



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



AGUA DISPONIBLE EN LOS SUELOS DEL SUD OESTE DE BOLIVIA

Dr. Ing. Miguel Murillo Illanes & Ing. Edwin Chacolla Arias
La Paz, Julio, 2010

RESUMEN

Utilizando la información del Estudio de Suelos del Área Productora de Quinoa Real, realizado por FAUTAPO (2008), se calculó el potencial de agua disponible para 114 perfiles de las Unidades Cartográficas identificadas a nivel de sub orden (Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles). Para lo cual, se aplicaron: las ecuaciones del contenido de agua útil en base a los datos de Punto de marchitez permanente, Capacidad de campo y Densidad aparente; se evaluaron los espesores y características morfológicas de los diferentes perfiles y de sus horizontes; y se aplicaron factores de ajuste por rocosidad, pedregosidad y erosión actual, para lograr el contenido potencial neto de agua disponible. Los resultados logrados, fueron clasificados en cinco categorías de potencial de acumulación de agua en forma disponible, de los cuales: 553,731 ha corresponden a la clase Muy baja (menor a 20 mm); 1,105,121 ha a la clase Baja (entre 20 y 60 mm); 814,561 ha a la clase Media (entre 60 y 100 mm); 77,699 ha a la clase Alta (entre 100 y 140 mm) y 154,149 ha a la clase Muy Alta (mayor a 140 mm). Además, se encontraron áreas con horizontes subsuperficiales con mayor potencial hídrico, en las cuales se recomiendan el uso de implementos de labranza vertical, para aprovechar mejor la capacidad de agua disponible.

Palabras clave: Horizontes superficiales, Agua disponible, Labranza vertical.

AVAILABLE WATER IN THE SOIL OF THE SOUTH WEST OF BOLIVIA

ABSTRACT

Using information from the Soil Survey Area Real quinoa producers, by FAUTAPO (2008), we calculated the potential of water available for 114 profiles of the identified map units at the sub-order (Entisols, Inceptisols and Aridisoles). For which they were implemented: the equations of available water content based on data from permanent wilting point, field capacity and bulk density, we evaluated the thickness and morphological characteristics of the different profiles and their horizons and adjustment factors applied rockiness, stoniness and erosion current potential to achieve net water content available. The results obtained were classified into five categories of potential for accumulation of water as available, of which: 553,731 ha in the class very low (less than 20 mm), 1,105,121 has a lower class (20 to 60 mm), 814,561 ha to the middle class (60 to 100 mm), 77,699 ha of the upper class (between 100 and 140 mm) and 154,149 class has a very high (greater than 140 mm). Moreover, there were areas with subsurface horizons with greater water potential, in which they recommend the use of vertical tillage implements to make better use of available water capacity.

Key words: Horizons surface, Water available, Vertical tillage.

1. Introducción

Las regiones semiáridas - áridas de Bolivia y en especial el Altiplano Sud Oeste, se encuentran muy afectadas por los procesos de erosión y degradación. Además su actividad agrícola, se ve limitada y agravada por las condiciones climáticas devenidas del cambio climático, fundamentalmente por la disponibilidad de agua de lluvia en los sistemas a secano.

Respecto a los procesos de erosión – degradación en esta área, Murillo y Chacolla (2009, 2010) midieron la erodabilidad de los suelos y evaluaron la calidad de los mismo, mediante el uso de indicadores e índices; información útil para desarrollar medidas de manejo y conservación del suelo y agua.

Sin embargo, para entender y afrontar el cambio global, se requiere contar con información de diversos orígenes y/o especialidades. Para ello, es necesario estudiar la distribución temporal y espacial de las principales variables

climáticas, caracterizar los suelos, conocer el uso, cobertura y tenencia de la tierra, en otros. Detalle de información, que aplicada a modelos de predicción, permite estimar épocas de siembra, volúmenes de cosecha, prevenir o mitigar los efectos adversos de situaciones climáticas actuales y futuras. Conocer las características y medir las propiedades físicas de los suelos, sus inter-relaciones y variaciones espacio - temporales, permiten conocer el potencial de almacenamiento de agua disponible de los suelos, con lo cual, podremos recomendar épocas oportunas para las siembra, en condiciones más favorables para el normal desarrollo de las semillas y plantas.

Entonces, al disponer de información edafológica del área, a nivel taxonómico de Sub grupos (FAUTAPO, 2009), es posible elaborar información sobre la capacidad hidrológica de los suelos a nivel de unidades cartográficas, con la ayuda de los sistemas de información se puede construir una base de datos y mejorar la eficiencia de las tareas de evaluación de tierras y la edición de sus resultados en mapas.

2. Objetivos

El Objetivo general fue: Generar información sobre las características y propiedades físicas de los suelos, para mejorar la eficiencia en la toma de decisiones y la calidad de las tareas en el uso y manejo sostenible del recurso.

Los objetivos específicos, fueron:

- Generar información sobre el potencial de almacenamiento de agua disponible en los suelos.
- Generar información sobre las características y propiedades texturales de los suelos, para aplicar sistemas de labranza.
- Sistematizar información para prevenir o mitigar efectos adversos producidos por el clima.
- Editar los resultados en forma espacial y realizar cálculos de áreas.

3. Materiales y métodos

3.1. Caracterización del área y de los suelos

El estudio se realizó para la región sur oeste de Bolivia, parte sur de la Cuenca Endorreica del Altiplano, que en su parte central se ubica el Salar de Uyuni; caracterizada por su condición semiárida – árida, en gran parte dedicada a la producción de Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Wild), variedad Quinoa Real, del alto valor nutricional y muy requerida en el mercado internacional.

La superficie de suelos evaluados en el presente estudio fue de 2,710,264.52 ha, a 3.600 msnm en promedio, que abarca a las Provincias: Antonio Guíjarro, Nor Lipez y Daniel Campos en el Departamento de Potosí; las Provincias Ladislao Cabrera y partes sur de las Provincias Eduardo Avaro y Sebastián Pagador del Departamento de Oruro.

Según Molina (2007), la precipitación aumenta de 150 a 350 mm/año de Oeste hacia el Este, registrada de noviembre a marzo, observa además anomalías anuales respecto de la media, producto posiblemente del cambio climático. La temperatura media anual varía de 5,5 °C (S.P. Lipez), 9,6°C (Colcha K) y 8,1°C (Uyuni), con temperaturas más bajas entre junio y agosto. La evaporación anual es de 692 mm (tanque evaporímetro - Uyuni), mientras que la ETP para Uyuni es 1439 mm y para Colcha K 1454 mm (Pennman). La humedad relativa promedio anual varía entre 38 % (Colcha K) a 40 % (Uyuni). La velocidad del viento promedio anual varía entre 2 m/s (Colcha K) y 2,4 (Uyuni), sabiendo que estos valores se incrementan en los meses de junio a agosto (información no disponible). El número de horas sol promedio es de 8,5 medida en Uyuni.

La geomorfología del área de estudio, está dominada por procesos Volcánicos y Fluvio-lacustres. Entre lo volcánico, encontramos paisajes de: Serranías, Montañas, Mesetas y Colinas de la Cordillera Occidental. Estas geofomas constituidas principalmente por materiales ígneos, son importantes áreas de producción de quinoa con tecnología tradicional, ya que la mecanización ha incidido más en áreas más planas.

Mientras que en lo fluvio-lacustre, encontramos: Terrazas, Llanuras aluviales, Llanuras de piedemonte, Llanuras fluvio-lacustres, Depresiones aluviales y fluvio-lacustres. En la parte central del área, se encuentra el Salar de Uyuni, que conforma un microclima que afecta en alguna medida la disponibilidad de lluvias y está

directamente relacionado a los procesos de inundaciones periódicos de buena parte de los terrenos planos en los alrededores del salar (FAUTAPO, 2008).

La vegetación está constituida por arbustos leñosos o matorrales semidecíduos tholares (*Parastrephia* sp. y otras), pajonales (*Stipa frígida*, *Stipa* spp) y matorrales xeromórficos de porte pequeño la añanhuaya o añahui (*Adesmia miraflorensis*, *Andesmi* spp), que se desarrollan en suelos con texturas arenosas. También existen matorrales siempreverdes, de mayor distribución al Nor Este, Oeste y al Sur Oeste del Salar de Uyuni, sin una preferencia definida de suelos. Las herbáceas, donde dominan los pajonales (*Stipa* spp.), se desarrollan en suelos más limo arcillosos. La vegetación cultivada, está dominada por la quinua, con moderada densidad de cobertura, producida bajo sistemas de monocultivo, poca aplicación de estiércol (llamas, ovinos), dejando el suelo con muy poca cobertura en los barbechos y siembras. Los suelos bajo producción de quinua no presentan grandes diferencias texturales, siendo más bien arenosos. El uso de la tierra además de la producción de quinua, está dedicada al pastoreo de camélidos, seguida de otros cultivos como papa y forrajes en muy pequeña escala.

FAUTAPO (2008), realizó el Estudio de Suelos del Área Productora de Quinua, que consistió en un trabajo de interpretación fisiográfica, utilizando imágenes Landsat 5 y 7 a escalas 1:100.000 y 1:75.000 respectivamente de los años 2000, 2001 y 2006. Abarcó una superficie de aproximadamente 27.000 km², habiendo identificado 114 unidades de terreno (o paisajes), en cada una de ellas se ha descrito la localización, la cobertura, el uso de la tierra, problemas detectados y las características del perfil y tipo de suelos. En la Tabla N° 1 se muestran los aspectos generales de las unidades geomorfológicas estudiadas.

Tabla N° 1. Aspectos Generales de los Suelos Estudiados

Unidad	Altitud promedio (msnm)	Pendiente general	Uso principal	Taxonomía dominante	Texturas, cobertura vegetal y erosión
Montañas	4.200 – 4.750	15 – 50 %	Pastoreo	Entisoles y Aridisoles	Francas a franco arenosas Poca cobertura vegetal Alta pedregosidad
Serranías	3.900 – 4.130	25 – 39 %	Pastoreo y quinua	Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles	Francas a Arenosas Poca cobertura vegetal Moderada pedregosidad
Colinas	3.950 – 4.230	5 – 25 %	Pastoreo y quinua	Entisoles y Aridisoles	Francas a franco arenosas Poca cobertura vegetal Alta moderada pedregosidad
Mesetas	3.930 – 4.160	1 – 10 %	Pastoreo	Entisoles y Aridisoles	Francas a Arenosas Poca cobertura vegetal Pedregosidad
Superficie de erosión	3.960 – 4.100	1- 15 %	Pastoreo	Entisoles y Aridisoles	Francas a Arenosas Poca cobertura vegetal moderada a alta erosión
Llanuras de piedemonte	3.930 – 4.020	1 – 9 %	Quinua	Entisoles e inceptisoles	Francas a franco arenosos Muy escasa cobertura Erosión eólica
Terraza aluvial	3.850 – 3.930	1 – 2 %	Quinua pastoreo	Aridisoles	Franco arcillo arenosa Escasa cobertura Erosión eólica
Llanura aluvial	3.830 – 4.010	1 – 7 %	Quinua	Entisoles e inceptisoles	Francos a franco arcillo arenosos Muy escasa cobertura Erosión eólica
Llanura fluvio lacustre	3.900- 4.050	1 – 5 %	Quinua	Aridisoles Entisoles	Franco arenosos Escasa cobertura Erosión eólica
Deltas y Abanicos	3.800 – 3.880	1 – 2 %	Pastoreo	Aridisoles	Arcillosa Muy escasa cobertura Erosión eólica
Depresiones fluvio lacustres	3.890 – 3.990	1-10%	Pastoreo y algo de quinua	Aridisoles	Arcillo arenosa Muy escasa cobertura Erosión eólica

Las geoformas Fluviolacustres, presentan suelos con muy baja a casi nula cobertura vegetal, están afectadas de forma fuerte a grave por los procesos de erosión eólica, siendo algunas susceptibles a la inundación (especialmente las áreas próximas al Salar de Uyuni); las texturas dominantes son franco arenosa, franco arcillo arenosa y arenosa; débil estructura, moderada a alta profundidad; baja a muy baja materia orgánica, baja a moderada fertilidad. En Llanuras de piedemonte, las texturas son arenosa francas y arenosas, y de menor profundidad efectiva, en ellas se evidencian áreas afectadas por erosión hídrica de forma localizada, leve a moderada. En las Terrazas aluviales, los suelos son poco profundos a profundos, con texturas franco arcillosas, franco arenosas y arenofrancas. En Llanuras aluviales, los suelos generalmente son poco a moderadamente profundos, con texturas arenofrancas, de moderada fertilidad, y acumulación localizada de sales. En Llanuras fluviolacustres, los suelos son franco arcillosas, franco limosas, arenofrancas y francas y arcillosas, profundos; de baja a moderada fertilidad, con presencia de sodicidad y sales. En los Deltas y Depresiones, los suelos son moderadamente profundos a profundos, con texturas franco arenosas, franco arcillosas, arcillo arenosas, arenofrancas, arcillosas, francas y franco limosas; fertilidad baja a moderada; presentan serios problemas de sodicidad y acumulación de sales. Excepto en los últimos paisajes mencionados, los suelos son utilizados para la producción de quinua normalmente mecanizada con arados de disco, dejando descanso prolongados sin cobertura (FAUTAPO, 2008).

3.2. Metodología.

Material:

Base de datos de la Unidades de Terrero correspondientes a las geoformas Volcánicas y Fluviolacustres del Estudio de Suelos del Área Productora de Quinua (Fautapo, 2008)

Cálculo del contenido de agua del suelo:

En términos generales, la composición en volumen de un suelo de textura media (franca) es del 50% de sólidos (minerales 45 % y materia orgánica 5 %) y 50 % de poros. Ese espacio poroso puede ser ocupado por agua solamente (suelo saturado), y es el caso de las arroceras; o puede ser ocupado en su mayor parte sólo por aire (suelo seco), o por ambos agua y aire. Típicamente, los suelos agrícolas, permanecen en este último estado es decir un estado no saturado. El contenido de agua del suelo en un momento dado es posible expresarlo de diferentes formas (Hanks y Ashcroft, 1980). Por ejemplo, se puede expresar en relación a la masa de suelo, llamado humedad en peso (Hg) presente en la ecuación (1), en donde la masa de agua surge de la diferencia entre la masa total de suelo húmedo y la masa de suelo seco en estufa durante 24 hs a 105° C.

$$\text{Humedad en peso (Hg g/g)} = \frac{\text{Masa de agua (g)}}{\text{Masa suelo seco (g)}} \quad (1)$$

También se puede expresar en relación a su volumen, llamado humedad volumétrica (θ) presente en la ecuación (2), en donde el volumen de agua corresponde a la masa de agua (de la ecuación 1) y el volumen de suelo correspondiente al cilindro de la muestra.

$$\text{Humedad volumétrica } (\theta \text{ cm}^3/\text{cm}^3) = \frac{\text{Volumen de agua (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen de suelo seco (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

Es posible relacionar ambas ecuaciones (1 y 2) mediante el valor de densidad aparente del suelo ($D_a = \text{g/cm}^3$) de acuerdo con la ecuación (3):

$$(\theta \text{ cm}^3/\text{cm}^3) = \text{Hg (g/g)} \times (D_a \text{ g/cm}^3) \quad (3)$$

Finalmente el valor de contenido de agua del suelo es importante ya que nos permite (Hanks y Ashcroft, 1980): 1) Inferir acerca de la influencia del agua en el crecimiento de las plantas; 2) Calcular la cantidad de agua a complementar con el riego o la necesidad de agua de lluvia, o la profundidad que alcanza en el perfil de suelo una determinada cantidad de agua; y 3) Estimar las pérdidas por evapotranspiración a lo largo de todo el ciclo de un cultivo, siendo ésta una de las mayores vías de pérdida dentro del ciclo hidrológico.

El concepto de lámina de agua y su utilidad:

Una forma práctica de expresar y visualizar la cantidad de agua existente o almacenada en el suelo es en términos de altura o lámina de agua (L). La unidad de medida más frecuente para expresar la lámina es el

mm, que equivale al volumen de 1 litro de agua distribuido en una superficie de 1 m². Así, la expresión volumétrica del contenido de agua de un suelo se convierte fácilmente a lámina de agua, mediante la siguiente expresión (4):

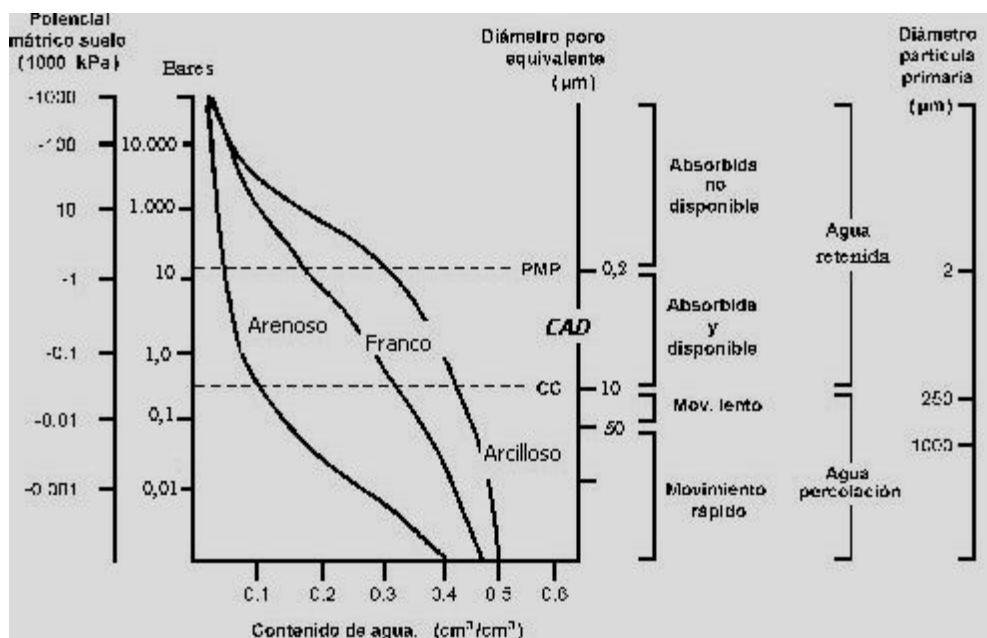
$$\text{Lámina de agua (mm)} = (\text{Humedad volumétrica } (\theta \text{ cm}^3/\text{cm}^3) \times \text{Profundidad (cm)})/10 \quad (4)$$

Esta forma de expresión es de gran utilidad ya que permite relacionar los fenómenos de la parte aérea (precipitación, irrigación, evapotranspiración), con el funcionamiento del sistema suelo-planta (M. Sumner, 2000, Gil R. y Garay A. 1999). Por otro lado, existe una relación entre la lámina de agua y la degradación y erosión de los suelos. Hoy en día, gran parte de los factores que determinan la producción de los principales cultivos agrícolas, están vinculados a este concepto. Numerosas investigaciones (Gil R 1997, Casas y Iruña 1995, Marelli 1989) indican que la pérdida de profundidad efectiva del horizonte superficial en concordancia con pérdidas de materia orgánica provocan una disminución de la lámina de agua disponible para la absorción por los cultivos y en consecuencia una menor autonomía del suelo para soportar sequías estacionales. Estos problemas se vuelven críticos en el caso de cultivos en suelos someros o con horizontes subsuperficiales fuertemente arcillosos. También es un dato muy necesario a la hora de tomar decisiones relacionadas con el manejo agronómico, como planificación de las rotaciones, factibilidad de respuestas a la fertilización entre otras.

Cantidad de agua disponible para los cultivos:

No sólo es importante saber el contenido de humedad del suelo (H_g / θ) sino también la energía con que está retenida esa agua en la matriz del suelo. Por ejemplo dos suelos pueden tener la misma cantidad de agua pero uno retenerla con más energía que el otro y por lo tanto menos disponible para la planta. Por convención, esta energía toma signo negativo cuando se la conoce con el nombre de potencial mátrico (ψ_m). De alguna forma esta energía puede ser vista como la cantidad de trabajo necesaria para desplazar una cantidad de agua dada desde el suelo, donde está retenida, a un estado de agua libre. A medida que el contenido de humedad de un suelo decrece desde saturación donde no existe la retención ($\psi_m = 0$), la energía de retención aumenta y empiezan a actuar las fuerzas capilares y de adsorción. En saturación todos los poros están llenos de agua, y luego en la medida que el suelo se seca el agua queda retenida en los poros más chicos. La Figura N° 1 muestra una curva de retención de humedad que relaciona la energía de retención (ψ_m) con el contenido volumétrico de agua (θ). Se observa que la relación entre ambos parámetros es compleja (no lineal) debido a que interaccionan las distintas fases (sólida-líquida-gaseosa). Esta relación entre el contenido de agua del suelo y su energía retención nos permite también caracterizar a los siguientes parámetros o coeficientes hídricos:

Figura N° 1. Curva de retención de humedad que relaciona la energía de retención (ψ_m) con el contenido volumétrico de agua (θ)



Fuente. Micucci et al, 2006

Capacidad de campo (CC): definida como la cantidad de agua que es retenida en el suelo luego de drenar el agua gravitacional. Se presenta una disminución sustancial de la tasa de movimiento descendente del agua en el suelo. A este valor se lo conoce también como capacidad normal de campo, capacidad capilar, capacidad de retención de agua, y límite máximo cuando se lo relaciona con el cultivo. Su valor es variable pero para muchos suelos un valor aceptable oscilaría entre 10 a 33 Kpa o 0,1 a 0,33 bares. Existe un valor que se determina en el laboratorio llamado humedad equivalente (H.E.) y se lo suele asimilar con la capacidad de campo. Es interesante notar que en el mismo punto donde se define la capacidad de campo, se define también por diferencia la capacidad de aireación (CA) de un suelo. Es decir, el volumen de poros que han drenado cuando el suelo está en capacidad de campo. Como es de suponer, este volumen es muy importante porque de él dependen los procesos biológicos de la nitrificación y la aireación de las raíces de los cultivos. Se considera que un suelo posee deficiencias de aireación cuando el volumen de estos poros es menor que un 10 %.

Punto de marchitez permanente (PMP): referido al contenido de agua en donde la energía de retención es tan alta que los vegetales no la pueden absorber alcanzando su estado de marchitez parcial o total como resultado del estrés hídrico. Si bien su valor es variable se ha tomado como valor de referencia -1500 kPa o -15 bares.

Capacidad de agua disponible (CAD): se refiere a la cantidad total de agua que un suelo puede almacenar para el crecimiento del cultivo a lo largo de su ciclo y es a la diferencia entre CC – CMP, también suele denominarse agua disponible, o agua útil. Esta diferencia puede calcularse en términos de humedad en peso (Hg g/g), humedad en volumen (θ cm³/cm³) o lámina (L mm). La Figura N° 1. Muestra la relación entre energía de retención y contenido de agua del suelo para tres tipos de textura. También muestra la clasificación funcional del agua asociada al tamaño de los poros y a las partículas primarias. CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitez permanente; CAD = capacidad de agua disponible (Fuente: presentado por Mucucci, et. al, 2006).

La CAD está afectada tanto por la estructura como por la textura del suelo, y por la profundidad efectiva que alcancen las raíces de los cultivos. El efecto de la estructura es más pronunciado al determinar el contenido de agua en capacidad de campo, pues la presencia de grietas, fisuras y canales determina, en parte, la cantidad de agua retenida contra las fuerzas gravitacionales. Ello contribuye a que existan mayores variaciones en el contenido hídrico en capacidad de campo dentro de una clase textural, que en el punto de marchitez permanente. Por otra parte, tanto la CC como la capacidad de aireación (CA) son fuertemente influenciados por el manejo. Es así que al deteriorar los poros de mayor tamaño, los procesos de compactación afectan negativamente la CAD (Micucci *et al.* 2002, Gregory 1988, Gardner 1983).

En relación a la textura, Damiano y Taboada (2000) recomiendan evaluar y determinar un patrón de distribución geográfico gradual de la capacidad de agua disponible para los cultivos. Dicho patrón es de gran importancia para estudiar la respuesta de los cultivos, la vegetación y los sistemas de hidrológicos a escala regional.

Análisis textural y estructural:

La textura, estructura y el contenido de materia orgánica del suelo, influyen en las propiedades físicas del suelo, principalmente en los procesos de infiltración, almacenamiento y percolación del agua en el suelo (Gavande, 1982; Baver y Gardner, 1988). Por tanto, su caracterización, y análisis de su variación espacial y temporal, son importantes de conocer. Al mismo tiempo que analizar la secuencia litológica en el perfil, permite proponer sistemas de uso y manejo especialmente a la hora de definir sistemas de labranza.

Baver L.D. y Gardner W. (1988), mencionan que la porosidad del suelo, está formada por la suma de los porcentajes de poros de diferente tamaño, que actúan de la manera siguiente: los poros grandes (no capilares) sirven para la aeración e infiltración; los poros medianos para la conducción de agua, y los poros pequeños (capilares) para el almacenamiento de agua.

Para Sampat A. Gavande (1982), el suelo superficial, de 0 a 20 o 30 cm, debe tener gran cantidad de poros no capilares – suelos arenosos- de manera que el agua pueda penetrar fácilmente (alto grado de infiltración). Mientras más cerca esté el suelo de la superficie, menos deseable es la presencia de un alto porcentaje poros capilares, debido a que estos tienden a retener la humedad en la superficie haciendo posible una evaporación excesiva. La siguiente capa a una profundidad de 30 a 150 cm también debe con poros no capilares, pero en menor porcentaje que el suelo superficial. Estos poros grandes ayudan a

eliminar el exceso de agua, pero debido a su pequeño número lo harán lentamente, permitiendo que el agua de lluvia, que se ha percolado de arriba, se distribuya en los poros pequeños de toda la capa. Es muy importante que esta segunda capa tenga una buena cantidad de poros de tamaño capilar. Estos ayudan al movimiento del agua en todas direcciones, especialmente a través de áreas donde las raíces están empleando el agua.

3.3. Procedimiento

Se extrajo la información necesaria de la base de datos y se aplicaron las ecuaciones respectivas a cada uno de los horizontes y subhorizontes de los perfiles de acuerdo a sus correspondientes características. Una vez obtenidos los parámetros CC, PMP y D_a se restaron los valores de CC y PMP para obtener el contenido potencial de almacenamiento de agua en peso para los diversos horizontes. Luego se multiplicaron esos valores por las respectivas densidades aparentes y espesores para transformar los contenidos de humedad potencial disponible en peso a volumen y milímetros.

Una vez obtenida la capacidad de agua disponible del perfil CAD_p (mm), ésta fue integrada a la Unidad Cartográfica respectiva, constituyendo el potencial de acumulación de agua disponible de la Unidad.

Los cálculos realizados en la etapa previa se realizaron bajo supuestos tales como:

- La constitución de los perfiles modales de los suelos estudiados, comprende esencialmente a tierra fina (menor a 2 mm) en un cien por ciento;
- Carecen de rocosidad (afloramientos rocosos), pedregosidad;
- No están afectados por erosión, degradación;
- No presentan limitaciones químicas severas que afecten el crecimiento y desarrollo radicular

Como en muchas Unidades Cartográficas obviamente ello no es así, a las que presentan limitaciones se las afectó por Factores de Restricción que pretenden corregir el potencial de acumulación de agua en forma disponible. A los valores así obtenidos se le denominó Agua Potencialmente Disponible Neta APN. Los coeficientes utilizados se ajustaron a combinaciones e interpolaciones según rocosidad y pedregosidad (ver Tabla N° 2) y grado de erosión (ver Tabla N° 3) siguientes:

Tabla N° 2. Factores por Rocosidad, Pedregosidad o Fragmentos

Rocosidad	Pedregosidad	Factor de Restricción
Nula	Nula	1.00
Ligeramente rocosa	Ligeramente pedregosa	0.85
Moderadamente rocosa	Moderadamente pedregosa	0.80
Rocosa	Pedregosa	0.70
Muy Rocosa	Muy pedregosa	0.50

Tabla N° 3. Factores por Grado de Erosión

Grado de erosión	Factor de restricción
Nula	1.00
Nula, moderada localmente	1.00
Nula, severa localmente	1.00
Ligera	0.95
Ligera, moderada	0.85
Moderada	0.80
Moderada, severa	0.75
Severa	0.60

Luego de efectuar los cálculos de Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN) en las respectivas Unidades Cartográficas, se las agrupó en cinco clases, ver Tabla N° 4:

Tabla N° 4. Categorías y Clases de Agua Disponible

Agua potencialmente disponible	Clase
Menor de 20 mm	Muy baja
Entre 20 y 60 mm	Baja
Entre 60 y 100 mm	Media
Entre 100 y 140 mm	Alta
Mayor a 140 mm	Muy alta

Posteriormente, con el propósito de obtener una visión espacial de los resultados, se utilizó un SIG, donde se asignaron Clases respectivas a las diversas Unidades Cartográficas obteniéndose una Carta interpretativa de Agua Potencialmente Disponible.

Una vez asignadas las Clases de APDN a las Unidades Cartográficas, se sumaron sus áreas respectivas (km²) así como los porcentajes correspondientes a cada Clase.

4. Resultados

4.1. Capacidad de Agua Disponible CAD

La capacidad de agua disponible fue calculada, considerando los horizontes diagnósticos y el inmediato subyacente, de acuerdo a la lectura de calicatas realizado por FAUTAPO (2008). Algunos perfiles modales, solo consideraron un primer horizonte. La información fue calcula por Unidad Geográfica, cuyos resultados se muestran en las Tablas N° 5 al 15 siguientes; y la distribución espacial, puede observarse en el Mapa N° 1.

4.2. Agua Potencial Disponible Neta APDN

El valor del Agua Potencial Disponible Neta, fue calculado a partir de la capacidad de agua disponible al cual se le aplicó el factor de ajuste más cercano a las condiciones de campo. De manera general hubo mayor influencia de la presencia de fragmentos de roca en superficie y dentro de los horizontes.

El factor de erosión solo se aplicó a suelos de la unidad de superficies de erosión, ya que en los otros, solo se presenta esta condición de manera muy localizada. La información fue calcula por Unidad Geomorfológica, cuyos resultados se muestran en las Tablas N° 5 al 15 siguientes; y la distribución espacial, puede observarse en el Mapa N° 2.

Tabla N° 5. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Montaña alta

Unidad Taxonómica	N° Unidad de Terreno	Superficie (ha)	N° de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Lithic Torriorthents	31	51,808.62	1	0 – 14	Franco arenoso	17.02	35.11	0.85	29.84	Baja
			2	8 – 26	Franco arcilloso	18.08				
Typic Torriorthents	46	94,625.80	1	0 – 15	Franco arenoso	23.70	91.38	0.8	73.10	Media
			2	15 – 54	Franco	67.68				
Typic Eutrochrepts	62	41,251.36	1	0 – 22	Franco arenoso	29.90	59.71	1	59.71	Baja
			2	22 – 45	Franco arcilloso	29.81				
Typic Torriorthents	77	23,468.44	1	0 – 14	Franco arenoso	20.72	20.72	0.7	14.50	Muy Baja

Tabla Nº 6. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Montaña Media y Baja

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coef. de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Lithic Torriorthents	30	41,498.45	1	0 – 8	Franco arenoso	11.30	11.30	0.8	9.04	Muy baja
Typic Torriorthents	51	45,305.44	1	0 - 26	Franco arenoso	44.04	96.40	0.8	77.12	Media
			2	26 - 60	Franco arenoso	52.36				
Lithic Torriorthents	63	43,063.40	1	0 – 18	Franco arenoso	26.64	26.64	0.85	22.64	Baja
Typic Camborthids	68	11,169.06	1	0 – 21	Franco arenoso	31.29	31.29	0.7	21.90	Baja
Typic Torripsamments	76	16,511.42	1	0 – 14	Areno francoso	15.68	15.68	1	15.68	Muy baja
Lithic Calciorthids	79	77,583.58	1	0 – 14	Franco arenoso	22.95	22.95	0.85	19.50	Baja

Tabla Nº 7. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Serranía

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno.	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coef. de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Calciorthids	14	9,654.55	1	0 – 8	Franco	15.68	15.68	0.8	12.54	Muy baja
Lithic Ustorthents	17	15,260.09	1	0 – 8	Franco limoso	17.66	17.66	1	17.66	Muy baja
Typic Eutrocrepts	22	9,670.44	1	0 – 16	Franco arenoso	25.34	60.95	0.8	48.76	Baja
			2	16 – 39	Arcilloso	35.60				
Lithic Ustorthents	28	54,674.19	1	0 – 12	Franco arcilloso	17.04	17.04	0.8	13.63	Muy baja
Typic Camborthids	32	64,723.61	1	0 – 17	Arcillo arenoso	18.50	30.92	0.8	24.73	Baja
			2	4 – 26	Franco arcilloso	12.42				
Lithic Torriorthents	41	21,881.42	1	0 – 13	Franco arenoso	20.54	20.54	0.7	14.38	Muy baja
Typic Camborthids	59	9,638.48	1	0 – 9	Franco arcilloso	12.42	41.89	0.85	35.61	Baja
			2	11 - 30	Franco arcilloso	29.47				
Typic Torriorthents	78	10,893.87	1	0 - 14	Franco arenoso	20.72	20.72	0.7	14.50	Muy baja
Typic Ustorthents	90	13,737.70	1	0 – 6	Franco limoso	17.76	58.56	0.85	49.78	Baja
			2	6 - 26	Franco	40.80				
Typic Haplumbrepts	94	124,629.08	1	0 - 19	Franco arcilloso	41.34	87.72	1	87.72	Media
			2	19 - 41	Franco arcilloso	46.38				
Typic Salorthids	97	8,293.99	1	0 - 21	Franco	39.98	70.86	0.85	60.23	Media
			2	4 - 19	Arcilloso	30.88				

Tabla Nº 8. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Mesetas

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno.	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coef. de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Torriorthents	13	78,388.81	1	0 - 23	Areno francoso	29.07	49.42	0.85	42.01	Baja
			2	23 - 39	Areno francoso	20.35				
Lithic Ustorthents	34	35,637.91	2	7 - 19	Franco arenoso	28.88	78.20	1	78.20	Media
			3	19 - 43	Franco	49.32				
Typic Haplargids.	58	1,580.58	1	0 - 14	Franco arenoso	17.02	74.97	1	74.97	Media
			2	14 - 39	Franco arcilloso	31.95				
			3	39 - 55	Arcilloso	26.00				
Lithic Torriorthents.	60	25,989.69	1	0 - 11	Franco arenoso	14.95	14.95	1	14.95	Muy Baja
Typic Eutrochrepts	61	13,530.87	1	0 - 22	Franco arenoso	29.90	67.48	1	67.48	Media
			2	22 - 45	Franco arcilloso	37.58				

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno.	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coef.de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Haplargids	71	19,543.76	1	0 - 24	Franco arenoso	36.72	93.87	0.8	75.10	Media
			2	24 - 54	Franco arcilloso	57.15				
Typic Calciorthids	92	12,646.18	1	3 - 18	Franco arcilloso	23.65	23.65	0.85	20.10	Muy baja
Typic Torripsamments	107	4,872.79	1	0 - 20	Franco arenoso	24.48	93.65	1	93.65	Media
			2	20 - 73	Franco arcilloso	69.17				

Tabla Nº 9. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Superficies de Erosión

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por erosión	APDN (mm)	Clase
Lithic Camborthids	6	30,830.63	1	0 - 19	Franco arenoso	30.02	63.20	1	63.20	Media
			2	19 - 40	Franco arenoso	33.18				
Typic Camborthids	8	22,575.80	1	9 - 31	Franco arenoso	47.43	71.06	0.85	60.40	Baja
			2	31 - 48	Franco arcilloso	23.63				
Typic Ustorthents	10	31,272.30	1	0 - 28	Franco arenoso	45.89	94.73	1	94.73	Media
			2	28 - 61	Franco arenoso	48.84				
Lithic Ustorthents	57	19,086.15	1	0 - 12	Franco arcilloso	17.04	36.79	0.8	29.44	Baja
			2	7 - 29	Arenoso	19.75				
Typic Ustorthents	89	15,478.60	1	0 - 16	Franco arenoso	24.80	67.14	1	67.14	Media
			2	16 - 40	Franco arenoso	42.34				
Typic Torriorthents	106	1,468.60	1	0 - 15	Franco arenoso	23.70	23.70	0.75	16.59	Muy baja
			2	15 - 54	Franco	65.99				
Typic Camborthids	112	27,762.95	1	0 - 17	Franco arcilloso	30.94	70.96	1	70.96	Media
			2	17 - 40	Franco	40.02				

Tabla Nº 10. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Colinas

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Lithic Calciorthids	5	1,910.47	1	0 - 21	Franco	39.98	90.47	1	90.47	Media
			2	21 - 43	Franco	50.49				
Lithic Camborthids	29	10,759.69	1	0 - 10	Franco arenoso	14.70	31.55	0.85	26.82	Baja
			2	10 - 23	Franco arcilloso	16.85				
Typic Camborthids	33	13,706.87	1	0 - 17	Arcillo arenoso	18.50	44.15	1	44.15	Baja
			2	17 - 36	Arcillo arenoso	25.65				
Typic Torriorthents	52	27,483.76	1	0 - 26	Franco arenoso	44.04	96.40	0.8	77.12	Media
			2	26 - 60	Franco arenoso	52.36				
Typic Camborthids	65	28,072.49	1	0 - 14	Franco arenoso	22.95	53.17	0.8	42.53	Baja
			2	14 - 37	Franco arcilloso	30.22				
Typic Torripsamments.	66	14,871.41	1	0 - 14	Areno franco	15.68	15.68	1	15.68	Muy baja
Lithic Haplustolls	80	14,173.25	1	0 - 23	Franco arenoso	36.34	73.38	0.85	62.38	Media
			2	23 - 44	Franco arenoso	37.04				
Lithic Torriorthents	100	3,249.01	1	0 - 12	Franco arenoso	21.46	21.46	0.8	17.16	Muy baja

Tabla N° 11. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Abanicos, Depresiones Fluvioacustres y Aluviales

Unidad Taxonómica	N° Unidad de Terreno	Superficie (ha)	N° de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Salorthids	15	93455.90	1	0 – 10	Franco arcilloso	22.86	178.17	1	178.17	Muy alta
			2	10 – 71	Franco limoso	155.31				
Lithic Calciorthids	40	70,814.64	1	0 – 6	Arcillo arenoso	8.10	8.10	1	8.10	Muy baja
Typic Camborthids	42	117,684.44	1	0 – 12	Franco arenoso	18.24	54.43	0.85	46.27	Baja
			2	12 – 41	Franco arenoso	36.19				
Typic Quartzipsamments	48	25,892.36	1	0 – 70	Areno francoso	92.40	92.40	0.85	78.54	Media
Typic Salorthids	73	18,194.48	1	0 – 27	Franco	50.54	50.54	1	50.54	Baja
Typic Quartzipsamments	85	16,222.13	1	0 – 70	Areno francoso	92.40	92.40	0.7	64.68	Media
Typic Calciorthids	111	2,710.17	1	0 - 21	Franco	33.73	101.95	1	101.95	Alta
			2	21 – 62	Arcilloso	68.22				
Typic Salorthid	72	3712.50	1	0 – 27	Franco	50.54	50.54	1	50.54	Baja

Tabla N° 12. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Terrazas

Unidad Taxonómica	N° Unidad de Terreno	Superficie (ha)	N° de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Lithic Calciorthids	20	8,917.40	1	0 – 11	franco arcilloso	17.06	72.86	0.8	58.29	Baja
			2	11 – 42	franco arenoso	55.80				
Typic Camborthids	56	5,261.31	1	0 – 13	franco arcilloso	16.50	16.50	1	16.50	Muy Baja
Typic Calciorthids	67	5,105.20	1	0 – 24	areno francoso	27.55	27.55	0.8	22.04	Baja

Tabla N° 13. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Llanuras Fluvioacustres

Unidad Taxonómica	N° Unidad de Terreno	Superficie (ha)	N° de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Argid Calciorthids	1	56,709.00	1	0 - 14	Areno francoso	18.26	40.94	0.85	34.80	Baja
			2	6 – 26	Arcilloso	22.68				
Typic Salorthids	82	41,587.85	1	0 – 27	Franco	50.54	50.54	1	50.54	Baja
Typic Salorthids	86	43,303.27	1	0 – 10	Franco arcilloso	22.86	178.17	1	178.17	Muy Alta
			2	10 – 71	Franco limoso	155.31				
Typic Salorthids	99	17,390.40	1	0 – 10	Franco arcilloso	22.86	178.17	1	178.17	Muy Alta
			2	10 – 71	Franco limoso	155.31				

Tabla N° 14. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Llanuras de Piedemonte

Unidad Taxonómica	N° Unidad de Terreno	Superficie (ha)	N° de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Haplustepts	2	26,625.47	1	0 – 36	Areno francoso	47.52	80.08	1	80.08	Media
			2	36 – 58	Franco arenoso	32.56				
Typic Ustipsamments	4	870.65	1	0 – 21	Areno francoso	28.06	53.93	0.85	45.84	Baja
			2	21 – 43	Arenoso	25.87				

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Ustorthents	16	29,144.21	1	0 – 25	Franco arenoso	35.10	76.68	1	76.68	Media
			2	25 – 55	Franco arenoso	41.58				
Typic Haplocambids	21	10,989.23	1	0 – 14	Franco arenoso	21.00	39.63	0.85	33.69	Baja
			2	14 – 29	Franco arcilloso	18.63				
Typic Haplustepts	23	16,940.23	1	0 – 28	Franco arenoso	38.05	70.90	0.85	60.27	Media
			2	28 – 53	Franco arcilloso	32.85				
Aridic Ustipsamments	25	15,644.17	1	0 – 27	Areno francoso	34.34	34.34	0.85	29.19	Baja
Typic Quartzipsamments	26	12,208.70	1	0 – 30	Franco arenoso	42.66	42.66	0.85	36.26	Baja
Typic Quartzipsamments	37	8,091.46	1	0 – 30	Franco arenoso	42.66	42.66	0.85	36.26	Baja
Aridic Ustipsamments	38	18,257.98	1	0 – 27	Areno francoso	34.34	34.34	0.8	27.48	Baja
Typic Calciorthids	39	18,431.66	1	0 – 12	Franco arcilloso	17.04	81.28	0.8	65.02	Media
			2	18 – 67	Franco arcilloso	64.24				
Typic Ustorthents	43	29,084.53	1	0 – 20	Franco arenoso	26.46	73.82	0.85	62.75	Media
			2	20 – 57	Areno francoso	47.36				
Typic Ustorthents	44	19,949.89	1	0 – 26	Franco arenoso	36.97	83.05	0.85	70.59	Media
			2	26 – 58	Franco arenoso	46.08				
Typic Ustipsamments	45	8,017.80	1	0 – 22	Areno francoso	32.47	74.98	0.85	63.73	Media
			2	22 – 55	Areno francoso	42.50				
Typic Natrargids	47	30,372.47	1	0-9	Franco arcilloso	12.42	41.89	1	41.89	Baja
			2	11 – 30	Franco arcilloso	29.47				
Typic Haplocambids	49	11,940.05	1	0 – 24	Areno francoso	27.55	27.55	0.8	22.04	Baja
Aridic Ustipsamments	54	6,916.34	1	0 – 29	Arenoso	33.70	67.80	1	67.80	Media
			2	29 – 58	Arenoso	34.10				
Aridic Ustorthents	55	6,392.04	1	0 – 26	Franco arenoso	36.74	36.74	0.8	29.39	Baja
Lithic Torriorthents	64	1,327.28	1	0 – 11	Franco arenoso	14.95	14.95	0.85	12.71	Muy Baja
Typic Haplocambids	69	8,786.31	1	0 – 18	Franco arenoso	25.60	105.11	0.8	84.09	Media
			2	18 – 75	Franco arenoso	79.52				
Typic Quartzipsamments	74	7,438.54	1	0 – 22	Arenoso	25.87	25.87	0.8	20.70	Muy baja
Typic Torrripsamment	75	15,068.97	1	0 – 28	Areno francoso	36.29	36.29	0.85	30.84	Baja
Typic Ustorthents	81	23,669.33	1	0 – 16	Franco arenoso	23.04	59.61	0.7	41.73	Baja
			2	16 – 39	Franco arenoso	36.57				
Typic Haplustepts	83	4,442.42	1	0 – 21	Areno francoso	31.37	80.35	1	80.35	Media
			2	21 – 52	Franco arenoso	48.98				
Typic Ustipsamments	84	2,177.73	1	0 – 23	Areno francoso	30.73	30.73	0.85	26.12	Baja
Typic Quartzipsamments	87	25,908.28	1	0 – 35	Franco arenoso	50.09	50.09	0.85	42.57	Baja
Typic Ustorthents	88	5,322.22	1	0 – 16	Franco arenoso	24.80	67.14	1	67.14	Media
			2	16 – 40	Franco arenoso	42.34				
Typic Haplustepts	91	13,468.04	1	0 – 11	Franco arenoso	14.95	31.69	0.85	26.94	Baja
			2	8 – 21	Areno francoso	16.74				
Aridic Ustorthents	98	1,218.25	1	0 – 17	Franco arenoso	28.99	93.49	1	93.49	Media
			2	17 – 60	Franco arenoso	64.50				
Typic Haplustepts	103	13,495.68	1	0 – 8	Franco arenoso	12.00	37.34	1	37.34	Baja
			2	8 – 30	Franco arcilloso	25.34				
Typic Calciorthids	104	8,857.15	1	0 – 22	Franco	45.54	110.28	1	110.28	Alta
			2	22 – 56	Franco	64.74				

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Typic Calciorthids	105	26,232.75	1	0 – 17	Arcillo arenoso	18.50	44.15	1	44.15	Baja
			2	17 – 36	Arcillo arenoso	25.65				
Typic Torripsamments	108	1,130.88	1	0 – 14	Areno francoso	15.68	15.68	1	15.68	Muy baja
Typic Calciorthids	109	7,265.79	1	0 – 21	Franco	33.73	101.95	1	101.95	Alta
			2	21 – 62	Arcilloso	68.22				
Typic Haplocambids	110	10,759.07	1	0 – 23	Franco arenoso	36.34	69.14	1	69.14	Media
			2	18 – 38	Franco arcilloso	32.80				
Typic Quartzipsamments	113	2,382.61	1	0 – 17	Areno francoso	21.90	69.62	0.8	55.70	Baja
			2	17 – 55	Areno francoso	47.73				
Lithic Torriorthents	114	5,752.87	1	0 – 11	Franco arenoso	18.88	18.88	0.7	13.21	Muy baja

Tabla Nº 15. Capacidad de Agua Disponible y Agua Potencialmente Disponible Neta en Suelos de Llanuras Aluviales

Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Coefficiente de ajuste por fragmentos	APDN (mm)	Clase
Aridic Ustorthents	3	133,684.16	1	0 – 16	Franco arenoso	22.46	22.46	1	22.46	Baja
Aridic Ustipsamments	7	6,144.27	1	0 – 20	Areno francoso	25.76	78.56	1	78.56	Media
			2	20 - 60	Areno francoso	52.80				
Typic Ustorthents	9	25,152.60	1	0 – 20	Franco arenoso	28.44	28.44	1	28.44	Baja
Typic Haplocryepts	11	10,718.75	1	0 – 9	Franco arcilloso	12.42	50.74	1	50.74	Baja
			2	9 – 31	Franco arcilloso	38.32				
Typic Ustorthents	12	48,393.27	1	0 – 25	Franco arenoso	40.75	40.75	0.85	34.64	Baja
Aridic Ustipsamments	18	55,461.46	1	0 – 29	Arenoso	33.70	67.80	1	67.80	Media
			2	29 - 58	Arenoso	34.10				
Fluvaquent Haplocryepts	19	58,866.85	2	9 – 31	Arcilloso	52.08	107.63	1	107.63	Alta
			3	31 - 63	Arcilloso	55.55				
Typic Haplustepts	24	19,882.12	1	0 – 28	Franco arenoso	38.05	70.90	0.85	60.27	Media
			2	28 - 53	Franco arcilloso	32.85				
Typic Haplocambids	35	8,427.85	1	0 – 13	Franco arcilloso	16.50	16.50	1	16.50	Muy baja
Typic Haplosalids	50	8,388.75	1	0 – 23	Franco arcilloso	50.05	92.82	1	92.82	Media
			2	23 - 50	Franco arcilloso	42.77				
Lithic Haplocalcids	53	1,861.28	1	0 – 6	Arcillo arenoso	8.10	8.10	0.85	6.89	Muy baja
Typic Torriorthents	70	39,799.80	1	0 – 20	Arenoso	22.68	22.68	0.8	18.14	Muy Baja
Typic Torripsamments	95	13,810.51	1	0 – 14	Areno francoso	18.26	18.26	1	18.26	Muy baja
Lithic Torriorthents	101	5,415.42	1	0 – 9	Franco arcilloso	13.96	13.96	0.85	11.87	Muy baja
Typic Haplocryepts	102	1,506.28	1	0 – 11	Franco arenoso	14.95	31.69	1	31.69	Baja
			2	8 – 21	Areno francoso	16.74				

Clase Muy Baja; Las Unidades Cartográficas que clasificaron en ésta categoría, se ubican principalmente en geoformas de Montaña, Serranías, Colinas, Mesetas, Superficies de erosión, Abanicos y Terrazas altas; están constituidas principalmente por suelos de origen volcánico, derivados de rocas basálticas o sedimentarias (areniscas) a veces silicatadas, difícilmente edafizables, con áreas de afloramientos y pedregosidad asociadas; caracterizadas por ser muy superficiales, de contacto lítico, de textura muy arenosa y con poca materia orgánica. Hay cierto predominio de suelos del Orden Entisoles En consecuencia tienen muy baja capacidad de retención y de disposición de agua.

Clase Baja; Las Unidades Cartográficas pertenecientes a ésta clase, tienen las mismas características de la clase anterior, aunque en un grado menor. Sin embargo, las geoformas más recurrentes para esta clase son: Serranías, Mesetas, Superficies de erosión, Colinas bajas, Terrazas, Llanuras de piedemonte y Llanuras aluviales; cuyos suelos se caracterizan por presentar horizontes delgados o someros, de texturas francas a franco arenosas. Los Órdenes de suelos encontrados son Entisoles, Aridisoles e Inceptisoles. En definitiva tienen baja capacidad de retención y disposición de agua.

Clase Media; Las Unidades Cartográfica clasificadas dentro de ésta categoría, se ubican generalmente en: Mesetas, Colinas, Depresiones, Llanuras de piedemonte y Llanuras aluviales; presentan suelos formados a partir de materiales sedimentarios en su mayoría; poseen menor pedregosidad tanto en superficie como en horizontes interiores; los perfiles de los suelos, son relativamente poco más profundos y las clases texturales en los horizontes superficiales corresponden al tipo franco a franco arenosos, presentándose suelos franco arcillosos en los horizontes subyacentes que además, son poco más profundos. Los Órdenes más recurrentes son Inceptisoles y Aridisoles. En consecuencia, los suelos que se clasifican en esta categoría, tienen moderada a baja capacidad de retención y disposición de agua.

Clase Alta: Las Unidades Cartográficas agrupadas en esta clase, principalmente se ubican en Llanuras de piedemonte, Llanuras aluviales y Depresiones, presentan menos materiales fragmentados o pedregosidades; son suelos formados a partir de materiales sedimentarios; en general son más profundos entre 50 y 70 cm; los horizontes superficiales presentan texturas francas y los sub superficiales texturas arcillosas y limosas. Los Órdenes de suelos mayoritarios presentes son Inceptisoles y Aridisoles. Por lo tanto, estos suelos tienen buena capacidad de retención y disposición de agua para los cultivos.

Clase Muy Alta: las Unidades Cartográficas que corresponden a esta clase, se ubican en Llanuras Fluvioacustres y Abanicos; los suelos se derivan de materiales sedimentarios, presentan perfiles profundos, los horizontes superficiales tienen texturas del tipo franco arcillosas y franco limosas, mientras que las texturas de los horizontes subyacentes son del tipo arcilloso y tienen profundidades de hasta 70 cm. Los suelos ubicados en esta clase, corresponden al Orden Aridisoles. Estos suelos constituyen la clase de mayor potencial para retener agua disponible de toda el área de estudio.

La clase fue asignada a las condiciones de capacidad de agua disponible, para este efecto, se consideraron las diferencias de los suelos entre las grandes unidades geomorfológicas. Para el caso de las Unidades de origen Volcánico que tienen una superficie de aproximadamente 1,291,209.06 ha, se han logrado los siguientes resultados: Los suelos de las unidades cartográficas correspondientes, se clasifican en su mayoría, en las clases Baja con 542,209.57 ha y Media con 496,932.18 ha, representando aproximadamente el 42 y 38 % respectivamente de la superficie total, no existiendo suelos que clasifiquen en las Clase Alta ni Muy Alta; mas detalles se muestran en la Tabla N° 16 y en los respectivos mapas de anexos.

Tabla N° 16. Resumen, Superficie, Según Clase de Potencial de Agua Disponible por Grandes Unidades Geomorfológicas

Unidad Geomorfológica	Clase	Superficie (ha)	Porcentaje
Unidades volcánicas	Muy Baja	252,067.31	19.52
	Baja	542,209.57	41.99
	Media	496,932.18	38.49
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	1,291,209.06	100.00
Unidades Fluvioacustres	Muy Baja	306,664.58	21.61
	Baja	562,911.84	39.67
	Media	317,629.51	22.38
	Alta	77,699.96	5.48
	Muy Alta	154,149.57	10.86
	Sub total	1,419,055.46	100.00
Total		2,710,264.52	

Mientras que para las Unidades Fluvioglaciales que abarcan una superficie de 1,419,055.46 ha, los suelos de las correspondientes unidades cartográficas, clasifican en su mayoría, en las Clases: Baja con 562,911.84 ha, Media con 317,629.51 ha, y Muy Baja con 306,664.58 ha, representando aproximadamente el 40, 22 y 21 % respectivamente. Las Clases, Alta con 77,699.96 ha y Muy Alta con 154,149.57 ha, solo representan el 5 y 11 % respectivamente de la superficie total; más detalles se muestran en la Tabla N° 16 y en los respectivos mapas de anexos.

A nivel de Unidades Cartográficas, se encuentran datos interesantes y muy variables, atendiendo al orden decreciente de clase, los resultados son: las Montañas altas, Mesetas y Colinas, comparten las clases Baja, Media y Muy baja; las Montañas medias y bajas, presentan clases Baja, Muy baja y Media; las Serranías presentan clases Muy baja, Media y Baja; y las Superficie de erosión, presentan clases media, Baja y Muy baja. En estas unidades cartográficas no se encuentran clases Alta ni Muy Alta. Mientras que en las otras unidades, hay mayor diversidad de clases y diferencias interesantes, que teniendo el cuenta el orden decreciente de clase, los resultados logrados son: en las Llanuras aluviales, se encuentran clases Baja, Media, Muy baja y Alta; en Llanuras Aluviales, clases Muy baja, Media, Baja y Alta; en Llanuras fluviolacustres y Terrazas, solo se encuentran clases Baja y Muy Alta; en Abanicos, las clases Baja, Muy baja, Media, Muy alta y Alta. Detalles de las clases, superficies y porcentajes, se muestran en la Tabla N° 17. Además, esta información puede ser observada y analizada de forma espacial en los mapas de anexos.

Tabla N° 17. Superficie, Según Clase de Potencial de Agua Disponible, por Unidad Geomorfológica

Unidad	Clase	Superficie (ha)	Porcentaje de superficie
Montaña alta	Muy Baja	23,468.44	11.11
	Baja	93,059.98	44.07
	Media	94,625.80	44.81
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub Total	211,154.22	100.00
Montaña media y baja	Muy Baja	58,009.86	24.67
	Baja	131,816.05	56.06
	Media	45,305.44	19.27
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	235,131.35	100.00
Serranías	Muy Baja	112,364.12	32.75
	Baja	97,770.24	28.50
	Media	132,923.07	38.75
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	343,057.43	100.00
Mesetas	Muy Baja	38,635.87	20.10
	Baja	78,388.81	40.79
	Media	75,165.91	39.11
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	192,190.60	100.00
Superficies de erosión	Muy Baja	1,468.60	0.75
	Baja	88,635.44	45.35
	Media	105,344.48	53.90
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	195,448.52	100.00
Colinas	Muy Baja	18,120.42	15.86
	Baja	52,539.05	46.00
	Media	43,567.48	38.14
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	114,226.94	100.00

Unidad	Clase	Superficie (ha)	Porcentaje de superficie
Llanuras de piedemonte	Muy Baja	27,589.62	6.07
	Baja	225,230.08	49.55
	Media	185,638.42	40.84
	Alta	16,122.94	3.55
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub Total	454,581.06	100.00
Llanuras aluviales	Muy Baja	202,999.01	46.40
	Baja	85,770.90	19.60
	Media	89,876.60	20.54
	Alta	58,866.85	13.45
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	437,513.37	100.00
Llanuras fluviolacustres	Muy Baja	0.00	0.00
	Baja	98,296.85	61.83
	Media	0.00	0.00
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	60,693.67	38.17
	Sub total	158,990.52	100.00
Terrazas	Muy Baja	5,261.31	27.28
	Baja	14,022.60	72.72
	Media	0.00	0.00
	Alta	0.00	0.00
	Muy Alta	0.00	0.00
	Sub total	19,283.91	100.00
Abanicos, Depresiones fluviolacustres y aluviales	Muy Baja	70,814.64	20.31
	Baja	139,591.41	40.03
	Media	42,114.49	12.08
	Alta	2,710.17	0.78
	Muy Alta	93,455.90	26.80
	Sub total	348,686.61	100.00

A nivel resumen general, sobre un área total de 2,710,264.52 ha, se han logrado los siguientes resultados, por orden decreciente: Clase Baja con 1,105,121.41 ha (40 %), Clase Media con 814,561.69 ha (30 %), Clase Muy Baja con 558,731.89 ha (20 %), Clase Muy Alta con 154,149.57 ha (5 %) y Clase Alta con 77,699.96 ha (2 %), detalles se muestran en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18. Resumen, Superficie Total Área de Estudio, Según Clase de Potencial de Agua Disponible

Clase	Superficie (ha)	Porcentaje
Muy Baja	558,731.89	20.62
Baja	1,105,121.41	40.78
Media	814,561.69	30.05
Alta	77,699.96	2.87
Muy Alta	154,149.57	5.69
Sub total	2,710,264.52	100.00

4.3. Secuencia Litológica de Horizontes

Se han encontrado algunas variaciones texturales entre los horizontes de los perfiles modales evaluados, principalmente en la Unidades Geomorfológicas de Serranías, Mesetas, Superficies de erosión, Colinas, Abanicos, Llanuras fluviolacustres, Llanuras de piedemonte y Llanuras aluviales. Estas variaciones son muy importantes, ya que definen el comportamiento hidrológico del perfil, pudiendo ser mejor aprovechados estos suelos, para decidir fechas, periodos de siembras e implementos de labranza.

En todos estos casos, el horizonte superficial, presenta texturas más arenosas que el horizonte inmediato subsecuente, lo cual implica que tienen mayor capacidad de infiltración del agua de lluvia, por su menor capilaridad; en cambio el horizonte subsecuente, presenta texturas: franco limosas, franco arcillosas, y arcillosas, con mejores condiciones para almacenar y disponer agua, por su mayor capilaridad. Esta situación, puede ser estratégicamente utilizada en la planificación y desarrollo de las actividades agrícolas, ya que se presentan las condiciones propuestas o recomendadas por Gavande (1982) y Baver y Gardner (1988), en cuanto se refieren a las mejores capacidades de lograr agua disponible.

Las Unidades Cartográficas que cumplen con las condiciones arriba comentadas, deberían ser trabajadas bajo sistemas de labranza vertical, evitando la alteración de la secuencia litológica de los horizontes, y aprovechar las condiciones hidrológicas de los horizontes superficiales y subsuperficiales. Lo contrario, significaría alterar estas condiciones y disminuir las potencialidades de los suelos para la captación, almacenamiento y disponibilidad de agua útil para los cultivos, desde la etapa de siembra, desarrollo y cosecha. Estas Unidades, evidencian sus datos en la columna de lámina de agua por perfil (color rojo) en la Tablas N° 5 al 15.

Sin embargo, a nivel de Unidades Volcánicas, las Serranías presentan hasta 4 unidades de tierra donde los horizontes subyacentes tienen mayor potencialidad de agua que sus horizontes superficiales; abarcando una superficie aproximada de 157,670 ha, lo que representa el 24 %; mayores detalles se pueden ver en las Tablas N° 19 y 20, y de manera espacial en los mapas correspondientes de anexos.

Tabla N° 19, Resumen Tierras con Potencial Hídrico en Horizontes Subsecuentes, en Unidades Volcánicas

Unidad Geomorfológica	Cantidad de Unidades de Tierra	Superficie (ha)	Porcentaje
Montaña Alta	2	146,434.42	22.65
Montaña Media y Baja	1	45,305.44	7.01
Serranías	4	157,675.70	24.39
Mesetas	5	75,165.91	11.63
Superficies de erosión	6	125,899.23	19.47
Colinas	6	96,106.53	14.86
Total	24	646,587.23	100.00

Tabla N° 20. Detalle Suelos con Capacidades Hidrológicas en Horizontes Subsecuentes en Unidades Volcánicas

Unidad Geomorfológica	Unidad Taxonómica	N° Unidad de Terreno	Superficie (ha)	N° de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Sistema de labranza recomendado
Montaña Alta	Lithic Torriorthents	31	51,808.62	1	0 - 14	Franco arenoso	17.02	35.11	Vertical
				2	8 - 26	Franco arcilloso	18.08		
	Typic Torriorthents	46	94,625.80	1	0 - 15	Franco arenoso	23.70	91.38	Vertical
				2	15 - 54	Franco	67.68		
Montañas Medias y Bajas	Typic Torriorthents	51	45,305.44	1	0 - 26	Franco arenoso	44.04	96.40	Vertical
				2	26 - 60	Franco arenoso	52.36		
Serranías	Typic Eutrocrepts	22	9,670.44	1	0 - 16	Franco arenoso	25.34	60.95	Vertical
				2	16 - 39	Arcilloso	35.60		
	Typic Camborthids	59	9,638.48	1	0 - 9	Franco arcilloso	12.42	41.89	Vertical
				2	11 - 30	Franco arcilloso	29.47		
	Typic Ustorthents	90	13,737.70	1	0 - 6	Franco limoso	17.76	58.56	Vertical
				2	6 - 26	Franco	40.80		
Typic Haplumbrepts	94	124,629.08	1	0 - 19	Franco arcilloso	41.34	87.72	Vertical	
			2	19 - 41	Franco arcilloso	46.38			
Mesetas	Lithic Ustorthents	34	35,637.91	2	7 - 19	Franco arenoso	28.88	78.20	Vertical
				3	19 - 43	Franco	49.32		
	Typic Haplargids.	58	1,580.58	1	0 - 14	Franco arenoso	17.02	74.97	Vertical
				2	14 - 39	Franco arcilloso	31.95		
	Typic Eutrochrepts	61	13,530.87	1	0 - 22	Franco arenoso	29.90	67.48	Vertical
				2	22 - 45	Franco arcilloso	37.58		
	Typic Haplargids	71	19,543.76	1	0 - 24	Franco arenoso	36.72	93.87	Vertical
				2	24 - 54	Franco arcilloso	57.15		
Typic Torripsamments	107	4,872.79	1	0 - 20	Franco arenoso	24.48	93.65	Vertical	
			2	20 - 73	Franco arcilloso	69.17			

Unidad Geomorfológica	Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Sistema de labranza recomendado
Superficies de erosión	Lithic Camborthids	6	30,830.63	1	0 – 19	Franco arenoso	30.02	63.20	Vertical
				2	19 – 40	Franco arenoso	33.18		
	Typic Ustorthents	10	31,272.30	1	0 – 28	Franco arenoso	45.89	94.73	Vertical
				2	28 – 61	Franco arenoso	48.84		
	Lithic Ustorthents	57	19,086.15	1	0 – 12	Franco arcilloso	17.04	36.79	Vertical
				2	7 – 29	Arenoso	19.75		
	Typic Ustorthents	89	15,478.60	1	0 – 16	Franco arenoso	24.80	67.14	Vertical
				2	16 – 40	Franco arenoso	42.34		
	Typic Torriorthents	106	1,468.60	1	0 – 15	Franco arenoso	23.70	23.70	Vertical
				2	15 – 54	Franco	65.99		
	Typic Camborthids	112	27,762.95	1	0 – 17	Franco arcilloso	30.94	70.96	Vertical
				2	17 – 40	Franco	40.02		
Colinas	Lithic Calciorthids	5	1,910.47	1	0 – 21	Franco	39.98	90.47	Vertical
				2	21 – 43	Franco	50.49		
	Lithic Camborthids	29	10,759.69	1	0 – 10	Franco arenoso	14.70	31.55	Vertical
				2	10 – 23	Franco arcilloso	16.85		
	Typic Camborthids	33	13,706.87	1	0 – 17	Arcillo arenoso	18.50	44.15	Vertical
				2	17 – 36	Arcillo arenoso	25.65		
	Typic Torriorthents	52	27,483.76	1	0 – 26	Franco arenoso	44.04	96.40	Vertical
				2	26 – 60	Franco arenoso	52.36		
	Typic Camborthids	65	28,072.49	1	0 – 14	Franco arenoso	22.95	53.17	Vertical
				2	14 – 37	Franco arcilloso	30.22		
	Lithic Haplustolls	80	14,173.25	1	0 – 23	Franco arenoso	36.34	73.38	Vertical
				2	23 – 44	Franco arenoso	37.04		

Mientras que a nivel de Unidades Fluvioacustres, donde hay mayor actividad agrícola en quinua principalmente, se evidencia que las Llanuras de piedemonte presentan 17 unidades de tierra, donde los horizontes subyacentes tienen mayor potencialidad de agua que sus horizontes superficiales; abarcando una superficie aproximada de 243,589 ha, lo que representa el 37 %. Además, es en éstas unidades, donde se utiliza tracción mecánica e implementos de labranza (i.e. arados a discos); mayores detalles se pueden ver en las Tablas Nº 21 y 22, y de manera espacial en los mapas correspondientes de anexos.

Tabla Nº 21, Resumen Tierras con Potencial Hídrico en Horizontes Subsecuentes, en Unidades Fluvioacustres

Unidad Geomorfológica	Cantidad de Unidades de Tierra	Superficie (ha)	Porcentaje
Abanicos, Depresiones fluvioacustres y aluviales	3	213,850.51	32.43
Terrazas	1	8,917.40	1.35
Llanuras fluvioacustres	3	117,402.67	17.80
Llanuras de piedemonte	17	243,589.41	36.94
Llanuras aluviales	3	75,729.87	11.48
Total	27	659,489.86	100.00

Tabla Nº 22. Detalle Suelos con Capacidades Hidrológicas en Horizontes Subsecuentes en Unidades Fluvioacustres

Unidad Geomorfológica	Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Sistema de labranza recomendado
Abanicos, Depresiones Fluvioacustres y Aluviales	Typic Salorthids	15	93455.90	1	0 – 10	Franco arcilloso	22.86	178.17	
				2	10 – 71	Franco limoso	155.31		
	Typic Camborthids	42	117,684.44	1	0 – 12	Franco arenoso	18.24	54.43	
				2	12 – 41	Franco arenoso	36.19		
	Typic Calciorthids	111	2,710.17	1	0 – 21	Franco	33.73	101.95	
				2	21 – 62	Arcilloso	68.22		

Unidad Geomorfológica	Unidad Taxonómica	Nº Unidad de Terreno	Superficie (ha)	Nº de Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Lámina de agua/horizonte (mm)	Lámina de agua/perfil (mm)	Sistema de labranza recomendado
Terrazas	Lithic Calciorthids	20	8,917.40	1	0 – 11	franco arcilloso	17.06	72.86	Vertical
				2	11 – 42	franco arenoso	55.80		
Llanuras fluviolacustres	Argid Calciorthids	1	56,709.00	1	0 - 14	Areno francoso	18.26	40.94	Vertical
				2	6 – 26	Arcilloso	22.68		
	Typic Salorthids	86	43,303.27	1	0 – 10	Franco arcilloso	22.86	178.17	Vertical
				2	10 – 71	Franco limoso	155.31		
	Typic Salorthids	99	17,390.40	1	0 – 10	Franco arcilloso	22.86	178.17	Vertical
				2	10 – 71	Franco limoso	155.31		
Llanuras de piedemonte	Typic Ustorthents	16	29,144.21	1	0 – 25	Franco arenoso	35.10	76.68	Vertical
				2	25 – 55	Franco arenoso	41.58		
	Typic Calciorthids	39	18,431.66	1	0 – 12	Franco arcilloso	17.04	81.28	Vertical
				2	18 – 67	Franco arcilloso	64.24		
	Typic Ustorthents	43	29,084.53	1	0 – 20	Franco arenoso	26.46	73.82	Vertical
				2	20 – 57	Areno francoso	47.36		
	Typic Ustorthents	44	19,949.89	1	0 – 26	Franco arenoso	36.97	83.05	Vertical
				2	26 – 58	Franco arenoso	46.08		
	Typic Ustipsamments	45	8,017.80	1	0 – 22	Areno francoso	32.47	74.98	Vertical
				2	22 – 55	Areno francoso	42.50		
	Typic Natrargids	47	30,372.47	1	0-9	Franco arcilloso	12.42	41.89	Vertical
				2	11 – 30	Franco arcilloso	29.47		
	Aridic Ustipsamments	54	6,916.34	1	0 – 29	Arenoso	33.70	67.80	Vertical
				2	29 – 58	Arenoso	34.10		
	Typic Haplocambids	69	8,786.31	1	0 – 18	Franco arenoso	25.60	105.11	Vertical
				2	18 – 75	Franco arenoso	79.52		
	Typic Ustorthents	81	23,669.33	1	0 – 16	Franco arenoso	23.04	59.61	Vertical
				2	16 – 39	Franco arenoso	36.57		
	Typic Haplustepts	83	4,442.42	1	0 – 21	Areno francoso	31.37	80.35	Vertical
				2	21 – 52	Franco arenoso	48.98		
	Typic Ustorthents	88	5,322.22	1	0 – 16	Franco arenoso	24.80	67.14	Vertical
				2	16 – 40	Franco arenoso	42.34		
	Aridic Ustorthents	98	1,218.25	1	0 – 17	Franco arenoso	28.99	93.49	Vertical
				2	17 – 60	Franco arenoso	64.50		
	Typic Haplustepts	103	13,495.68	1	0 – 8	Franco arenoso	12.00	37.34	Vertical
				2	8 – 30	Franco arcilloso	25.34		
	Typic Calciorthids	104	8,857.15	1	0 – 22	Franco	45.54	110.28	Vertical
				2	22 – 56	Franco	64.74		
Typic Calciorthids	105	26,232.75	1	0 – 17	Arcillo arenoso	18.50	44.15	Vertical	
			2	17 – 36	Arcillo arenoso	25.65			
Typic Calciorthids	109	7,265.79	1	0 – 21	Franco	33.73	101.95	Vertical	
			2	21 – 62	Arcilloso	68.22			
Typic Quartzipsamments	113	2,382.61	1	0 – 17	Areno francoso	21.90	69.62	Vertical	
			2	17 – 55	Areno francoso	47.73			
Llanuras aluviales	Aridic Ustipsamments	7	6,144.27	1	0 – 20	Areno francoso	25.76	78.56	Vertical
				2	20 - 60	Areno francoso	52.80		
	Typic Haplocryepts	11	10,718.75	1	0 – 9	Franco arcilloso	12.42	50.74	Vertical
				2	9 – 31	Franco arcilloso	38.32		
	Fluvaquentic Haplocryepts	19	58,866.85	2	9 – 31	Arcilloso	52.08	107.63	Vertical
3				31 - 63	Arcilloso	55.55			

5. Conclusiones

El trabajo ha generado información sobre las características y propiedades físicas de los suelos, para mejorar la eficiencia en la toma de decisiones y la calidad de las tareas en el uso y manejo sostenible del recurso para la región Sur Oeste de Bolivia, potencialmente dedicada a la producción de quinua y camélidos.

Se ha encontrado que suelos ubicados en unidades geomorfológicas de Montaña, Colinas, Serranías, Mesetas, Terrazas, y Superficies de erosión, tienen capacidades de agua disponible muy variables, de condiciones bajas a medias. Mientras que los suelos de Llanuras de piedemonte, Llanuras aluviales, Abanicos y Depresiones fluviolacustres, presentan suelos con mejores capacidades de agua disponible. De análisis resulta que en las unidades de origen volcánico, la mejor categoría encontrada corresponde a la Clase Media, con un 38 % de la superficie, equivalentes en 496,932 ha; la mayor categoría corresponde a la Clase Baja con un 42 % que significan 542,209 ha aproximadamente, el restante 19 % de la superficie corresponde a la Clase Muy baja. Mientras que en las unidades de origen fluviolacustre, las mejores categorías corresponden a la Clases Muy alta y Alta, con el 10 y 5 % aproximadamente, que implican 154,149 y 77,699 ha respectivamente; pero en proporción domina la Clase Baja con el 39 % que significa 562,911, le siguen la Clases Media con el 22 % y Muy baja con el 21 % que en superficie significan 317,629 y 306,664 ha respectivamente.

En muchas unidades de tierra estudiadas, se presentan subhorizontes con mayores condiciones de almacenamiento de agua que sus respectivos horizontes superficiales, recomendándose utilizar en estas áreas sistemas de labranza verticales, para no distorsionar la secuencia litológica de los suelos y evitar la destrucción de estas mejores capacidades de agua disponible. Del análisis se ha conocido que entre las Unidades Volcánicas, 24 Unidades de Tierra presentan estas características, con una superficie de aproximadamente 646,587 ha, representando el 24.5 % del toda el área total estudiada. Mientras que entre las Unidades Fluviolacustres, 27 Unidades de Tierra presentan las condiciones mencionadas, abarcando una superficie aproximada de 659,489 ha que representan un 23 % del total del área estudiada.

Los resultados logrados han sido sistematizados en cuadros que forman parte de la base de datos, donde se describen las restricciones y coeficientes utilizados que disminuyen el agua potencialmente disponible por cada unidad evaluada. Sin embargo, el dato logrado, puede ser utilizado a nivel de referencia, ya que el procedimiento aplicado, acentúa el valor cualitativo y no cuantitativo de la estimación del agua potencialmente disponible. Siendo necesario realizar estudios más precisos y detallados para realizar la determinación del agua potencialmente disponible. Así como el seguimiento dinámico del agua en el suelo incluyendo vegetación que es la única forma real de saber si una unidad de tierras está sufriendo o no estrés hídrico, por efecto climático.

La información lograda ha sido sistematizada y editada en formato SIG, lo cual nos permite visualizar la distribución espacial del potencial de las tierras para almacenar agua en forma disponible, por horizontes, por Clases y, cuantificar sus respectivas áreas.

La información generada, también pueden ser útil para realizar balances hídricos y juntos generar mapas de riesgo, frente a eventos climáticos adversos extraordinarios como a períodos con déficit de humedad más regulares que ocurren entre primavera y verano. Así mismo constituyen una ayuda para utilizar modelos de predicción de rendimiento de pasturas y cultivos o bien para interpretar datos de índice de vegetación diferencia normalizada (NDVI) obtenidos por sensores remotos.

Bibliografía

- Álvarez, C; Cayssials, R y Molfino, J.H. - Estimación del almacenaje de agua en las tierras de Uruguay - Primera aproximación - In II Seminario Nacional de Campo Natural, Tacuarembó, Uruguay, 1990. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria/Sociedad Uruguaya de Pasturas Naturales/Facultad de Agronomía/Plan Agropecuario. Ed. Hemisferio Sur.
- Baver L.D., Gardner W. 1988. Física de suelos. Editorial unión topográfica. Primera edición. México.
- Casas R.R 1998. Causas y evidencias de la degradación de los suelos en la Región Pampeana. En Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa. Editada por la Universidad de Harvard, Centro D Rockefeller para estudios latinoamericanos y el CPIA, Argentina

- Gardner, W.R. 1983. Soil properties and efficient water use: an overview. Pp: 45-64. En Taylor, H.M, Jordan W.R., y Sinclair T.R (ed). Limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA, SSSA, Publ., Madison, Wisconsin.
- Gavande Sampat A. 1982. Física de Suelos, principios y aplicaciones. Editorial Limusa México. p. 97 - 104.
- Hanks R.J. y Ashcroft G.L, 1980. Water quantities. In Applied soil physics. Ed. Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- Hillel D., 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press-New York.
- Marelli, H.J. 1989. La erosión hídrica. Publicación técnica N°1. EEA INTA Marco Juárez. 20pp.
- Micucci F.G, Taboada M.A., Gil R.- El agua en la producción de cultivos extensivos: I. El suelo como un gran reservorio eficiente. INPOFOS Cono Sur, Cátedra de Fertilidad de Suelos, FAUBA, INTA Castelar. Argentina.
- Murillo, M., Carvajal, E. y Chacolla, E. 2010. Evaluación de la calidad de suelos en llanuras aluviales, mediante el uso de indicadores e índices, en el área de producción de quinua (S.O. de Bolivia). Ministerio de desarrollo Rural y Tierras. La Paz – Bolivia.
- Murillo, M. y E. Chacolla, 2009. Erodabilidad de los suelos del sud oeste de Bolivia. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. La Paz, Bolivia.
- Richards, L.A. - Pressure membrane apparatus construction and use Agric. Engineering. 28:451-454, 1947.
- Silva, A.; Ponce de León, J.; García, F.; y Durán, A. - Aspectos Metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua en los suelos del Uruguay, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay, 1988. Boletín de Investigación N° 10.
- Uruguay, Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1000000. Dirección de Suelos y Fertilizantes - MAP, Montevideo, Uruguay, 1976.
- Uruguay, Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Tomo III. Apéndice: Descripciones, datos físicos y Químicos de los suelos dominantes. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, Uruguay, 1979.
- Uruguay, Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay, División de Suelos y Agua, MGAP, Montevideo, Uruguay, 2001. (Programa y Base de Datos en formato CD).
- Uruguay, Evaluación de Tierras - Clasificación de las Tierras según su Aptitud de Uso -Dirección de Suelos, MAP, Montevideo, Uruguay, 1988.

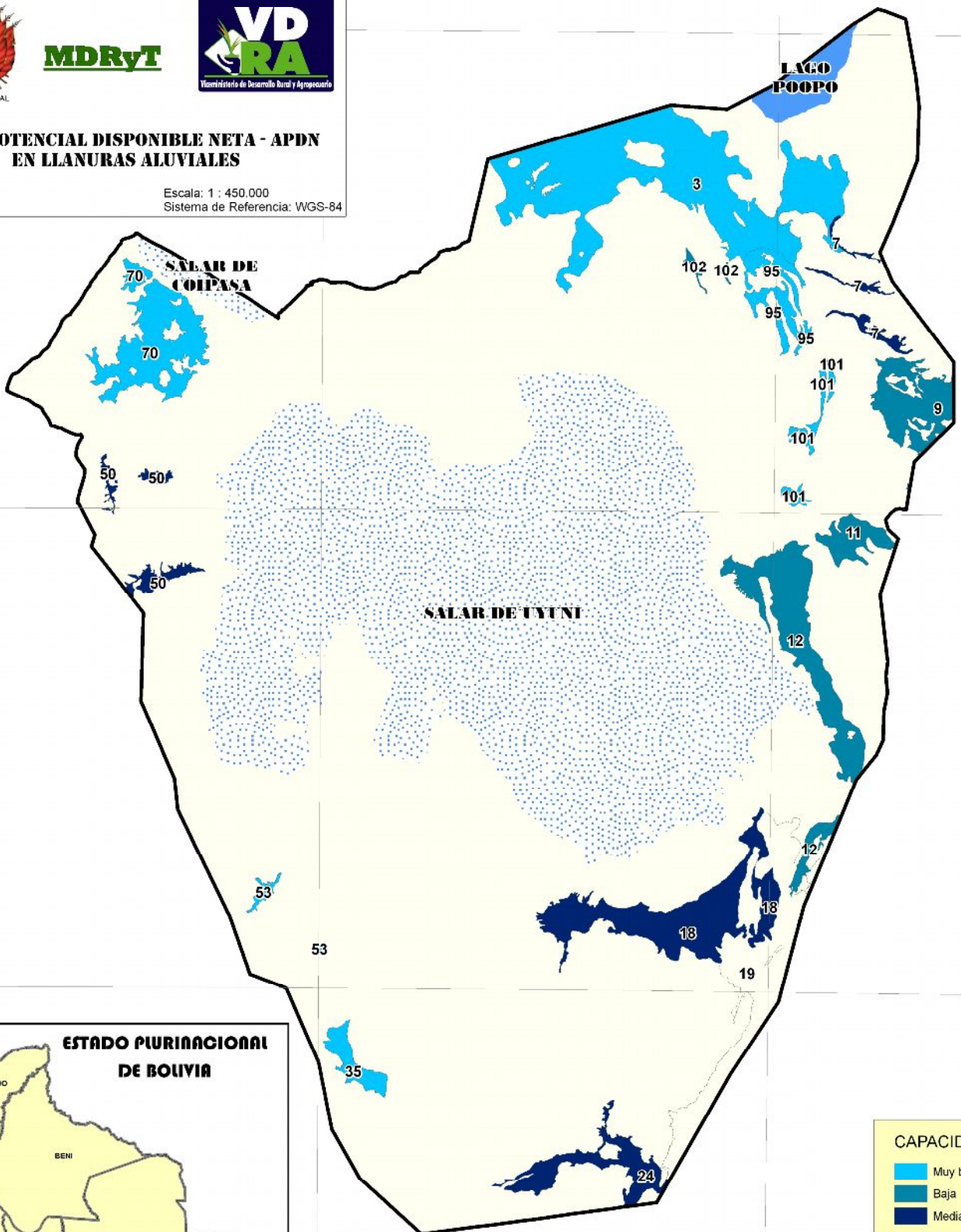


MDRyT



**AGUA POTENCIAL DISPONIBLE NETA - APDN
EN LLANURAS ALUVIALES**

Escala: 1 : 450,000
Sistema de Referencia: WGS-84



CAPACIDAD

- Muy baja
- Baja
- Media



DESCRIPCION					
U. T.	Grupo Taxonomico	APDN (mm)	U. T.	Grupo Taxonomico	APDN (mm)
3	Aridic Ustorthents	22,46	35	Typic Haplocambids	16,50
7	Aridic Ustipsamments	78,56	50	Typic Haplosalids	92,82
9	Typic Ustorthents	28,44	53	Lithic Haplocalcids	6,89
11	Typic Haplocryepts	50,74	70	Typic Torriorthents	18,14
12	Typic Ustorthents	34,64	95	Typic Torripsamments	18,26
18	Aridic Ustipsamments	67,80	101	Lithic Torriorthents	11,87
24	Typic Haplustepts	60,27	102	Typic Haplocryepts	31,69

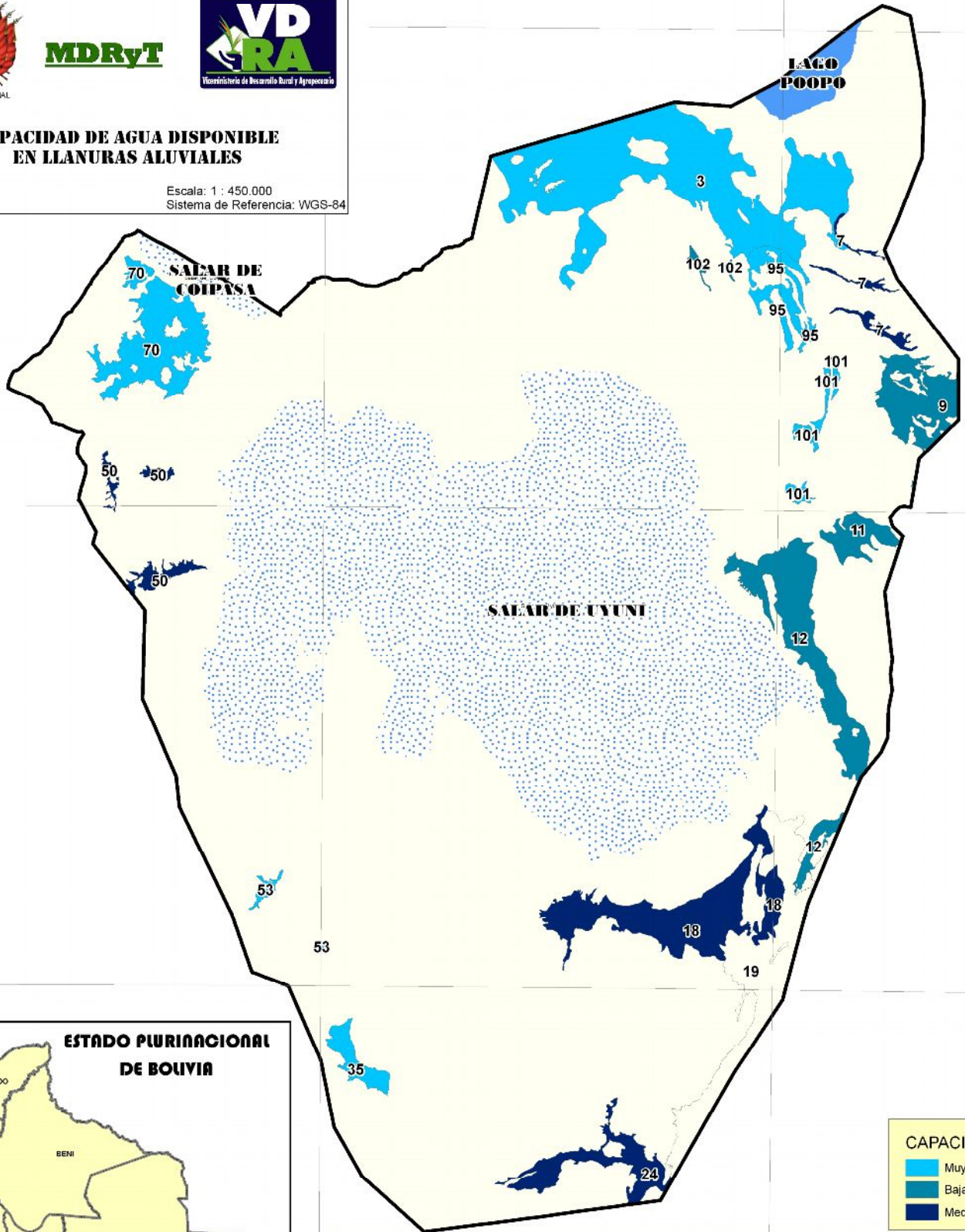


MDRyT



CAPACIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN LLANURAS ALUVIALES

Escala: 1 : 450,000
Sistema de Referencia: WGS-84



CAPACIDAD

- Muy baja
- Baja
- Media



DESCRIPCION					
U. T.	Grupo Taxonomico	Lamina de agua/perfil mm	U. T.	Grupo Taxonomico	Lamina de agua/perfil mm
3	Aridic Ustorthents	22,46	35	Typic Haplocambids	16,50
7	Aridic Ustipsamments	78,56	50	Typic Haplosalids	92,82
9	Typic Ustorthents	28,44	53	Lithic Haplocalcids	8,10
11	Typic Haplocryepts	50,74	70	Typic Torriorthents	22,68
12	Typic Ustorthents	40,75	95	Typic Torripsamments	18,26
18	Aridic Ustipsamments	67,80	101	Lithic Torriorthents	13,96
24	Typic Haplustepts	70,90	102	Typic Haplocryepts	31,69

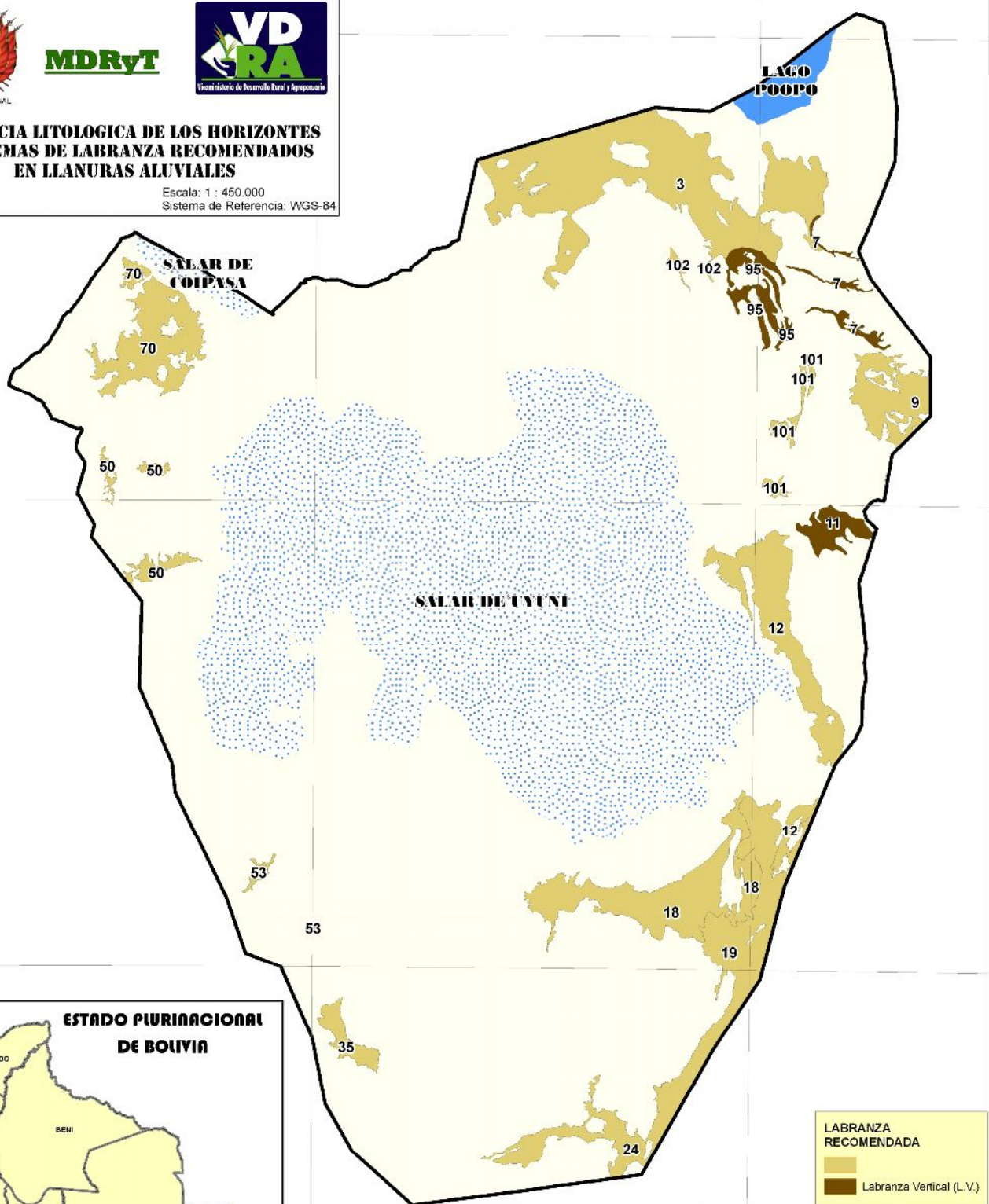


MDRyT



SECUENCIA LITOLÓGICA DE LOS HORIZONTES Y SISTEMAS DE LABRANZA RECOMENDADOS EN LLANURAS ALUVIALES

Escala: 1 : 450.000
Sistema de Referencia: WGS-84



LABRANZA RECOMENDADA

- Yellow box: Labranza Recomendada
- Brown box: Labranza Vertical (L.V.)



DESCRIPCION					
U. T.	Grupo Taxonomico	LABRANZA	U. T.	Grupo Taxonomico	LABRANZA
3	Aridic Ustorthents		35	Typic Haplocambids	
7	Aridic Ustipsamments	L.V.	50	Typic Haplosalids	
9	Typic Ustorthents		53	Lithic Haplocalcids	
11	Typic Haplocryepts	L.V.	70	Typic Torriorthents	
12	Typic Ustorthents		95	Typic Torripsamments	L.V.
18	Aridic Ustipsamments		101	Lithic Torriorthents	
24	Typic Haplustepts		102	Typic Haplocryepts	

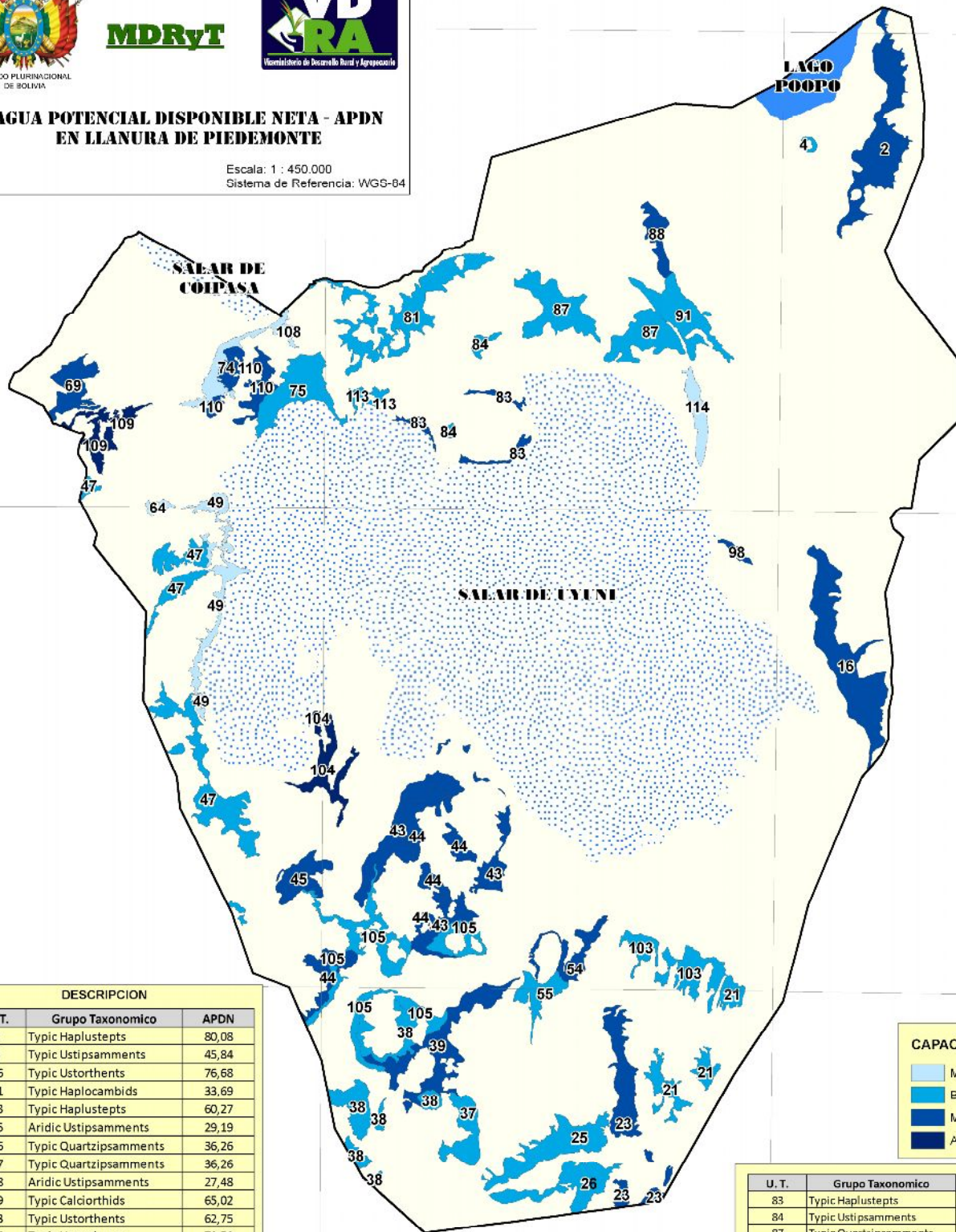


MDRyT



**AGUA POTENCIAL DISPONIBLE NETA - APDN
EN LLANURA DE PIEDEMONTE**

Escala: 1 : 450.000
Sistema de Referencia: WGS-84



DESCRIPCION		
U. T.	Grupo Taxonomico	APDN
2	Typic Haplustepts	80,08
4	Typic Ustipsamments	45,84
16	Typic Ustorthents	76,68
21	Typic Haplocambids	33,69
23	Typic Haplustepts	60,27
25	Aridic Ustipsamments	29,19
26	Typic Quartzipsamments	36,26
37	Typic Quartzipsamments	36,26
38	Aridic Ustipsamments	27,48
39	Typic Calciorthids	65,02
43	Typic Ustorthents	62,75
44	Typic Ustorthents	70,59
45	Typic Ustipsamments	63,73
47	Typic Natrargids	41,89
49	Typic Haplocambids	22,04
54	Aridic Ustipsamments	67,80
55	Aridic Ustorthents	29,39
64	Lithic Torriorthents	12,71
69	Typic Haplocambids	84,09
74	Typic Quartzipsamments	20,70
75	Typic Torripsamment	30,84
81	Typic Ustorthents	41,73

CAPACIDAD		
	Muy baja	
	Baja	
	Media	
	Alta	

U. T.	Grupo Taxonomico	APDN
83	Typic Haplustepts	80,35
84	Typic Ustipsamments	26,12
87	Typic Quartzipsamments	42,57
88	Typic Ustorthents	67,14
91	Typic Haplustepts	26,94
98	Aridic Ustorthents	93,49
103	Typic Haplustepts	37,34
104	Typic Calciorthids	110,28
105	Typic Calciorthids	44,15
108	Typic Torripsamments	15,68
109	Typic Calciorthids	101,95
110	Typic Haplocambids	69,14
113	Typic Quartzipsamments	55,70
114	Lithic Torriorthents	13,21

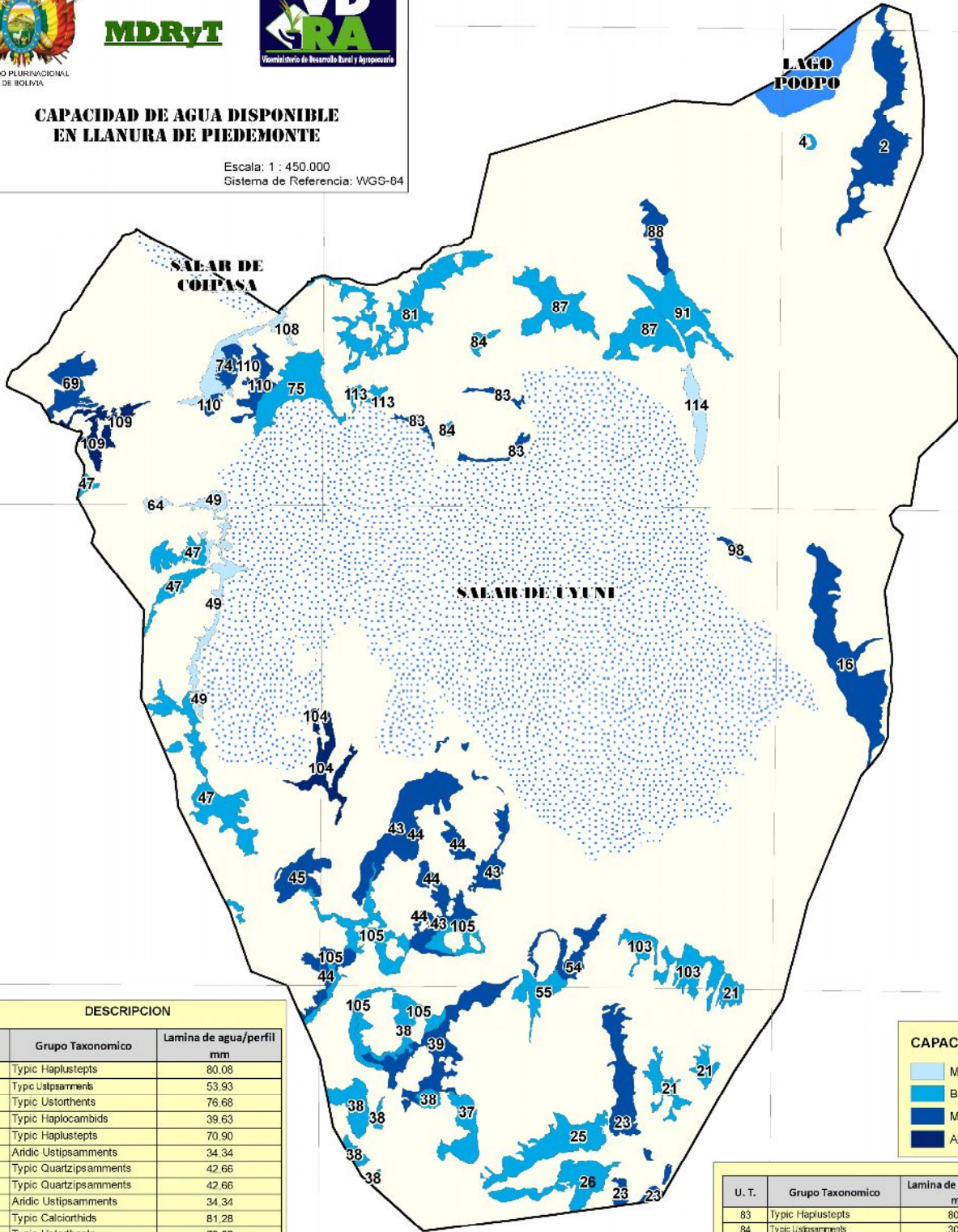


MDRyT



CAPACIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN LLANURA DE PIEDEMORTE

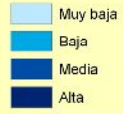
Escala: 1 : 450,000
Sistema de Referencia: WGS-84



DESCRIPCION

U. T.	Grupo Taxonomico	Lamina de agua/perfil mm
2	Typic Haplustepts	80.08
4	Typic Ustpsamments	53.93
16	Typic Ustorthents	76.68
21	Typic Haplocambids	39.63
23	Typic Haplustepts	70.90
25	Aridic Ustipsamments	34.34
26	Typic Quartzipsamments	42.66
37	Typic Quartzipsamments	42.66
38	Aridic Ustipsamments	34.34
39	Typic Calciorhids	81.28
43	Typic Ustorthents	73.82
44	Typic Ustorthents	83.05
45	Typic Ustpsamments	74.98
47	Typic Natrargids	41.89
49	Typic Haplocambids	27.55
54	Aridic Ustpsamments	67.80
55	Aridic Ustorthents	36.74
64	Lithic Tororthents	14.95
69	Typic Haplocambids	105.11
74	Typic Quartzipsamments	25.87
75	Typic Torpsamment	36.29
81	Typic Ustorthents	59.61

CAPACIDAD



U. T.	Grupo Taxonomico	Lamina de agua/perfil mm
83	Typic Haplustepts	80.35
84	Typic Ustpsamments	30.73
87	Typic Quartzipsamments	50.09
88	Typic Ustorthents	67.14
91	Typic Haplustepts	31.69
98	Aridic Ustorthents	93.49
103	Typic Haplustepts	37.34
104	Typic Calciorhids	110.28
105	Typic Calciorhids	44.15
108	Typic Torpsamments	15.88
109	Typic Calciorhids	101.95
110	Typic Haplocambids	69.14
113	Typic Quartzipsamments	69.62
114	Lithic Tororthents	18.88

68° W

67° W

19° S

19° S

20° S

20° S

21° S

21° S

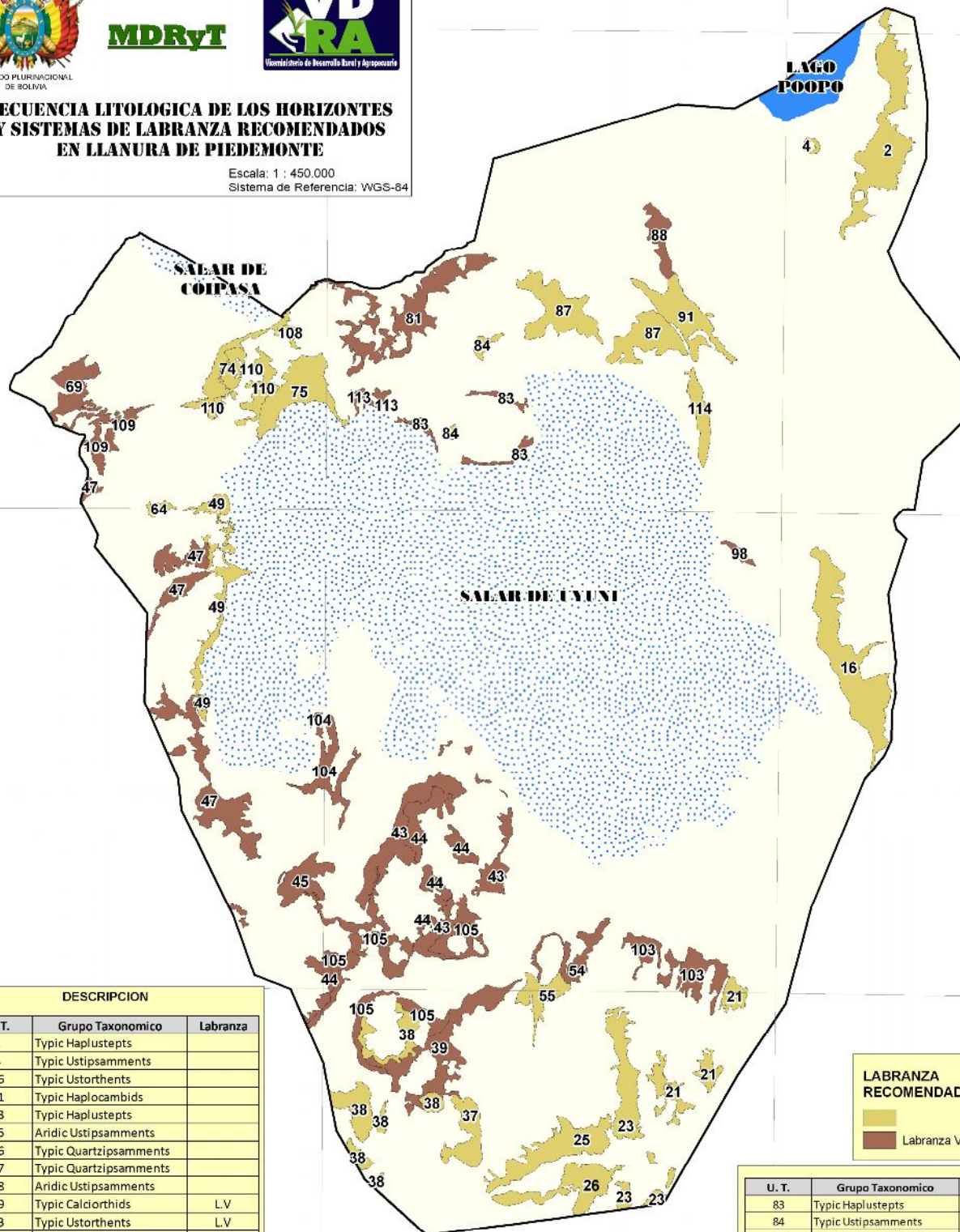


MDRyT



SECUENCIA LITOLÓGICA DE LOS HORIZONTES Y SISTEMAS DE LABRANZA RECOMENDADOS EN LLANURA DE PIEDEMONTE

Escala: 1 : 450.000
Sistema de Referencia: WGS-84



LABRANZA RECOMENDADA
■ Labranza Vertical (L.V.)

DESCRIPCION		
U. T.	Grupo Taxonomico	Labranza
2	Typic Haplustepts	
4	Typic Ustipsamments	
16	Typic Ustorthents	
21	Typic Haplocambids	
23	Typic Haplustepts	
25	Aridic Ustipsamments	
26	Typic Quartzipsamments	
37	Typic Quartzipsamments	
38	Aridic Ustipsamments	
39	Typic Calciorthids	L.V.
43	Typic Ustorthents	L.V.
44	Typic Ustorthents	L.V.
45	Typic Ustipsamments	L.V.
47	Typic Natrargids	L.V.
49	Typic Haplocambids	
54	Aridic Ustipsamments	L.V.
55	Aridic Ustorthents	
64	Lithic Torriorthents	
69	Typic Haplocambids	L.V.
74	Typic Quartzipsamments	
75	Typic Torripsamment	
81	Typic Ustorthents	L.V.

U. T.	Grupo Taxonomico	Labranza
83	Typic Haplustepts	L.V.
84	Typic Ustipsamments	
87	Typic Quartzipsamments	
88	Typic Ustorthents	L.V.
91	Typic Haplustepts	
98	Aridic Ustorthents	L.V.
103	Typic Haplustepts	L.V.
104	Typic Calciorthids	L.V.
105	Typic Calciorthids	L.V.
108	Typic Torripsamments	
109	Typic Calciorthids	L.V.
110	Typic Haplocambids	
113	Typic Quartzipsamments	L.V.
114	Lithic Torriorthents	

68° W

67° W