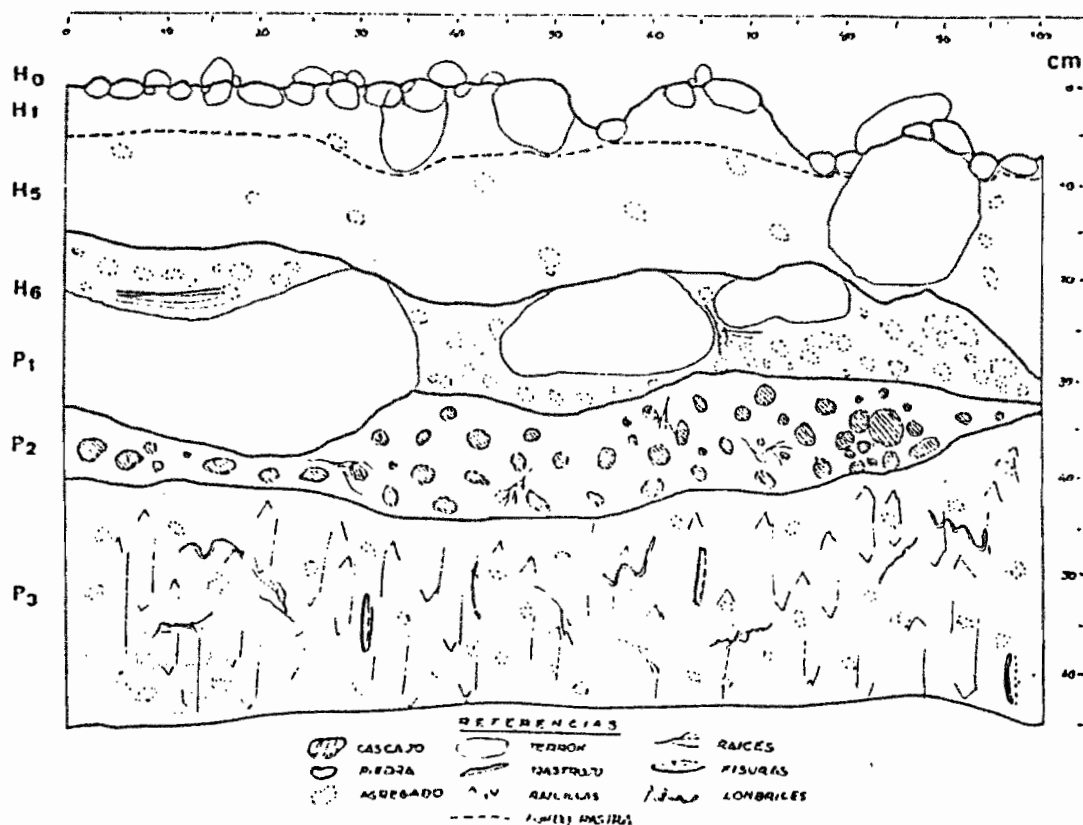
Luego, para la textura Franco arenosa se tiene una labor bastante moldeada, incluso en las condiciones secas y labores superficiales; la vegetación alta inicialmente presente, es indudablemente la causa principal más que las condiciones de roturación porque sus raíces forman bloques grandes contribuyendo a la desnivelación de la superficie que deberá nivelarse para la siembra (costo adicional en la preparación de tierras para los agricultores). El efecto textura en este caso no influyó de manera directa en la obtención de este estado del suelo. Los bloques o terrones grandes formados de la manera

descrita, permiten un continuo flujo de agua, la costra formada por la lluvia no impide que la precipitación se infiltre.

2. Textura Franca

Los terrones observados en H5 en el estado inicial han sido aplastados y rotos por esta labor, formando los agregados que se ven en la superficie (H0); el efecto del paso de la rastra no fue favorable, puesto que no produjo la ruptura de los terrones grandes muy coherentes (secos), por lo que no hubo mas que una selección de estos terrones, reubicados tras el paso de la rastra (Figura 20 y Ficha 5).

Fig. 20. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR1-PR1 EN TEXTURA FRANCO (23-08-90)
Esc. Aprox. 1 : 8



FICHA 5

Culta: 23/08/90

Perfil HR1-PR1

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0 y H1	Superf. y 0-6	Franca. Terrones superficiales abundantes de 5-10 cm de diámetro.					Terrones secados antes del paso de la rastra, que solo seleccionó es- tos terrones.
H5	6-20	Franco, BSA débil, fino Fragmentario, tierra fi- na superior a elementos estructurales de 2-5 cm de diám. fácilmente dis- cernibles, de color ma- rrón claro. Formación de terrones masivos com- pactados.					Fondo de labranza irre- gular, evidente aplasta- miento por patinaje.
P1	20-33	Limo arcilloso, agrega- dos presentes entre los terrónes más que tierra fina. BSA, débil, finos a medianos.				3.26 a 3.75	Los terrones ocupan 70% de la capa labrada, com- pactados y masivos.
P2	33-44	Limo arcilloso negro a amarillo, horizonte de cascajo muy denso.	2	2	2	4.07	Poca actividad de lom- brices, concreciones fe- rruginosas ocre negro, inclusión de material proveniente del horizon- te superior.
P3	>44	Limo arcilloso oscuro. Estructura prismática columnar, débil, grue- sa, sin cascajo. Agre- gados de 5 cm diámetro.	3	2	1	4.07	Lombrices abundantes, fisuración vertical; lí- mite superior cascajoso nítido; profundidad irregular.

Se observa así mismo, un fondo de rastra y roturación muy irregulares por la deficiente regulación de los discos. En P1 se evidencia la presencia de terrones aplastados tras el paso de

la rastra, advirtiéndose en ellos una capa muy compacta de difícil fragmentación; los agregados existentes entre estos terrones subsuperficiales dejan el agua infiltrarse rápidamente.

La superficie en este tipo textural, será siempre susceptible de encostrarse y depende por lo general de la proporción de tierra fina y las lluvias acumuladas desde la roturación.

En la observación del perfil HR1-PR2 (Figura 3 y Ficha 3 del Anexo VII), se destaca la presencia de terrones medianos y agregados de menor diámetro en la superficie (H0); bajo el cual se tiene tierra fina formando una capa continua (H5). Estos terrones de la superficie, resultan de la excesiva humedad del suelo al momento de la roturación; tras el paso de los discos de la rastra tampoco fueron rotos siendo el efecto de éste solamente de reubicación previa selección de los terrones. El efecto de una lluvia intensa será negativo para el estado estructural del suelo labrado, los agregados mas grandes sufren fragmentación y junto con la tierra fina forman costras muy coherentes que limitan la infiltración del agua.

En H5 las raíces son abundantes, favorables para mantener la estructura. El límite del fondo de labor es también irregular, distinguiéndose un evidente aplastamiento por debajo de las llantas, formando una especie de láminas delgadas que resultan de una compactación.

El P1 está constituido en su mayor parte por terrones grandes ya existentes por la anterior roturación con muy pocos poros, apelmazados por los discos del arado y por las llantas del tractor. La humedad de estos terrones es mayor que del resto de los constituyentes; esta discontinuidad hídrica en este horizonte puede ser causa de una dinámica del agua muy irregular, con infiltraciones cuya velocidad varía dependiendo de la presencia o ausencia de éstos terrones.

De lo observado en el perfil HR3-PR1 (Ficha 4 y Figura 4 del Anexo VII), en la superficie H0 se reconocen terrones de diámetros aproximados a 10 cm y agregados de 3-5 cm, que no han sido tocados por la rastra. Se tiene una superficie mucho mas desterronada que los otros tratamientos efectuados a esta misma profundidad (10-15 cm), al mismo tiempo se tendrá un apelmazamiento de la superficie poco rugosa y porosa, traduciendose en formación de costra.

En H1 ó H5 se tiene mayor proporción de tierra fina que agregados, con el tiempo se asienta y con una lluvia de poca intensidad puede almacenar agua en cantidad considerable.

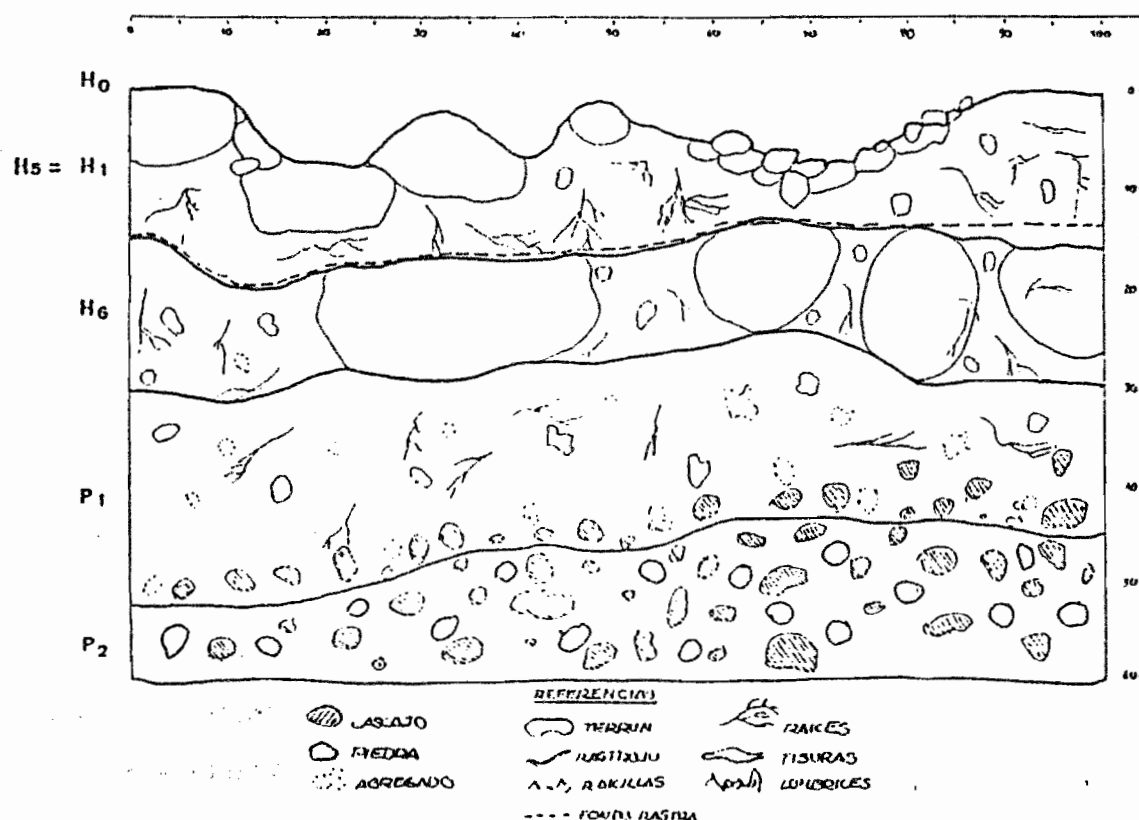
El límite del fondo de rastra es muy difícil de distinguir, por ser casi igual al de la roturación, se tienen también terrones aplastados formados en una labor anterior (H6).

De acuerdo a lo que se ha descrito, el efecto probable de éste estado del suelo en relación a su comportamiento hídrico nos permite suponer una redistribución uniforme del agua, acentuandose ésta en la capa labrada. La evolución de este

suelo esta definida por filtraciones y ascenso por capilaridad lenta y en consecuencia, un considerable almacenaje de agua por debajo del fondo de labor.

Finalmente en el perfil HR3-PR2, la superficie (H0) presenta una apreciable cantidad de agregados de 3-5 cm de diámetro cuya proporción no es mayor que el de tierra fina, se tienen también terrones de 10 cm de diámetro formados en una anterior labor y que fueron trasladados a la superficie por ésta labor (Ficha 6 y Figura 21).

Fig. 21. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR3-PR2 EN TEXTURA FRANCA (23-08-90)
Esc. Aprox. 1 : 8



FICHA 6

Culta: 23/08/90

Perfil HR3-PR2

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.	Franca.					
H1=H5	0-16	Limo arcilloso; fragmen- tario, tierra fina mas que agregados de 5 a 10 cm de diámetro algunos muy coherentes y lisa- dos. BSA, débil, finos y medianos.	0	3	4		Profundidad de rotura- ción mas o menos a la de rastra (15cm). Fondo de labor muy irregular.
H6	16-27	Horizonte limo arcillo- so. BSA, débil, finos y gruesos. Con 60% de terrones muy coherentes >10cm de diá- metro. Agregados de 3cm superior a tierra fina.	3	2	3		
P1	27-45	Horizonte franco limoso BSA, débil, finos, con agregados de 2-5cm de diám. de fácil penetra- ción. Marrón oscuro.	2	2	3		Sin materia orgánica ni piedras; diferente de P2 por el color.
P2	>45	Nivel continuo de cas- cajo y arena gruesa blanquesina en 60%, cas- cajo de 6cm de diám. en proporción de 40%.	1	2	1	0	

El nivel de roturación coincide con el de rastra, por debajo de los agregados se tiene un volumen ocupado mayormente por tierra fina casi seca.

En general, para la textura Franca se evidencia en todos los tratamientos un aplastamiento de los terrones pre-existentes antes de la roturación, parte de ellos rotos y trasladados a la superficie, que cuando se secan y sufren los efectos de la lluvia forman una costra que impide una mayor infiltración de las lluvias hacia las capas mas profundas. Se presenta una superficie bastante irregular como en la otra textura, pero en este caso por la formación de terrones medianos y agregados por un efecto directo de la textura así como de las condiciones de roturación que sin embargo no requiere de nivelación para sembrar.

V. CONCLUSIONES

- Dadas las condiciones climáticas presentadas en el estudio, el laboreo en condiciones mínimas de humedad (HR3) fue ligeramente más favorable que las roturaciones en condiciones húmedas (HR1) para una mayor reserva útil de agua en la siembra, tanto en textura Franco arenosa como en Franco. Sin embargo, los análisis estadísticos de rigor demuestran que las condiciones de humedad de laboreo HR1, HR2, HR3 y T0 tienen similar efecto en el almacenamiento de agua en el suelo al momento de la siembra.
- Las diferencias más significativas se hallaron para las profundidades de roturación 20-25 cm en HR1 y HR2 y 10-15 cm en HR3 que acumularon mayores porcentajes de agua en el suelo con relación a las profundidades de roturación mínimas determinadas por el nivel de humedad considerado (PR2).
- En la textura Franco arenosa la superficie se seca a las cinco semanas, la humedad en la capa labrada sufre un desecamiento gradual rehumectándose luego con una precipitación acumulada de 41.5 mm en octubre suficiente para alcanzar casi la misma humedad de roturación de los tratamientos. La humedad por debajo de la capa labrada debido a la capa arcillosa, presenta incrementos y descensos alternados del porcentaje de humedad.
- En la textura Franca la superficie se seca a las cinco semanas, la humedad en la capa labrada y por debajo de ella no sufre subidas y bajadas marcadas, mantienen en el tiempo la

humedad evidenciándose un gradiente de humedad a medida que se avanza en profundidad. La precipitación acumulada de 48.5 mm de octubre rehumectó el perfil del suelo de manera tal que el nivel de humedad a la siembra fue aproximadamente el mismo que el de la humedad de roturación.

- La humedad máxima posible para roturar en textura Franco arenosa es de 10.91%; y la humedad mínima (HR3) fue de 6.22%, pasado estos límites la humedad del suelo no permite trabajo alguno. En textura Franca los límites fueron: como máximo un 14.90% de humedad y como mínimo un 11.26% de humedad, pasado estos límites se tienen también dificultades en el trabajo del suelo.

- En ambas texturas las roturaciones en condiciones muy húmedas forman terrones grandes por que ésta humedad permite el trabajo a mayor profundidad, las roturaciones en condiciones de extrema sequedad solo permite trabajos superficiales no mayor de 10 cm, resultando de ello un excesivo desmenuzamiento del suelo.

- En textura Franco arenosa la labor moldeada permite infiltraciones mayores que la labor con excesivo desmenuzamiento. En textura Franca si bien la labor moldeada posibilita una mayor infiltración, es más negativo el obtener éste estado por que con el tiempo por efecto del clima estos terrones se asientan y al ser muy coherentes dificultan los trabajos complementarios y las labores culturales que en el mayor de los casos son realizados manualmente. Un excesivo desterronamiento en ésta textura es totalmente negativa ya que limita en sumo grado las posibilidades de infiltración del agua

precipitada por la costra superficial que se forma. Se logra una mejor acumulación de agua cuando la labor es profunda pero no moldeada, estado que se alcanza con condiciones de humedad de roturación intermedia entre los límites encontrados.

- La humedad y profundidad de roturación tienen efecto sobre la proporción y el tamaño de los terrones creados por la roturación; el efecto sobre el estado superficial al momento de la siembra se diferencia según la textura. Entre las fechas 2 y 3 aparece una costra superficial que se extenderá en "Culta" y será retocada en "Patacamaya", con las lluvias posteriores (F4). Muchos de los terrones creados siguen intactos y coherentes en "Culta" cuando se desagregan en "Patacamaya" y se vuelven a formar nuevos bloques en F4, poco coherentes.

- Dada la evolución del estado superficial en suelo Franco, la costra formada constituye un limitante en la infiltración de la lluvia, obstáculo para la emergencia de las plántulas recién brotadas, se tienen también problemas de trabajo del suelo post-roturación. El estado superficial óptimo resultaría de un compromiso entre la formación de tierra fina con riesgos de encostramiento y la de terrones de más de 15 cm que difícilmente se desagregarán. Los 56.55mm y 64.05 mm de lluvia caída desde la roturación hasta la siembra en "Patacamaya" y "Culta" respectivamente, no lograron incorporar a la costra terrones de más de 5 cm. Un análisis frecuencial de las precipitaciones entre febrero y octubre permitiría precisar las reglas de decisión aplicables al momento de roturación.

VI . RESUMEN

Si se considera que el agua es uno de los principales factores limitantes para la agricultura en el Altiplano boliviano por las precipitaciones escasas e irregulares, lo cual trae como consecuencia la frecuente ocurrencia de sequía; como una forma de lucha contra estos riesgos, este estudio trata de adecuar las labores de roturación (fecha y profundidad de roturación) a las condiciones de suelo y clima que se presentan.

A nivel del agricultor, por la significativa variabilidad de sus rendimientos en un año calificado de normal, no obstante de mantener constantes las técnicas de producción; nos preguntamos si tal vez son las labores de roturación los que explican esta variabilidad de los rendimientos. Es así que nos interesa el estudio del suelo como componente del sistema clima-suelo-planta. Por tanto se propuso evaluar el agua en el suelo por ser el factor principal que modifica las características físicas en función del tiempo, del clima y el efecto de las condiciones de roturación.

Se describe también el efecto de las condiciones de roturación del suelo en relación con la dinámica del agua en el mismo.

- Se plantean las hipótesis de que la roturación no tiene ningún efecto sobre el estado hídrico y estado superficial de los suelos.
- La variabilidad textural no tiene influencia en la dinámica del agua almacenada.

El presente estudio se realizó en dos suelos de texturas representativas del Altiplano boliviano: una textura Franco arenosa (Patacamaya) y otra Franca (Culta), en las cuales se determinó la humedad antes, durante y después de la roturación hasta la siembra, según las condiciones de roturación (humedad y profundidad de roturación); además se controló perfiles culturales antes y después de la roturación y se realizó un seguimiento del estado superficial, acomodándolos a un diseño estadístico de sub-parcelas con tres repeticiones.

Los tratamientos comprendieron condiciones de humedad de roturación máxima (HR1), mínima (HR3) e intermedia entre HR1 y HR3 (HR2); aplicándose tres profundidades de roturación: máxima, media y mínima permitidas por el nivel de humedad considerado, reagrupadas por dos en cada tratamiento, constituyendo éstos los sub-tratamientos. Se realizó un seguimiento al agricultor sobre las condiciones de roturación que él considera óptimas.

Dadas las condiciones climáticas presentadas en el estudio, el laboreo en condiciones mínimas de humedad (HR3) fue ligeramente más favorable que las roturaciones en condiciones húmedas (HR1) para una mayor reserva útil de agua en la siembra, en ambas texturas. Sin embargo, los análisis estadísticos de rigor demuestran que las condiciones de humedad de laboreo HR1, HR2, HR3 y T0 tienen similar efecto en el almacenamiento de agua en el suelo al momento de la siembra.

Indiscutiblemente las diferencias se marcan para las profundidades de roturación 20-25 cm en HR1 y HR2, y 10-15 cm en

HR3 que acumularon mayores porcentajes de agua en el suelo con relación a las profundidades de roturación mínimas (PR2)'.

En ambas texturas las roturaciones en condiciones muy húmedas forman terrones grandes por que ésta humedad permite el trabajo a mayor profundidad, las roturaciones en condiciones de extrema sequedad sólo permite trabajos superficiales no mayor de 10 cm, resultando de ello un excesivo desmenuzamiento del suelo.

En textura Franco arenosa la labor moldeada, permite infiltraciones mayores que la labor con excesivo desterronamiento. En textura Franca si bien la labor moldeada posibilita una mayor infiltración, es más negativa el obtener este estado por que con el tiempo por efecto del clima, estos terrones se asientan y al ser muy coherentes dificultan los trabajos complementarios y las labores culturales que en su mayoría es realizada manualmente. La labor con mayor desmenuzamiento en esta textura es totalmente negativa ya que limita en sumo grado las posibilidades de infiltración del agua precipitada por la costra superficial que se forma. Se logra una mejor acumulación de agua cuando la labor es profunda pero no moldeada, estado que se alcanza con condiciones de humedad de roturación intermedia entre los límites encontrados.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ACEVES, L.A. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. Chapingo, México, PATUACH, 1981. pp. 44-49 y 153-160.
2. ALCOCER, A.A. Recuperación de suelos afectados por el pié de arado. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia, 1989. pp. 3-50.
3. ASHBURNER, J. y SIMS, B. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. IICA. San José, Costa Rica, 1984. 474p.
4. BAVER, L.D., et al. Física de suelos. Trad. del ingles por Jorge M. Rodríguez. México, UTEHA, 1973. 529p.
5. BERLIJN, J.D., et al. Arados de discos. México, Trillas, Serie: Manuales para educación agropecuaria, Area: Mecánica agrícola 42, 1985. 62p. (3ra. reimp.).
6. BERLIJN, J.D., et al. Preparación de tierras agrícolas. México, Trillas, Serie: Manuales para educación agropecuaria, Area: Mecánica agrícola 38, 1985. pp. 9-34. (4ta. reimp.).
7. BERLIJN, J.D., et al. Métodos de aradura. México, Trillas, Serie: Manuales para educación agropecuaria, Area: Mecánica agrícola 39, 1985. 68p. (3ra. reimp.).
8. BOIFFIN, J. y MONNIER, G. Estados, propiedades y comportamiento de los suelos; búsqueda y utilización de los criterios de fertilidad física. Lima, UNALM-ORSTOM, Boletín Sistemas Agrarios no. 11, 1989. pp. 7-18.
9. BOURLIAUD, J., et al. Chakitacklla; estrategias de barbecho e intensificación de la agricultura andina. Trad. del francés por Ana Maria Fries. Lima, ORSTOM-PISA, 1988. pp. 30-57.
10. BUCKMAN, H.O. y BRADY, N.O. Naturaleza y propiedades de los suelos. México, Unión Tipográfica, 1966. 560p.
11. DURU, M. Diagnóstico y ayuda a la toma de decisión del agricultor del terreno cultivado al sistema de producción. Lima, UNALM-ORSTOM, Boletín Sistemas Agrarios no. 6, 1988. pp. 19-20.

12. FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. IICA. San José, Costa Rica, 1985. 212p. (2da. reimp.).
13. GARCIA, J. Maquinaria agrícola: arados, explanadora, traillas y niveladoras. Madrid, Dossat, 1961. pp. 1-100.
14. GAUTRONNEAU, Y. y MANICHON, H. Guide methodique du profil cultural, 1982. 71p.
15. GAVANDE, S.A. Física de suelos; principios y aplicaciones. México, Limusa, 1986. 351p. (5ta. reimp.).
16. GUERIF, J. Agronomie (à paraitre). 1981.
17. GILL, W. y VANDEN BERG, G. Soils dynamics in tillage and traction. Agriculture Handboock no. 316, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, 1968. 511p.
18. GUZMAN, J.A. Diseño, construcción y evaluación comparativa de arados de vertedera reversible para tracción animal. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia, 1989. pp. 1-50.
19. HENIN, S., GRAS, R. y MONNIER, G. El perfil cultural; el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Trad. del francés por Carlos Roquero de Laburu. Madrid, Mundi-Prensa, 1972. 335p.
20. HUTTER, W. Ann. Agron., 17(1), 1986. pp. 37-53.
21. LORINI, D. y LIBERMAN, M. Clima de la provincia Aroma del departamento de La Paz, Bolivia, Ecología en Bolivia no. 4. 1983. pp. 9-29.
22. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Sistemas de labranza; conservación del agua y del suelo. Roma, F.A.O., 1988. pp. 1-200.
23. ORSAG, V. Características del régimen aéreo de un aridisol del Altiplano Central de Bolivia. Ecología en Bolivia no. 13, 1989. pp. 11-21.
24. ORSAG, V. Determinación de las variaciones de almacenamiento de agua en un aridisol del Altiplano de Bolivia con ayuda de técnicas nucleares. Ecología en Bolivia no. 13, 1989. pp. 1-10.

25. ORSAG, V. Efecto de un manejo agrícola alternativo de un aridisol del Altiplano Central de Bolivia sobre el almacenamiento de agua en el suelo. *Ecología en Bolivia* no. 13, 1989. pp. 23-32.
26. ORTIZ-CANAVATE, J. y HERNANZ, J.L. Técnica de la mecanización agraria. 3 ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1989. 335p.
27. PALACIOS, E. Manual de operación de distritos de riego. 2 ed. Chapingo, México, Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación, UACH, 1979. pp. 136-152.
28. PERIGAUD, S. Travail du sol et limites d'Atterberg. *C.R. Acad. Agric.*, 50(1), 1964. pp. 57-58.
29. RENGIFO, G. La agricultura tradicional en Los Andes; manejo de suelos, sistemas de labranza y herramientas agrícolas. Lima, Horizonte, 1987. 78p.
30. REYNAGA, G.I. Diferentes sistemas de preparación del suelo y siembra en el cultivo del trigo. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia, 1983. 143p.
31. SALM, H. Estudio preliminar de suelos del Altiplano Central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* no. 4, 1983. pp. 43-47
32. SEBILLOTE, M. Practiques des agriculteurs et évolution de la fertilité du milieu; elements pour un jugement des systèmes de culture, *Boletín técnico d'información* 370/372, 1982. pp. 425-436.
33. SILES, F. Preparación de suelos para siembra de papa en secano. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. 1980. 71p.
34. TERAN, R.G. Niveles tecnológicos para diferentes sistemas de laboreo y fertilización en el cultivo de la papa. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia, 1984. 105p.
35. THOMPSON, L. El suelo y su fertilidad. 3 ed. Barcelona, REVERTE S.A., 1965. 407p.

A N E X O

ANEXO I

PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION NETA DIARIA EN mm
JUNIO-OCTUBRE 1999 (SENAMHI)

DIA	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	Pp.	Etpn.	Pp.	Etpn.	Pp.	Etpn.	Pp.	Etpn.	Pp.	Etpn.
1	0.00	1.13	0.00	1.77	0.00	2.43	0.00	2.56	0.00	
2	11.20	1.71	0.00	1.90	0.00	2.30	0.00	3.24	0.00	
3	0.00	2.02	0.00	1.51	0.00	2.31	0.00	3.11	0.00	
4	0.00	2.12	0.00	1.55	0.00	2.45	0.00	3.60	1.00	
5	0.00	2.03	0.00	1.56	0.00	2.29	0.00	2.08	0.00	
6	0.00	1.57	0.00	1.39	0.00	2.37	0.00	2.65	0.00	
7	0.00	1.57	0.00	2.15	0.00	2.25	0.00	2.91	0.00	
8	1.00	1.50	0.00	2.57	0.00	2.63	0.00	2.53	0.00	
9	0.00	0.31	0.00	2.23	0.00	2.60	0.00	3.18	0.00	
10	7.00		0.00	2.20	0.00	2.27	0.00	0.50	2.92	
11	10.00		0.00	1.62	0.00	2.57	0.00	0.00	2.51	
12	21.00		0.00	1.92	0.00	2.94	0.00	0.00	3.60	
13	1.50		0.00	2.27	0.00	2.59	0.00	3.50	3.43	
14	0.00		0.00	2.52	0.00	2.62	0.00	14.00	3.19	
15	0.00		0.00	2.37	0.00	2.36	0.00	2.00	2.93	
16	0.00		0.00	2.25	0.00	3.31	0.00	0.00	3.87	
17	0.00		0.00	2.34	0.00	2.30	0.00	0.00	4.95	
18	0.00		0.00	2.47	0.00	2.67	0.00	0.00	2.50	
19	0.00		0.00	2.62	0.00	3.15	0.00	2.50	2.46	
20	0.00		0.00	3.23	0.00	3.02	0.00	2.00	1.53	
21	0.00		0.00	2.30	0.00	2.06	0.00	6.50	3.40	
22	0.00		0.00	2.91	0.50	2.13	0.00	6.50	2.23	
23	0.00		0.00	2.48	3.00	1.33	0.00	0.00	3.08	
24	0.00		0.00	2.24	0.05	2.25	0.00	0.00	3.22	
25	0.00		0.00	2.31	0.00	2.34	0.00	0.00	2.50	
26	0.00		0.00	2.55	0.00	3.23	3.50	0.50	1.50	
27	0.00		0.00	2.39	0.00	2.60	2.50	0.00	2.42	
28	0.00		0.00	2.07	0.00	3.11	0.00	7.50	2.62	
29	0.00	1.62	0.00	2.37	0.00	3.07	0.00	0.00	2.55	
30	0.00	1.17	0.00	2.25	0.00	2.39	0.00	2.50	3.33	
31			0.00	2.52		2.65		7.50	3.03	
SUM. 1-10		14.68		20.37		22.93		26.42		
SUM. 10-20				24.11		25.05				34.3
SUM. 20-31		2.78		27.08		23				30.76
ACUM	51.7		0	71.37	3.53	79.33	6		53.5	
PROM	1.7235			2.309	0.315	2.55	0.2		1.6571	

ANEXO II

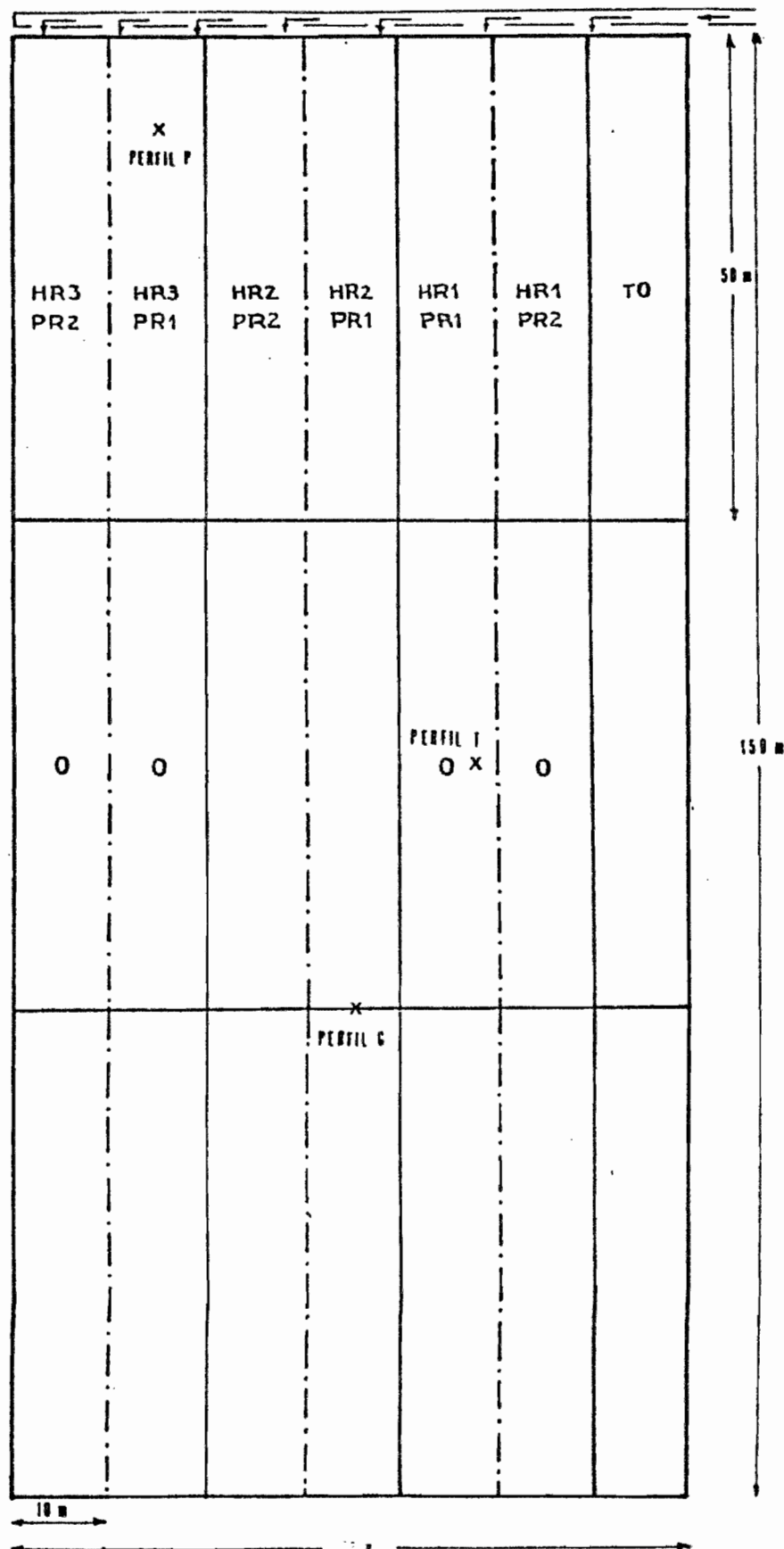
PLANO DETALLADO DE LA PARCELA EN PATACAMAYA Y LOCALIZACION
DE PERFILES
ESC 1:700

121

I

II

III

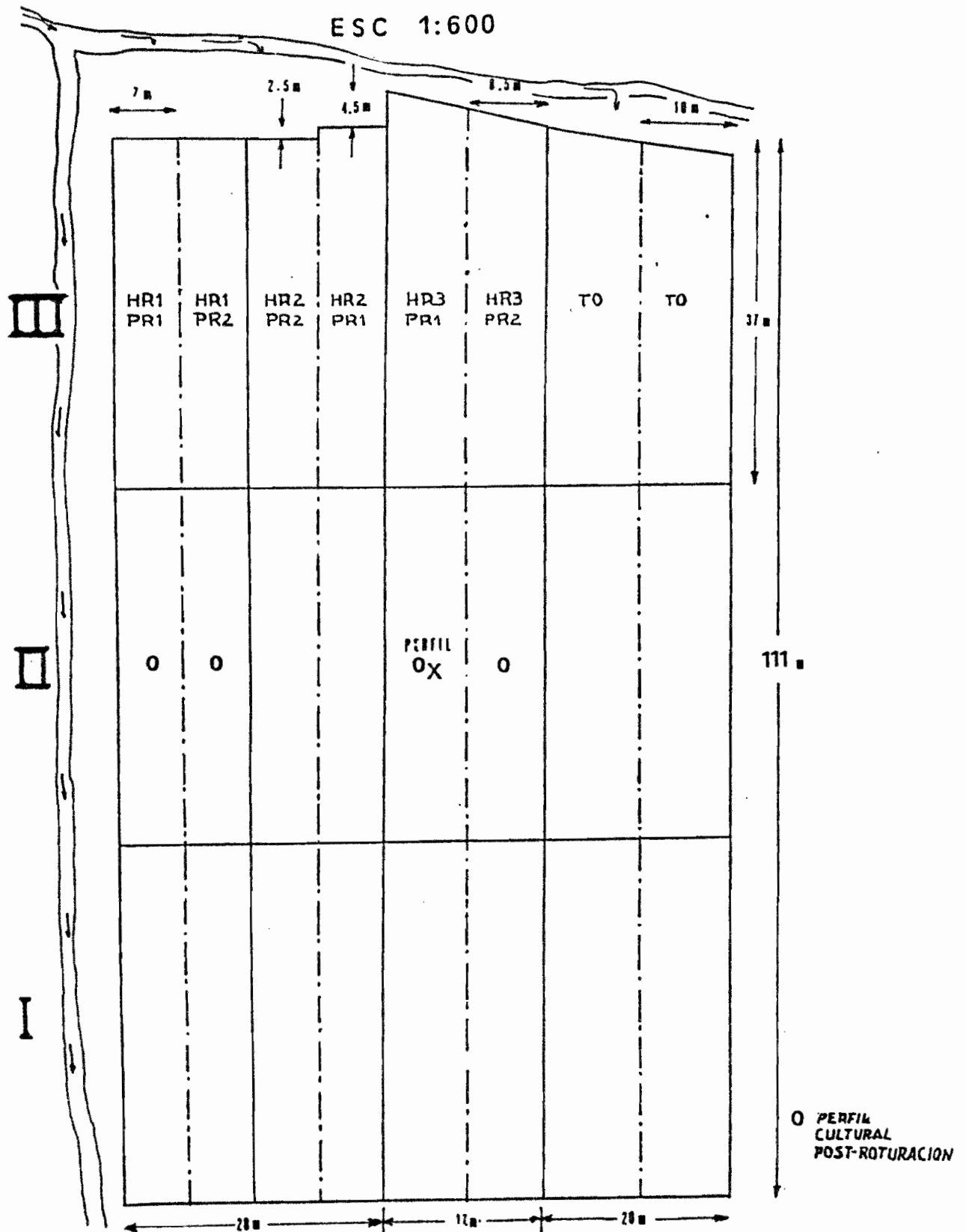


ANEXO III

PLANO DETALLADO DE LA PARCELA EN CULTA Y LOCALIZACION DE PERFILES

122° N

ESC 1:600



ANEXO IV

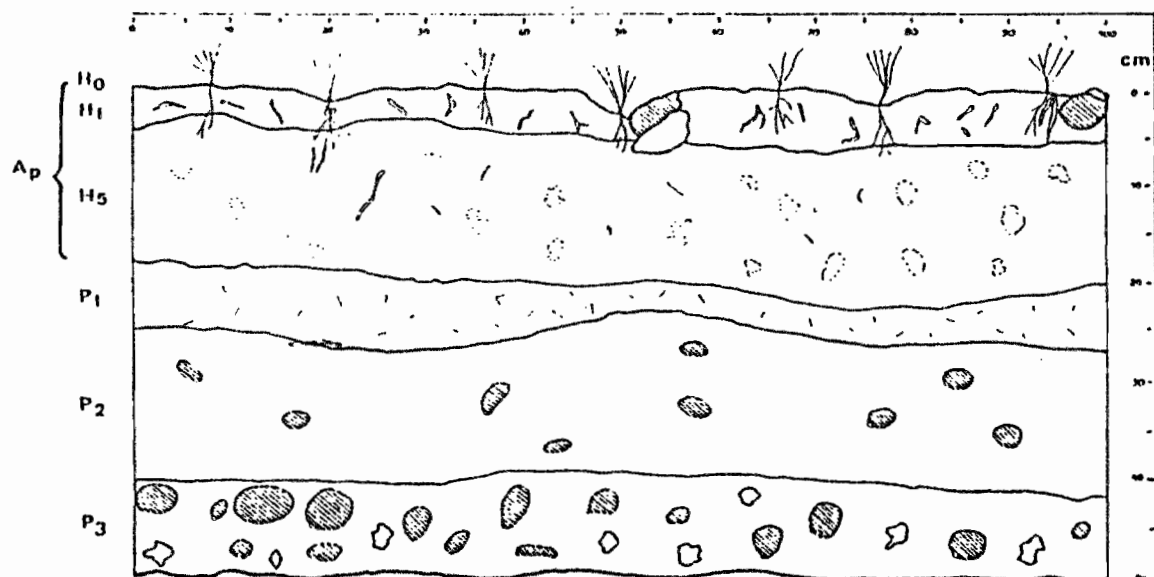
Patacamaya: 31/05/90

FICHA 1

Perfil G

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA	HUMEDAD	POROSIDAD	DENS. DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.						
H1	0-5	Franco arenosa. Fragmentaria, horizonte homogéneo, tierra fina más que agregados.	1	4	3	4.87	Rastrojos y vegetación abundantes, muy poroso.
H5	5-20	Arena compacta, tierra fina más que agregados. Límite de transición bien definida.	3	3	3	3.26	Trabajo del suelo bien marcado, por residuos vegetales enterrados a 11 cm de profundidad.
P1	20-27	Arena compacta, límite inferior ondulado. Grava superior o igual a arena.	3	3	2-3		No existen residuos vegetales.
P2	27-42	Horizonte masivo, muy homogéneo, con arcilla y arena con incrustaciones de grava y cascajo.	5	2	1	>6.51	
P3	>42	Nivel casi continuo de piedras.	5	2	1		

Fig. 1. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL G EN PATACAMAYA



ANEXO IV

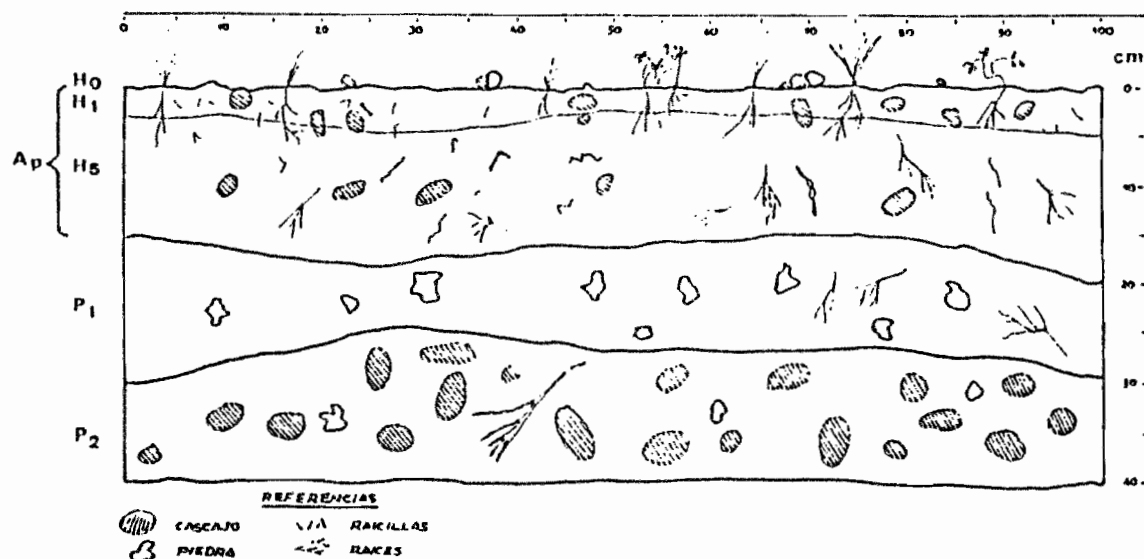
Patacamaya: 02/06/90

FICHA 2

Perfil P

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA	HUMEDAD	POROSIDAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.		4				Posterior a una precipitación de 11 mm.
H1	0-4	Areno francosa. Fragmentaria con agregados pequeños, abundante cascajo y tierra fina; horizonte homogéneo.	4	2	4		Frente de humectación claro con un espesor de 10-13 cm.
H5	4-17.5	Franco arenosa. En masa, con arena compactada bastante homogénea; cascajo y sin piedra.	2	2	4	>0.49	Gradiente de humedad en profundidad hasta dos con el límite inferior. No hay materia orgánica.
P1	17.5-27.5	Arena suelta con cascajo y piedras (homogéneo).	0	2	2	>0.49	Capa greda arcillosa con fragmentos cascajosos por debajo de los 25 cm.
P2	>27.5	Nivel continuo de piedras.					

Fig. 2. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL P EN PATACAMAYA



ANEXO V

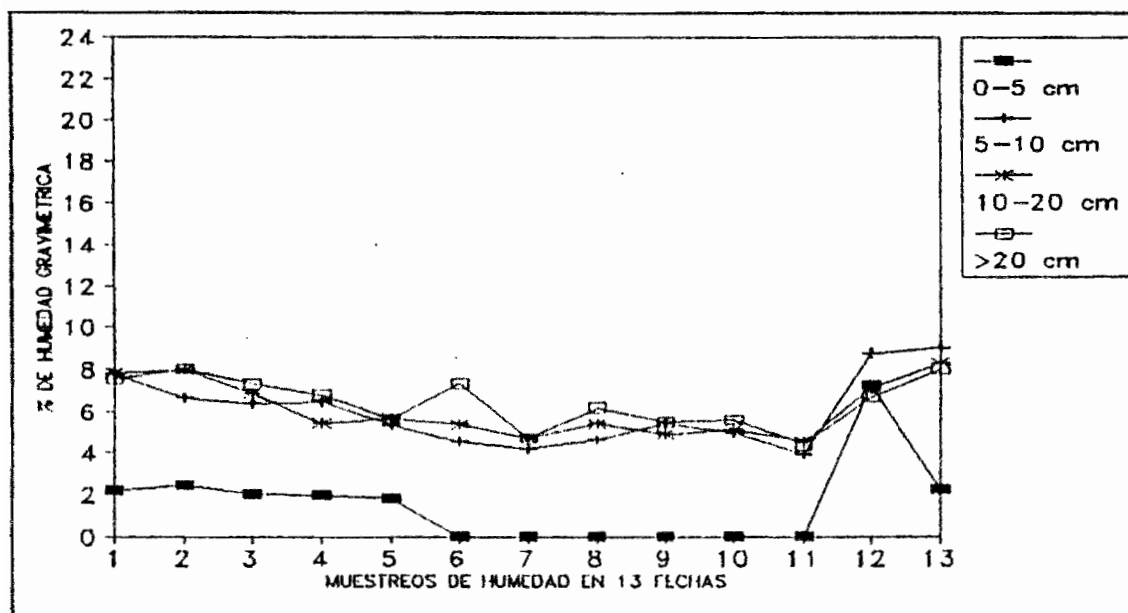


Fig. 1a. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR2-PR1 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

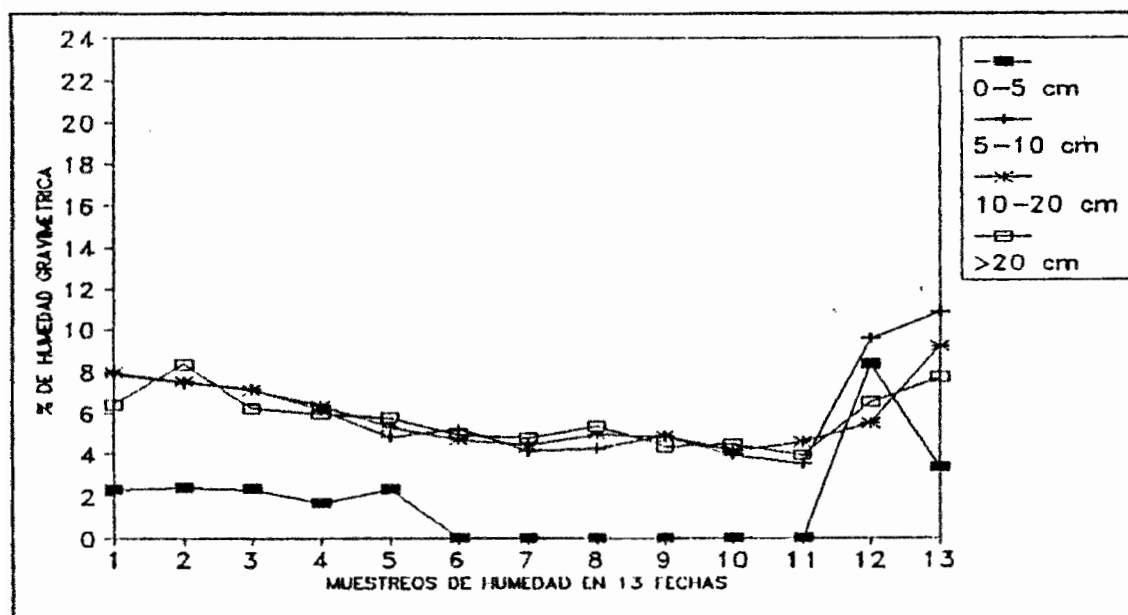


Fig. 1b. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR2-PR2 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

ANEXO V

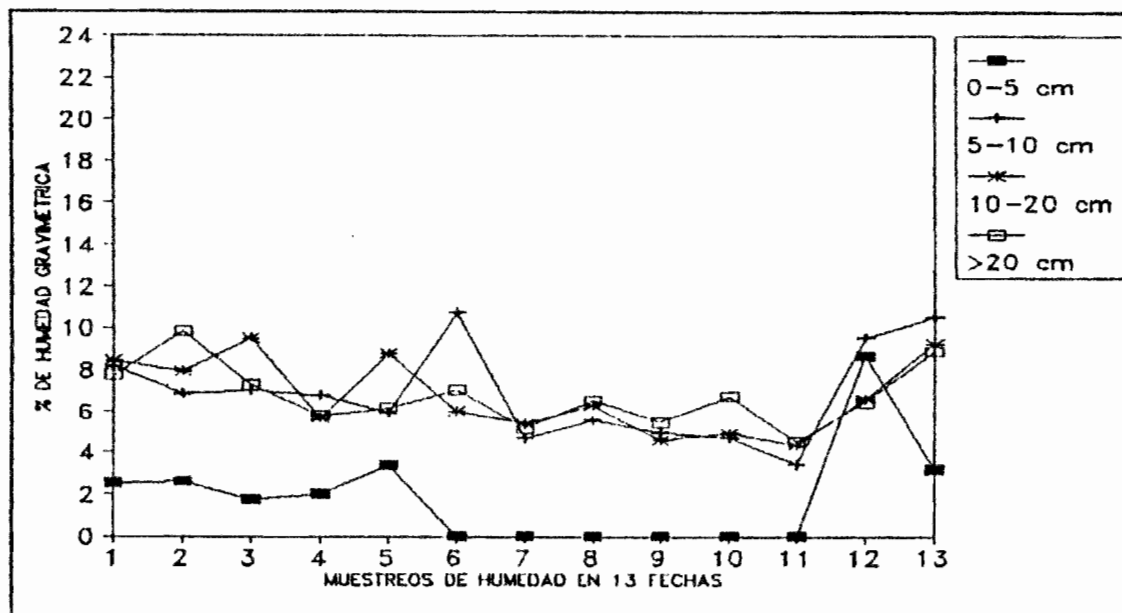


Fig. 2a. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR3-PR1 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

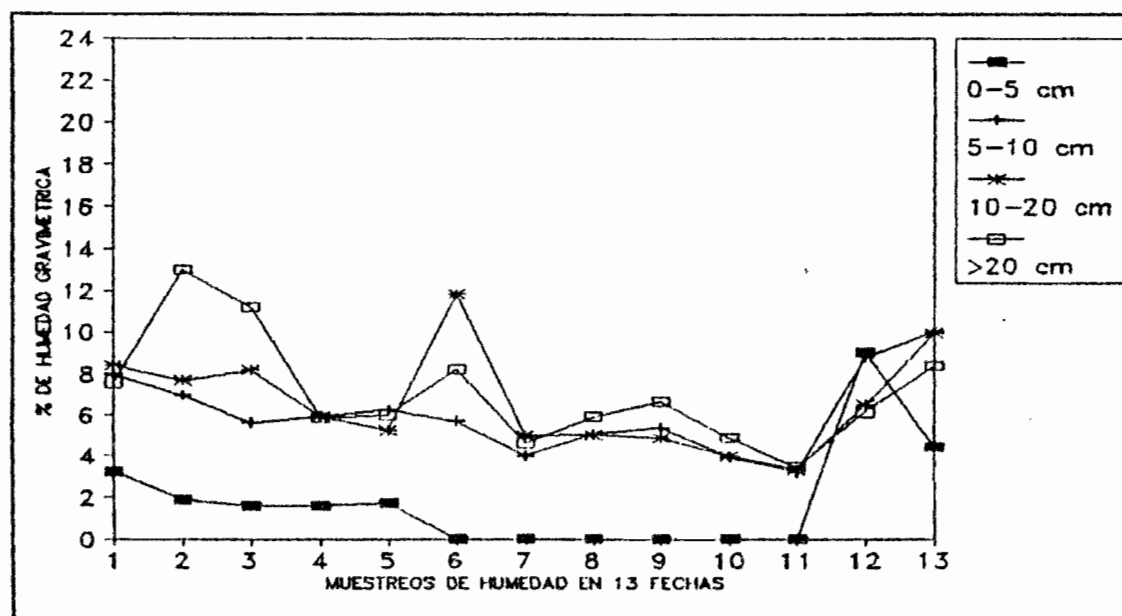


Fig. 2b. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR3-PR2 EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

ANEXO V

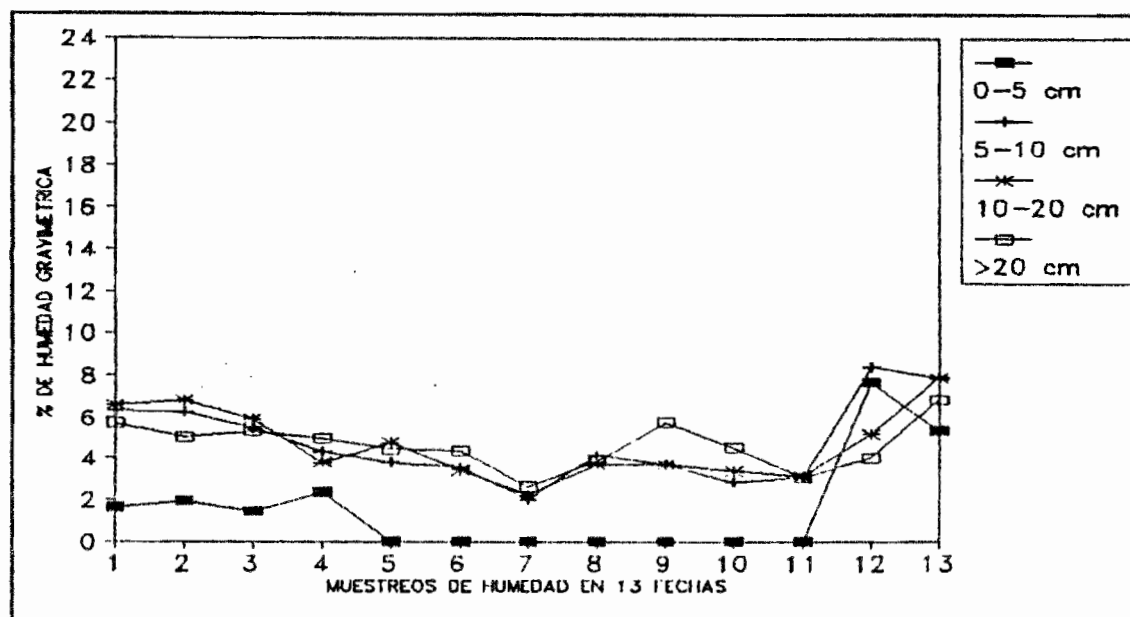


Fig. 3. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA TØ EN TEXTURA FRANCO ARENOSA

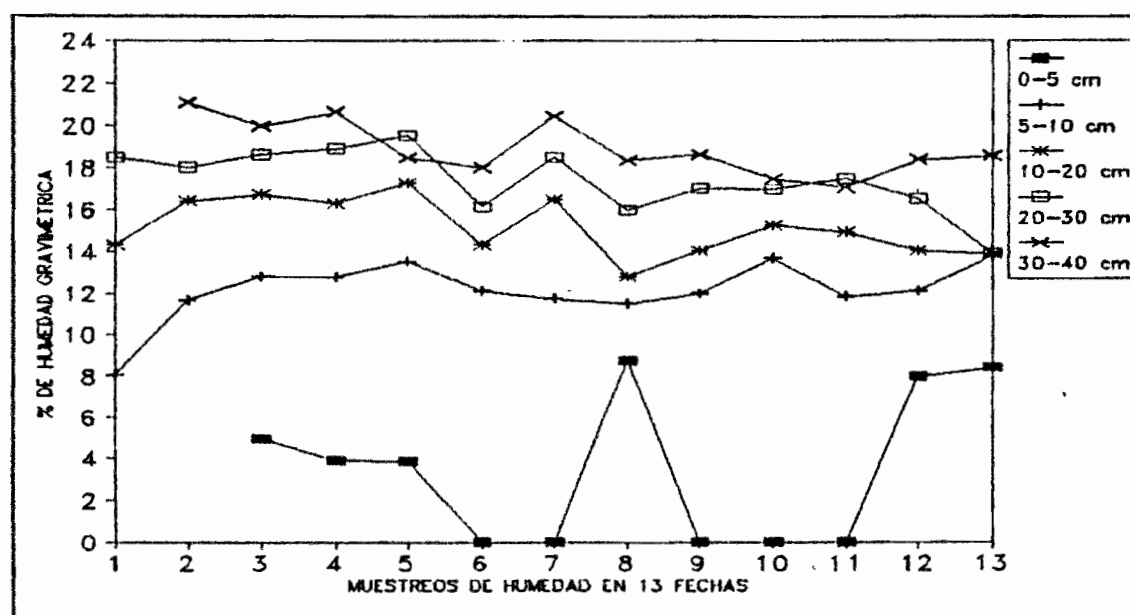


Fig. 6. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA TØ EN TEXTURA FRANCA

ANEXO V

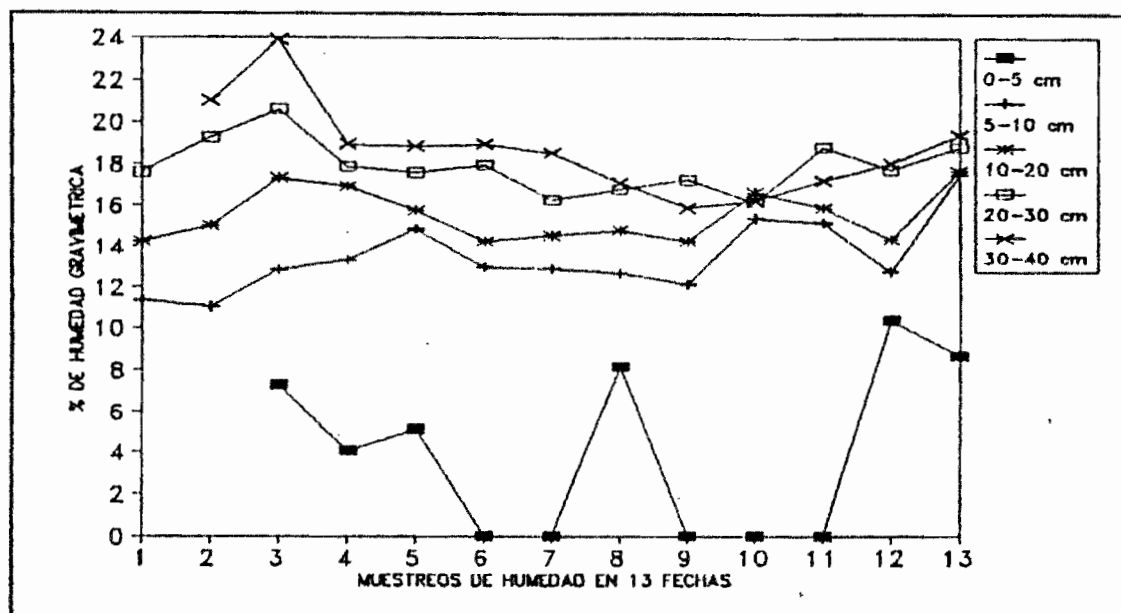


Fig. 4a. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR2-PR1 EN TEXTURA FRANCA

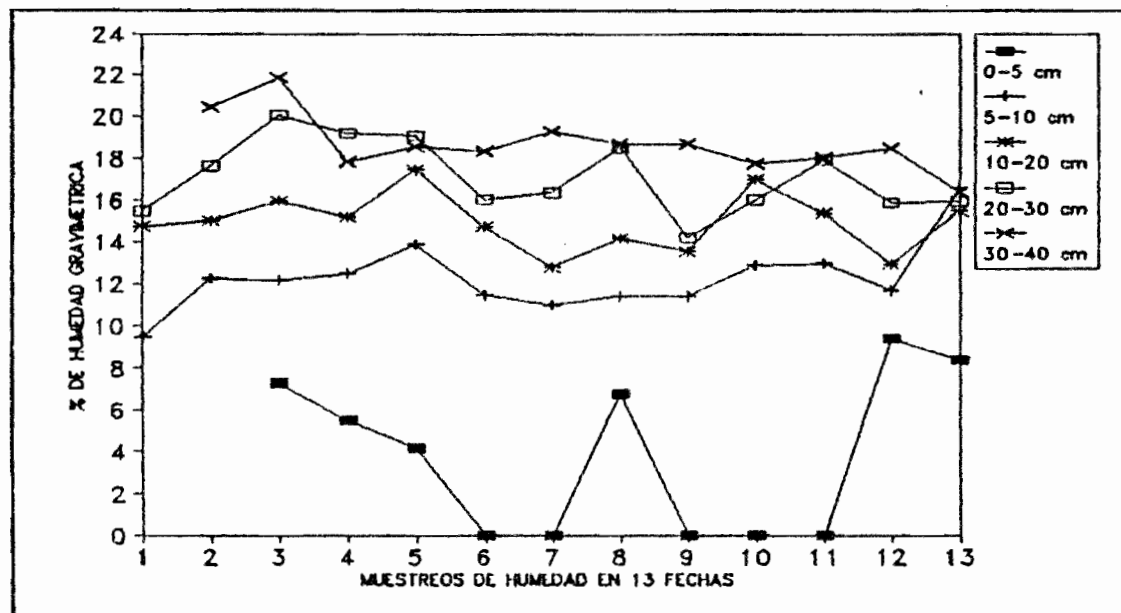


Fig. 4b. DINAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR2-PR2 EN TEXTURA FRANCA

ANEXO V

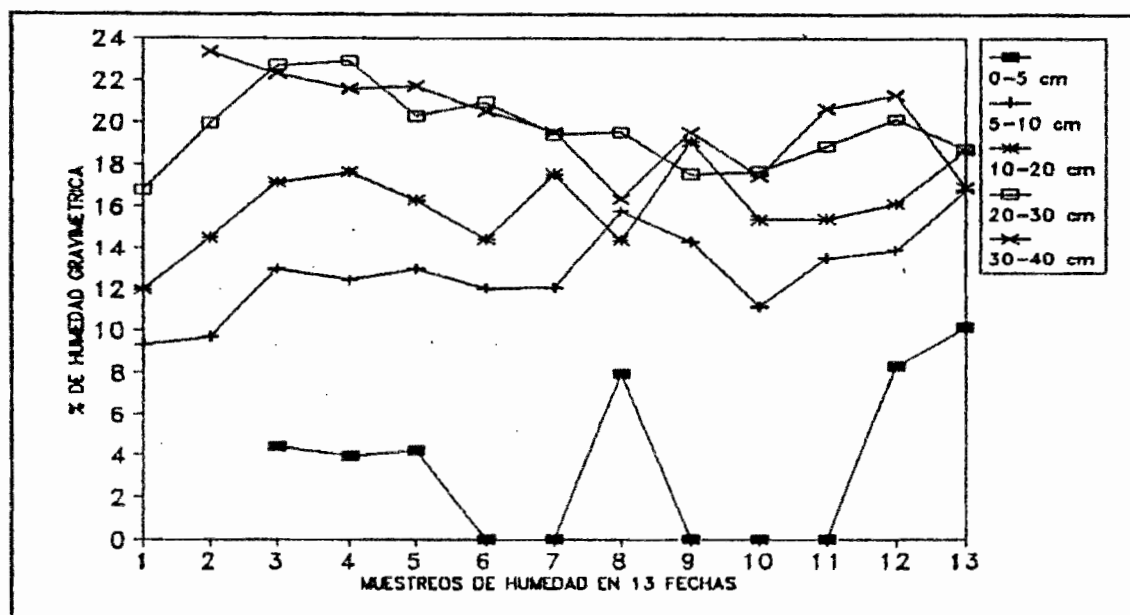


Fig. 5a. DYNAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR3-PR1 EN TEXTURA FRANCA

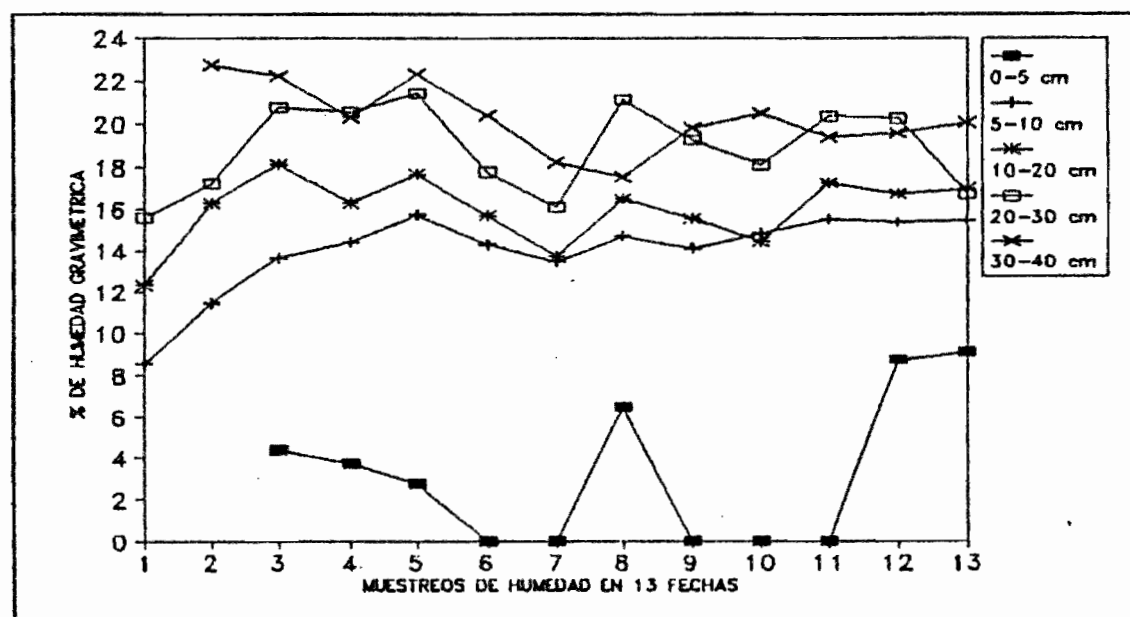


Fig. 5b. DYNAMICA DEL AGUA ALMACENADA PARA HR3-PR2 EN TEXTURA FRANCA

ANEXO VI

Lámina 1 RESULTADO DE LA LABOR EN HR1-PR1 (TEXTURA FRANCO ARENOSA)

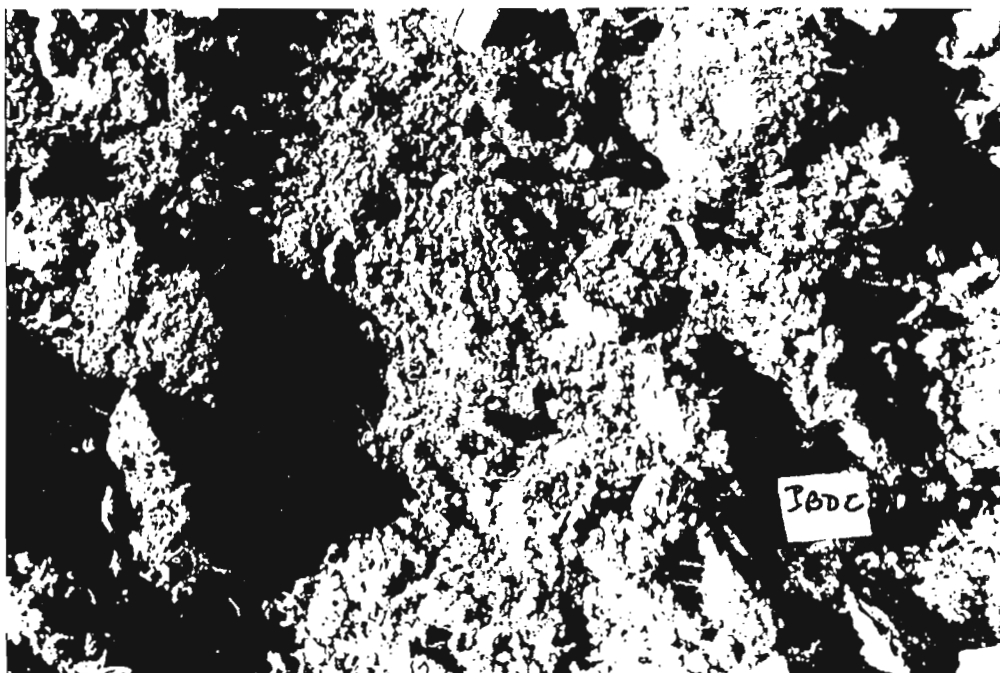
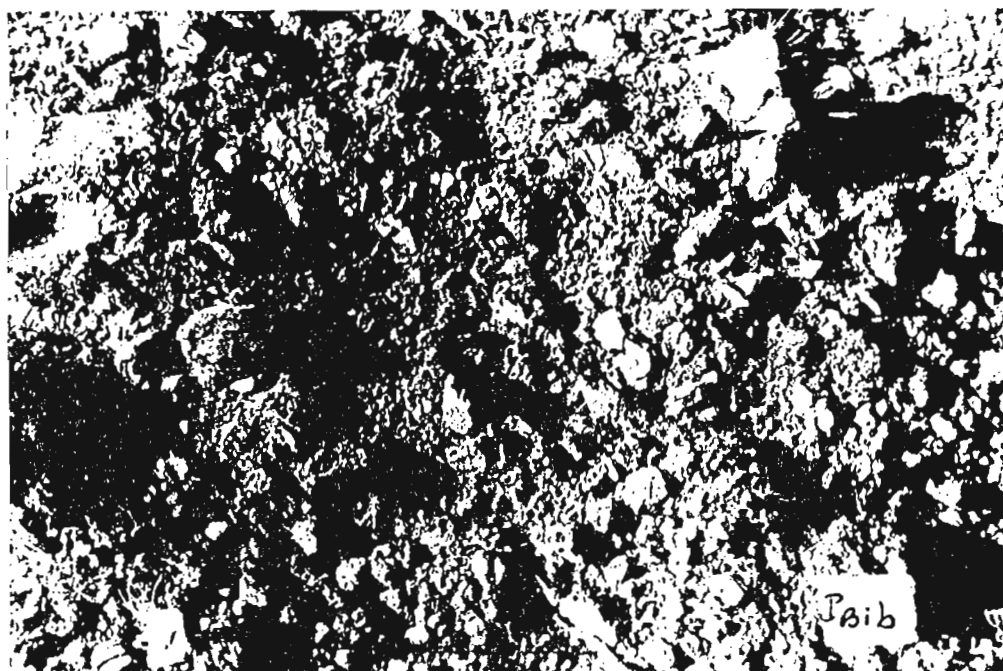


Lámina 2 RESULTADO DE LA LABOR EN HR1-PR2 (TEXTURA FRANCO ARENOSA)

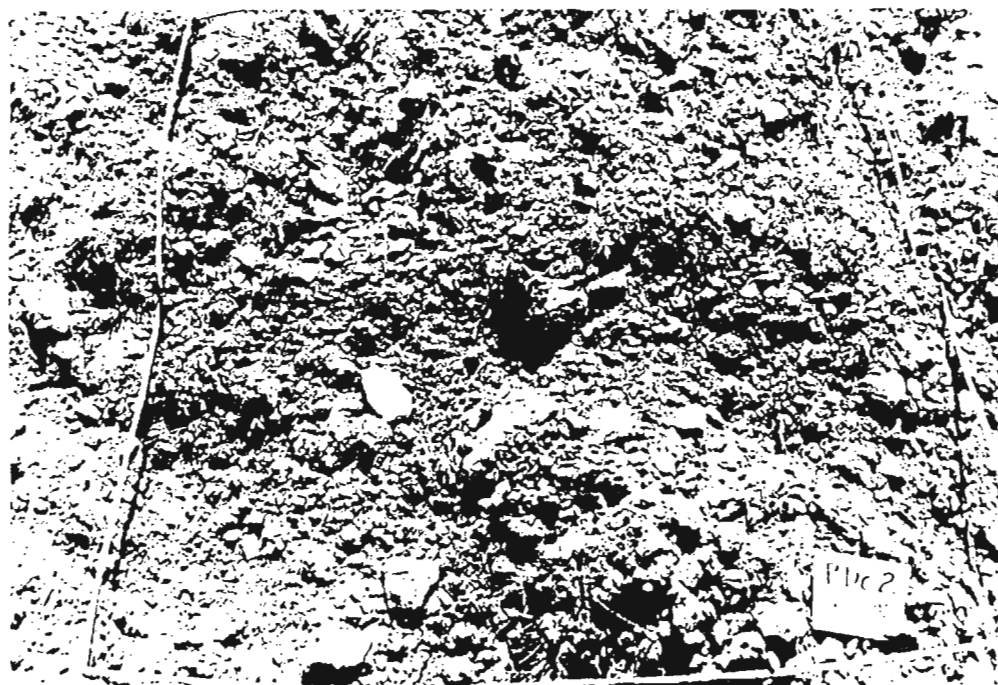


ANEXO VI

Lámina 3 RESULTADO DE LA LABOR EN HR3-PR1 (TEXTURA FRANCO ARENOSA)



Lámina 4 RESULTADO DE LA LABOR EN HR3-PR2 (TEXTURA FRANCO ARENOSA)

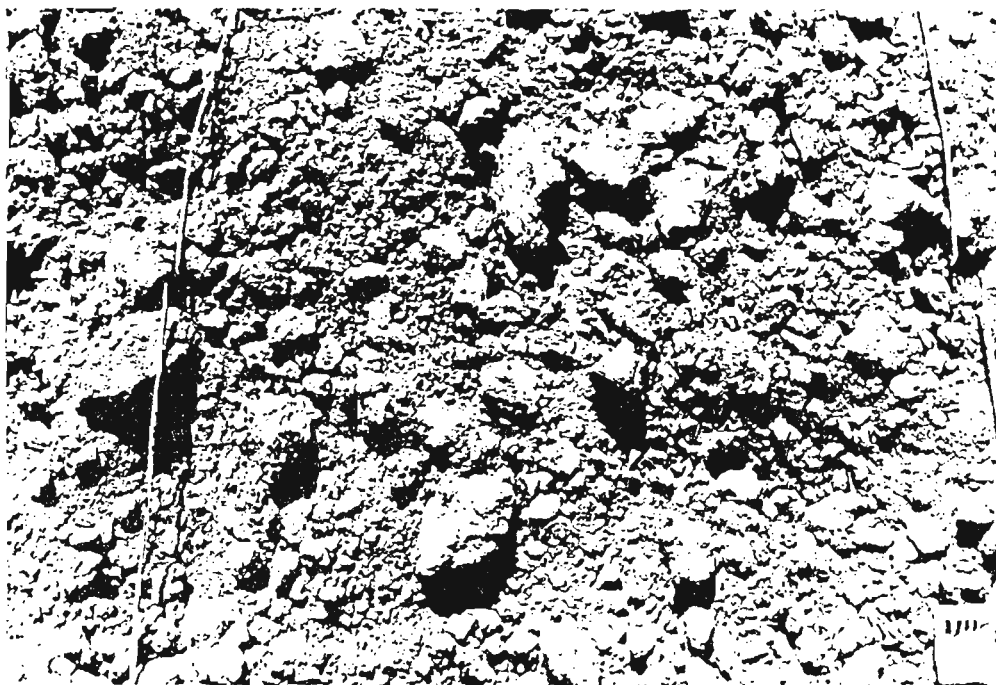


ANEXO VI

Lámina 5 RESULTADO DE LA LABOR EN HR1-PR1 (TEXTURA FRANCA)



Lámina 6 RESULTADO DE LA LABOR EN HR1-PR2 (TEXTURA FRANCA)

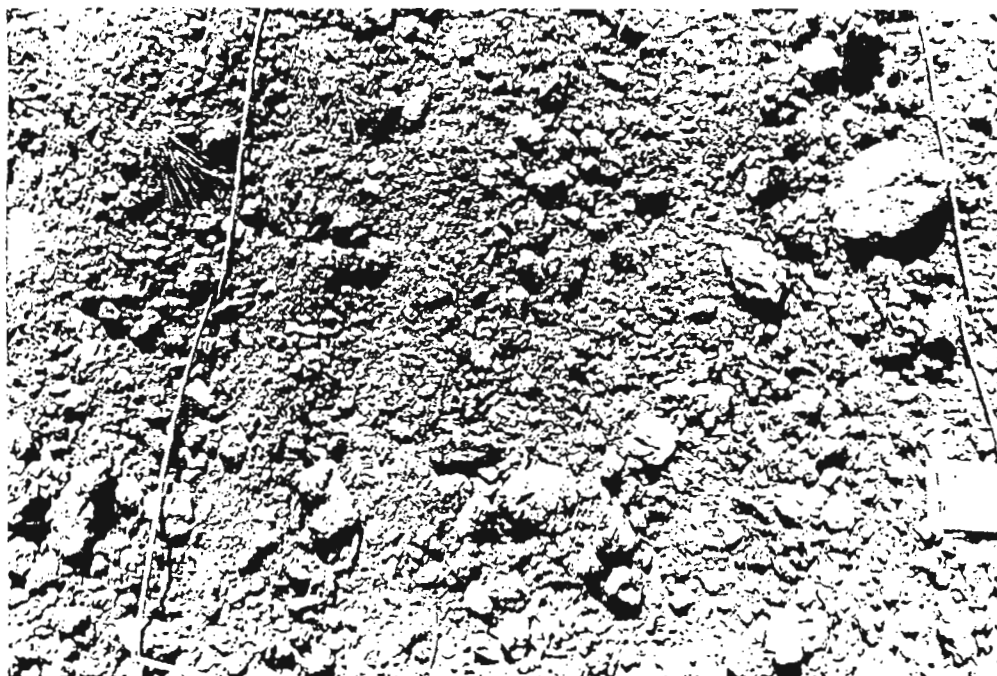


ANEXO VI

Lámina 7 RESULTADO DE LA LABOR EN HR3-PR1 (TEXTURA FRANCA)



Lámina 4 RESULTADO DE LA LABOR EN HR3-PR2 (TEXTURA FRANCA)



ANEXO VII

Patacamaya: 29/08/90

FICHA 1

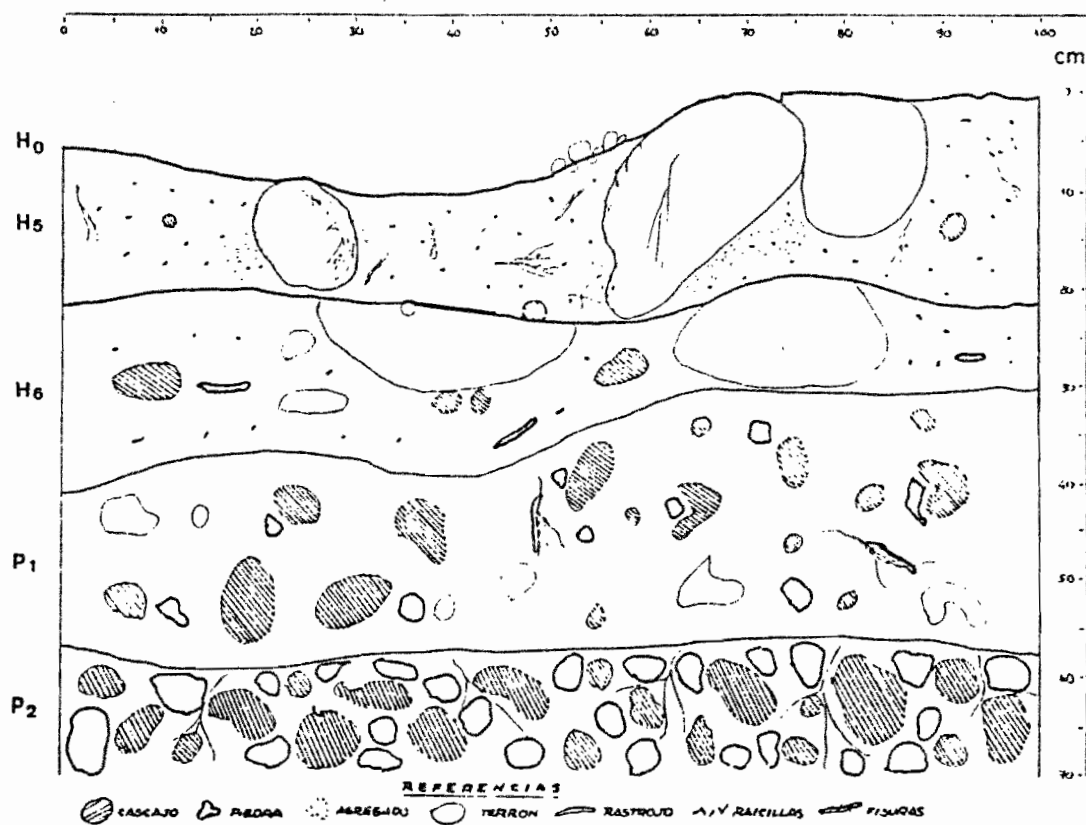
Perfil HR1-PR2

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (Kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.	Arenosa. Costra rojiza de arena fina acumulada en el microrelieve.					
H5	0-22	Franco arenosa. Horizonte fragmentario con vacíos de tierra fina, sin agregados estructurales, arena roja gruesa. Algunas piedras de aprox. 5 cm de diámetro.	3	4	4		Contenido de residuos vegetales y animales que provienen del pastoreo.
H6	22-35	Franco arenosa. Sin estructura. Horizonte pedregoso, arena gruesa pardo rojizo. Piedras pequeñas de sílex planas.	2	3		3.09 terr. 4.23 inter terr.	Terrones >10 cm de diámetro.
P1	35-57	Nivel de piedras y arena gruesa con las proporciones siguientes: de 5 a 10 cm en 50%, de >3 cm en 30%, y arena gruesa en 20%.	0	2	2	6.51	Conglomerado de piedras color rosado a rojo, nivel casi continuo de piedras. Concreciones negras y greda roja entre las piedras, raíces en las fisuras.
P2	>57	Presencia de greda rojiza entre las piedras y cascajo.	0	2	1		Presencia de raíces entre las fisuras en las caras de las piedras.

ANEXO VII

Fig. 1. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR1-PR2
EN TEXTURA FRANCO ARENOSA (29-08-90)

Esc. Aprox. 1 : 8



ANEXO VII

Patacamaya: 31/08/90

FICHA 2

Perfil HR3-PR1

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.	Arenosa. Terrones superficiales alisados.					
H5	0-17.5	Franco arenosa. Muy modificado por trabajo superficial. Terrones en superficie de 3.5 a 5 cm menor a tierra fina incluyendo ichu.					Rastros de huellas de las llantas del tractor por compresión post-labor. Fondo de labor muy irregular difícilmente evidente.
H6	17.5-20	Franco arenosa. Agregados de 1.2 a 3.5 cm de diámetro menos que tierra fina. Fragmentario y con numerosos vacíos.					
P1	20-35	Franco arenosa en estructura masiva, poco cascajo de 1-2 cm de diámetro. Límite neto muy variable.	1	2		2.93 a 5.70	Porosidad muy reducida, raicillas y raíces gruesas de crecimiento lateral.
P2	>35	Arcillosa. Estructura prismática columnar, agregados de arcilla de 3 a 5 cm de diámetro, ocre rojizo con greda compacta.	3-4	2	1	5.54	Manchas amarillas y anaranjadas; concreciones negras abundantes. Piedras redondas de sílex y cascajo de 5 cm de diámetro (30% del volumen total).

ANEXO VII

Fig. 2. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR3-PR1
EN TEXTURA FRANCO ARENOSA (Esc. Aprox. 1 : 8)

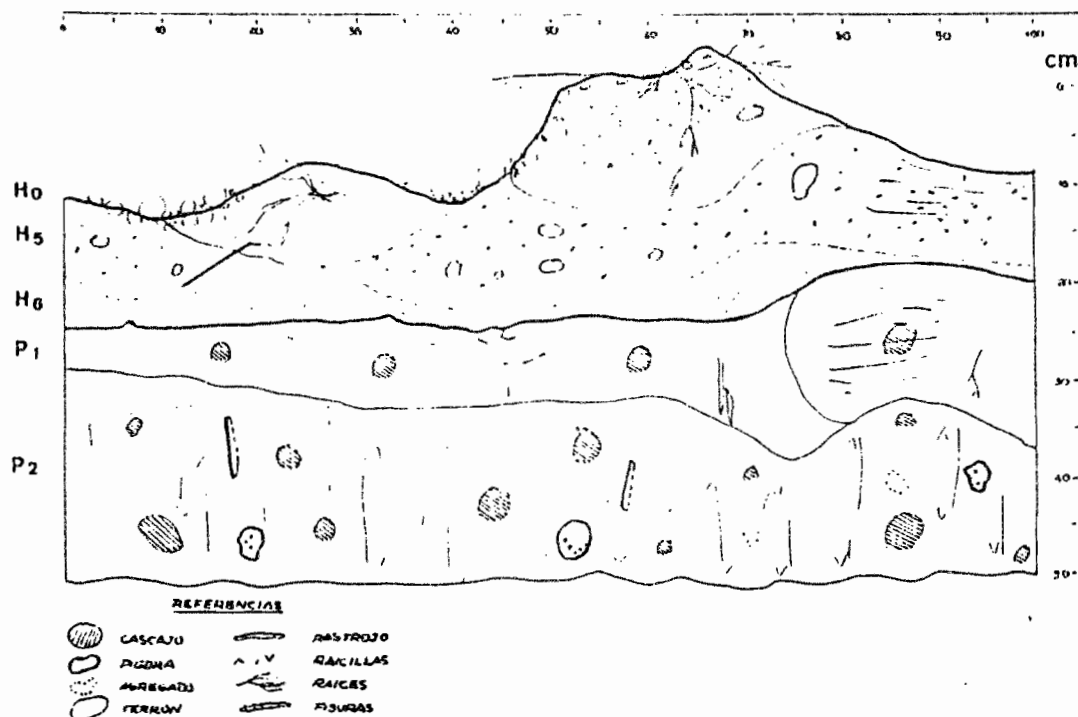
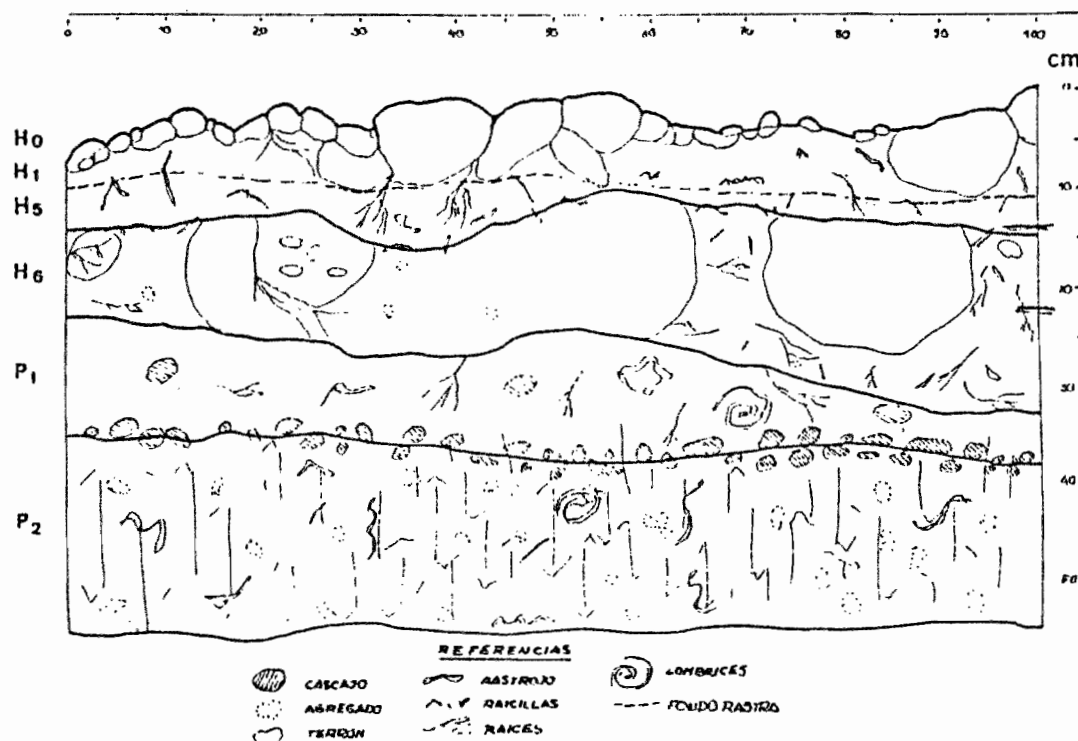


Fig. 3. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL HR1-PR2
EN TEXTURA FRANCA (Esc. Aprox. 1 : 8)



ANEXO VII

Culta: 23/08/90

FICHA 3

Perfil HR1-PR2

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS. DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0-H1	Superf. y 0-5	Limosa. Terrones su- perficiales abundantes de 5-10 cm de diámetro.					Terrones secados antes del paso de la rastra, que solo seleccionó es- tos terrones.
H5	5-15	Limo arcilloso. Frag- mentario, tierra fina debajo de terrones su- perficiales, amarillo claro, sin cascajo.	1	3	4	0-6.51	Estratificación horizon- tal en el límite infe- rior derecho, presencia de rastrojo.
H6	15-20	Limo arcilloso. BSA, presencia de terrones producidos en una rotu- ración anterior descan- sando en el fondo de labor.	4 terr. 3 inter terr.	3	3	4.40 terr. 2.44 inter terr.	Actividad de lombrices, rastros en proceso de descomposición, lí- mite inferior muy irre- gular.
P1	28-36	Limo arcilloso negro claro a amarillento, presencia de cascajo de 2 cm de diám., evidente aptitud a la fisuración	2	2	2	>5.54	Poca actividad de lom- brices, concreciones ferruginosas ocre negro
P2	>36	Limo arcilloso. Estructura prismática columnar, sin cascajo fisuras verticales, a- gregados de 5 cm de diámetro.	3	2	1	2.7	Límite superior casca- joso, profundidad irre- gular. Similar al otro subtratamiento.

ANEXO VII

Culta: 23/08/90

FICHA 4

Perfil HR3-PR1

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA ESTRUCTURA COLOR	HUMEDAD	POROSI- DAD	DENS.DE RAICES	COHESION (kg/cm ²)	OBSERVACIONES
H0	Superf.	Limo arcilloso. Terrones superficiales de 3-5 y 10 cm de diám. no retocados por rastra					Agregados muy coheren- tes
H1-H5	0-15	Limo arcilloso. Hori- zonte fragmentario con tierra fina (60%) mayor que agregados (40%), numerosos vacíos.	0	3	4	0	Presencia de materia orgánica.
H6	15-28	Horizonte limo arcillo- so muy oscuro, arena muy compacta y más den- so que en P1.	2	2	3	2.49 a 4.89	Límite neto entre H6 y P1.
P1	28-55	Horizonte limo arcillo- con fuerte macroporo- sidad, por actividad de lombrices.	3	2	3	3.75	Abundante fisuración, raíces finas y gruesas.
P2	>55	Nivel continuo de pie- dra y cascajo de 2-5cm y entre 5-10cm de diám. arena blanquesina con arcilla.	1	2	0	2.54	Límite neto y muy irre- gular.

ANEXO VII

Fig. 4. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PERFIL CULTURAL
HR3-PR1 EN TEXTURA FRANCA

Esc. Aprox. 1 : 8

