

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los suelos como base natural de la agricultura y los bosques han tomado gran importancia en los últimos años debido al incremento de la población mundial que supera el crecimiento de la producción agropecuaria. Ante la exigencia mundial por alimento y el limitado crecimiento de la frontera agrícola, se vuelcan las miradas hacia los suelos actualmente agrícolas y a los problemas de degradación que los afectan debido al manejo y uso deficiente que provocan el decrecimiento de la productividad día tras día.

Entre los factores que provocan la degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación del suelo.

Según la FAO (2005) 83 millones de hectáreas de tierras agrícolas a nivel mundial están afectadas por procesos de degradación física causados por la compactación los cuales deben ser corregidos porque se acentúan constantemente y causan la disminución de los rendimientos en la producción.

Entre los procesos de degradación física de los suelos, la compactación es uno de los mayores problemas que afecta la agricultura mundial principalmente en Centro y Sudamérica debido al mal manejo que se le da a los suelos.

La compactación del suelo se refiere a la pérdida de volumen (porosidad) que sufre el suelo debido a fuerza externas que actúan sobre él; en campos agrícolas esas se acentúan y se deben principalmente a los implementos de labranza, a los neumáticos de maquinarias e implementos de arrastre y al pisoteo de animales.

La compactación de suelos reduce los rendimientos de los cultivos debido a la disminución del volumen de suelo explorado por las raíces ya que impide su normal crecimiento al reducir la presencia de macro poros, una disminución de los haces vasculares y el impedimento de la emergencia de las plántulas; además de endurecer el suelo lo que requiere el uso de maquinaria de mayor potencia elevando los costos de producción,

disminuye la infiltración y favorece la erosión del suelo además de disminuir los espacios para aire en el suelo lo que al permanecer los suelos saturados con agua por un largo periodo de tiempo causan la asfixia radicular y muerte de los cultivos.

Debido a lo complicado y moroso que resulta recuperar un suelo degradado por compactación sin contar con los altos costos que demanda disminuir la compactación del suelo, la determinación oportuna e identificación de procesos de compactación en suelos agrícolas es fundamental para tomar medidas preventivas y evitar este proceso que avanza progresivamente o tomar medidas de corrección oportunas antes de que se agrave el problema y se incrementen los perjuicios económicos para los productores

Si bien el Centro Experimental de Chocloca (CECH) un espacio destinado a la investigación y experimentación tanto agrícola como pecuaria, posee pocos trabajos sobre procesos de degradación (como el de Torrez 2006) en sus suelos destinados por muchísimos años al uso agrícola y pecuario donde se trabaja mediante la utilización de maquinaria agrícola. El presente trabajo está orientado a profundizar y abordar desde diferentes metodologías y no solo a través de las tradicionales mediciones de Densidad aparente y Densidad de partícula, el principal proceso de degradación física de los suelos “la compactación” y así poder determinar medidas de manejo preventivas o en su caso medidas de corrección de este problema para disminuir los efectos negativos que representan este problema.

En este trabajo este trabajo se desarrolló un diagnóstico preciso y confiable de acuerdo con las diferentes unidades a nivel de elementos de paisaje identificadas en el CECH; para minimizar las posibilidades de error, a las tradicionales mediciones de densidad aparente y resistencia a la penetración se adicionaron mediciones de infiltración, perfil cultural, perfil de penetrometría y perfil de crecimiento radicular para una mejor interpretación del proceso de compactación.

Como resultado final del estudio se presenta la información en forma sencilla y de fácil comprensión, para los diferentes usuarios ya sean estudiantes, tesistas, productores, administración del CECH, etc.

El presente trabajo constituye un importante aporte al conocimiento del estado de degradación que afrontan los suelos del CECH, para evitar futuros problemas y complicaciones; replantear las estrategias de manejo para hacer un buen uso del recurso suelo y contribuir como base de información para mitigar la degradación física en los suelos no solo del CECH sino así también de la región.

PROBLEMA.-

El problema de la degradación de tierras agrícolas a nivel mundial, clama por soluciones y nuevas técnicas y tecnologías que vayan a favorecer una agricultura sostenible sobre suelos sostenibles.

La FAO (2005) indica que del total de 1475 millones de hectáreas que son utilizadas a nivel mundial para la agricultura de las cuales 553 millones de hectáreas se encuentran degradadas por intervención humana, lo cual equivale a que cerca del 37% del área intervenida por el hombre tiene algún problema de degradación. A nivel del Continente Americano, en Norte América el 27% de las tierras dedicadas a agricultura están degradadas, en Centro América el 74% y Sur América el 45%.

De los problemas de degradación física, se tienen 83 millones de hectáreas de tierras agrícolas a nivel mundial afectadas por la compactación que deben corregirse, porque esta crece constantemente y causan fuertes decrementos en los rendimientos de los cultivos. La cantidad de hectáreas afectadas por este problema puede ser mucho mayor porque existen pocas evaluaciones alrededor de este problema debido a que en muchos países principalmente en procesos de desarrollo no se realizan este tipo de evaluaciones sobre los suelos lo cual podría ser una importante causa de los bajos rendimientos que alcanzan sus cultivos. La compactación de suelos agrícolas tiene serios impactos económicos y ecológicos y es uno de los mayores problemas que enfrenta la agricultura mundial.

La compactación es un problema mundial que día tras día se va acentuando sobre los suelos a nivel mundial y si no se dispone de información fidedigna para afrontar o evitar este problema este problema avanza como un cáncer sobre los suelos e incrementa significativamente los costos de producción; siendo lentas y costosas las labores o medidas

para revertirlo, por lo que es indispensable contar con este tipo de información en un centro de investigación universitaria donde el manejo de los suelos se lo realiza mayoritariamente mediante la utilización de maquinaria, para tomar medidas preventivas y corregir este problema y evitar que se agrave perjudicando la producción del CECH.

De acuerdo con Torrez (2006) existen procesos de compactación en los suelos del CECH, por lo cual es indispensable la realización de un estudio actualizado y de mayor precisión mediante la utilización de diferentes metodologías para identificar y corregir este problema.

JUSTIFICACIÓN

Debido a que no se cuentan con datos precisos y actualizados sobre el grado de compactación que presentan los suelos agrícolas en la región; en la actualidad los productores agropecuarios descompactan el suelo en forma preventiva, con diferentes implementos mecánicos y muchas veces sin ningún diagnóstico previo. Los resultados son confusos y a veces contraproducentes.

En el CECH un centro de investigación agrícola y pecuaria con muchísimos años de trabajo sobre sus suelos y la aplicación de maquinarias agrícolas para labranzas convencionales, presenta diferentes tipos de suelos los cuales presentan diferentes niveles de compactación, que no se encontraban claros ni actualizados; siendo la compactación uno de los principales problemas de degradación física que se presentan en los suelos a nivel mundial (y en la mayoría de los suelos agrícolas de Sudamérica) que afectan significativamente la producción agropecuaria.

Es indispensable contar con información confiable sobre este proceso de degradación en los suelos de un centro de investigación para así tomar medidas preventivas o medidas correctivas para disminuir los efectos de esta sobre los suelos de la zona.

El conocimiento del grado de compactación del suelo nos permite planificar el uso adecuado del suelo y el manejo adecuado para la maquinaria agrícola, así como también sus limitantes; además nos permite implementar a tiempo medidas correctivas y así disminuir los efectos y evitar pérdidas económicas y la incrementación de los costos de producción.

Siendo la compactación de los suelos uno de los principales limitantes de la producción a nivel mundial además de ser un problema muy difícil de corregir sin mencionar los elevados costos que implica recuperar un suelo afectado por este problema, es indispensable que un centro de investigación cuente con un análisis diagnóstico referente al grado de compactación que existe en cada una de las unidades fisiográficas del CECH, para así poder identificar las unidades que presenten este problema e implementar prácticas para restauración de la porosidad del suelo y recuperación de los mismos; así también tomar medidas preventivas sobre las unidades que no presentan o presentan grados bajos de compactación para evitar la degradación de estos suelos, y prevenir futuros problemas de compactación.

OBJETIVOS

Objetivo General.-

Evaluar los procesos de degradación Física de los suelos del Centro Experimental de Chocloca (CECH); para mejorar el manejo de los mismos.

Objetivos Específicos.-

1. Determinar la Densidad aparente, Densidad real, Porosidad, e Infiltración del suelo, para identificar la presencia de compactación en los suelos y sus efectos.
2. Determinar el perfil de penetrometría, el perfil de aradura y el perfil de crecimiento radicular; para identificar el área de influencia de los implementos agrícolas o capa arable y las barreras o resistencias a la penetración que existen en el suelo como síntomas de compactación.
3. Proponer medidas de manejo preventivas o correctivas para mejorar el manejo de los suelos del Centro Experimental de Chocloca.

Hipótesis.-

- Los suelos del Centro Experimental de Chocloca presentan mayor grado de compactación mientras más intensivo sea su uso.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO O REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta revisión bibliográfica pretende analizar los conceptos e indicaciones que hagan referencia a las bases tanto teóricas como prácticas que dan pie a este trabajo y permitan una mejor comprensión del mismo.

1. Definición de Términos

1.1. Compactación

Se conoce como compactación al proceso de aumento de la densidad aparente del suelo, como respuesta a la aplicación de una fuerza externa (Bowen, 1981). El aumento en la densidad aparente es función de la fuerza aplicada y del contenido de humedad del suelo (Amézquita et al., 1997).

La principal fuente de pérdida de rendimiento en agricultura es la compactación del suelo, ya que evita la penetración de la humedad, reduce la eficacia de fertilizantes químicos y entorpece el crecimiento de la raíz de las plantas. A veces, las pérdidas de rendimiento por compactación pueden llegar a 30%. (Spectrum Technologies, Inc. 2015.)

El adensamiento es una forma de compactación en la cual se reduce la porosidad y se pierde la estructura debido al excesivo uso de implementos en las labores agrícolas. (Amezquita, 1999)

1.2. Densidad Aparente

La densidad aparente (D_a) es definida como la masa del suelo seco dividida por la unidad de volumen del suelo seco. Este volumen incluye tanto el volumen de las partículas del suelo como el de los espacios porosos. (Brady, 2013)

1.3. Densidad Real o de Partícula

La densidad de partícula (D_p) es definida como la masa del suelo seco dividida por la unidad de volumen de los sólidos del suelo. No incluye el volumen de los espacios porosos. Para la mayoría de los suelos minerales varía de 2.60 a 2.75 gr/cm³ por lo que se toma como media 2.65gr/cm³ cuando no se posee este valor. (Brady, 2013)

1.4. Porosidad

La porosidad se define como el espacio que existe entre las partículas minerales del suelo que puede ser ocupado por el aire o por el agua. La porosidad es inversamente proporcional a la densidad aparente cuanto menor sea ésta mayor será el espacio poroso del suelo. (Brady, 2013)

La porosidad puede ser determinada a partir de la densidad real y la densidad aparente a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad \%} = 100\% - ((D_r/D_p) \times 100)$$

La porosidad ideal para un suelo agrícola varía de un 45 a 50%, valores menores a 35% evidencian problemas de compactación en los suelos. (Brady, 2013)

1.5. Infiltración.

Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él.

Ésta es afectada por: la textura, estructura, contenido de materia orgánica, profundidad del suelo, contenido de humedad en el suelo, temperatura del suelo, densidad aparente, porosidad, etc. (Cisneros, 2003)

1.6. Perfil de Penetrometría

El perfil del penetrómetro describe la resistencia a la penetración que manifiestan los suelos expresada en PSI/cm² para cada centímetro del perfil completo a medida que el penetrómetro desciende por el perfil brindando datos a diferentes profundidades. (Rodríguez, 2009.)

Los valores mínimos de resistencia a la penetración (RP) ocurren cuando el suelo tiene los máximos contenidos de humedad. A medida que el suelo se seca, la RP aumenta exponencialmente hasta alcanzar un valor máximo que ocurre en niveles de humedad del orden de 1 a 3 % en peso.

El incremento en la RP debido al secado del suelo es tanto más marcado cuanto mayor es la densidad aparente. Un incremento en la densidad del suelo implica una disposición más apretada de sus partículas constituyentes, lo que determina una elevada fricción interna del suelo. La distribución del tamaño de partículas o textura de un suelo es otro factor importante en la determinación de la RP. Debido a su muy alta cohesividad, los suelos arcillosos desarrollan niveles de RP sumamente altos (Martino, 1994).

1.6.1. Penetrómetro Fieldscout SC900

El Penetrómetro Fieldscout SC900 mide y registra en forma digital la compactación de su suelo rápida y efectivamente.

Este penetrómetro digital es un instrumento fácil y poderoso para medir, registrar y analizar la compactación del suelo en sus campos. Un sensor sónico exclusivo de profundidad proporciona las lecturas de la profundidad en incrementos de 2.5 cm (1") y una celda de carga mide la resistencia a la penetración. La longitud de su vástago de penetración es de 70cm. Los datos de compactación se leen en forma digital en PSI o kPa. Un registrador incorporado elimina la necesidad de registrar los datos manualmente. Compatible con GPS

para mapeos de compactación. El software incluido permite bajar los datos a una PC y configurar el aparato.

Algunas de las características de este medidor:

- Pulsador que permite revisar las lecturas tomadas.
- Pantalla digital que refleja las lecturas en kPa.
- Pulsador que permite revisar las lecturas tomadas.
- Avisador acústico cuando la penetración en el suelo es demasiado rápida.
- Diseño según las normas ASAE (Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos).
- Placa guía para facilitar la inserción. (Spectrum Technologies, Inc. 2015.)

1.7. Perfil de Aradura

Perfil de aradura o perfil cultural (PC) es el conjunto constituido por la sucesión de las capas de tierra individualizadas por la intervención de los implementos de labranza, el comportamiento de las raíces vegetales y la influencia de los factores naturales (clima). Es una herramienta para elaborar diagnósticos y pronósticos del sistema suelo-planta, útil para la toma de decisiones productivas. (Sosa, 2010)

El método del perfil cultural permite por una parte, dilucidar el origen del estado del perfil y realizar un diagnóstico sobre los efectos de distintos sistemas de cultivo y por otra caracterizar un estado físico para estudiar su efecto sobre el funcionamiento del cultivo. (Manichon, 1987)

Es una excelente herramienta para un mejor entendimiento de las modificaciones del suelo bajo cultivo en el estudio de las relaciones suelo-maquina-planta-clima principalmente cuando esta complementado con otras medidas físicas. (Battista, 1993)

1.8. Perfil de Crecimiento Radicular

El perfil de crecimiento radicular, es la proliferación y desarrollo de las raíces de los cultivos sobre el perfil de suelo, donde se puede identificar el comportamiento radicular de los cultivos a diferentes profundidades del perfil; permitiendo conocer o identificar barreras que dificulten el crecimiento radicular e identificar problemas físicos que distorsionan el comportamiento de las raíces. (Avilan, 1979.)

2. Origen de la Compactación

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas, en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en implementos de labranza del suelo, cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre y Pisoteo de animales.

En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo, horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas.

3. Compactación potencial

Los suelos que tienen una humedad por encima de la capacidad de campo, tienen un mayor potencial para la compactación. El agua actúa como lubricante entre las partículas del suelo, lo que permite que éstas sean colocadas unas al lado de otras. A medida que más espacio de aire se sustituye por agua, el potencial de compactación va en aumento. Hay un punto, sin embargo, cuando la mayor parte del espacio aéreo se llena de agua (cerca de la saturación) que el potencial de compactación de un suelo disminuye. Por lo tanto, un suelo muy mojado tiene menos potencial de compactación que un suelo moderadamente húmedo.

La textura del suelo tiene, en cierta medida, un efecto sobre la compactación. Los suelos que contienen partículas de igual tamaño tienen un menor potencial de compactación que

los suelos que tienen partículas de diferentes tamaños. Las partículas más pequeñas pueden llenar los espacios entre partículas de mayor tamaño, lo que aumenta la densidad del suelo. Un suelo franco arenoso es el más susceptible a la compactación, mientras que las arenas puras, arcillas, limos, son los menos susceptibles.

La estructura del suelo también juega un papel en el potencial de compactación. La materia orgánica mejora la estructura del suelo mediante la creación de los agregados del suelo (se deshacen fácilmente). Suelos con mayores niveles de materia orgánica, en general, tienen una mejor estructura del suelo y resisten mejor la compactación. (Manor, 1989).

4. Síntomas y Detección de la Compactación del Suelo

Dado que la compactación del suelo afecta el crecimiento de las raíces, los síntomas por encima del suelo pueden tomar muchas formas:

- Plantas de menor tamaño, achaparradas y de escaso crecimiento en forma aislada o pequeños grupos de plantas con esta sintomatología rodeadas de plantas normales. El marchitamiento de las plantas en ciertas áreas de un campo puede ser señal de compactación. Esto puede deberse a que los sistemas radiculares poco profundos no permiten absorber la humedad en el subsuelo
- Malformación en el crecimiento de las raíces, incluye raíces planas, cortas, delgadas y torcidas. Las raíces que crecen en un suelo con compactación subsuperficial pueden crecer más de manera horizontal que vertical y tener un sistema radicular poco profundo
- El crecimiento por encima del suelo está directamente relacionado con el crecimiento de la raíz debajo del suelo. Si el crecimiento de raíces se ve perjudicado, el crecimiento vegetativo por encima del suelo es probable que se afecte.
- Deficiencias de nutrientes en los cultivos puede ser otro signo de la compactación. Ya que las raíces son las vías para que los nutrientes del suelo lleguen al cultivo, las restricciones a las raíces pueden reducir la interceptación de estas a los nutrientes en el suelo.

- Agua en superficie o erosión causada por el agua, pueden deberse a una compactación del suelo. Al reducirse el espacio de los poros del suelo, entonces el agua no es absorbida con la misma facilidad. (PIONER, 2015).

5. Métodos de Medida de la Compactación

Si se analiza este fenómeno, se puede decir que la compactación es una disminución de volumen en una estructura tan frágil como es el suelo. No es fácil obtener una medida representativa de cada suelo, porque depende de infinidad de relaciones intrínsecas de cada uno. Por lo que la generalización en este caso puede llegar a no ser del todo correcta.

Se debe analizar en la actualidad las diferentes tendencias que existen a la hora de realizar tales medidas:

- 1) Las que se basan en la determinación de la densidad aparente de los suelos.
- 2) Las que utilizan un vástago metálico (penetrómetro), que se hace descender en un suelo determinado, valorando la resistencia que el suelo produce. Es el método más sencillo y el que nos da más información.
- 3) La utilización de medidores eléctricos en la deformación del suelo.

La primera tendencia basada en la medida de la densidad aparente es de difícil determinación, puesto que al intentar extraer una porción de suelo a diferentes profundidades reviste cierta dificultad. (Håkansson, 1990).

Los penetrómetros de cono de penetración estática son los instrumentos más comúnmente utilizados para medir la resistencia potencial. A diferencia de las raíces, los penetrómetros no son capaces de adaptar su forma en función de los obstáculos que el suelo presenta para su movimiento, ni son capaces de reducir su fricción con las partículas del suelo a través de la secreción de lubricantes. Debido a ello, los valores de RP medidos con un penetrómetro son generalmente mayores a los que sufre una raíz creciendo en el mismo suelo. (Martino, 1994)

6. Influencia del Tráfico Agrícola en la Compactación

La intensidad de tránsito en una parcela provoca una serie de repercusiones físicas sobre el suelo.

Las dos fases a relacionar serían Suelo-Neumático. Se podría afirmar que en un neumático flexible con una presión de hinchado determinada ejerce sobre un suelo medianamente firme una presión de igual magnitud que la del neumático. (Okello, 1990). Además de este modelo teórico dedujo algunos principios básicos en compactación que si bien parecen evidentes conviene remarcar:

Para suelos relativamente duros para el neumático, el hundimiento es pequeño. En su modelo la deformación del neumático es ancha y el perfil en dos dimensiones está formado por la combinación de una sección plana y una sección espiral.

Por otra parte si el neumático es más duro que el suelo, el hundimiento es ancho y la deformación del neumático es comparativamente pequeña.

Se viene trabajando para poder diseñar neumáticos y máquinas que puedan producir efectos menores en la compactación de suelos. En el diseño de neumáticos se viene trabajando, en cuanto a las máquinas parece que de momento el cambiar la forma y tamaño de ellas, no parece económicamente viable. (Froehlich, 1990)

El neumático está en contacto directo con el suelo, por lo tanto, su influencia es fundamental en los fenómenos de compactación y de roderas

El papel del neumático agrícola consiste en reducir la compactación causada por el paso de los tractores. Reduciendo los riesgos de compactación de los suelos, se preserva el potencial agronómico de los cultivos.

La rodera es una gran deformación longitudinal del suelo caracterizada por un hundimiento importante al paso de una máquina. La formación de roderas es muy importante en terrenos fangosos. Las consecuencias son catastróficas para el desarrollo agronómico: en una rodera no crece nada, por tanto, supone una pérdida neta de rendimiento.

La rodera favorece el estancamiento de agua que puede asfixiar las plantas y favorecer el desarrollo de enfermedades.

En este ámbito, la calidad de un neumático agrícola es su capacidad para soportar cargas muy pesadas con presiones muy bajas, limitando el impacto al suelo. En efecto, la presión del neumático se aproxima a la presión media que ejerce en el suelo. (P. ej.: La presión en el neumático es de 1 bar. La presión que el neumático ejerce en el suelo será aproximadamente de 1 kg/cm².)

De esta forma, cuanto mayor sea la presión del neumático mayor será la presión en el suelo y más grande el nivel de compactación y de roderas.

La compactación de los suelos, uno de los principales procesos causantes de su degradación, se debe al paso de máquinas agrícolas cada vez más pesadas, en condiciones climáticas que en ocasiones son complicadas, como por ejemplo cuando los suelos son húmedos.

La compactación está relacionada con la propia naturaleza del suelo, su contenido en agua, la tipología de los cultivos y la carga aplicada en superficie. El continuo paso de las máquinas genera procesos de compresión y cizalladura que reducen la capacidad de aireación, de filtración y enraizamiento de los cultivos. (Michelin, 2015)

Bacigaluppo y Gerster (2003), comparando sectores con y sin huella de maquinarias, trabajando en suelos arcillosos, encontraron diferencias en la densidad aparente hasta una profundidad de 31 cm.

El ancho de la rueda juega un papel importante en la compactación ya que un tractor que ejerza 750kg por rueda, compacta hasta los 50cm con 20KPa, si la rueda es 20% más ancha se reduce hasta los 35cm la compactación, quedando en la capa arable los mayores efectos por lo cual mientras más profundo será el efecto de la compactación. (Brady, 2013)

La utilización de maquinaria con implementos como el arado de vertedera, con el tiempo provocan la formación de un piso de arado, generan compactación y reducen los rendimientos de los cultivos; si bien en nuestro medio se utiliza el arado tirado por bueyes

este no ejerce compactación sobre el suelo ya que es menor la presión que ejerce sobre el suelo, además esta no profundiza por lo cual su efecto prácticamente se desvanece con la próxima aradura ya que la profundidad es variable en cada pasada. (Molina, 2001).

7. Influencia del pisoteo animal en la compactación

Los animales ejercen presiones sobre el suelo que generan compactación incluso mayor que la generada por maquinaria agrícola sobre todo en cría intensiva de ganado sobre áreas de pastura donde con poca frecuencia se remueve el suelo, este efecto se puede disminuir de acuerdo a la carga animal que se maneja y se ve acentuado cuando llueve. (Taboada, 2007)

Las presiones ejercidas sobre el suelo están en función de la masa del animal, el tamaño de la púeña y la energía cinética como se observa en la siguiente tabla:

Cuadro N°1: Presión Ejercida al suelo por pisoteo.

Individuos	Masa (kg)	Área superficial (cm ²)	Presión Estática
Ovinos	40 – 54	55 – 84	48 – 83
Bovinos	306 -612	264 - 460	98 – 192
Equinos	400 – 700	736	54 – 95
Porcinos	50 – 100	50 - 60	100 - 166
Hombre	61 - 75	146 – 173	41 – 45
Mujer	46 – 73	45 - 79	57 - 108
Tractor (sin imple.)	3000	4600	80

Fuente: Taboada (2007).

El CECH presenta la cría de animales en sistemas estabulados, por lo cual no se considera al pisoteo como actor significativo en la compactación de sus suelos. Tampoco se considera como factor importante el pisoteo humano ya que si bien el CECH recibe la visita de muchos estudiantes, es poco frecuente el pisoteo sobre las áreas de cultivo.

8. Efectos de la Compactación sobre el Suelo

La compactación del suelo produce un aumento en su densidad aparente, aumenta su resistencia mecánica, destruye y debilita su estructuración. Todo esto hace disminuir la porosidad total y la macroporosidad (porosidad de aireación) del suelo. Los efectos que la compactación produce, se traducen en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y, por lo tanto, un menor desarrollo de la planta en su conjunto, lo que redundará en una menor producción.

La reducción de la tasa de infiltración aumenta las pérdidas por escurrimiento y disminuye la reserva disponible para los cultivos (Gil et al., 1993). Bacigaluppo y Gerster (2003), encontraron en el sector densificado por tránsito una marcada disminución en la disponibilidad de nitratos en el horizonte superficial, menores valores de conductividad hidráulica, y menor desarrollo radicular en profundidad.

Otro aspecto directamente relacionado con la porosidad y distribución del tamaño de poros es la capacidad de aireación del suelo, (Richmond, 2007) el tamaño de poros también afecta la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en el suelo.

En resumen, la compactación del suelo provoca una reducción del tamaño de poros y ocasiona una gran disminución del volumen de agua que pasa a través de ellos. Este concepto también explica por qué la compactación de un suelo afecta la velocidad de infiltración y el movimiento de agua y nutrientes hacia las raíces.

Podemos decir que la estructura de suelo ideal se compone de un 50% del suelo, 25% de espacio de agua y 25% del espacio con aire. La compactación del suelo modifica estas proporciones produciendo una serie de problemas. (PIONER, 2015)

La rodera o patinaje consume energía de la maquinaria agrícola. La profundidad de una rodera se parece a un "escalón" que el neumático agrícola tiene que franquear todo el tiempo. De lo que deriva un mayor consumo. Un campo con muchas roderas debe repararse. Para ello hay que realizar trabajos de regeneración del suelo que consumen tiempo y carburante. (Michelin, 2015)

9. Efecto de la Compactación Sobre las Raíces de las Plantas

Existen infinidad de experiencias para comprobar la influencia de la compactación en el crecimiento de las raíces, debido principalmente a que todo obstáculo a que las raíces se desarrollen regularmente ocasionará un descenso en la productividad.

El incremento de la compactación en los suelos da como resultado una gran concentración de raíces en la capa superficial (0-10 cm) y en un menor enraizamiento en profundidad. En cuanto al crecimiento de las raíces estará caracterizado por un mayor grado de debilitamiento, crecimiento tortuoso, células de la epidermis distorsionadas y por células de la corteza alargadas radialmente (Lipiec et al, 1991).

Para la mayoría de las plantas la resistencia que han de encontrar las raíces en su crecimiento tiene que ser menor a 3 MPa. Barley (1965) Además la presión teórica requerida para que se expanda el ápice es de 6 b que es menor que la máxima presión que la raíz pueda ejercer (8 a 10b) (Greacen et al., 1966).

Varios autores (Materchera et al., 1992; Vogel, 1992) señalan que 3 MPa de resistencia a la penetración constituye un impedimento mecánico para el crecimiento de las raíces.

Se asume que una resistencia de 20 kg/cm² para suelos a capacidad de campo, luego de 48 – 72 horas de la última lluvia, resulta crítico para el crecimiento de las raíces de los principales cultivos (Gil et al., 1993).

Martino y Shaykewich (1994) establecieron que la resistencia de 2000 kPa del suelo es crítica para la penetración radical y que es independiente de la textura; sin embargo, en la mayoría de los casos con resistencias mayores de 2000 kPa, las raíces son capaces de crecer utilizando los canales bióticos, los espacios y las heterogeneidades de la estructura del suelo.

Las raíces crecen a impulso de la presión de turgencia en las células meristemáticas. Para que haya crecimiento, esta presión debe superar dos resistencias: la ofrecida por la rigidez de las paredes celulares, y la impuesta por los sólidos del suelo.

La máxima presión que las raíces pueden ejercer es entre 0,7 y 1,3 MPa en la dirección axial, y entre 0,4 y 0,6 MPa en la dirección radial. Por consiguiente, si la resistencia del medio supera dichos límites, sería de esperar que no hubiera crecimiento. Sin embargo, el proceso es en la realidad mucho más complejo debido a la naturaleza porosa y a la heterogeneidad de los suelos. (Martino, 1994)

Threadgill, (1982) relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Indicó que 1,5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2,1 Mpa lo limitarían.

La resistencia a la penetración de 0.69 Mpa ocasionó una reducción de 50% en el crecimiento radicular de soja (Rosolem et al., 1994a) pero para maíz, reducción equivalente sólo fue observada en una resistencia de 1.42 Mpa (Rosolem et al 1994).

A medida que la RP del suelo aumenta disminuye el crecimiento de raíces de la mayoría de los cultivos, para detenerse completamente con valores cercanos a 3 MPa

En el caso particular de las vides, el crecimiento radicular comienza a verse afectado con valores de RP, medidos a capacidad de campo, del orden de 1 MPa, y este se detiene con valores de 2 MPa.

La vid parece ser un cultivo sensible a altos valores de densidad aparente. Trabajos realizados en Sud África muestran que el desarrollo radicular de la vid de mesa se ve afectado con valores de densidad aparente superiores a 1,4 g/cc. (Selles et al. 2012.)

De los factores mencionados, son dos los que van a tener un efecto directo sobre el crecimiento de las raíces, estos son: Aumento de la resistencia mecánica del suelo y Disminución de la macroporosidad del suelo.

El aumento de la resistencia mecánica del suelo va a restringir el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, tales como los que se ubican entre las estructuras (terrones), en cavidades formadas por la fauna del suelo (lombrices) y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Esta situación va a

producir un patrón de crecimiento característico de raíces aplanadas, ubicadas en fisuras del suelo, con una escasa exploración del volumen total del suelo.

La disminución de la macroporosidad del suelo va a producir una baja capacidad de aireación y oxigenación del suelo, lo que va a producir una disminución de la actividad de las raíces y, consecuentemente, un menor crecimiento de éstas, un menor volumen de suelo explorado, una menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia.

La compactación, además de limitar el desarrollo y crecimiento de las raíces, provoca en aquellas que logran penetrar, deformaciones, estrangulaciones y otras anomalías morfológicas que alteran el sistema de conducción hacia la parte aérea. (Gil et al., 1993).

El resultado final de la compactación del suelo es un menor potencial de rendimiento en la producción de cultivos. La pérdida de rendimiento puede variar ampliamente dependiendo de la extensión de la compactación del suelo y las condiciones ambientales que afectan al cultivo durante su desarrollo. Condiciones de crecimiento favorables, tales como precipitaciones en tiempo y una óptima fertilidad, pueden minimizar los efectos de la compactación.

Una compactación severa puede causar una pérdida de rendimiento de hasta un 60%, sin embargo, se estima que en promedio la compactación reduce el potencial de rendimiento entre un 10 a 20%. (PIONER, 2015).

Las respuestas de las plantas a la compactación del suelo estarían gobernadas por múltiples señales físicas y químicas actuando simultáneamente. Dichas señales serían: a) el proceso mecánico de resistencia en oposición a la presión de turgencia de las raíces; b) un mensaje químico, probablemente involucrando al etileno, que causa engrosamiento de las raíces como forma de vencer la resistencia mecánica; c) otro mensaje químico, probablemente involucrando a la hormona ABA (ácido abscísico), que induce el cierre de estomas en respuesta a la aglomeración de raíces, y que ayuda a conservar agua del suelo, aun cuando los contenidos de humedad son altos (Tardieu et al., 1992); y d) otro mensaje químico,

consistente en una acumulación de azúcares en los tejidos de la planta, que causa una reducción en la tasa de fotosíntesis.(Martino, 1994)

10. Prevención de la Compactación del Suelo

La compactación del suelo es un fenómeno difícil de corregir y de un elevado costo. Por lo tanto, hay que tomar las medidas necesarias para que este fenómeno no ocurra o bien se mitigue, de manera que no llegue a niveles que limiten el potencial productivo de la especie cultivada. También debe tenerse en consideración que si bien el problema puede ser aliviado con algunas medidas de corrección, existe el riesgo de recompactar el suelo y el recurso suelo puede quedar en un nivel de mayor degradación. Por lo tanto, luego de aliviada la compactación, es necesario realizar prácticas de manejo de suelos que eviten que este fenómeno se vuelva a producir en forma intensa.

A continuación se presentan los factores que van a incidir en el proceso de compactación del suelo:

10.1. Factores relacionados con la maquinaria

. Peso de la maquinaria: a mayor peso de la maquinaria mayor posibilidad de compactar el suelo y mayor profundidad puede alcanzar la compactación.

. Distribución del peso de la maquinaria: si el peso de la maquinaria es desuniforme, por ejemplo mayor peso en ruedas traseras, la presión ejercida será mayor.

. Ancho de los neumáticos: si el peso de la maquinaria se distribuye en un área mayor (neumáticos más anchos), la presión sobre el suelo será menor que en el caso de usar neumáticos más angostos.

. Presión de inflado de los neumáticos: mientras más inflados los neumáticos, menor es el área del neumático que entra en contacto con el suelo y mayor es la presión sobre el suelo. Por lo tanto, se recomienda hacer las labores con presiones de inflado bajas.

- . Patinaje de las ruedas: en la medida que estos fenómenos se produzcan, el esfuerzo producido sobre el suelo es mayor. Se sugiere realizar el trabajo evitando el patinaje.
- . Velocidad de trabajo: cuando la presión sobre el suelo es mantenida por un mayor tiempo el fenómeno de compactación tiene una mayor posibilidad de producirse, por lo que sería adecuado realizar las labores a una velocidad lo más alta posible.
- . Número de pasadas de la maquinaria: a mayor número de pasadas, mayor es la compactación que se produce en el suelo.
- . Profundidad de trabajo del implemento de laboreo de suelos: el extremo inferior de cualquier implemento de laboreo de suelos va a ejercer un esfuerzo vertical sobre el suelo, por lo que la mantención de una misma profundidad de laboreo va a producir la compactación del suelo bajo esta profundidad (pie de arado), por lo que es recomendable variar la profundidad de las labores.

Michelin desarrolla neumáticos agrícolas que permiten reducir claramente la compactación de los suelos y mejorar las capacidades de tracción de las distintas máquinas.

Gracias a una mayor superficie de contacto, los neumáticos agrícolas con tecnología MICHELIN Ultraflex protegen los suelos de los fenómenos de compactación y roderas.

De esta forma, el aire y el agua circulan con mayor libertad y se preserva el suelo agrícola, obteniéndose las condiciones óptimas para conseguir el máximo rendimiento agrario.

La mayor superficie de contacto con el suelo aumenta significativamente la capacidad de tracción de los neumáticos del tractor, reduciendo la tasa de patinaje: trabajará más deprisa ahorrando carburante. (Michelin, 2015)

10.2. Factores relacionados con el suelo

- . Características físicas y propiedades mecánicas del suelo (textura, tipo y estabilidad de la estructura, densidad aparente, carga histórica, resistencia a la deformación).

. Contenido de humedad del suelo: a mayor contenido de humedad, el suelo puede deformarse y compactarse con menores presiones recibidas. Por lo tanto, las labores deben realizarse con el suelo lo más seco posible.

10.3. Medidas que pueden ayudar a evitar el problema

- Incorporación de materia orgánica al suelo: la materia orgánica incorporada al suelo actúa directa e indirectamente favoreciendo la formación y la estabilidad de la estructura del suelo, lo que puede ayudar a prevenir la compactación.
- Uso de cubiertas vegetales: la penetración de las raíces y su posterior muerte producen poros continuos que ayudan al movimiento del aire y el agua en el suelo. Por medio de la cubierta vegetal, se incorpora también materia orgánica al suelo.
- Uso de camellones para la huella del tractor: al construir camellones para el paso de las ruedas de la maquinaria se evita que el efecto de la compactación llegue a mayor profundidad.
- Uso de pistas de circulación: al ubicar pistas exclusivas para el tránsito de la maquinaria se puede evitar el paso innecesario de maquinaria por la superficie del suelo.
- Ajustar maquinaria a una misma trocha: esta medida está orientada a reducir el área que es usada por la maquinaria, manteniendo una sola huella para el paso de las ruedas.

11. Corrección de la Compactación del Suelo

Los suelos pueden, en mayor o menor medida, y de acuerdo a sus características, recuperar su forma estructural a través de procesos naturales luego de sufrir un disturbio, como puede ser una compactación por un rodado o por pisoteo animal. (Richmond, 2010)

11.1. Subsolado

La práctica del subsolado consiste en soltar el suelo bajo la profundidad normal de cultivo, usando un arado de uno o más brazos rígidos, con el objetivo de romper capas de suelos

compactadas. Los subsoladores normalmente trabajan a profundidades de 30-70 cm. Existe también la alternativa de usar algún tipo de arado de vertedera, teniendo en consideración que la capacidad de profundizar es menor y tiene mayores requerimientos de potencia.

Cuando el subsolador pasa por el suelo va soltando las capas compactadas, levantándolas y disgregándolas, formándose una red de macroporos interconectados actuando como vías para la penetración de raíces y el flujo de agua y aire.

El subsolado es una labor de elevado costo y por lo tanto debe hacerse sólo cuando las características del suelo lo justifican. Por lo tanto antes de tomar la decisión de hacer esta labor, debe estudiarse con detención el perfil del suelo, determinando la presencia de estratos de suelo compactados, analizando su ubicación y distribución espacial en el terreno.

Una vez tomada la decisión de hacer un trabajo de subsolado, ha de elegirse el subsolador y el tractor adecuados para las condiciones de trabajo locales. Es muy importante tener en consideración el contenido de humedad del suelo, ya que la labor debe hacerse con el suelo lo suficientemente seco como para que se quiebre y disgregue, de lo contrario (suelo muy húmedo) el subsolador va a pasar haciendo sólo un corte vertical en el suelo.

11.2. Uso de acondicionadores físicos

La incorporación de materiales que actúen como acondicionadores físicos de suelo en profundidad va a permitir mejorar y mantener una mejor condición para el desarrollo de las raíces en el subsuelo.

Esta labor consiste en localizar el material (guanos, aserrín, viruta, restos de poda trozados, lodos de aguas servidas, compost, desechos orgánicos animales y vegetales diferentes, etc.) en hoyos o zanjas, hasta la profundidad de la estrata compactada. Es una labor de alto costo y muy localizada que se puede justificar en el caso de que el subsolado puede no ser una buena alternativa, como por ejemplo en el caso de plantaciones frutales establecidas, donde se dificulta el trabajo de tractores de gran potencia. (Haya, 2011)

11.2.1.- Yeso Agrícola.

El yeso (Sulfato de Calcio - CaSO_4) es uno de esos materiales raros que se desempeñan en las tres categorías de tratamiento de suelos: en la mejora, acondicionamiento y fertilización.

Lo esencial a los muchos beneficios del yeso es el más alto rendimiento a un mínimo costo.

La compactación en muchos pero no todos los suelos pueden ser disminuidos con yeso, sobre todo cuando se combina con la labranza profunda para romper la compactación. La combinación con mejoras orgánicas también ayuda, sobre todo previniendo a que vuelva a compactarse.

El suelo tratado con yeso tiene una menor densidad en comparación con los suelos no tratados. El material orgánico incluso puede disminuirla aún más cuando ambos se utilizan. El suelo blando es más fácil de arar, y los cultivos al igual que el suelo mejoran.

El yeso puede disminuir y prevenir la formación de las costras en la superficie del suelo que son el resultado de gotas de lluvia o de riego por aspersión en suelos inestables. La prevención de la formación de costras significa que más semillas germinarán, las semillas germinarán más rápida y fácilmente.

El calcio del yeso puede ayudar a disminuir la pérdida por volatilización del amoníaco nitrógeno de las aplicaciones de amoníaco, nitrato de amonio, UAN, urea, sulfato de amonio, o cualquiera de los fosfatos de amonio. En realidad calcio mejora la absorción de nitrógeno por las raíces de las plantas sobre todo cuando las plantas son jóvenes.

El yeso mejora las tasas de infiltración del agua en los suelos y también la conductividad hidráulica del suelo. Es una protección contra el exceso de escurrimiento de agua especialmente en grandes tormentas que vienen acompañadas con la erosión.

La utilización de yeso puede disminuir la erosión eólica e hídrica de los suelos. Graves problemas de polvo puede ser reducidos, especialmente cuando se combinan con el uso de agua de polímeros solubles. Menos residuos de plaguicidas y nutrientes se escapan de la superficie de tierra para llegar a los lagos y los ríos.

El yeso proporciona el calcio que se necesita para flocular las arcillas en el suelo. Tal floculación es necesaria para dar la estructura del suelo favorable para el crecimiento de las raíces y para el movimiento del aire y del agua.

El yeso por su contenido de calcio ayuda a la formación de los frutos ya que éste es indispensable para el buen desarrollo y de buena calidad en los frutos.

El yeso puede disminuir el abultamiento y grietas asociadas con altos niveles de sodio intercambiable en las arcillas. Como el sodio se sustituye por el calcio en estas arcillas, se hinchan menos.

Los suelos que han sido tratados con yeso tienen un nivel más amplio de humedad del suelo donde es seguro arar sin el peligro de compactación o defloculación.

Las mejoras de la velocidad de infiltración y conductividad hidráulica con el uso de yeso añaden la capacidad a los suelos de tener un adecuado drenaje.

El yeso es una fuente de calcio el cual es un importante mecanismo que vincula la materia orgánica con la arcilla del suelo lo que da estabilidad a los agregados del suelo. El valor de la materia orgánica aplicada al suelo se incrementa cuando se emplea con yeso.

El yeso puede mejorar algunos suelos ácidos, incluso más allá de lo que la cal puede hacer por ellos. Las superficies endurecidas pueden prevenirse. Los efectos tóxicos del aluminio soluble pueden ser reducidos, incluso en el subsuelo donde la cal no penetrará.

El yeso tiene 17% de sulfato, el cual es la forma más absorbible del azufre para las plantas.

El yeso es utilizado en la recuperación de suelos sódicos. El calcio reemplaza al sodio que persiste en los sitios de unión con la arcilla. El sodio puede entonces ser blanqueado del suelo como el sulfato de sodio a un sumidero.

El yeso disminuye de inmediato el pH de los suelos sódicos o suelos próximos a sódicos con valores de más de 9, pero por lo general de más de 8 a valores de entre 7,5 a 7,8.

El yeso Vuelve al magnesio no toxico para las plantas cuando existen altas concentraciones de este.

El yeso aumenta el uso eficiente del agua en los cultivos. En áreas y épocas de sequía, esto es extremadamente importante. Aumenta los índices de infiltración del agua, aumenta la conductividad de los suelos, mejora el almacenamiento de agua en el suelo dirigido a un enraizamiento más profundo y a mejorar la eficiencia en el uso del agua. Además permite utilizar agua de riego de baja calidad.

El yeso puede ayudar a impedir que las partículas de arcilla se adhieran a las raíces, bulbos y tubérculos de cultivos como la patata, zanahoria, ajo y remolacha.

Un suministro continuo de calcio con materia orgánica es esencial para las lombrices de tierra que mejoran la aireación del suelo, mejoran la concentración del suelo y mezclan el suelo. (<http://www.usagypsum.com/agricultural-gypsum-es.aspx>)

Una de las grandes ventajas del yeso es su capacidad de reducir la toxicidad del aluminio. (<http://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/5-beneficios-del-yeso-agricola/>)

11.3. Camellones

En el caso de plantaciones frutales también es posible agregar suelo de la entre hilera sobre la hilera de plantación, formando un lomo o camellón de suelo suelto donde las raíces encontrarán mejores condiciones para su desarrollo. Con el suelo adicionado la profundidad de suelo aprovechable aumenta (en hilera de plantación), contrarrestando en parte el efecto negativo de la presencia de una estrato compactada en profundidad.

11.4. Cubiertas vegetales

Esta práctica consiste en mantener una cubierta vegetal de especies con diferentes sistemas radiculares en superficies que permanecen sin vegetación, en forma permanente o en algunos períodos del año. El objetivo de esta cubierta vegetal es la de incorporar materia orgánica al suelo a través de la parte aérea y de las raíces de las plantas. En este sentido se prefiere utilizar especies de arraigamiento profundo para que las raíces lleguen y penetren

el subsuelo compactado, favoreciendo la formación de macroporos y la estructuración del suelo.

Esta práctica tiene efecto en un mayor plazo que las medidas anteriores, por lo que se le considera también como un manejo preventivo. (Haya, 2011)

12. Degradación Física en el CECH

Según Torrez (2006) de acuerdo con su metodología basada en la Da, existe compactación en las unidades 3, 5, 7 y 8 siendo mayor en la 5 y 7; además señala que no se encuentre compactación en las unidades 4, 6 y 9 del CECH.

Además este asevera que existe una degradación biológica en los mismos debido a los valores muy bajos de materia orgánica que presentan estos suelos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

1.- Características Generales de la Zona de Estudio

1.1.- Ubicación.

El estudio se desarrollara en el “Centro Experimental de Chocloca” (CECH) perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, dependiente de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

El CECH cuenta con una superficie de 28,8 ha, se ubica a 45 Kilómetros al Sur de la ciudad de Tarija capital del departamento de Tarija, en la comunidad de Chocloca, en el margen izquierdo y parte baja de la cuenca del rio Camacho y sub cuenca de la quebrada El Huayco, correspondiente a la provincia Avilez, municipio de Uriondo.

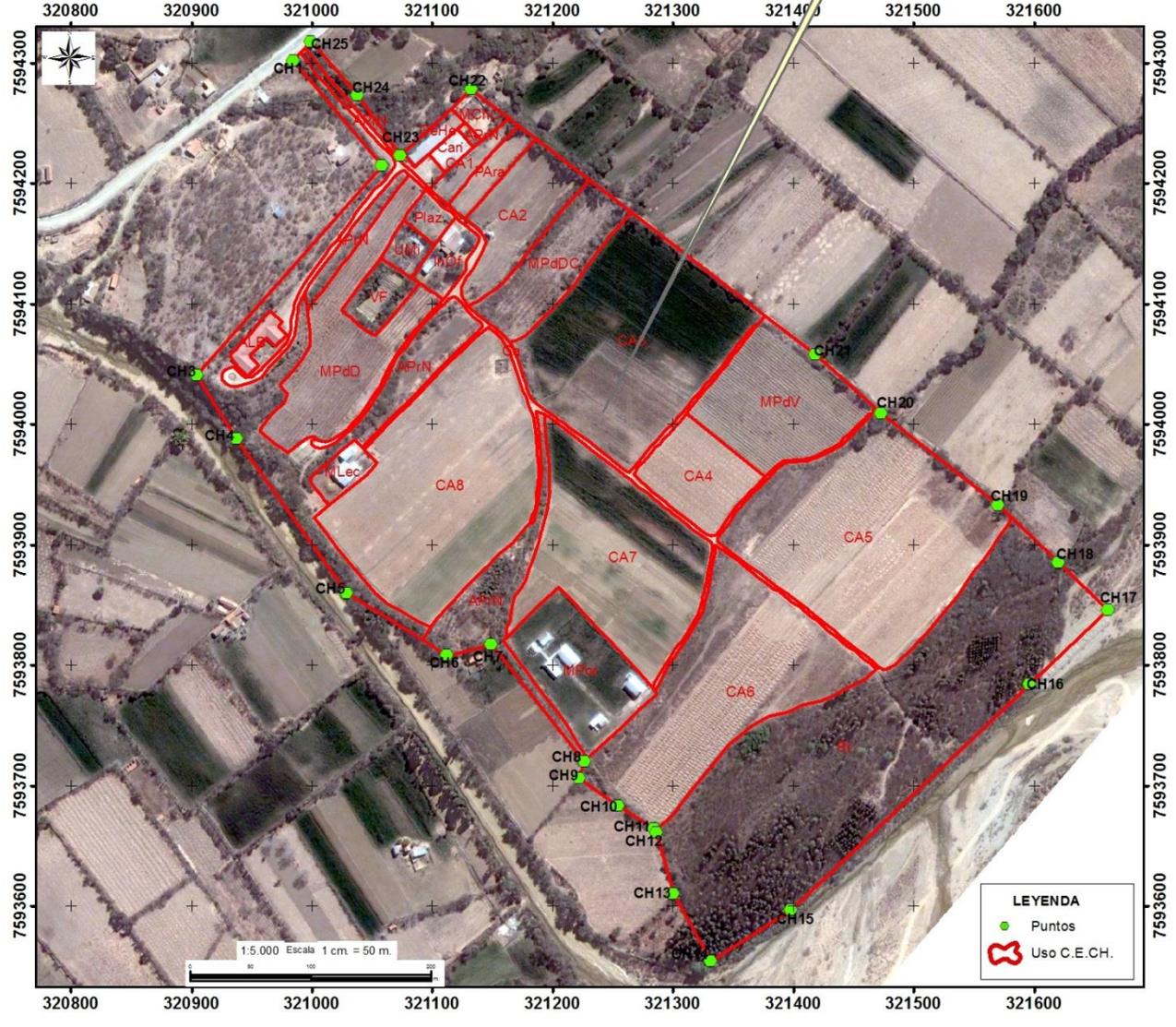
Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 21° 45` de latitud Sur y 64° 44` de longitud Oeste, a una altura de 1800 msnm.

En la página siguiente se anexa el mapa de ubicación del Centro Experimental de Chocloca (CECH).

MAPA DE UBICACION C.E.CH.



AREA DE ESTUDIO
C.E.CH.



1.2.- Clima.

La zona se caracteriza por un clima templado semiárido con temperaturas bajas. Esto corresponde a los valles de la Cordillera Oriental (Valle Central de Tarija, Valle de la Concepción, Padcaya, San Lorenzo), con temperaturas medias anuales entre 13 y 18°C (Cuenca, 2005).

Tiene una temperatura media anual de 18.7°C, y una precipitación promedio anual de 650 mm, una humedad relativa del 71%, la temperatura máxima extrema se registró en el mes de septiembre de 1993 con 37.0°C, la mínima extrema en julio de 1993 con -7.0°C (SENAMHI, 2015).

1.3.- Geología.

Según la carta geológica de Bolivia Hoja 6628 Padcaya (GEOBOL-SGAB, 1991 citado en Cuenca 2015). El territorio del CECH, corresponde al sistema geológico del cuaternario, representado en la cuenca, por los siguientes depósitos:

Depósitos aluviales (Qa)

Formado por materiales sueltos principalmente cantos, gravas y arenas que forman el plano inundable o lecho del río Camacho y Quebrada El Huayco.

Depósitos Fluviales (Qcf)

Formados por arenas, limos, arcillas y gravas depositadas por la dinámica fluvial del río Camacho y la quebrada El Huayco, formando una sucesión de terrazas aluviales, caracterizan la mayor superficie del CECH.

Depósitos Fluvio – Lacustre (Qfl)

Localizados en el sector Oeste del CECH, constituidos por limo, arcilla, arenas y grava sedimentados en un ambiente de lago, conformando el relieve más inclinado del CECH, que forma parte de los depósitos fluvio-lacustres del Valle Central de Tarija.

1.4.- Geomorfología.-

De acuerdo al mapa geomorfológico del Proyecto Cuenca del río Camacho (1998 citado por Cuenca 2005), en el CECH, se puede diferenciar las siguientes zonas o unidades geomorfológicas:

G1. Zona de río.- Comprende el lecho del río formado por barra de cauce y el lecho menor del río Camacho sujeto a la dinámica aluvial del citado río.

G2. Zona aluvial.- Comprende una serie de terrazas aluviales altas, medias y bajas conformando una llanura aluvial formada por un proceso de sedimentación por la dinámica fluvial de las aguas del río Camacho.

G3. Zona fluvio-lacustre.- Comprende la zona colinosa o inclinada del CECH, que forma parte de la antigua llanura fluvio-lacustre originada por un proceso de sedimentación en un ambiente de lago.

1.5.- Vegetación Natural.

La vegetación natural de la zona corresponde a la zona de vida Bosque seco templado (Holdridge, año citado por Cuenca, 2005).

En la actualidad la vegetación nativa, corresponde una vegetación secundaria compuesta por: matorrales xerofíticos secundarios, las especies características son churqui (*Acacia caven*), tusca (*Acacia aramo*); algunas especies arbóreas residuales del bosque original distribuidas de manera dispersa en los linderos de la propiedad como el algarrobo blanco (*Prosopis alba*), algarrobo negro (*Prosopis nigra*), chañar (*Geoffroea decorticans*), sauce criollo (*Salix humboldtiana*) y molle (*Schinus molle*). En áreas afectadas por erosión severa, se presentan matorrales dispersos formados por taquillo (*Prosopis alpataco*) y algunos cardones o cactáceas (ZONISIG, 2000; citado por Cuenca, 2005).

Entre las especies introducidas (llámese exóticas) en la región se tiene: Eucalipto (*Eucaliptus sp*), alamo (*Papulus alba* y *P. nigra*), Sauce llorón (*Salix babilónica*), Ciprés (*Cupresus macrocarpa*), Cina cina (*Parkinsonia aculeata*).

Cuadro N°2: Vegetación natural CECH

Arbórea			
Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
algarrobo blanco	Prosopis alba	algarrobo negro	Prosopis nigra
chañar	Geoffroea decorticans	sauce criollo	Salix humboldtiana
molle	Schinus molle	Eucalipto	Eucaliptus sp
alamo	Papulus alba y P. nigra	Sauce llorón	Salix babilónica
Cipres	Cupresus macrocarpa	Cina cina	Parkinsonia aculeata
Arbustiva		Herbáceas	
Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
churqui	Acacia caven	Pasto Horquilla	Paspalum notatum
tusca	Acacia aroma	Gramma	Cynodom dactylon
taquillo	Prosopis alpataco	Raigras	Lolium multiflorum

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Cuenca, 2005.

1.6.- Uso Actual.

El uso actual de la tierra en el CECH tiene características de uso intensivo y mixto, es decir, por un lado, se siembra cultivos anuales a riego como maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), hortalizas, también se tiene cultivos perennes a riego como vid (*Vitis vinifera*), durazneros (*Prunus pérsica L.*), cultivos para forraje como alfalfa (*Medicago sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) o avena (*Avena sativa*), para la alimentación del hato lechero.

Por otro lado, se realizan diferentes investigaciones como tesis de grado con algunos diseños experimentales, cerramientos, cultivos medicinales, hasta algunos diseños con plantas forestales, plantaciones forestales en la rivera del río y actividades de apicultura.

Otra actividad importante, en el plano académico, se realiza diferentes tipos de prácticas con los alumnos de las carreras de Ingeniería Agronómica e Ingeniería Forestal. Este conjunto de actividades intensas constituye el uso actual de la tierra en el CECH.

EL manejo de los suelos del CECH se lo realiza mediante la utilización de maquinaria agrícola, siendo poca la utilización del arado tradicional tirado por bueyes, se utiliza

maquinaria para la labranza en todos los suelos del CECH a excepción de las áreas con cultivos frutales, las zonas con plantaciones forestales y las zonas con construcciones agropecuarias como las granjas porcina y lechera.

1.7.- Suelos.-

Según Cuenca (2005), los suelos del CECH son de origen aluvial y fluvio-lacustre, los primeros son generalmente profundos, de texturas media a finas. En cambio los suelos de la zona colinosa de origen fluvio-lacustre tienen profundidad variable, de textura finas a medias, gravosos y muy susceptibles a procesos de erosión hídrica.

1.7.1. Distribución espacial de los suelos del CECH.-

De acuerdo con Cuenca (2005) fisiográficamente el CECH está dividido de la siguiente manera:

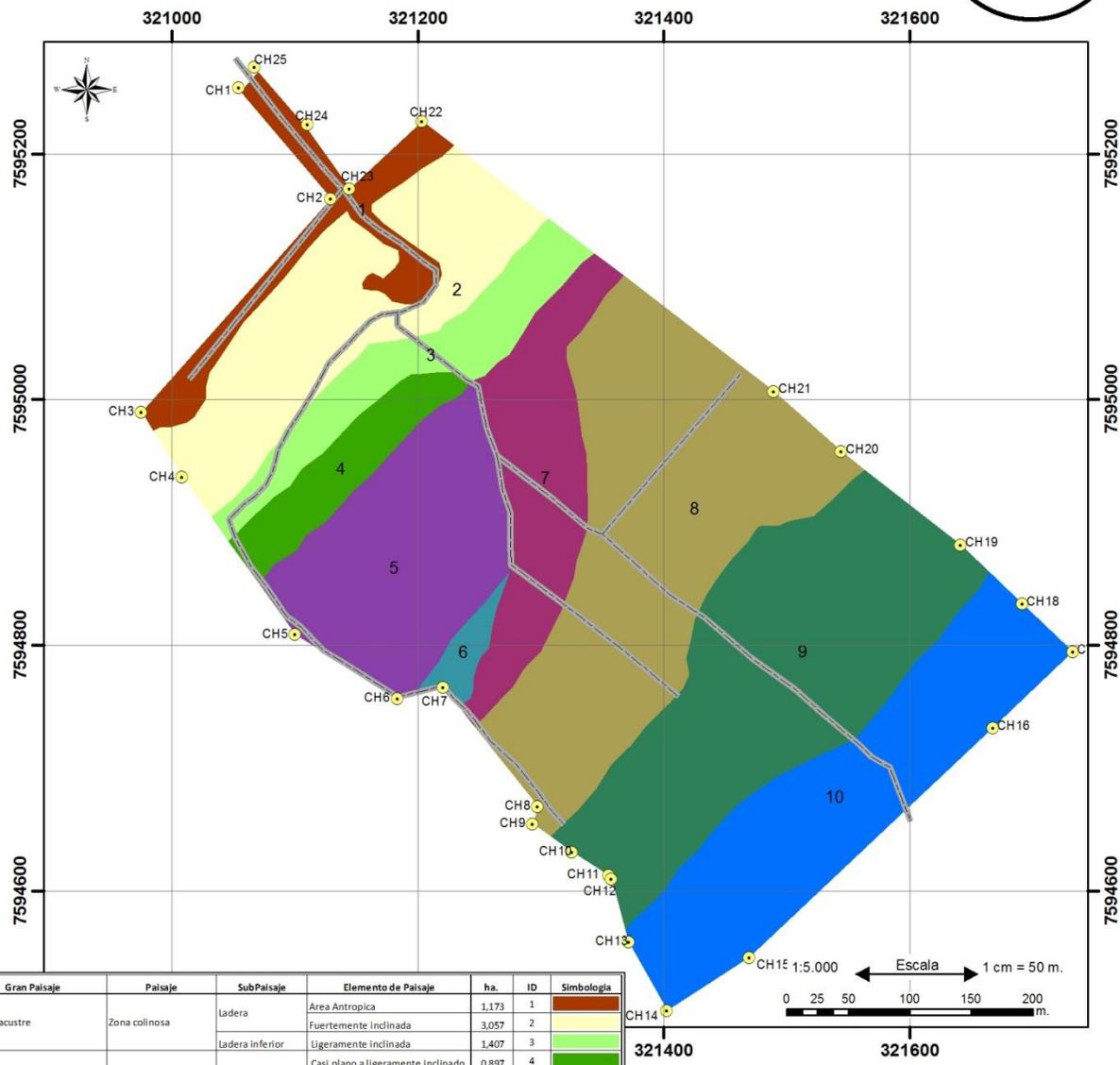
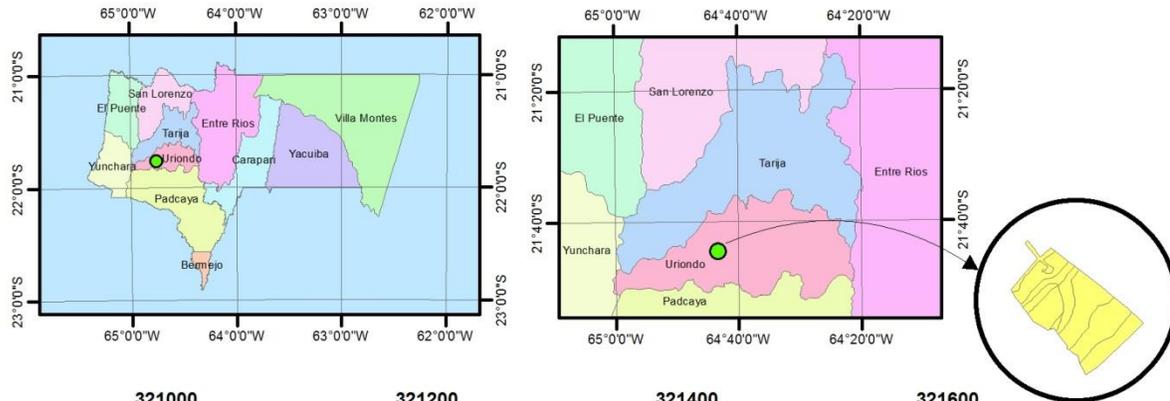
Cuadro N° 3: División Fisiográfica del CECH.

Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Elemento de paisaje
Llanura lacustre	Zona colinosa	Ladera	1 Área antrópica
			2 Fuertemente inclinada
		Ladera inferior	3 ligeramente inclinada
Llanura aluvial del río Camacho	Resiente a subreciente	Terraza alta	4 casi plano
			5 Plano cóncavo
			6 Casi plano
		Terraza intermedia	7 ligeramente inclinado
			8 plano cóncavo
		Terraza baja	9 casi plano
Lecho de río	10 Zona aluvial de amortiguación		

Fuente: Cuenca, 2005.

En la siguiente página se anexa el mapa Fisiográfico del Centro Experimental de Chocloca:

MAPA FISIOGRAFICO C.E.CH.



Gran Paisaje	Paisaje	SubPaisaje	Elemento de Paisaje	ha.	ID	Simbología
Uanura lacustre	Zona colinosa	ladera	Area Antropica	1,173	1	
			Fuertemente inclinada	3,057	2	
		ladera inferior	Ligeramente inclinada	1,407	3	
			Casi plano a ligeramente inclinado	0,897	4	
Uanura aluvial del Rio Camacho	Reciente a subreciente	Terraza alta	Plano concavo	2,853	5	
			Casi Plano	0,245	6	
		Terraza intermedia	Casi plano a ligeramente inclinado	2,056	7	
			Casi plano a plano concavo	5,684	8	
		Terraza baja	Plano a casi plano	5,106	9	
			Vegas, lecho de rio (Zona de amortiguacion)	3,639	10	

1.7.1.1. Llanura fluvio-Lacustre Residual.-

Gran paisaje originado por un proceso de sedimentación fluvio-lacustre en un ambiente de lago en el cuaternario y posteriormente modelado por un proceso de erosión hídrica por las aguas del río Camacho, dando lugar a una pequeña colina residual de la antigua llanura fluvio-lacustre en el sector Noroeste del CECH, identificando la presencia de capas de horizontes sedimentarios. A nivel de paisaje por su relieve se ha denominado:

1.7.1.1.1. Zona Colinosa

Este paisaje ha sido modelado por los procesos de erosión hídrica; se basa en criterios de posición topográfica y procesos de sedimentación; se ha diferenciado los siguientes subpaisajes:

1.7.1.1.1.1. Ladera

Ubicada en la pendiente o ladera media de la zona colinosa comprende una superficie de 4.84ha. Formada sobre depósitos de origen fluvio-lacustre, constituida por limo, arcilla arena y grava conformando el relieve más inclinado del área de estudio, moderadamente escarpado.

En base a la pendiente, a nivel de elementos de paisaje se ha diferenciado dos unidades, cuyas características edáficas se describen a continuación.

Unidad 1: Casi plana a ligeramente Inclinada

Se ubica en la parte superior de la ladera, ocupada por caminos de acceso al CECH, galpones, cancha, albergue por este motivo esta área fue alterada mediante nivelación y compactación por lo que no se procederá a su evaluación, comprende una superficie de 1.32ha.

Unidad 2: Fuertemente Inclinada

Ubicada en la parte inferior de la ladera, comprende una superficie de 3.53ha. El uso actual de esta unidad está relacionado con cultivos agrícolas anuales (maíz y papa), cultivos perennes (Frutales), vivero, invernadero y oficinas del CECH.

Con pendientes fuertemente inclinadas debido al proceso erosivo, estos suelos están siendo afectados por erosión hídrica en forma laminar con inicios de cárcavas.

1.7.1.1.2. Ladera inferior

Ubicada por debajo de la ladera, paralela al canal de riego comprende 1.62ha, formada sobre depósitos de origen lacustre, constituida por limo, arcilla arena y grava sedimentados en ambiente de lago, con relieve ligeramente inclinado con erosión laminar de grado ligero, uso actual dividido entre un establo y cultivos perennes frutales. Diferenciado en un solo elemento de paisaje:

Unidad 3: Ligeramente inclinado

Comprende una superficie de 1.62 ha con cultivos perennes formados a partir de sedimentos lacustres, con pendientes cortas, moderadamente profundos con un ligero grado de erosión laminar.

1.7.1.2. Llanura Aluvial del Rio Camacho.-

Comprende una serie de Terrazas aluviales altas, media y bajas y el lecho del rio; conformando una llanura aluvial formada por un proceso de sedimentación producto de la dinámica de las aguas de rio Camacho.

1.7.1.2.1. Llanura aluvial Subreciente

Paisaje fisiográfico modelado por arenas, limos, arcillas y gravas depositadas por la dinámica fluvial del rio Camacho y la quebrada El Huayco, formando una sucesión de

terrazas aluviales y el plano inundable o lecho de río, caracterizan la mayor superficie del CECH.

1.7.1.2.1.1. Terraza alta

Ubicada al pie de la ladera de la zona colinosa del CECH, comprende 4.61 ha, formada sobre depósitos de origen fluvial depositados por la dinámica del río Camacho y la quebrada El Huayco. Sin evidencias de erosión; actualmente dedicado a cultivos anuales. Diferenciando a nivel de elementos de paisaje las siguientes unidades:

Unidad 4: Casi Plano a Ligeramente inclinado

Ubicada en la parte superior de la terraza alta, comprende una superficie de 0.99ha, con uso actual para cultivos agrícolas anuales.

Suelos de origen fluvial, moderadamente profundos, con pendientes rectas moderadamente inclinadas.

Unidad 5: Plano cóncavo

Ubicada en la parte central de la terraza alta, comprende 3.29 ha, dedicada a cultivos agrícolas anuales.

Suelos de origen fluvial, profundos, con pendientes cóncavas casi planas.

Unidad 6: Casi plano

Ubicada en la parte inferior de la terraza alta, comprende una superficie de 0.33ha, uso actual dedicado a cultivos agrícolas anuales.

Suelos de origen fluvial con pendientes rectas casi planas, generalmente moderadamente profundos presentándose en sectores suelos superficiales.

1.7.1.2.1.2. Terraza intermedia.-

Se extiende en una superficie de 8.58 ha, formada sobre depósitos de origen fluvial, depositados por la dinámica de las aguas del río Camacho y la quebrada El Huayco. Relieve plano a casi plano, sin evidencias visibles de erosión. Actualmente dedicada a cultivos anuales y cultivos perennes (alfa alfa y vid).

Se han diferenciado a nivel de elementos de paisaje las siguientes unidades:

Unidad 7: Casi plano a Ligeramente Inclinado

Ubicada debajo de la terraza alta y la ladera inferior, comprende una superficie de 2.34ha. El uso actual de esta unidad comprende cultivos anuales y cultivos perennes.

Suelos de origen fluvial, con pendientes convexas y casi planas, moderadamente profundos sin evidencias de rocosidad o pedregosidad superficial.

Unidad 8: Casi plano a plano cóncavo

Ubicada en la parte inferior de la terraza intermedia, se extiende en una superficie de 6.24ha. Actualmente esta unidad está dedicada a cultivos anuales y cultivos perennes (alfalfa y vid).

Suelos de origen fluvial, moderadamente profundos a profundos, pendiente recta cóncava a casi plana muy poca pedregosidad superficial.

1.7.1.2.2. Llanura aluvial Reciente

Este paisaje ha sido modelado por la dinámica fluvial del río Camacho y la quebrada El Huayco, depositando arena, limo, arcilla y grava formando la terraza aluvial baja y el lecho de río.

Se han diferenciado los siguientes subpaisajes:

1.7.1.2.2.1. Terraza Baja

Abarca 5.73 ha formada sobre depósitos de origen fluvial, presenta relieve plano a casi plano dedicada a cultivos anuales y perennes.

Como elemento de paisaje se identificó:

Unidad 9: Terraza baja plana a casi plana

Ubicada entre la terraza intermedia y el lecho de río, con una superficie de 5.73ha, actualmente destinada a cultivos anuales y perennes.

Suelos de origen fluvial, moderadamente profundos a profundos, pendientes rectas casi planas con poca pedregosidad superficial.

1.7.1.2.2.2. Vegas o Lecho de Río

Unidad 10: Lecho de río (Zona aluvial de amortiguación)

Se extiende en una superficie de 3.46ha es un misceláneo aluvial, formado sobre depósitos de origen fluvial como ser arenas, grava fina y grava gruesa, con predominio de piedra, generalmente presenta muy poco suelo. Presenta inundaciones frecuentes; La vegetación dominante está compuesta por arbustos y matorrales; chilca (*Bacharis sp*), sauces (*Salix babilónica* y *S. humboldtiana*), álamo (*Papulus alba* y *P. nigra*), Churqui (*Acacia caven*) y tusca (*Acacia aroma*). Actualmente esta zona se mantiene como una zona de amortiguación contra las inundaciones con presencia de vegetación de protección y es también dedicada a la apicultura.

1.8.- Hidrografía

Hidrográficamente el CECH se ubica en el sector de afluentes directos a la cuenca del río Camacho, ubicado al margen izquierdo del mismo y al margen izquierdo de la subcuenca de la quebrada El Huayco, las mismas son parte de la cuenca del río Guadalquivir en el Valle Central de Tarija.

1.9.- Vías de Comunicación

El acceso al CECH es únicamente de manera terrestre, quedando descartadas las vías fluviales y aéreas hacia la zona. La principal ruta de acceso hacia la zona es la carretera Tarija-Chaguaya la cual se encuentra totalmente pavimentada haciendo fácil el acceso a la zona. Al interior del Centro se cuenta con caminos de tierra que comunican la carretera principal con las diferentes áreas del mismo.

2. Materiales

Para la realización de este estudio en sus distintas etapas, se utilizaron los siguientes materiales:

Campo

- bolsas de nylon
- Espátula o cuchillo
- Martillo
- Regla con división en cm.
- Marcador
- Pala
- Azadón
- Cilindros para extraer muestras no disturbadas
- Cilindros de infiltración
- Penetrometro SD 900
- Pala punta cuadrada
- Pico
- Cuchillo
- GPS

Laboratorio

- Estufa (secador)
- Balanza (precisión 0,1 gr)
- Vasos de vidrio

- Matraz volumétrico de 100 ml
- Embudo mediano
- Pizeta con agua destilada
- Mortero para moler la muestra
- Tamiz de 2 mm
- Bureta
- pipeta
- soporte universal

Gabinete

- GeoStatistics for the Environmental Sciences Version 10 (GS+ 10.0).
- ArcGiz 10.1
- Computadora
- Microsoft Excel
- Impresora

Reactivos

- Alcohol amílico
- Agua destilada

3. Metodología.-

3.1. Densidad Aparente

La densidad aparente se determinó a través del método del cilindro.

Con la ayuda del cilindro muestreado se sacó de cada horizonte elegido (primer y segundo horizonte) una muestra no disturbada de la siguiente manera: Introduciendo el cilindro de volumen conocido en el suelo, ayudado con un pedazo de madera que debe colocar en la parte superior del cilindro y golpee sobre ella con un martillo.

Una vez obtenidas las muestras del volumen conocido se introdujeron en una bolsa nylon y se empacaron debidamente identificadas para ser llevadas al laboratorio.

En laboratorio se coloca la muestra extraída del cilindro en un vaso y se secó por el lapso de 24 horas a 105°C. Posteriormente se pesa el vaso con la muestra se aplicó la fórmula para el cálculo de la densidad aparente.

$$D_a = \text{peso de suelo seco} / \text{volumen del suelo}$$

Se calcula la densidad aparente para todas las muestras y se anotaron los resultados.

3.2. Densidad de Partícula

La determinación de la D_p se realizara a través del método volumétrico. Para lo cual se debe extraer muestras de suelo de cada área. En nuestro caso se utilizaron las muestras extraídas para la realización de las pruebas de D_a .

Como las muestras ya se encontraban secas se procedió a molerlas con la ayuda de un mortero para disgregar el suelo, una vez que el suelo esta disgregado cada muestra fue tamizada individualmente por un tamiz de 2mm. Las muestras tamizadas son devueltas a las bolsas con sus debidas identificaciones quedando listas para desarrollar la prueba.

Se pesa sobre un vaso de vidrio 33 gramos de suelo de cada muestra debidamente tamizada.

Con ayuda del embudo trasvasar a los 33 gramos de suelo al matraz. Con la ayuda de una bureta agregar agua destilada en sus $\frac{3}{4}$ partes, mezclar y controlar el volumen de agua que fue agregado al matraz y se anotó como V1.

Si se forma espuma añadir unas gotas de alcohol amílico, para desaparición de burbujas, mezclar y aforar los matraces y medir el volumen agua agregada al suelo en el matraz volumétrico aforado a 100 ml y se registró este volumen como V2.

Dejar reposar 2 horas y nuevamente registrar el volumen de agua en los matraces y corregir en los casos donde hace falta agregar o quitar agua, registrar esto como V3.

La sumatoria de los tres volúmenes de agua agregados al matraz nos dará como resultado el volumen total.

Con estos datos se procedió a calcular y registrar la D_p de todas las muestras para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_p = \frac{P_{ms}}{(V_m) - (V_t)}$$

Dónde:

D_p = Densidad de partículas (gr/cc)

P_{ms} = Peso de la muestra seca (gr)

V_m = Volumen del matraz (100 cc)

V_t = Volumen total del agua agregada al matraz (cc)

3.3. Porosidad

Para determinar la porosidad de los suelos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Porosidad} = ((D_p - D_a)/D_p) * 100$$

Dónde:

D_p = Densidad de Partícula

D_a = Densidad aparente

La porosidad fue determinada a partir de la Densidad aparente y la Densidad de partículas previamente obtenidas para cada una de las muestras extraídas y se anotó los resultados obtenidos.

Según Brady (2013) la porosidad ideal para un suelo agrícola varía de un 45 a 50%, valores menores a 35% evidencian problemas de compactación.

La interpretación de la porosidad se la realizó mediante la utilización de la siguiente tabla:

Cuadro N° 4: Interpretación de la Porosidad.

Porosidad total %	Interpretación
<30	Muy baja
30 – 40	Baja
40 – 50	Media
50 – 60	Alta
>60	Muy Alta

Fuente: Manual de Procedimientos Analíticos Laboratorio de Física de Suelos, (UNAM, 2010).

3.4. Infiltración

La infiltración se determinó para cada área de suelo a través del método del doble cilindro el cual consiste en instalar en el terreno que se requiere determinar su infiltración, en un sitio característico (previamente limpiado de hierbas, desechos, piedras, etc.) dos cilindros concéntricos de acero, huecos en el centro.

Se coloca una placa de acero sobre ellos y se golpea hasta que penetren a una profundidad de 10 a 15 cm. Los cilindros deben estar a nivel. Una vez instalados, se llena de agua el anillo exterior, se vierte agua y se mide el tirante con ayuda de una regla. Entonces empieza la prueba rápidamente midiendo el tirante nuevamente y tomando el tiempo. Las lecturas se hacen a diferentes intervalos, dejando que baje el nivel de agua y volviendo agregar agua cuando se requiera (al hacer esto, al tiempo se le denomina tiempo muerto) Después de una a tres horas, cuando el nivel de agua varíe muy poco o nada, la prueba abra terminado.

La explicación de usar dos anillos, es la de que el anillo exterior cuando se le vierte agua va a impedir que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal, esto causaría errores en la determinación de la infiltración en la cual se supone el flujo del agua es en sentido vertical.

Se toman los datos y se procesaron para obtener las curvas de infiltración de cada área, las cuales se ajustaron a partir de la fórmula de cada curva para corregir errores.

Se determinó la infiltración instantánea al 10% (USDA) y 1% (Latinoamérica, INTA, EMBRAPA, INIA, etc.) con cuyos valores se realizó la interpretación de la infiltración de acuerdo a la siguiente tabla:

Cuadro N° 5: Interpretación de la infiltración Instantánea.

Clase	Velocidad de Infiltración (mm/h)	Interpretación
1	< 1	Muy Lenta: Suelo adecuado para el cultivo de Arroz, por la susceptibilidad al encharcamiento superficial. Riesgo de erosión elevado.
2	1 – 5	Lenta: Riesgo de erosión importante. Se pierde una parte considerable del agua de riego. Puede haber falta de aireación en las raíces en condiciones de exceso de humedad.
3	5 – 20	Moderadamente Lenta: Optima para el riego de superficie.
4	20 – 60	Moderada: Adecuada para el riego de superficie.
5	60 – 125	Moderadamente Rápida: Demasiado rápida para el riego de superficie, provoca pérdida de nutrientes por lavado. Baja eficiencia de riego.
6	125 – 250	Rápida: Marginal para riego de superficie.
7	> 250	Muy Rápida: Excesiva para riego de superficie. Característica de suelos arenosos, se requiere riego localizado.

Fuente: USDA, 1977.

3.5. Perfil de Penetrometria

Se realizó a través de la utilización del penetrómetro “SC-900 Fieldscout” (Medidor digital de Compactación del Suelo SC-900) de Spectrum Technologies, Inc. Con las siguientes características:

Cuadro N° 6: Especificaciones técnicas penetrometro SC-900 Fieldscout.

Especificaciones técnicas	
Unidades de medida	Cone Index (PSI o kPa)
Resolución	2,5 cm, 5 PSI (35 kPa)
Exactitud	±1,25 cm, ±15 PSI (±103 kPa)
Rango	0 - 45 cm, 0 - 1000PSI (0 - 7000 kPa)
Velocidad máxima de penetración	182 cm/min
Máxima capacidad de carga	95 kg
Tipo de Pila	2 baterías alcalinas tipo AA
Duración de la Pila	Unos 12 meses de vida
Capacidad de registro de datos	772 medidas sin GPS, 579 medidas con GPS/DGPS
Display	16 caracteres, LCD de 2 líneas
Peso	1,25 kg

FUENTE: Spectrum technologies, 2015.

Utilizando este equipo provisto por el laboratorio de suelos dependiente de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la U.A.J.M.S. Se trazó una trama o red imaginaria flexible sobre los suelos del CECH a intervalos de aproximadamente veinte metros entre muestras tanto en sentido horizontal como perpendicular.

Se realizaron las mediciones en las unidades 4, 5, 6, 7, 8 y 9 dejando de lado las áreas 1 y 10 que se descartaron en este trabajo debido al uso que se les da que no es relevante en el ámbito agrícola (Caminos y lecho de río); además de estas áreas en la realización de esta prueba se dejó de lado las áreas 2 y 3 de la zona colinosa fluvio lacustre debido al impedimento mecánico que representaba el alto contenido de piedras en estas áreas, para la penetración del equipo en los suelos, lo que impidió la toma de muestras en estas áreas ya que las piedras alteran los datos y pueden dañar el equipo.

Para la toma de muestras el suelo debe estar en capacidad de campo, para lo cual se debió esperar 48 horas como lo indica la teoría después de una intensa lluvia una vez que el agua gravimétrica se infiltro para evitar trabajar con suelo demasiado seco y endurecido o suelo encharcado.

Se procedió a la toma de muestras sobre las áreas indicadas, se coloca una lámina de acero sobre la superficie del suelo que posee un orificio en el centro mediante la cual un sensor detecta la altura y se coloca el penetrometro sobre la superficie del suelo y se inicia la penetración a una velocidad maso menos constante de 1pul/s (para evitar error por exceso de velocidad), otro factor a considerar es que el área sobre la que se trabajara debe estar limpia de hierbas que interfieran con la lectura del sensor de distancias, ya que ante la interferencia de algún objeto entre el sensor y el suelo el equipo marcara error.

Se introdujo el sensor hasta la profundidad máxima de 45 cm. Existiendo puntos donde debido a la dureza no se alcanzó los 45 cm. Se tomaron 154 puntos con el penetrometro, y se tomaron las coordenadas geográficas de cada punto con ayuda de un GPS.

Se descargaron las lecturas del equipo y se tabularon, las coordenadas geográficas fueron transformadas a UTM con la ayuda de un software de acceso libre de la Federacion Andaluza de Colombofilia disponible en INTERNET, con esos datos se utilizó el programa GeoStatistics for the Environmental Sciences Version 10 (GS+ 10.0) de Gamma Design, un software que puede ser descargado de la red, para la generación de los mapas de resistencia a la penetración.

3.6. Perfil de Aradura y de Crecimiento Radicular

En cada unidad de suelos del Centro Experimental de Chocloca con importancia agrícola se abrió una calicata en una zona representativa de cada área (en las unidades 2, 8 y 9 debido a su superficie se realizaron dos calicatas una al lado derecho del camino y otra al lado izquierdo desde el ingreso al CECH), para observar el perfil del suelo identificar la capa arable, la profundidad que esta capa disturbada alcanza y los patrones de penetración de las raíces en los diferentes horizontes e identificar anomalías en las raíces y suelos que indiquen signos de compactación además identificar anomalías externas en los cultivos.

Las calicatas fueron abiertas en un sitio representativo del perfil, si bien los suelos son variables se buscó una zona que mejor refleje las condiciones de cada unidad (pendiente, manejo, color, presencia de MO, etc.), para lo cual se observó la zona y se recorrió con ayuda de una imagen satelital, para identificar las características de cada unidad, se trató de

realizar en la proximidad de la parte central de las unidades para evitar las influencias externas que se ejercen en los bordes, evitar la proximidad a caminos, plantaciones forestales, proximidades a drenajes, a las granjas de los animales, a construcciones, sectores de acumulación de residuos vegetales o sectores mal drenados, y también se consideró en las unidades con cultivos la cercanía a los cultivos para poder observar el crecimiento radicular.

Se identificó la capa arable en cada unidad y se anotó la profundidad que esta alcanza además de las profundidades de los demás horizontes encontrados, se observó los patrones de crecimiento radicular a través del perfil en las unidades donde existían cultivos, se identificaron las anomalías que se encontraron en las raíces para identificar los efectos de la compactación sobre las mismas.

Además se aprovechó para obtener datos complementarios como la estructura, textura (a través del método del tacto), color (mediante la tabla de Munsell) y determinar la presencia de fragmentos gruesos en las zonas donde se abrieron las calicatas siempre manejando de abajo hacia arriba para evitar la contaminación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los objetivos trazados y la metodología adoptada se han obtenido los siguientes resultados.

1. Densidad Aparente; Densidad Real y Porosidad.-

Como resultado de las pruebas de Densidad Real y Densidad Aparente en los dos primeros horizontes de las áreas de suelo del CECH se obtuvieron los resultados a partir de los cuales se calculó de acuerdo con la metodología la Porosidad, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro N° 7

Resultados obtenidos en la determinación de la Da; Dp y Porosidad.

Unidad	Descripción	Horizonte No	Profundidad (cm)	Da (gr/cc)	Dp (gr/cc)	Porosidad	Interpre. Porosidad
2	Margen derecho	1	0 - 13	1,30	2,3	43,5	Media
		2	13 - 32	1,40	2,2	37,2	Baja
	Margen izquierdo	1	0 - 25	1,45	2,4	38,5	Baja
		2	25 - 42	1,59	2,4	34,4	Baja
3	3	1	0 - 22	1,53	2,5	39,8	Baja
		2	22 - 58	1,49	2,4	37,5	Baja
4	4	1	0 - 26	1,38	2,5	43,9	Media
		2	26 - 52	1,61	2,5	34,8	Baja
5	5	1	0 - 22	1,68	2,4	30,9	Baja
		2	22 - 47	1,49	2,1	28,8	Muy Baja
6	6	1	0 - 19	1,55	2,3	32,4	Baja
		2	19 - 29	1,76	2,5	28,7	Muy Baja
7	7	1	0 - 32	1,68	2,3	27,8	Muy Baja
		2	32 - 48	1,74	2,5	31,5	Baja
8	Margen derecho	1	0 - 20	1,36	2,2	38,8	Baja
		2	20 - 30	1,51	2,7	44,3	Media
	Margen izquierdo	1	0 - 40	1,56	2,4	34,9	Baja
		2	40 - 56	1,67	2,3	27,1	Muy Baja
9	Margen derecho	1	0 - 30	1,38	2,2	38,2	Baja
		2	30 - 46	1,40	2,5	43,3	Media
	Margen izquierdo	1	0 - 23	1,51	2,4	37,0	Baja
		2	23 - 56	1,66	2,4	30,9	Baja

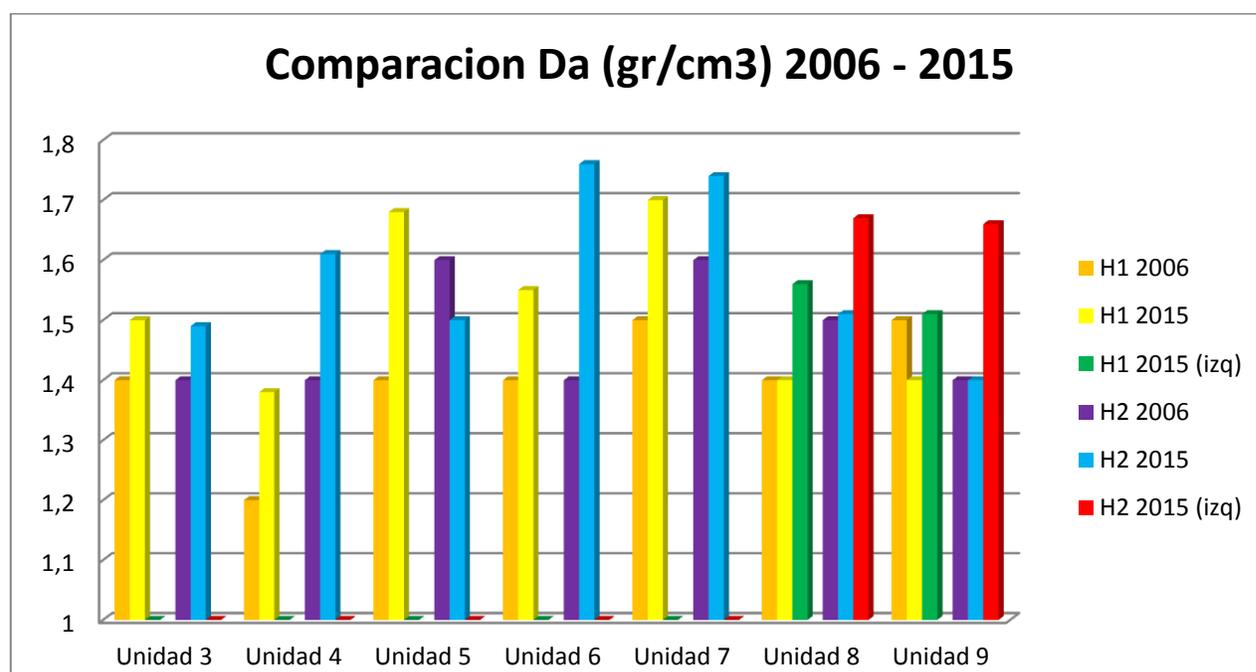
En el cuadro N° 7 se pueden observar los resultados de la Da, Dp, la porosidad y su interpretación en base a la metodología planteada; la porosidad se encuentra baja en la

mayoría de los horizontes, siendo muy baja en el segundo horizonte de la unidad 5, 6, 8 (margen derecho) y en el primer horizonte de la unidad 7; presentando porosidad media en el primer horizonte de la unidad 2(margen derecho), 4 y en el segundo horizonte la unidad 8 y 9 (ambas en el margen derecho).

De acuerdo a Brady (2013) valores menores a 35% de porosidad indican compactación, por lo que existe compactación en las unidades 5,6, 7 y 8 (margen izquierdo) en ambos horizontes y en el segundo horizonte 2(margen izquierdo), 4, y 9 (margen izquierdo).

Grafica N°1

Comparación de los datos obtenidos de Da con los obtenidos por Torrez (2006)



Como era de esperarse la Da en la mayoría de las unidades aumento durante los últimos 9 años, bajo en el segundo horizonte de la unidad 5 y bajo en el primer horizonte de la unidad 9 (Margen derecho) y se mantuvo en su segundo horizonte debido al subsolado que se realizó en esta área.

Se observa el incremento de la Da elevado en las unidades donde se determinó la presencia de compactación; unidades 5, 6, 7, 8 (margen izquierdo) y en el segundo horizonte de la 4 y 9 (margen izquierdo).

2. Infiltración.

De acuerdo con la metodología planteada para la determinación de la Infiltración en las distintas Unidades del CECH, se obtuvieron los siguientes resultados:

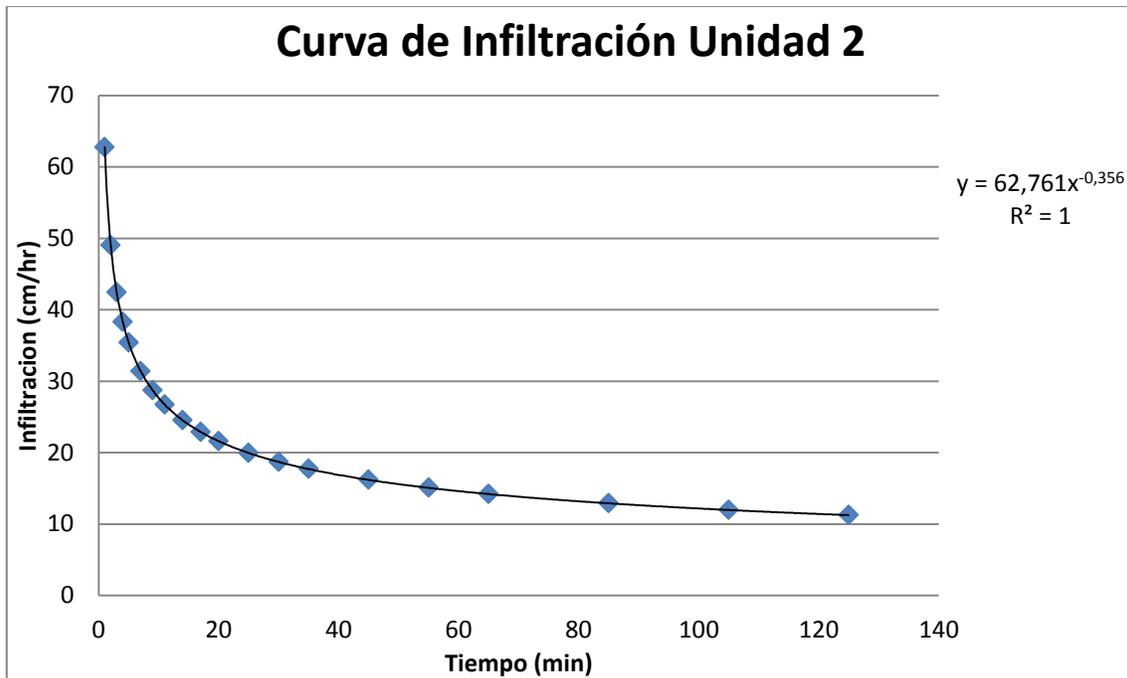
2.1. Unidad 2.

Cuadro N° 8: Planilla de Infiltración Unidad 2

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Unidad: 2						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca			Pendiente: 15 – 20%	
Georeferenciación G.P.S. :		S: 21,74757° ; W: 64,73072°			Altura (m.s.n.m.): 1795	
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lamina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
09:30	21,1	0	0	0	0	0
09:31	19,7	1	1	1,4	1,4	84
09:32	18,8	1	2	0,9	2,3	54
09:33	18,1	1	3	0,7	3	42
09:34	17,6	1	4	0,5	3,5	30
09:35	17	1	5	0,6	4,1	36
09:37	16	2	7	1	5,1	30
09:39	15,1	2	9	0,9	6	27
09:41	14,3	2	11	0,8	6,8	24
09:44	13,2	3	14	1,1	7,9	22
09:47	12,1	3	17	1,1	9	22
09:50	11,2	3	20	0,9	9,9	18
09:55	9,8	5	25	1,4	11,3	16,8
09:55	21,1	0	25	0	11,3	0
10:00	19,4	5	30	1,7	13	20,4
10:05	17,7	5	35	1,7	14,7	20,4
10:15	14,8	10	45	2,9	17,6	17,4
10:25	12,2	10	55	2,6	20,2	15,6
10:35	10	10	65	2,2	22,4	13,2
10:35	21,1	0	65	0	22,4	0
10:55	15,6	20	85	5,5	27,9	16,5
11:15	11,3	20	105	4,3	32,2	12,9
11:35	7,7	20	125	3,6	35,8	10,8

En el cuadro número 8 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 2 (esta se realizó en el margen derecho), con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. Cabe recalcar además la realización de dos recargas donde el tiempo se detiene.

Gráfico N° 2: Curva de Infiltración Unidad 2.



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial es alta y va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 80 min. Esta curva fue ajustada a partir de la ecuación: $y = 62,761x^{-0,356}$

Cuadro N° 9: Cuadro de interpretación de la Infiltración unidad 2

INFILTRACIÓN INSTANTANEA	INFILTRACIÓN BASICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 62,761t^{-0,2356}$	399 mm/hora	176 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Muy Rápida	Rápida

La infiltración en esta unidad al 10% es muy rápida; excesiva para riego de superficie, recomendada para riego localizado; y al 1% es rápida, presenta una elevada infiltración que disminuye el riego de erosión, indicativa de una buena porosidad.

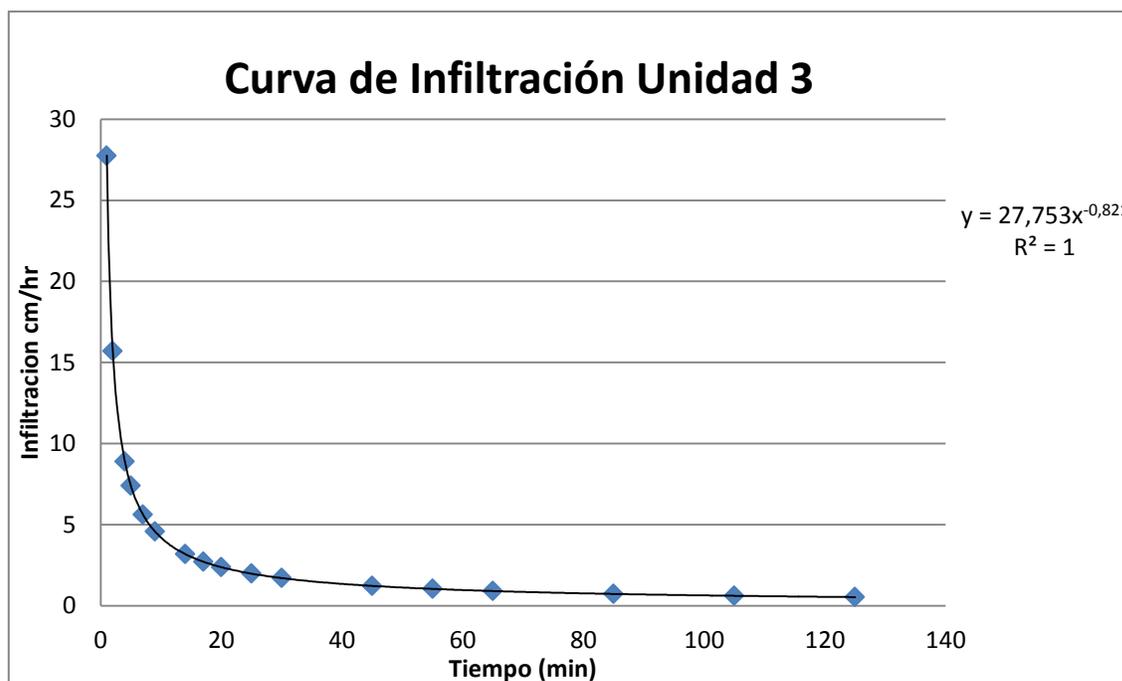
2.2. Unidad 3.

Cuadro N° 10: Planilla de infiltración Unidad 3.

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Unidad: 3						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca		Pendiente: 5 – 10%		
Georeferenciación G.P.S. : S 21,74743° W 64.72914°			Altura (m.s.n.m.): 1787			
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lamina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
14:03	21,6	0	0	0	0	0
14:04	21,1	1	1	0,5	0,5	30
14:05	20,8	1	2	0,3	0,8	18
14:06	20,8	1	3	0	0,8	0
14:07	20,7	1	4	0,1	0,9	6
14:08	20,5	1	5	0,2	1,1	12
14:10	20,4	2	7	0,1	1,2	3
14:12	20,2	2	9	0,2	1,4	6
14:14	20,2	2	11	0	1,4	0
14:17	20	3	14	0,2	1,6	4
14:20	19,9	3	17	0,1	1,7	2
14:23	19,8	3	20	0,1	1,8	2
14:28	19,5	5	25	0,3	2,1	3,6
14:33	19,4	5	30	0,1	2,2	1,2
14:38	19,4	5	35	0	2,2	0
14:48	19,2	10	45	0,2	2,4	1,2
14:58	19	10	55	0,2	2,6	1,2
15:08	18,9	10	65	0,1	2,7	0,6
15:28	18,6	20	85	0,3	3	0,9
15:48	18,4	20	105	0,2	3,2	0,6
16:08	18,2	20	125	0,2	3,4	0,6

En el cuadro N° 10 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 3, con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. No se realizaron recargas.

Gráfico N° 3: Curva de infiltración Unidad 3



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial es alta y va descendiendo hasta tornarse más homogénea antes de los 20 min; rápidamente disminuye la velocidad inicial. Esta curva se ajustada a partir de la ecuación: $y = 27,753x^{-0,821}$

Cuadro N° 11: Cuadro de interpretación de la Infiltración unidad 3

INFILTRACIÓN INSTANTANEA	INFILTRACIÓN BASICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 27.753t^{-0,821}$	49 mm/hora	7 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Moderada	Moderadamente Lenta

La infiltración en esta unidad al 10% es moderada (adecuada para el riego de superficie), al 1% es moderadamente lenta (óptima para riego de superficie), debido a las pendientes de esta unidad existe un alto riesgo de erosión; pese a tener una buena que no indica compactación posee leves problemas de infiltración.

2.3. Unidad 4.

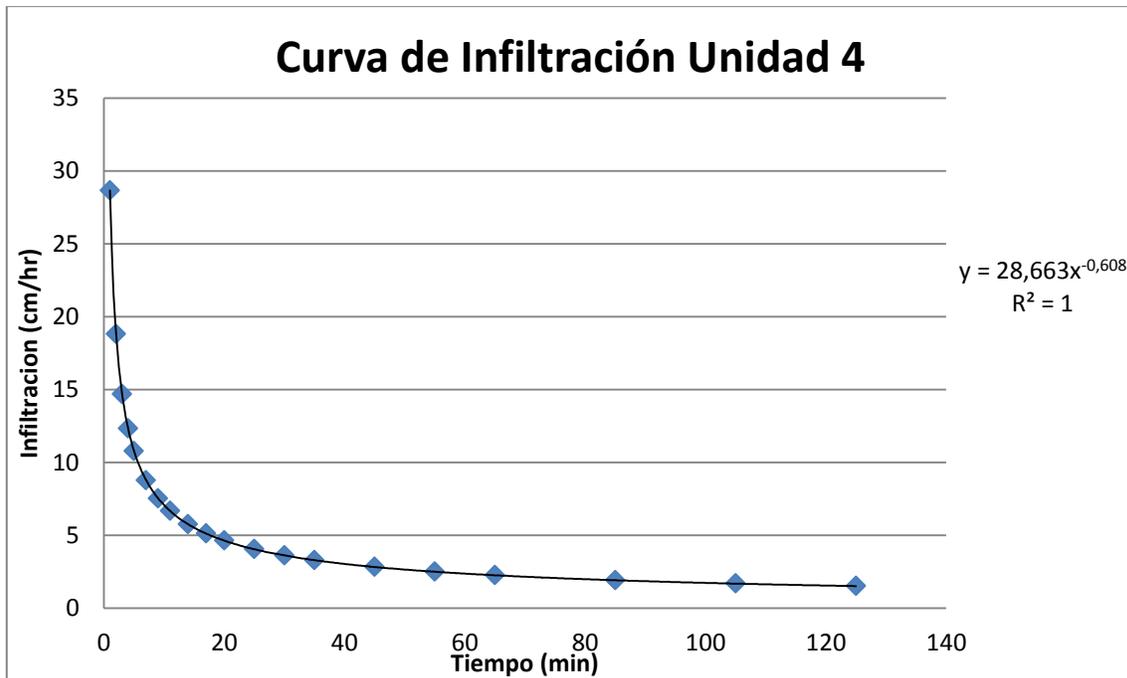
Cuadro N° 12: Planilla de infiltración Unidad 4.

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Unidad: 4						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca			Pendiente: 2 – 5%	
Georeferenciación G.P.S. : S 21.74839° W 64.73009°				Altura (m.s.n.m.): 1784		
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lamina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
12:35	21,7	0	0	0	0	0
12:36	21,2	1	1	0,5	0,5	30
12:37	20,8	1	2	0,4	0,9	24
12:38	20,6	1	3	0,2	1,1	12
12:39	20,5	1	4	0,1	1,2	6
12:40	20,3	1	5	0,2	1,4	12
12:42	20	2	7	0,3	1,7	9
12:44	19,8	2	9	0,2	1,9	6
12:46	19,5	2	11	0,3	2,2	9
12:49	19,2	3	14	0,3	2,5	6
12:52	18,9	3	17	0,3	2,8	6
12:55	18,7	3	20	0,2	3	4
13:00	18,3	5	25	0,4	3,4	4,8
13:05	17,9	5	30	0,4	3,8	4,8
13:10	17,6	5	35	0,3	4,1	3,6
13:20	17	10	45	0,6	4,7	3,6
13:30	16,5	10	55	0,5	5,2	3
13:40	16,1	10	65	0,4	5,6	2,4
14:00	15,3	20	85	0,8	6,4	2,4
14:20	14,7	20	105	0,6	7	1,8
14:40	14,5	20	125	0,2	7,2	0,6

En el cuadro N°12 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 4, con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. No se realizaron recargas.

Gráfico N° 4

Curva de infiltración Unidad 4



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial es alta y va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 20 min; rápidamente disminuye la velocidad inicial lo cual puede atribuirse a los problemas de porosidad en el segundo horizonte. Esta curva fue ajustada partir de la ecuación: $y = 28,663x^{-0,608}$

Cuadro N° 13: Cuadro de interpretación de la infiltración Unidad 4

INFILTRACIÓN INSTANTANEA	INFILTRACIÓN BASICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 28.663t^{-0,608}$	96 mm/hora	24 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Moderadamente Rápida	Moderada

Esta unidad presenta una infiltración al 10 % Moderadamente rápida (Baja eficiencia de riego, pérdida de nutrientes por lavado), y al 1% moderada (adecuada para el riego de superficie); pese a presentar compactación en su segundo horizonte no posee problemas de infiltración.

2.4. Unidad 5.

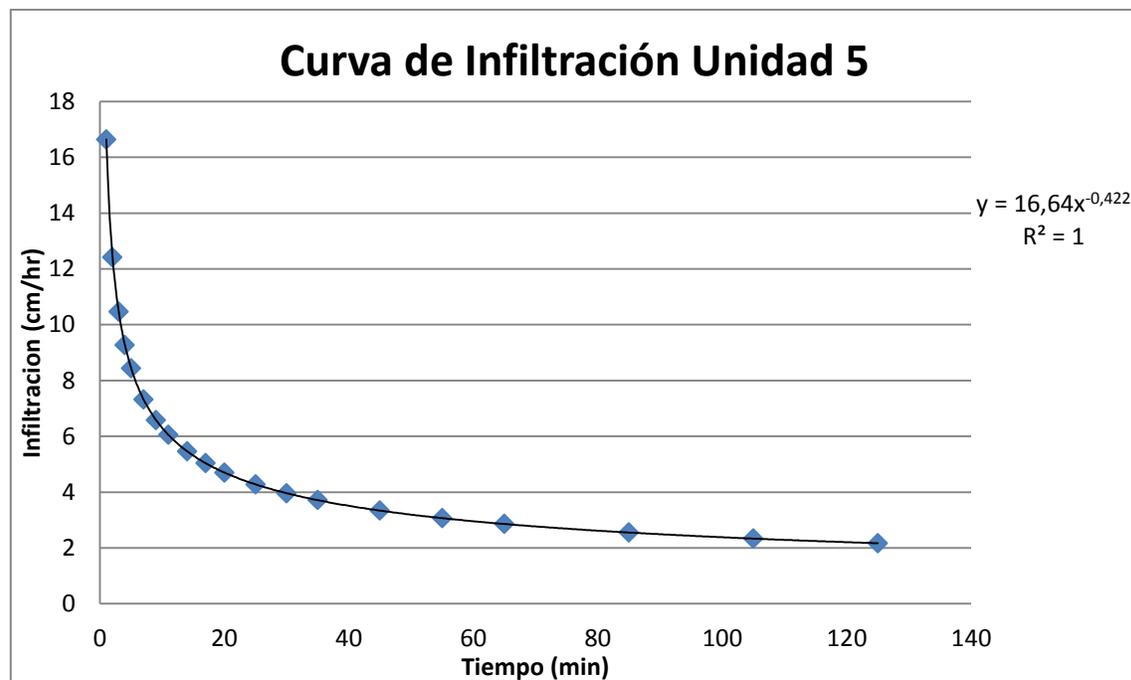
Cuadro N° 14: Planilla de infiltración Unidad 5

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Unidad: 5						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca			Pendiente: 0.5 – 2%	
Georeferenciación G.P.S. : S 21.74889° W 64.73013°				Altura (m.s.n.m.): 1782		
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lámina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
15:18	20,9	0	0	0	0	0
15:19	20,8	1	1	0,1	0,1	6
15:20	20,6	1	2	0,2	0,3	12
15:21	20,4	1	3	0,2	0,5	12
15:22	20,2	1	4	0,2	0,7	12
15:23	20	1	5	0,2	0,9	12
15:25	19,7	2	7	0,3	1,2	9
15:27	19,4	2	9	0,3	1,5	9
15:29	19,2	2	11	0,2	1,7	6
15:32	18,9	3	14	0,3	2	6
15:35	18,5	3	17	0,4	2,4	8
15:38	18,3	3	20	0,2	2,6	4
15:43	17,8	5	25	0,5	3,1	6
15:48	17,6	5	30	0,2	3,3	2,4
15:53	17,2	5	35	0,4	3,7	4,8
16:03	16,6	10	45	0,6	4,3	3,6
16:13	16	10	55	0,6	4,9	3,6
16:23	15,5	10	65	0,5	5,4	3
16:43	14,6	20	85	0,9	6,3	2,7
17:03	14,2	20	105	0,4	6,7	1,2
17:23	13,7	20	125	0,5	7,2	1,5

En el cuadro N°14 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 5, con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. No se realizaron recargas.

Gráfico N° 5

Curva de infiltración Unidad 5



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 40 min. Esta curva fue ajustada a partir de la ecuación: $y = 16,64x^{-0,422}$

Cuadro N° 15

Cuadro de interpretación de la infiltración Unidad 5

INFILTRACIÓN INSTANTANEA	INFILTRACIÓN BASICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 16.64t^{-0,422}$	91 mm/hora	34 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Moderadamente Rápida	Moderada

Esta unidad presenta una infiltración al 10% Moderadamente Rápida (baja eficiencia de riego, pérdida de nutrientes por lavado) y al 1% Moderada; esa a presentar compactación la infiltración en esta unidad se mantiene dentro de lo aceptable.

2.5. Unidad 6.

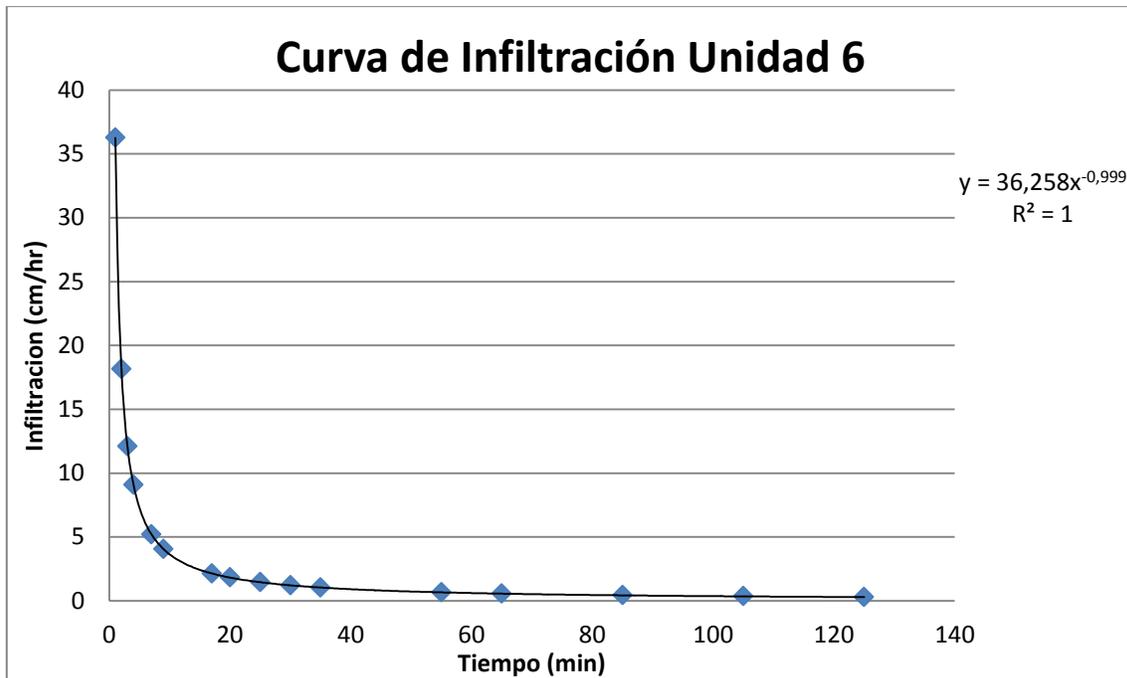
Cuadro N° 16: Planilla de Infiltración Unidad 6

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Sr.: Daniel Segovia						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca			Pendiente: 0.5 – 2%	
Georeferenciación G.P.S. : S 21.74987° W 64.72965°				Altura (m.s.n.m.): 1780		
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lámina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf. Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
17:48	22,6	0	0	0	0	0
17:49	21,9	1	1	0,7	0,7	42
17:50	21,5	1	2	0,4	1,1	24
17:51	21,3	1	3	0,2	1,3	12
17:52	21,2	1	4	0,1	1,4	6
17:53	21	1	5	0,2	1,6	12
17:55	20,8	2	7	0,2	1,8	6
17:57	20,7	2	9	0,1	1,9	3
17:59	20,5	2	11	0,2	2,1	6
18:02	20,4	3	14	0,1	2,2	2
18:05	20,3	3	17	0,1	2,3	2
18:08	20,2	3	20	0,1	2,4	2
18:13	20,1	5	25	0,1	2,5	1,2
18:18	20	5	30	0,1	2,6	1,2
18:23	19,9	5	35	0,1	2,7	1,2
18:33	19,8	10	45	0,1	2,8	0,6
18:43	19,7	10	55	0,1	2,9	0,6
18:53	19,6	10	65	0,1	3	0,6
19:13	19,4	20	85	0,2	3,2	0,6
19:33	19,3	20	105	0,1	3,3	0,3
19:53	19,2	20	125	0,1	3,4	0,3

En el cuadro N°16 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 6, con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. No se realizaron recargas.

Gráfico N° 6

Curva de Infiltración Unidad 6



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial es alta y va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 10 min; presenta una infiltración inicial alta que disminuye rápidamente debido a la compactación en capas inferiores. Esta curva fue ajustada a partir de la ecuación: $y = 36,258x^{-0,999}$

Cuadro N° 17

Cuadro de interpretación de la infiltración Unidad 6

INFILTRACIÓN INSTÁNTANEA	INFILTRACIÓN BÁSICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 36.258t^{-0,999}$	36 mm/hora	4 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Moderada	Lenta

La infiltración en esta unidad al 10% es moderada (Adecuada para el riego de superficie) y al 1% es lenta (riesgo de erosión, se pierde una parte considerable del agua de riego, puede haber falta de oxígeno para las raíces en condiciones de exceso de humedad); la compactación está afectando la infiltración en esta unidad.

2.6. Unidad 7.

Cuadro N° 18

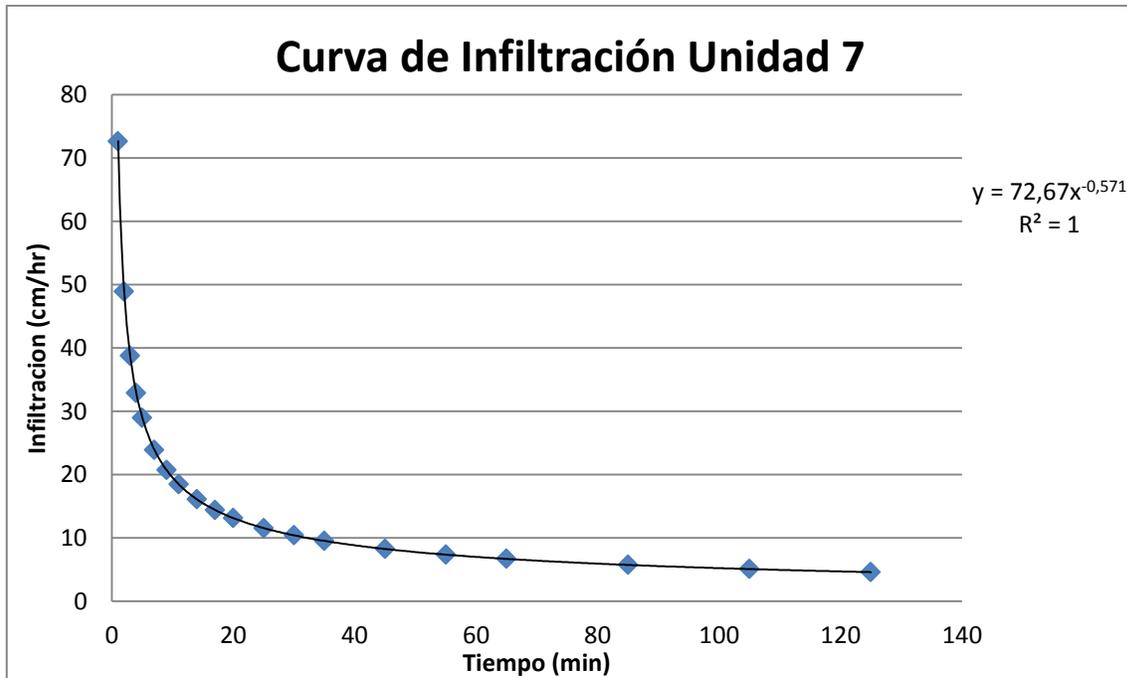
Planilla de Infiltración Unidad 7

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Unidad: 7						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca		Pendiente: 0.5 – 2%		
Georeferenciación G.P.S. : S 21.74826° W 64.72901°				Altura (m.s.n.m.): 1779		
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lámina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
11:31	20,5	0	0	0	0	0
11:32	19,4	1	1	1,1	1,1	66
11:33	18,4	1	2	1	2,1	60
11:34	17,6	1	3	0,8	2,9	48
11:35	17	1	4	0,6	3,5	36
11:36	16,4	1	5	0,6	4,1	36
11:38	15,9	2	7	0,5	4,6	15
11:40	15,5	2	9	0,4	5	12
11:42	14,8	2	11	0,7	5,7	21
11:45	14	3	14	0,8	6,5	16
11:48	13,2	3	17	0,8	7,3	16
11:51	12,4	3	20	0,8	8,1	16
11:56	11,7	5	25	0,7	8,8	8,4
12:01	10,7	5	30	1	9,8	12
12:01	20,5	0	30	0	9,8	0
12:06	19,9	5	35	0,6	10,4	7,2
12:16	18,1	10	45	1,8	12,2	10,8
12:26	16,8	10	55	1,3	13,5	7,8
12:36	15,5	10	65	1,3	14,8	7,8
12:56	13,5	20	85	2	16,8	6
13:16	11,9	20	105	1,6	18,4	4,8
13:36	10,4	20	125	1,5	19,9	4,5

En el cuadro N°18 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 7 (se realizó en el margen izquierdo), con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. Se realizó una recarga.

Gráfico N° 7

Curva de infiltración Unidad 7



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial es alta y va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 60 min. Esta curva fue ajustada partir de la ecuación: $y = 72,67x^{-0,571}$

Cuadro N° 19: Cuadro de interpretación Unidad 7

INFILTRACIÓN INSTÁNTANEA	INFILTRACIÓN BÁSICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 72.67t^{-0,571}$	269 mm/hora	72 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Muy Rápida	Moderadamente Rápida

La infiltración en esta unidad al 10% es muy rápida (excesiva para riego de superficie, se requiere riego localizado) y al 1% Moderadamente rápida (baja eficiencia de riego, perdida por lavado de nutrientes), el área se encontraba subsolada lo cual mejoro la infiltración.

2.7. Unidad 8.

Cuadro N° 20

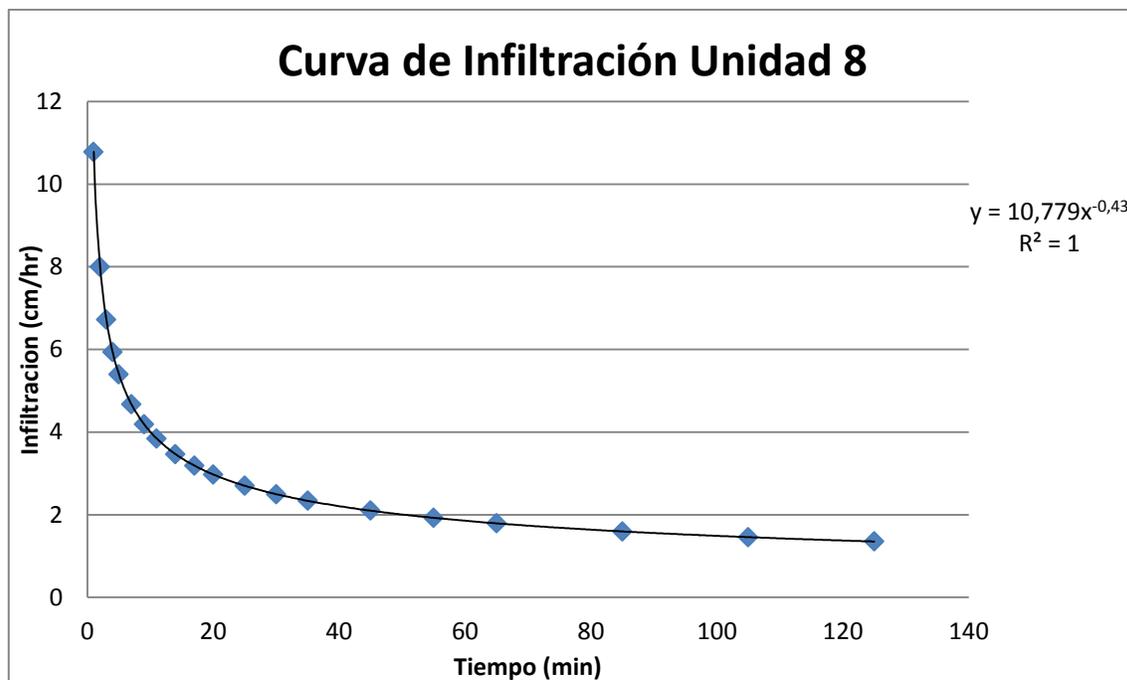
Planilla de infiltración Unidad 8

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Unidad: 8						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca		Pendiente: 0.5 – 2%		
Georeferenciación G.P.S. : S 21.74844° W 64.72784				Altura (m.s.n.m.): 1780		
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lámina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
06:20	21,5	0	0	0	0	0
06:21	21,4	1	1	0,1	0,1	6
06:22	21,3	1	2	0,1	0,2	6
06:23	21,2	1	3	0,1	0,3	6
06:24	21	1	4	0,2	0,5	12
06:25	20,9	1	5	0,1	0,6	6
06:27	20,7	2	7	0,2	0,8	6
06:29	20,5	2	9	0,2	1	6
06:31	20,4	2	11	0,1	1,1	3
06:34	20,2	3	14	0,2	1,3	4
06:37	20	3	17	0,2	1,5	4
06:40	19,9	3	20	0,1	1,6	2
06:45	19,6	5	25	0,3	1,9	3,6
06:50	19,4	5	30	0,2	2,1	2,4
06:55	19,2	5	35	0,2	2,3	2,4
07:05	18,8	10	45	0,4	2,7	2,4
07:15	18,5	10	55	0,3	3	1,8
07:25	18,2	10	65	0,3	3,3	1,8
07:45	17,6	20	85	0,6	3,9	1,8
08:05	17	20	105	0,6	4,5	1,8
08:25	16,8	20	125	0,2	4,7	0,6

En el cuadro N°20 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 8 (se realizó en el margen izquierdo), con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. No se realizaron recargas.

Gráfica N° 8

Curva de infiltración Unidad 8



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 10 min; infiltración inicial baja. Esta curva fue ajustada a partir de la ecuación: $y = 10,779x^{-0,43}$

Cuadro N° 21

Cuadro de interpretación de la infiltración Unidad 8

INFILTRACIÓN INSTÁNTANEA	INFILTRACIÓN BÁSICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 10.779t^{-0,43}$	58 mm/hora	21 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Moderada	Moderada

La infiltración en esta unidad al 10 % es Moderada (Adecuada para riego de superficie) y al 1 % es Moderada igualmente; Existe problemas leves problemas de infiltración debido a la compactación de esta unidad.

2.8. Unidad 9.

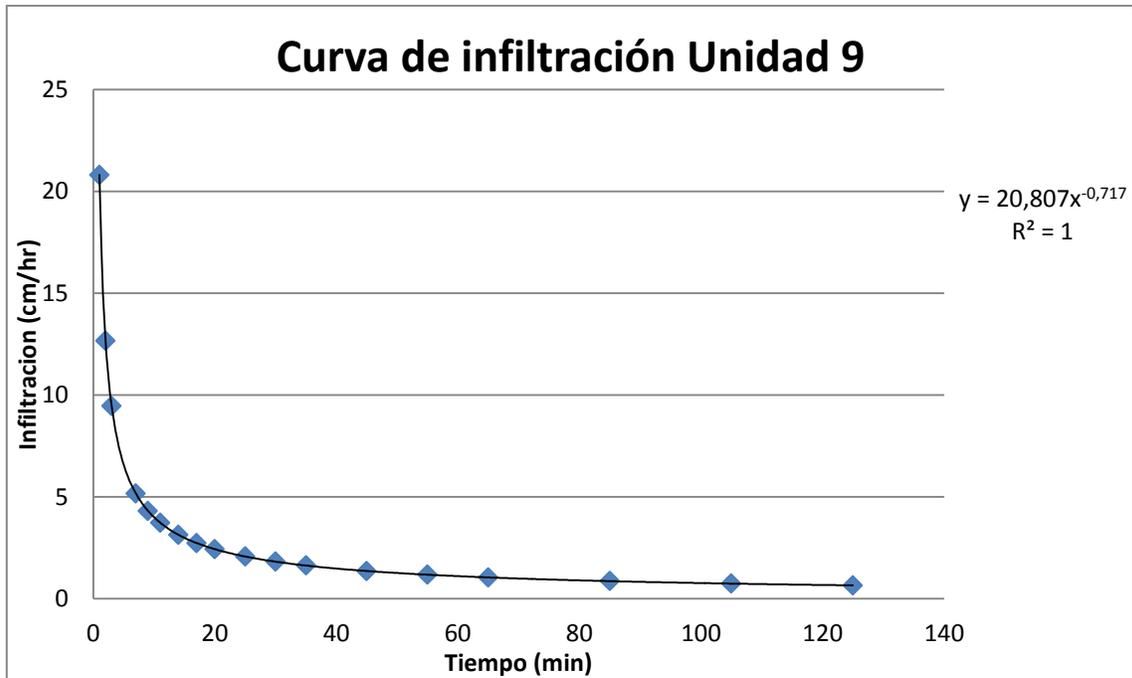
Cuadro N° 22: Planilla de infiltración unidad 9

PLANILLA DE INFILTRACIÓN						
Sr.: Daniel Segovia						
Depto: Tarija		Localidad: Chocloca		Pendiente: 0.5 – 2%		
Georeferenciación G.P.S. : S 21.74946° W 64.72677				Altura (m.s.n.m.): 1778		
Hora	Altura de agua en el cilindro (cm.)	Tiempo min.		Lámina Infiltrada (cm.)		Vel. de Inf.Instant. (cm./Hora)
		Inicial	Acumulado	Parcial	Acumulada	
08:47	19,8	0	0	0	0	0
08:48	19,3	1	1	0,5	0,5	30
08:49	19	1	2	0,3	0,8	18
08:50	18,9	1	3	0,1	0,9	6
08:51	18,9	1	4	0	0,9	0
08:52	18,9	1	5	0	0,9	0
08:54	18,8	2	7	0,1	1	3
08:56	18,5	2	9	0,3	1,3	9
08:58	18,4	2	11	0,1	1,4	3
09:01	18,3	3	14	0,1	1,5	2
09:04	18,2	3	17	0,1	1,6	2
09:07	18,1	3	20	0,1	1,7	2
09:12	17,9	5	25	0,2	1,9	2,4
09:17	17,6	5	30	0,3	2,2	3,6
09:22	17,5	5	35	0,1	2,3	1,2
09:32	17,4	10	45	0,1	2,4	0,6
09:42	17,1	10	55	0,3	2,7	1,8
09:52	16,9	10	65	0,2	2,9	1,2
10:12	16,5	20	85	0,4	3,3	1,2
10:32	16,2	20	105	0,3	3,6	0,9
10:52	16	20	125	0,2	3,8	0,6

En el cuadro N°23 se encuentra la planilla de infiltración de la unidad 9 (se realizó en el margen izquierdo), con los tiempos e intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las lecturas, la lámina infiltrada expresada en cm y la velocidad de infiltración de cada lectura. No se realizaron recargas.

Gráfico N° 9

Curva de infiltración Unidad 9.



Esta gráfica muestra la curva de infiltración, donde se observa como la infiltración inicial es alta y va descendiendo hasta tornarse más homogénea a partir de los 10 min; rápido descenso de la velocidad de infiltración inicial debido a la compactación del segundo horizonte. Esta curva fue ajustada a partir de la ecuación: $y = 20,807x^{-0,717}$

Cuadro N° 23: Cuadro de interpretación de la infiltración Unidad 9

INFILTRACIÓN INSTÁNTANEA	INFILTRACIÓN BÁSICA 10%	INFILTRACIÓN BÁSICA 1%
$I = 20.807t^{-0,717}$	51 mm/hora	10 mm/hora
INTERPRETACIÓN	Moderada	Moderadamente Lenta

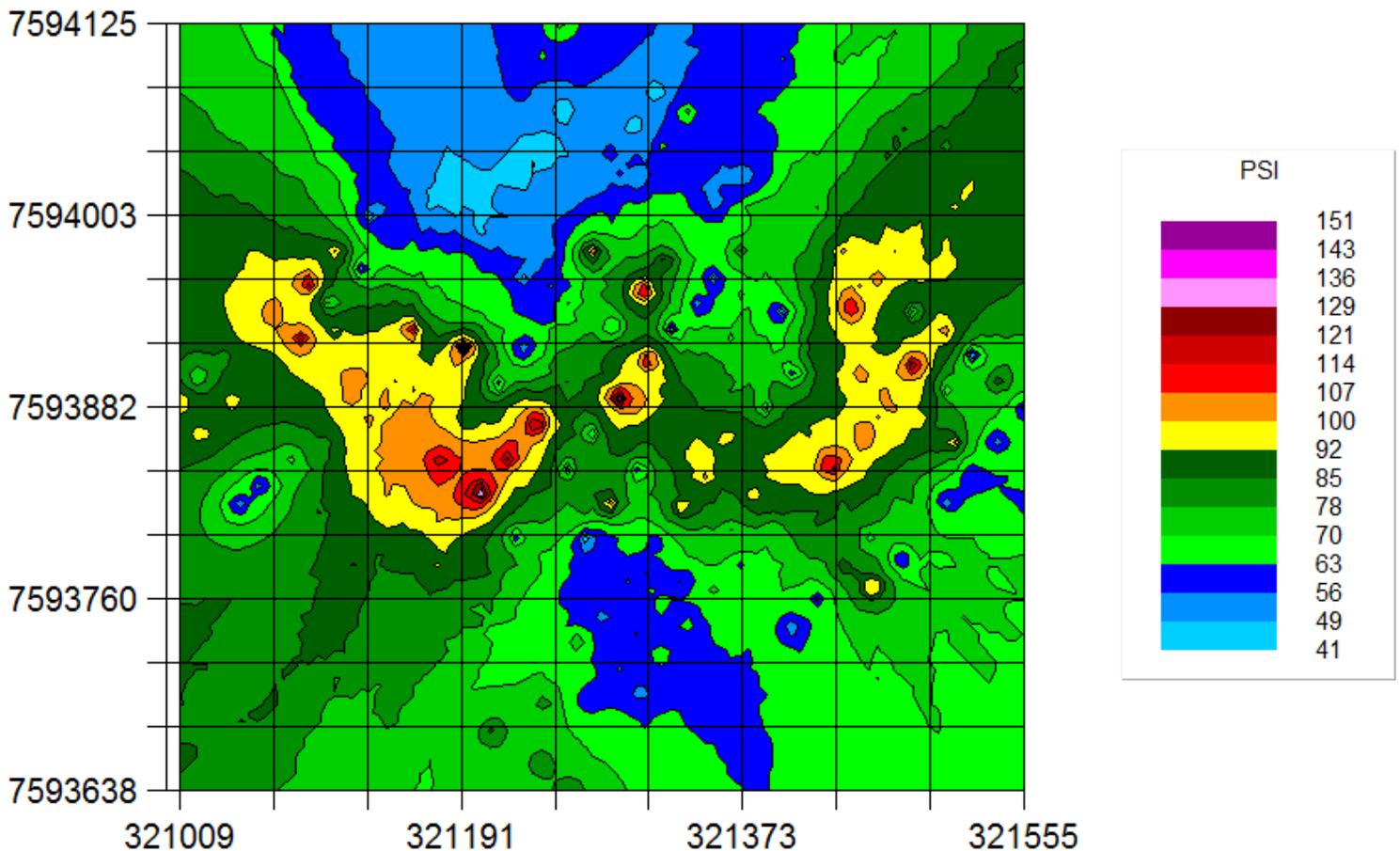
La infiltración en esta unidad al 10% es moderada (adecuada para riego de superficie) y al 1% es moderadamente lenta (óptima para riego de superficie); existen problemas de infiltración que realzan la compactación de esta área.

3. Perfil de Penetrometría

Como resultado de los datos levantados con el Penetrómetro se presentan los siguientes Mapas:

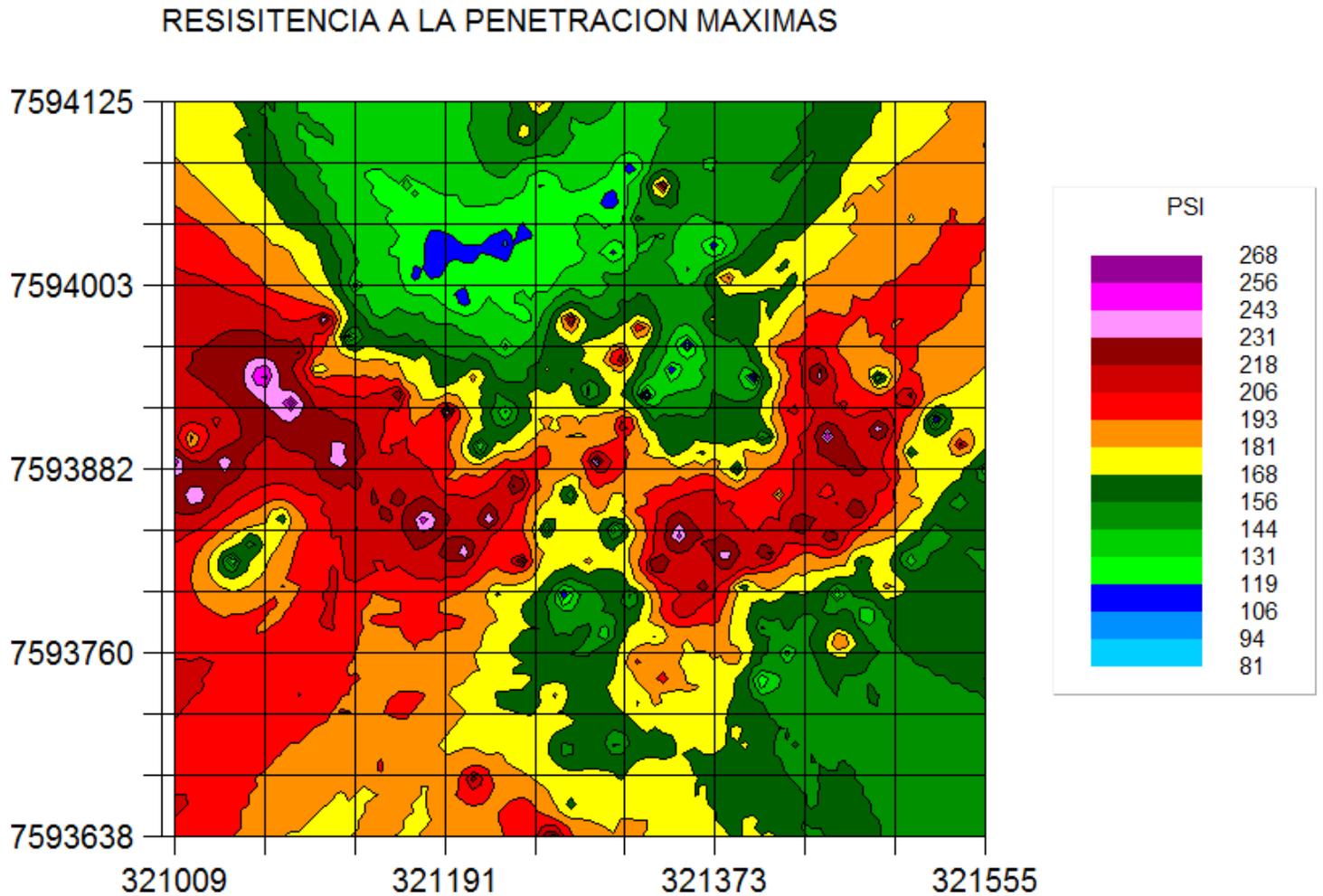
Mapa de Resistencia a la penetración obtenido de las resistencias medias de cada punto.

RESISTENCIA A LA PENETRACION MEDIA



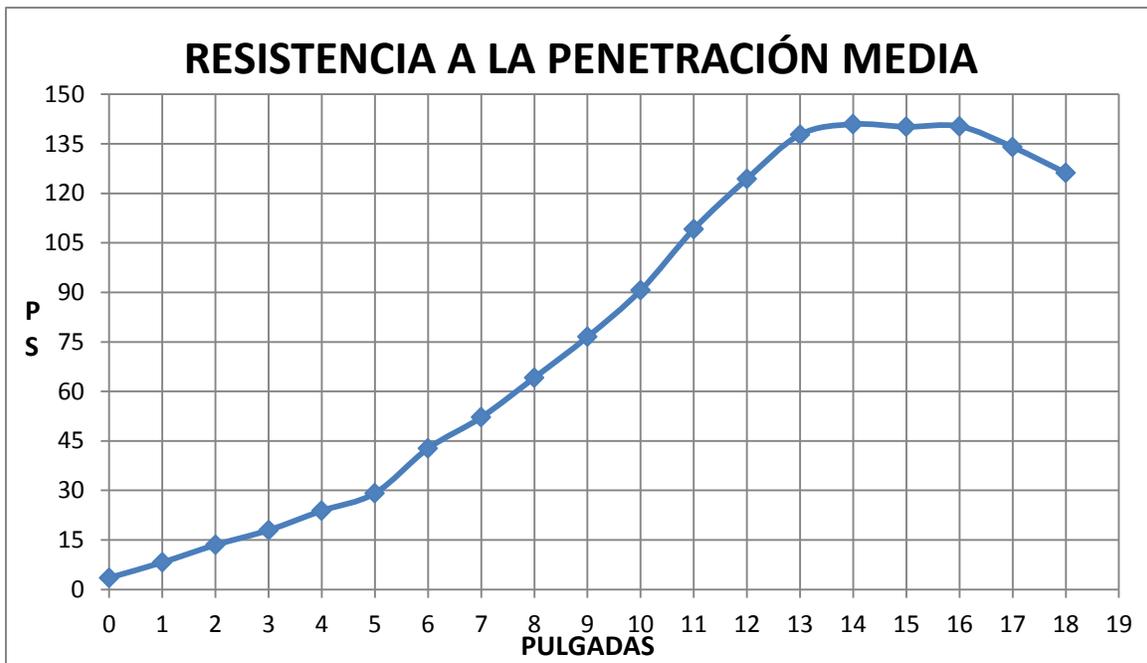
En este mapa se puede observar la resistencia a la penetración de las medias de todos los puntos de muestreo, se observan la resistencia en PSI en intervalos representados con distintos colores identificados al lado derecho del mapa, donde los valores más bajos están con celeste y los más altos con rojo y lila; se observa la tendencia de las capas compactadas sobre las áreas estudiadas; las capas más endurecidas se encuentran en las unidades 4, 5, 6, 7 (margen derecho), 8 (izquierda inferior y central) y 9 (izquierda). Las partes que ofrecen menor resistencia se encuentran en la unidad 7(margen izquierdo), 8 (norte) y 9 (margen derecho) áreas que fueron subsoladas.

Mapa obtenido a partir de los valores máximos obtenidos en cada punto.



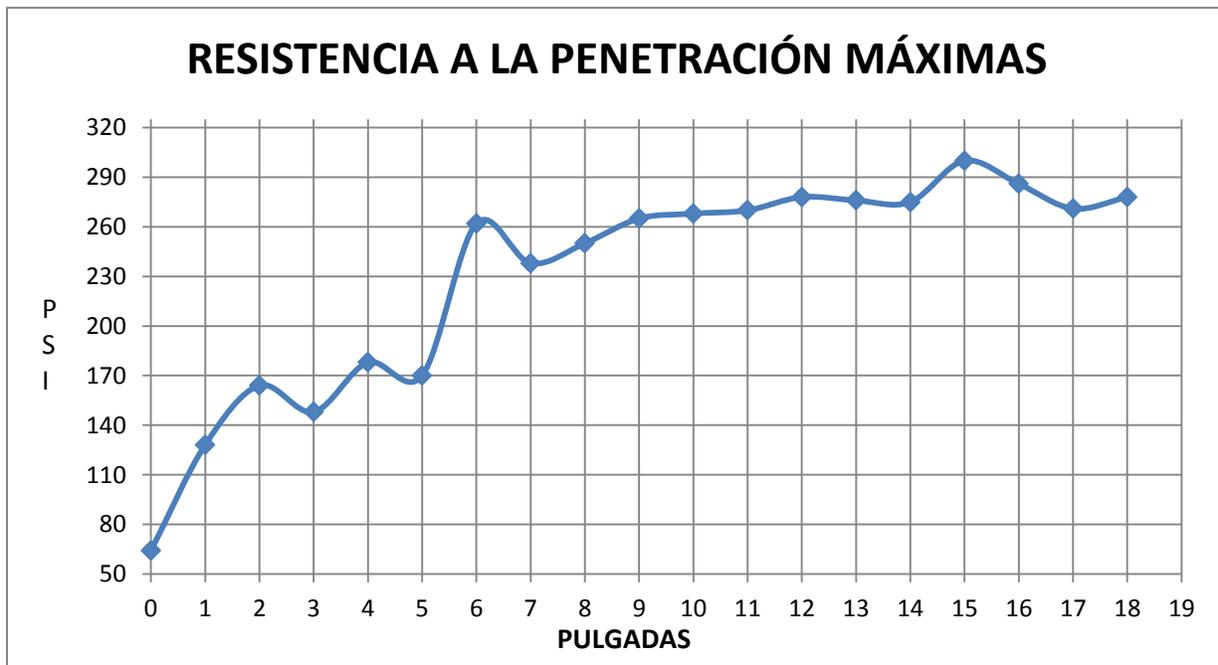
Este mapa se generó a partir de los datos máximos registrados para cada punto de muestreo, presenta características similares al anterior mapa, las zonas que están a partir del color rojo, serían las zonas en las cuales según Threadgill presentan resistencia a la penetración que afecta el crecimiento radicular de la mayoría de las especies cultivables, demostrando que existen problemas de compactación en estas áreas y esta compactación estaría afectando a los cultivos.

Gráfico N° 10: Resistencia a la penetración a partir de las medias en cada pulgada



En el gráfico 10 se observa la tendencia de incremento en la RP en los suelos a medida que se profundiza en el perfil, hasta la 5'' (12.7cm) se observa un incremento constante, a partir de la 6'' (15.2cm) se va incrementando, para lograr un máximo entre la 13'' (33 cm) y la 16'' (40.6 cm) siendo esta zona en la cual se presentarían la mayoría de las capas compactadas en los suelos (lecho de arado), posterior a esto la RP baja.

Gráfico N° 11: Resistencia a la penetración a partir de los valores máximos registrados en cada pulgada



En el gráfico N°11 se observa la tendencia de la RP de los datos máximos para cada pulgada, es evidente la presencia de puntos que superan los valores que según Threadgill afectan el crecimiento de las raíces a partir de la 6" (15.2cm) en adelante, además existe un punto en la 15" (38 cm) que superó el valor de 290 PSI, valor en el cual según distintos autores se detiene el crecimiento radicular. Además se observa que en la superficie (0") existe RP de hasta 65 PSI.

4. Perfil de Aradura y Crecimiento Radicular

De acuerdo con la metodología planteada se muestran los resultados del perfil de aradura y del perfil de Crecimiento Radicular.

4.1. Unidad 2

Cuadro N° 24

Características del perfil unidad 2 (Margen Izquierdo)

Características							
Fecha: 21/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 2 (Margen izquierdo)							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 25	h.5 YR 3/2	Y	Gr	Fuerte	Medio-Grueso	Pocos
2	25 - 42	h.5YR3/4	Y	Gr	Fuerte	Medio-Grueso	Pocos
3	42 - +	h.7.5YR4/4	YA	Bs	Fuerte	Medio-Grueso	Pocos
Suelos pedregosos, con pendiente pronunciada, actualmente cultivado con vid, plantación nueva las cuales no tienen raíces profundas para ser observadas.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 50 cm, donde la capa arable cubre los primeros 25cm, de colores de pardo oscuro a pardo rojizo, textura arcillosas a arcillo arenosa en el tercer horizonte, estructura granular, a bloques sub angulares de tamaños medios a gruesos, suelos pedregosos con altas pendientes, existen evidencias de erosión laminar.

Cuadro N° 25: Características del perfil unidad 2 (Margen Derecho)

Características							
Fecha: 21/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 2 (margen derecho durazneros)							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 13	h.10YR 4/3	YA	Gr	Fuerte	Fino a medio	Abundante
2	13 - 32	h.10YR3/2	YA	Gr	Moderado	Medio a fino	Abundante
3	32 - +	h.10YR4/3	YA	Gr	Fuerte	medio-Grueso	Abundante
Buena presencia de fragmentos gruesos, algunas raíces de durazno crecen de manera horizontal o a través de algunas grietas pero no se encuentran deformadas ni aplanadas, pendientes pronunciadas.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 40 cm, de colores de pardo oscuro a pardo rojizo, textura arcillo arenosa, estructura granular de tamaños finos a gruesos, suelos pedregosos con altas pendientes, no parece existir compactación en estos suelos.

4.2. Unidad 3

Cuadro N°26: Características del perfil unidad 3

Características							
Fecha: 21/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 3							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 22	h. 5 YR 3/2	Y	Gr	Débil	Medio a grueso	Poco
2	22 - 58	h.7.5YR2/5	Y	Ba	Moderado	Medio	Poco
3	58 - +	h.10YR2/2	Y	Ba	Moderado	medio-Grueso	Poco
Pendientes pronunciadas, se evidenció erosión hídrica, fragmentos gruesos presentes, no se encontraba cultivado al momento de la realización del perfil.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 65 cm, de colores de pardo rojizo a pardo amarillento, textura arcillosas, estructura granular, a bloques sub angulares de tamaños medios a

gruesos, de grado débil a moderado, suelos pedregosos con altas pendientes, existen evidencias de erosión hídrica.

4.3. Unidad 4

Cuadro N° 27:

Características del perfil unidad 4

Características							
Fecha: 22-09-15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 4							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 26	h. 7.5 YR 4/2	YL	MI	Moderado	Fino	Poco
2	26 - 52	h.10YR4/5	FYA	Gr	Débil a Moderado	Medio	Abundante
3	52 - +	h.10YR2/2	FY	Mi-Gr	Moderado	Fino- Grueso	Abundante
Se observan aterramientos, y encostramiento superficial causado por riego, se encontraba cultivada por maíz recientemente germinado con raíces superficiales.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 60 cm, la capa arable abarca los primeros 26cm, de colores de pardo oscuro a pardo rojizo, textura arcillo limosa a Franco arcillo arenosa, estructura granular, a migajosa de tamaños finos a gruesos de grado débil a moderado, suelos pedregosos, con presencia de encostramiento superficial que está afectando la emergencia del cultivo de maíz.

4.4. Unidad 5

Las características de la unidad 5 se muestran en la siguiente página:

Cuadro N° 28: Características del perfil unidad 5

Características							
Fecha: 22/09/15			Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH	
Localización: Unidad 5							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 22	h. 7.5 YR 5/6	FYL	Gr-Bs	fuerte	Fino a medio	-
2	22 - 47	h.7.5YR4/3	FYL	Gr	Débil a Moderado	Medio a grueso	-
3	47 - 75	h.7.5YR4/4	YL	Gr	Fuerte	Medio Grueso	-
4	75 - +						

Segundo horizonte endurecido, se presentan agrietamientos y encostramientos superficial por riego, cultivada con maíz post emergente y avena, de raíces superficiales, sin embargo se pudo evidenciar anomalías, deformaciones y crecimiento horizontal en raíces de malezas.

Se encontraron 4 horizontes hasta los 80 cm, de colores de pardo oscuro a pardo rojizo, textura Franco arcillo limosa a arcillo limosa, estructura granular, a bloques sub angulares de tamaños finos a gruesos de grado fuerte a débil, suelos pedregosos, con presencia de encostramiento superficial que está afectando la emergencia del cultivo de maíz, existen evidencias de compactación y deformación en las raíces.

4.5. Unidad 6

Cuadro N° 29: Características del perfil unidad 6

Características							
Fecha: 22/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 6							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 19	h.7.5YR 5/6	F	MI	Fuerte	Medio	-
2	19 - 29	h.5YR4/4	FY	Gr	Moderado	Fino	-
3	29 - 57	h.10YR5/6	FL	Mi	Fuerte	Fino-Grueso	-
4	57 - 79	h.10YR4/5	YL	Bs	Moderado	medio	-
5	79 - +	h.7.5YR5/6	YL	Bs	Débil	Fino-Grueso	-

Se observó en la transición entre el segundo y tercer horizonte una especie de cama de arado endurecida, Además se evidencio que el crecimiento de la avena en esta área es de menor tamaño comparado con la avena en el área 5. Amplio desarrollo radicular en los primeros horizontes y prácticamente nulo en el tercer horizonte.

Se encontraron 5 horizontes hasta los 85 cm, la capa arable hasta los 19cm, de colores de pardo amarillento oscuro a pardo oscuro, textura franca, franco limosa a Franco arcillosa, estructura granular, a migajosa de tamaños finos a gruesos, de grado débil a Fuerte, con presencia de encostramiento superficial, se evidencio un lecho de arado y evidencias de compactación en esta unidad.

4.6. Unidad 7

Cuadro N° 30

Características del perfil unidad 7

Características							
Fecha: 21/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 7							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				Tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 32	-	Y	MI	Moderado	Fino	-
2	32 - 48	-	FY	Gr	Fuerte	Medio	-
3	48 - +	-	Y	Mi-Gr	Fuerte	Fino-Grueso	-
Hacia la parte izquierda del camino no se encontraba cultivado, se realizó un subsolado sobre esta área (según el encargado del CECH); en el margen derecho se evidencio problemas sobre el cultivo de la alfalfa, se observan manchones cloróticos con plantas de pobre desarrollo, suelos endurecidos y raíces retorcidas de crecimiento anormal.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 55 cm, la capa arable abarca los primeros 32cm, textura arcillosa a Franco arcillosa, estructura granular, a migajosa de tamaños finos a gruesos, de grado moderado a Fuerte, con presencia de agrietamientos, son evidentes los problemas de compactación sobre el margen derecho los cuales están afectando el normal desarrollo de la alfalfa sobre los suelos.

4.7. Unidad 8

Cuadro N° 31: Características del perfil unidad 8 (Margen Izquierdo)

Características							
Fecha: 21/09/15			Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH	
Localización: Unidad 8 (margen izquierda Alfar)							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 40	h. 10 YR ¾	YL	Gr	moderado	Medio	-
2	40 - 56	h.10YR5/4	YA	Gr	moderado	Fino	-
3	56 - +	h.7.5YR5/4	YL	Bs	fuerte	Medio	-
Cultivo de alfalfa, se evidencia crecimiento anormal en raíces, deformaciones y tendencia a crecimiento horizontal, agrietamientos y aterronamientos evidentes. En la vid se observan problemas de crecimiento horizontal.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 60 cm, la capa arable abarca los primeros 40 cm, de colores de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, textura arcillo limosa a arcillo arenosa, estructura granular, a bloques sub angulares de tamaños finos a medios, de grado moderado a Fuerte, existen evidencias de compactación.

Cuadro N° 32: Características del perfil unidad 8 (Margen Derecho)

Características							
Fecha: 21/09/15			Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH	
Localización: Unidad 8 (Margen derecho Alfar)							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 20	h.10YR5/4	YL	Gr	Débil	Medio	-
2	20 - 30	h.10YR4/3	FYA	Gr	Débil a Moderado	Medio	-
3	30 - +	h.10YR4/6	FY	Mi-Gr	Moderado	Fino-Grueso	-
Se evidencia raíces anormales, plantas débiles con manchones de plantas con clorosis, se observan huellas de tránsito agrícola excesivo para transportar alimentos y demás a la cabaña porcina a pesar de la existencia de camino.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 40 cm, de colores de pardo oscuro, textura arcillo limosa a Franco arcillo arenosa, estructura granular, a migajosa de tamaños finos a gruesos, de grado débil a moderado, son evidentes los problemas de compactación en esta unidad.

4.8. Unidad 9

Cuadro N° 33: Características del perfil unidad 9 (Margen Derecho)

Características							
Fecha: 22/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Área 9 (margen Derecho)							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 30	h.7.5YR 5/4	FYA	Gr	Fuerte	Fino a medio	-
2	30 - 46	h.7.5YR4/6	YL	Gr	Débil	Medio a fino	-
3	46 - 72	h.7.5YR5/8	FA	Gr	Moderado	Fino-Grueso	-
4	72 - +	Lecho de río					
Segundo horizonte endurecido, se realizó subsolado sobre esta área, no se encontraba cultivada.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 80 cm y el lecho de río, de colores de pardo amarillento oscuro a pardo oscuro, textura franco arcillo arenosa a arcillo limosa, estructura granular de tamaños finos a gruesos, de grado débil a Fuerte, encostrado.

Cuadro N° 34: Características del perfil unidad 9 (Margen Izquierdo)

Características							
Fecha: 22/09/15		Autor: Daniel Segovia			Finca: CECH		
Localización: Unidad 9 (margen izquierdo)							
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	Estructura			Fragmentos gruesos
				tipo	Grado	Tamaño	
1	0 - 23	h. YR 5/4	YL	Gr	Fuerte	medio a grueso	-
2	23 - 56	h.10YR5/4	FA	Gr	Fuerte	Medio	-
3	56 - +	h.10YR2/2	A	Gr	Moderado	Fino	-
Se encontraba subsolado, segundo horizonte endurecido, se evidenciaron problemas de roderas (de hasta 30 y 40 cm de profundidad), y manejo inadecuado de los suelos en condiciones desfavorables de humedad.							

Se encontraron 3 horizontes hasta los 60 cm, la capa arable abarca los primeros 23 cm, de colores de pardo amarillento oscuro a pardo oscuro, textura arcillo limosa a Franco arenosa, estructura granular de tamaños finos a gruesos, de grado moderado a Fuerte, con presencia de encostramiento superficial, problemas de manejo y compactación.

5. Discusión

La unidad 2 con manejo frutal, sin influencia de maquinaria agrícola presenta un buen nivel de porosidad tanto en su primer horizonte (43.5%) como en el segundo horizonte (37.2%); en el margen izquierdo donde se utilizó más recientemente maquinaria agrícola en su primer horizonte posee una porosidad baja (38.5%) y una porosidad que indica compactación en su segundo horizonte (34,4%), esto evidencia como el uso de maquinaria agrícola compacta los horizontes inferiores del suelo. La infiltración es muy rápida al 10% y rápida al 1%; adecuada para riego localizado y favorable para prevenir la erosión en una zona de fuertes pendientes, esta se realizó en el margen derecho.

La unidad 2 en el margen izquierdo (donde fue disturbado) el primer horizonte va hasta los 30cm, en cambio al margen derecho (no disturbado) presenta dos horizontes hasta esa profundidad, presentan suelos con mucha pedregocidad y altas pendientes no son evidentes problemas en las raíces, de textura arcillosa a arcillo arenosa que favorece la infiltración, pero tornan al suelo más susceptible a la compactación, de grado estructural fuerte.

La unidad 3 presenta niveles de porosidad baja pero aceptable en su primer horizonte (39.8%) y en su segundo horizonte (37.5%), recientemente se está trabajando con maquinaria agrícola debido a que anteriormente era de uso frutal, por lo cual si no se realiza un manejo adecuado se podría generar compactación a futuro. Pese a su buena porosidad la infiltración es moderada al 10% y moderadamente lenta al 1% adecuada para riego de superficie, debido a las fuertes pendientes de esta área existe problemas de erosión hídrica.

La unidad 3 posee una capa arable hasta los 22cm y un segundo horizonte que va hasta los 58cm, zona pedregosa con fuertes pendientes, son evidentes los procesos de erosión hídrica principalmente debido al mal manejo que acentúan los problemas de infiltración debidos a la textura arcillosa y el grado estructural débil a moderado.

La unidad 4 presenta una buena porosidad en su primer horizonte (43.9%) y baja en su segundo horizonte (34.8%), debido a la remoción frecuente de la capa arable ésta presenta buena porosidad; pero en el segundo horizonte es evidente la presencia de compactación.

La unidad 4 presenta una capa arable hasta los 26cm y un segundo horizonte hasta los 52cm, se observan aterramientos y encostramiento superficial (al parecer causado por el

agua de riego), que afectan la emergencia del cultivo de maíz; de textura arcillo limosa en la capa arable de grado estructural moderado y franco arcillo arenosa de grado débil en el segundo horizonte (debido a la presencia de arena este horizonte está siendo más afectado por la compactación).

La infiltración en la unidad 4 es moderadamente rápida al 10% y moderada al 1%, adecuada para el riego de superficie, no viéndose afectada de manera significativa por la presencia de compactación. De igual manera se presenta en la unidad 5 donde se presenta menor porosidad.

La unidad 5 presenta niveles muy bajos de porosidad, tanto en su primer horizonte (30.9%) como en el segundo (28.8%), esto evidencia un proceso de degradación sobre los suelos de esta área, con niveles de porosidad que afectan el crecimiento de las plantas y la producción; existe compactación y adensamiento.

La unidad 5 presenta una capa arable hasta los 22cm y un segundo horizonte hasta los 47cm, el segundo horizonte se presenta endurecido, presenta encostramiento superficial que está afectando la emergencia de los cultivos, se evidencian anomalías en el crecimiento radicular de algunas malezas ya que se encontraba cultivada con maíz en estado de post emergencia. Presenta texturas franco arcillo limosas (que sumados a los problemas de porosidad en condiciones de alta humedad en el suelo se generaran problemas de asfixia radicular) y un grado estructural moderado.

La unidad 6 presenta una baja porosidad en su primer horizonte (32.4%) y muy baja en el segundo (28.7%), debido al excesivo tráfico agrícola esta área presenta serios problemas de compactación y adensamiento. La infiltración es moderada al 10% y lenta al 1%, existe riesgo de erosión, el agua de riego no será bien aprovechada, se evidencian problemas de infiltración que reafirman la compactación en esta área.

La unidad 6 presenta una capa arable hasta los 19cm y un segundo horizonte hasta los 29cm, es evidente la presencia de un piso de arado entre la transición del segundo y tercer horizonte, además el cultivo de esta unidad presenta menor tamaño al de la unidad vecina; de textura Franco arcillo limosa de grado moderado, debido a la textura, la baja densidad se

generaran problemas de asfixia radicular, además existen problemas de encostramiento superficial.

La unidad 7 presenta niveles muy bajos de porosidad tanto en su primer horizonte (27.8%) como en el segundo horizonte (31.5%), es evidente un proceso de compactación debido a la reducción de la Da, lo que genera endurecimiento en los suelos y la reducción del rendimiento de los cultivos; las muestras para esta unidad fueron tomadas del lado derecho del camino. La infiltración es muy rápida al 10% y moderadamente rápida al 1%, esta área presenta una buena infiltración, esta prueba se tomó al lado izquierdo del camino donde el suelo había sido subsolado, lo cual mejoró la infiltración en esta área.

La unidad 7 presenta una capa arable hasta los 32cm y un segundo horizonte hasta los 48cm, en el margen izquierdo se encontraba subsolado, en el margen derecho se observó problemas sobre el cultivo de alfalfa de pobre crecimiento, existen manchones cloróticos, las raíces están retorcidas, deformadas y con tendencia de crecimiento horizontal, De texturas arcillosas y grado moderado.

La unidad 8 presenta niveles bajos pero aceptables de porosidad tanto en su primer horizonte (38.8%) y una buena porosidad en el segundo (44.3%) en el margen derecho del camino, no evidenciándose serios problemas de compactación; en el lado izquierdo en el primer horizonte presenta un nivel bajo pero aceptable (37.5%) y en el segundo horizonte presenta un nivel muy bajo (27.0%) lo que evidencia problemas de compactación sobre el segundo horizonte. La infiltración es moderada tanto al 10% como al 1%, adecuada para el riego de superficie.

La unidad 8 presenta una capa arable hasta los 40cm y un segundo horizonte hasta 56cm margen izquierdo y hasta los 20cm y 30cm en el margen derecho, se presentan en el cultivo de alfalfa raíces deformadas y plantas cloróticas de pobre desarrollo, en la vid se ve tendencia al crecimiento horizontal, además existen huellas de tráfico agrícola innecesario sobre esta zona para ingresar a la cabaña porcina; de textura arcillo limosa en la capa arable y arcillo arenosa en el segundo horizonte lo que lo torna más susceptible a la compactación y grado estructural de débil a moderado.

La unidad 9 presenta una capa arable hasta los 30cm y un segundo horizonte hasta los 46cm en el margen derecho y hasta los 23cm y 56 cm en el margen izquierdo, el lecho de río se encontró a partir de los 72cm, se observaron evidencias de manejo de maquinaria en condiciones desfavorables de humedad lo que generó aterronamientos y roderas de hasta 40cm de profundidad, de texturas con tendencia arenosa en los horizontes inferiores que los tornan más susceptibles a la compactación.

La unidad 9 al lado derecho presenta niveles aceptables de porosidad tanto en su primer horizonte (38.2%) como en el segundo (43.3%), presenta una buena porosidad debido al subsolado que se realizó en el área, lo que demuestra como el subsolado puede mejorar las condiciones del suelo; en el margen izquierdo presenta un bajo pero aceptable en el primer horizonte (37.2%) y un nivel bajo en el segundo horizonte (30.9%) lo que evidencia procesos de compactación en el segundo horizonte del suelo debido al tráfico agrícola principalmente. La infiltración es moderada al 10% y moderadamente lenta al 1%, óptima para el riego de superficie, esta prueba se realizó en el margen izquierdo, presenta problemas de infiltración que realzan la compactación en esta área.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Es evidente la presencia de varios procesos de degradación física y estructural en los suelos del Centro Experimental de Chocloca y seguramente también existe degradación química y biológica, que están generando serios problemas en el crecimiento de los cultivos y la producción.

De acuerdo a la reducción de la porosidad existe compactación en los suelos de las unidades 5,6 y 7(margen derecho), además existe compactación en el segundo horizonte de las unidades 2(margen izquierdo), 4, 8 (margen izquierdo) y 9 (margen izquierdo); no se evidencia compactación en los suelos de las unidades 2 (margen derecho), 3, 8 (margen derecho) y 9 (margen derecho).

Se generaron problemas de adensamiento en la mayoría de las unidades de suelo del CECH debido a la constante utilización de maquinaria agrícola y a la reducción de la materia orgánica, siendo más más drástico en la capa arable de las unidades 5,6 y 7.

Las unidades 3, 6, 8 y 9 presentan problemas de infiltración principalmente debidos a la compactación que existe en estas unidades, presentando altos valores de infiltración los suelos de las unidades 2 (sin intervención de maquinaria) y 7 (donde el suelo fue subsolado).

Las unidades afectadas por la compactación según el perfil de penetrometría serían la unidad 4, 5, 6, 7 (margen derecho), 8 (parte central e izquierda) y la 9 (margen izquierdo) debido a la elevada RP que presentan sus suelos.

Debido al subsolado que se realizó en el margen izquierdo de la unidad 7, parte norte de la unidad 8 y margen derecho de la unidad 9 no existe compactación en estas áreas, sin embargo empiezan a aparecer algunas capas endurecidas a partir de los 38 a 40 cm donde no llegó la subsoladora.

Según Threadgill (1982) el crecimiento de las raíces se reduce a los 217 PSI siendo menor el valor en condiciones de baja porosidad, según la especie y mayor el efecto sobre las raíces mientras más superficial sea esta capa compactada; este valor fue superado en gran parte de las unidades 4, 5 y 6; parte del margen derecho de la 7, la parte central de la 8 y al margen izquierdo de la 9; por lo cual la compactación está afectando el crecimiento radicular de las plantas y por ende la producción y el rendimiento de estas zonas.

Según Rosolem et al (1994) con una capa compactada a los 30cm de profundidad de 205 PSI se reduce en 50% el crecimiento de las raíces de maíz; se registraron valores superiores a 205 PSI en las unidades 4, 5, 6, 7 (Margen derecho), 9 (margen izquierdo) y partes de la 8 (especialmente por la parte central e inferior) siendo estas (muchas de las cuales están siendo actualmente sembradas con maíz) afectadas por la capa compactada reduciendo los rendimientos en el cultivo del maíz.

Según Selles et al (2012) la vid se ve afectada en su crecimiento radicular a partir de los 145 PSI y en Da mayores a 1,4 gr/cc, y se detiene el crecimiento a los 290 PSI; existiendo capas compactadas que superan estos valores prácticamente en toda el área donde se levantaron datos de penetrometria a excepción de el margen derecho del área 7 y la parte norte del área 8, por lo cual la implantación de vid en estas áreas sin un subsolado profundo afectara el crecimiento radicular; la actual plantación de vid por su ubicación estaría siendo afectada de alguna manera en su crecimiento radicular.

La tendencia de la resistencia a la penetración en los suelos del CECH es creciente a medida que se penetra en el perfil, observándose la presencia de la mayoría de las capas compactadas a partir de los 30cm (12 pulgadas) hasta los 40 cm (16 pulgadas).

Existen puntos que superan los 217 PSI (reducción del crecimiento radicular Martino 1994) a partir de los 15 cm (6 pulgadas) hasta los 45 cm (18 pulgadas), además existe un punto que superó los 290 PSI (limite desde el cual se detiene el crecimiento radicular según Martino, Shaykewich, Threadgill, Selles y Gil et al) ubicado a los 38 cm (15 pulgadas) siendo el único punto que supero este límite.

En la superficie del suelo de algunas áreas se evidenció valores altos de resistencia a la penetración debido a la presencia de encostramiento superficial que está afectando la germinación y emergencia de los cultivos.

Se evidencian capas de compactación que afectan a la vid a partir de los 28cm en las unidades 4, 5, 6, 7 (margen derecho) la cual se extiende a la parte central de la 8 y el margen izquierdo de la 9 a los 30cm; a los 33cm se extiende a la parte izquierda de la unidad 8; a los 35cm desaparece de la unidad 8 y se estira a parte de la región derecha de la unidad 9; a los 38cm desaparece de la unidad 7; a los 40cm desaparece de la unidad 4, 6 y parte de la 5, a los 45cm solo permanece en la unidad 9.

Se presentan capas compactadas que afectan al maíz a los 30 cm en parte de la unidad 5 y margen derecho de la 7, a los 33 cm esta se extiende a parte de la unidad 4 y 6; a los 38 cm se retira de la 7 y a partir de los 40 cm desaparece de estas unidades y se genera en la unidad 9 margen izquierdo.

La capa arable u horizonte disturbado varía entre los 19 a 32 cm en las distintas unidades de suelo del CECH (por lo cual los picos de arado se forman a partir de entre los 30 cm), llegando hasta los 40 cm en las zonas donde se realizó el subsolado; además en la unidad 2 donde no existe intervención de maquinaria existen dos horizontes hasta los 30 cm.

La compactación está afectando el crecimiento radicular de manera significativa en las unidades 5, 6, 7 (margen derecho), y 8 produciendo deformaciones radiculares y problemas al en el desarrollo de las plantas; en las demás unidades en las cuales existe compactación no se pudo observar como esta afecta a las raíces ya que no se encontraban cultivadas en el momento de la realización de esta prueba.

Las unidades 2, 4, 8 y principalmente la 9 por presentar mayor cantidad de arena en sus segundos horizontes, se tornan más susceptibles a la compactación y generación de camas de arado.

El uso de maquinaria agrícola, la disminución de la MO y el manejo inadecuado de los suelos están generando compactación en los suelos del CECH.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la incorporación de materia orgánica (especialmente en las unidades donde existe una baja porosidad) para mejorar las propiedades físicas y químicas de estos suelos, favorecer la producción, la estructura y la porosidad de los mismos lo cual servirá para disminuir los efectos de la compactación y prevenir que ésta se siga acentuando.

Es recomendable la incorporación de abonos verdes, como fuente de materia orgánica y realizar un manejo en un sistema de rotación de cultivos, incluyendo cultivos con sistemas radiculares fuertes y profundos que penetren en las capas compactadas para disminuir su efecto.

Se debe utilizar los caminos que comunican las diferentes áreas del CECH, evitar el paso innecesario de maquinaria sobre los campos de cultivo, realizar un manejo adecuado de la maquinaria, regular la velocidad de trabajo, evitar la utilización de maquinaria en condiciones de excesiva humedad en el suelo, verificar la presión de aire en las ruedas no trabajar con bajas ni altas presiones de inflado, y de ser posible cambiar las ruedas por ruedas modernas anchas y con nueva tecnología (como la tecnología ultra Flex) para disminuir los efectos del paso de la maquinaria sobre los suelos.

Debe realizarse un subsolado profundo de al menos 40cm en las unidades 4, 5,6, 7 (margen derecho), 8 (Parte central) y 9 (Margen izquierdo) para destruir las capas compactadas que se presentan en ésta áreas, mejorar la porosidad y la infiltración; de este modo corregir la compactación que presentan los suelos del CECH y posterior a esto tomar medidas preventivas para evitar nuevamente esta situación.

El subsolado deberá ser efectuado después de la siembra de algún abono verde para incorporar los restos de éste a los perfiles inferiores del suelo.

Realizar un buen manejo de la unidad 3 principalmente en el manejo del recurso hídrico, debido a la baja infiltración que muestra y las pendientes pronunciadas, se recomienda el cultivo en curvas de nivel y la utilización del riego con bajos caudales.

Debe utilizarse como enmienda el yeso agrícola sobre todos los suelos del CECH debido a las propiedades que éste posee, especialmente en los suelos afectados por degradación

física, para mejorar la porosidad corregir la estructura y disminuir los problemas de erosión, compactación, aterramientos, agrietamientos y encostramiento superficial. Se debe incorporar esta enmienda de manera conjunta con materia orgánica para potenciar los beneficios de ambas.

Deben Realizarse investigaciones sobre dosificaciones en diferentes niveles y combinaciones de yeso agrícola con materia orgánica sobre los suelos del CECH para determinar las cantidades y los efectos favorables que estas enmiendas puedan generar sobre los suelos, sobre los cultivos y la producción, no solo del CECH sino de toda la región.

Evitar dejar los suelos descubiertos, utilizar cultivos de cobertura cuando los suelos no estén siendo utilizados, se puede aprovechar cuando los terrenos queden libres para programar la siembra de cultivos que serán utilizados como abonos verdes y al mismo tiempo servirán de cobertura para los suelos.

Es recomendable la realización de trabajos de investigación sobre procesos de degradación química, además profundizar más sobre procesos de degradación física que no fueron abordados en este trabajo, siendo evidente su presencia en los suelos del CECH.

Se recomienda la realización de un trabajo de investigación sobre la calidad del agua de riego de la zona, ya que muy posiblemente los problemas de degradación estructural de los suelos como ser el encostramiento superficial puedan deberse a factores de elementos dispersantes en el agua de riego.

Se deben tomar medidas inmediatas sobre los suelos del CECH, (subsulado, incorporación de MO y yeso agrícola principalmente), para revertir los procesos de degradación física, química y biológica, para de esta forma conservar el recurso suelo, y disminuir las pérdidas en la producción.